



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTOR: TERÁN MERCHÁN, DANIEL LIZARDO

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TELEOPERACIÓN Y MONITOREO PARA LA ESTACIÓN DE
MEDICIÓN DEL GRADO DE ASENTAMIENTO DE
SEDIMENTOS Y AGUA (BS&W) DEL PETRÓLEO.**

DIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

CODIRECTOR: ING. SEGOVIA, XAVIER

SANGOLQUÍ

2015

i

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

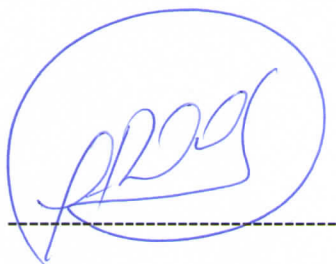
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

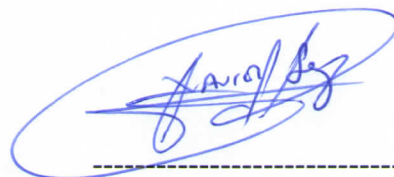
ING. HUGO ORTIZ
ING. XAVIER SEGOVIA

Por medio de la presente certificamos que el proyecto de grado, titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN Y MONITOREO PARA LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO DE ASENTAMIENTO DE SEDIMENTOS Y AGUA (BS&W) DEL PETRÓLEO", fue desarrollado en su totalidad y bajo nuestra dirección y supervisión por el señor: "Daniel Lizardo Terán Merchán con cédula de identidad 1719747030".

Atentamente.



Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR



Ing. Xavier Segovia
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

TERÁN MERCHÁN DANIEL LIZARDO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN Y MONITOREO PARA LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO DE ASENTAMIENTO DE SEDIMENTOS Y AGUA (BS&W) DEL PETRÓLEO", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las fuentes que se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 21 de Mayo del 2015



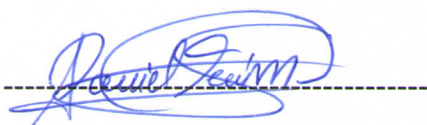
Daniel Lizardo Terán Merchán

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL****AUTORIZACIÓN**

DANIEL LIZARDO TERÁN MERCHÁN

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN Y MONITOREO PARA LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO DE ASENTAMIENTO DE SEDIMENTOS Y AGUA (BS&W) DEL PETRÓLEO.", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 21 de Mayo del 2015



Daniel Lizardo Terán Merchán

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN Y MONITOREO PARA LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO DE ASENTAMIENTO DE SEDIMENTOS Y AGUA (BS&W) DEL PETRÓLEO.”.

Elaborado por.



Daniel Lizardo Terán Merchán



Ing. Luis Orozco

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

Sangolquí, 21 de Mayo del 2015

DEDICATORIA

A mi madre Esperanza

Por su incondicional apoyo, por estar siempre pendiente de mí a cada momento, y por haber hecho de esta etapa universitaria mucho más fácil.

A mis hermanos Victoria, Jimmy y Gabriela

Por su gran apoyo durante todo esta etapa, por sus sabios consejos que me han permitido seguir adelante.

A mi padre Jaime

Por su total apoyo y colaboración para la culminación exitosa de este proyecto.

A mi mascota Pancho

Por haber estado en momentos difíciles, que me ayudó a seguir adelante y que sin él no hubiera sido posible terminar esta etapa.

A mis mejores amigos Damián y Darío

Por estar siempre presentes y pendientes, por brindarme su amistad la cual valoraré siempre, por su ayuda en la carga académica y por haber compartido gratos momentos a su lado.

AGRADECIMIENTO

A mi querida Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por haberme enseñado tanto en todos estos años de formación y de desarrollo profesional, intelectual y humano, por permitirme conocer amigos y colegas y por haberme inculcado valores junto a un sentido de responsabilidad y ética profesional.

Al ingeniero Víctor Proaño, quien confió siempre en mí, y fue muy comprensivo a lo largo de toda la carrera, que con su paciencia y motivación guiaron a que termine esta etapa universitaria.

Al ingeniero Hugo Ortiz y al ingeniero Xavier Segovia por haber brindado su ayuda, experiencia, conocimientos y paciencia para el desarrollo y culminación de este trabajo.

A mi Madre Esperanza por ser mi soporte en todo momento, por haberme inculcado valores a lo largo de mi formación, por brindarme su cariño y comprensión en todo momento.

A mi gran amigo Darío por ser un amigo incondicional, por haberme brindado su ayuda siempre que la he necesitado y por haber realizado junto a mí nuestros respectivos proyectos de grado siendo además de un gran amigo un gran compañero de trabajo.

A todos mis familiares que han estado conmigo a lo largo de estos años de formación profesional, sobre todo mis tíos Martha y Remigio; mis primos Andrés y Carolina por su constante apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. ALCANCE	4
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA Y VIRTUAL	8
2.1.1. Instrumentación Electrónica.....	9
2.1.2. Instrumentación Virtual.....	10
2.1.2.1. Sistemas NI LabVIEW	10
2.2. MANIPULADORES ROBÓTICOS INDUSTRIALES.....	11
2.2.1. Configuraciones morfológicas básicas de los robots industriales.....	11
2.2.1.1. Robot Cartesiano.....	12
2.2.1.2. Robot Cilíndrico	13
2.2.1.3. Robot Articulado	14
2.2.1.4. Robot Paralelo.....	15

2.2.1.5.	Mixto.....	16
2.3.	TELEMÁTICA.....	17
2.3.1.	Medios de Transmisión en Sistemas Telemáticos	18
2.3.2.	Aplicaciones de los sistemas telemáticos	19
2.3.3.	Ventajas	20
2.4.	SISTEMAS DE MONITOREO.....	20
2.5.	MEDICIÓN DEL GRADO BS&W EN EL PETRÓLEO	21
2.5.1.	Procedimiento para la Obtención del Grado BS&W	21
2.5.2.	Prueba ASTM D4007.....	22
CAPÍTULO III		23
DISEÑO DE HARDWARE		23
3.1.	REQUERIMIENTOS.....	23
3.1.1.	Diagrama de Bloques	24
3.2.	DISEÑO DE HARDWARE	25
3.2.1.	Estación de precalentamiento y centrifugación..... para la determinación de grado de BS&W.....	25
3.2.2.	Tarjeta Arduino Ethernet Shield.....	27
3.2.3.	Ordenador	28
3.2.4.	Cámara IP	29
3.3.	PLANOS Y ESPECIFICACIONES	31
3.3.1.	Conexión de la interfaz Ethernet a la estación de precalentamiento..... y centrifugación para la determinación de grado de BS&W	32
3.3.2.	Conexiones de los sensores de la estación de precalentamiento..... y centrifugación para la determinación de grado de BS&W	33
3.3.3.	Conexiones a los controladores de la estación de precalentamiento..... y centrifugación para la determinación de grado de BS&W	34
3.3.4.	Conexiones a los actuadores de la estación de precalentamiento..... y centrifugación para la determinación de grado de BS&W	35
3.3.5.	Conexión de poder a la estación de precalentamiento y..... centrifugación para la determinación de grado de BS&W.....	36
3.3.6.	Conexión de la red de área local	37
CAPÍTULO IV		38
DESARROLLO DE SOFTWARE		38
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A REALIZAR EN LA ESTACIÓN	38
4.1.1.	Modos de Operación	38
4.1.1.1.	Manual	38
4.1.1.2.	Semiautomático.....	38
4.1.1.3.	Automático	39

4.1.2.	Subprocesos	39
4.1.2.1.	Pre calentamiento.....	39
4.1.2.2.	Trasladar a la centrífuga.....	40
4.1.2.3.	Centrifugar.....	41
4.1.2.4.	Despachar	41
4.2.	DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI.....	42
4.2.1.	Arquitectura y Navegación.....	43
4.2.2.	Distribución de Pantallas.	44
4.2.2.1.	Pantalla de acceso	45
4.2.2.2.	Pantalla de modo manual	46
4.2.2.3.	Pantalla de modo semiautomático	47
4.2.2.4.	Pantalla de modo automático	47
4.2.2.5.	Pantalla de ayuda.....	48
4.2.2.6.	Pantalla de opciones	49
4.2.3.	Color y texto.	50
4.2.4.	Información textual	52
4.2.5.	Información gráfica	53
4.3.	DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL.....	56
4.3.1.	Lógica de control del modo semiautomático	56
4.3.1.1.	Lógica de control del subproceso pre calentamiento	56
4.3.1.2.	Lógica de control del subproceso trasladar a centrífuga.....	58
4.3.1.3.	Lógica de control del subproceso centrifugar.....	59
4.3.1.4.	Lógica de control del subproceso despachar.....	60
4.3.2.	Lógica de control del modo automático	61
4.4.	DESARROLLO DE LA LÓGICA UTILIZADA..... PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	61
4.4.1.	Mensajería H2S.....	62
4.4.2.	Mensajería S2H.....	65
4.5.	SIMULACIÓN	68
CAPÍTULO V		71
IMPLEMENTACIÓN		71
5.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	71
5.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL HMI	73
5.2.1.	Pantallas.....	73
5.2.1.1.	Pantalla de Acceso.....	73
5.2.1.2.	Pantalla de modo manual	74
5.2.1.3.	Pantalla de modo semiautomático	75

5.2.1.4.	Pantalla de modo automático	76
5.2.1.5.	Pantalla de ayuda.....	77
5.2.1.6.	Pantalla de opciones	78
5.2.2.	Instrumentos Virtuales.....	78
5.2.3.	Funciones.....	80
5.2.3.1.	Función de manejo de ventanas.....	80
5.2.3.2.	Función de lectura de datos.....	81
5.2.3.3.	Función de escritura de datos.....	82
5.2.3.4.	Funciones de control	82
5.2.4.	Acceso y Seguridad.....	84
5.3.	INTEGRACIÓN Y SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL CON EL HMI.....	85
5.4.	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	86
5.5.	PUESTA EN MARCHA.....	88
5.5.1.	Creación de la red de área local	88
5.5.2.	Instalación del HMI	90
5.5.3.	Ejecución del programa HMI.....	92
CAPÍTULO VI	95
PRUEBAS Y RESULTADOS	95
6.1.	PRUEBAS	95
6.1.1.	Determinación del tiempo de latencia entre los datos enviados y recibidos entre la Interfaz HMI y la tarjeta Ethernet Arduino	95
6.1.2.	Tiempo de respuesta de retorno de datos mediante prueba Ping, entre la cámara IP, el controlador del sistema y el HMI	97
6.1.3.	Precisión en el posicionamiento de las..... articulaciones del manipulador ZYMARK	98
6.2.	RESULTADOS	100
6.2.1.	Determinación del tiempo de latencia entre los datos enviados y recibidos entre la Interfaz HMI y la tarjeta Ethernet Arduino	100
6.2.2.	Tiempo de respuesta de retorno de datos mediante prueba Ping, entre la cámara IP, el controlador del sistema y el HMI	104
6.2.3.	Precisión en el posicionamiento de las..... articulaciones del manipulador ZYMARK	106
6.2.3.1.	Proceso de calentamiento de las muestras de crudo.....	107
6.2.3.2.	Proceso de traslado a la zona de centrifugación.....	110
6.2.3.3.	Proceso de centrifugación	113
6.2.3.4.	Proceso de despacho de componentes centrifugados.....	116

CAPÍTULO VII	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
7.1. CONCLUSIONES.....	119
7.2. RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA	123
ANEXOS	126
ANEXO 1.....	127
CÓDIGO FUENTE DEL HMI	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de funcionamiento de la instrumentación electrónica y virtual	8
Figura 2 Esquema de un sistema de adquisición de datos	9
Figura 3 Programación Gráfica	11
Figura 4 Robot cartesiano	12
Figura 5 Robot Cartesiano Master	12
Figura 6 Robot cilíndrico	13
Figura 7 ZYMARK TPW3 Tablet Processing Workstation	13
Figura 8 Robot Articulado	14
Figura 9 Robot Kuka	14
Figura 10 Robot paralelo	15
Figura 11 Omron Delta Robot	15
Figura 12 Robot Mixto (SCARA)	16
Figura 13 Staubli Robot Station	16
Figura 14 Diagrama de un sistema telemático en la industria	18
Figura 15 Sistema de Monitoreo en la Industria	21
Figura 16 Esquema general del hardware de la aplicación	23
Figura 17 Diagrama de bloques de todo el sistema	24
Figura 18 Procesos de medición del grado BS&W	26
Figura 19 Arduino Ethernet Shield	28
Figura 20 Cámara IP	30
Figura 21 Subproceso de Pre calentamiento	39
Figura 22 Subproceso trasladar a la centrífuga	40
Figura 23 Subproceso centrifugar	41
Figura 24 Subproceso despachar	42
Figura 25 Esquema general de la metodología del desarrollo de la interface	43
Figura 26 Arquitectura y Navegación entre pantallas del HMI	44
Figura 27 Estructura básica de cualquier pantalla	45
Figura 28 Diseño de la pantalla de acceso	46
Figura 29 Diseño de la pantalla de modo manual	46
Figura 30 Diseño de la pantalla de modo semiautomático	47
Figura 31 Diseño de la pantalla de modo automático	48
Figura 32 Diseño de la pantalla de ayuda	49
Figura 33 Diseño de la pantalla de opciones	50
Figura 34 Imágenes del módulo DSC de LabVIEW	54

Figura 35 Diagrama de Flujo del subproceso precalentamiento	57
Figura 36 Diagrama de flujo del subproceso trasladar a centrífuga	58
Figura 37 Diagrama de flujo del subproceso centrifugar	59
Figura 38 Diagrama de flujo del subproceso despachar	60
Figura 39 Diagrama de flujo del modo automático	61
Figura 40 Trama de los mensajes S2H.....	67
Figura 41 Terminal UDP de Hercules	68
Figura 42 Pantallas de envío y recepción datos hacia la estación	69
Figura 43 Función UDP de LabVIEW	69
Figura 44 Función String Subset de LabVIEW.....	70
Figura 45 Pantallas de envío y recepción datos hacia el HMI	70
Figura 46 Descripción y presentación de la pantalla de acceso.....	74
Figura 47 Descripción y presentación de la pantalla de modo manual.....	75
Figura 48 Descripción y presentación de la pantalla de modo semiautomático...	76
Figura 49 Descripción y presentación de la pantalla de modo automático	77
Figura 50 Descripción y presentación de la pantalla de ayuda	77
Figura 51 Descripción y presentación de la pantalla de opciones.....	78
Figura 52 Ventana del proyecto con los instrumentos virtuales utilizados.....	79
Figura 53 Función usada para el cambio, apertura y cierra de ventana.....	80
Figura 54 Interrupción usada para el cambio de pestañas.....	81
Figura 55 Función para el enmascaramiento de datos	81
Figura 56 Función para concatenar los datos	82
Figura 57 Función para enviar los datos del modo automático	83
Figura 58 Función para enviar los datos de modificación..... de la velocidad de los motores	83
Figura 59 Función para tomar los datos del teclado del ordenador.....	83
Figura 60 Función para mostrar el PDF de ayuda	84
Figura 61 Pantalla de creación de permisos y usuarios	84
Figura 62 Pantalla de configuración de la cámara IP	86
Figura 63 Video de la cámara IP visto del explorador web.....	87
Figura 64 Función para obtener la imagen de la cámara IP.....	87
Figura 65 Integración del Sistema de Monitoreo al HMI.....	88
Figura 66 Switch Ethernet.....	88
Figura 67 Propiedades de la tarjeta de red del ordenador	89
Figura 68 Terminal de Windows para verificar los dispositivos de red	90
Figura 69 Instalador del HMI.....	90
Figura 70 Ventana del destino del HMI	91
Figura 71 Ventana de progreso de avance de la instalación del HMI.....	91

Figura 72 Directorio de instalación del HMI	92
Figura 73 Pantalla de inicio de la aplicación	92
Figura 74 Pantalla de ingreso de usuario.....	93
Figura 75 Ingreso de Usuario	93
Figura 76 Pantalla de inicio con acceso a todo el menú	94
Figura 77 Ventana de operación.....	94
Figura 78 Datos obtenidos.....	96
Figura 79 Datos obtenidos en la prueba Ping	97
Figura 80 Valores de las Articulaciones para la probeta 1	99
Figura 81 Valores de las Articulaciones para la probeta 2	99
Figura 82 Conexiones de red de CommView.....	100
Figura 83 Visor de registro del CommView.....	101
Figura 84 Tiempo de latencia de datos enviados..... a la articulación rotacional.....	101
Figura 85 Tiempo de latencia de datos enviados..... a la articulación prismática Y.....	102
Figura 86 Tiempo de latencia de datos enviados..... a la articulación prismática Z.....	102
Figura 87 Tiempo de latencia de datos enviados al gripper	103
Figura 88 Terminal Cywgin ejecutando un Ping.....	105
Figura 89 Datos obtenidos en la prueba Ping	105
Figura 90 Zona de entrada de materia prima, valor de los sensores.....	106
Figura 91 Traslado de la zona de materia prima a la..... zona de precalentamiento.	107
Figura 92 Valores de las Articulaciones para la probeta 1	108
Figura 93 Valores de las Articulaciones para la probeta 2	108
Figura 94 Traslado de la zona de precalentamiento..... a la zona de centrifugación.....	110
Figura 95 Valores de las Articulaciones para la probeta 1	111
Figura 96 Valores de las Articulaciones para la probeta 2	111
Figura 97 Ubicación de probetas en la zona de entrega.	113
Figura 98 Valores de las Articulaciones para la probeta 1	114
Figura 99 Valores de las Articulaciones para la probeta 2	114
Figura 100 Ubicación de probetas en la zona de entrega.	116
Figura 101 Valores de las Articulaciones para la probeta 1	117
Figura 102 Valores de las Articulaciones para la probeta 2	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales parámetros de estación de precalentamiento..... y centrifugación para la determinación de grado de BS&W	27
Tabla 2 Principales parámetros de la Arduino Ethernet Shield	28
Tabla 3 Requisitos mínimos del ordenador	29
Tabla 4 Requisitos de la Cámara IP	30
Tabla 5 Tipos de señales utilizadas	31
Tabla 6 Colores para fondos de pantalla	51
Tabla 7 Colores para los indicadores.....	52
Tabla 8 Estilo de letra	53
Tabla 9 Tabla de símbolos utilizados en el HMI	55
Tabla 10 Descripción de los mensajes del modo manual	63
Tabla 11 Descripción de los mensajes del modo semiautomático	64
Tabla 12 Descripción de los mensajes del modo automático.....	65
Tabla 13 Descripción de los mensajes de configuración.....	65
Tabla 14 Información de envío de datos de la estación	66
Tabla 15 Descripción de los valores para el indicador de procesos	66
Tabla 16 Descripción de las librerías Utilizadas.....	71
Tabla 17 Funciones utilizadas en la programación del controlador	72
Tabla 18 Descripción de los instrumentos virtuales	79
Tabla 19 Privilegios de usuarios	85
Tabla 20 Tabla de direcciones y puertos de..... los dispositivos del todo el sistema.....	85
Tabla 21 Parámetros de medición de..... entrega de paquetes del Ordenador.....	96
Tabla 22 Parámetros de medición de..... entrega de paquetes del Controlador	97
Tabla 23 Resumen de la prueba Ping.....	98
Tabla 24 Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1	99
Tabla 25 Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2.....	100
Tabla 26 Parámetros de medición de..... entrega de paquetes del Ordenador.....	103
Tabla 27 Parámetros de medición de..... entrega de paquetes del Controlador	104
Tabla 28 Resumen de la prueba Ping.....	106
Tabla 29 Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1	109

Tabla 30	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2.....	109
Tabla 31	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1.....	112
Tabla 32	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2.....	112
Tabla 33	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1.....	115
Tabla 34	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2.....	115
Tabla 35	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1.....	118
Tabla 36	Resumen de los valores medidos en..... posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2.....	118

RESUMEN

El presente proyecto, denominado Sistema de Teleoperación y Monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo, plantea tres objetivos principales, primero crear un sistema de teleoperación, segundo crear un sistema de monitoreo remoto mediante la creación de un software que permita la supervisión, y control y tercero que el monitoreo sea en tiempo real, para lo cual se ha desarrollado la interfaz humano máquina (HMI), la cual está desarrollada en LabVIEW mediante un lenguaje gráfico, mientras que el controlador de la estación es un Arduino Mega 2650, al cual se le acoplado un tarjeta Ethernet para permitir la comunicación dentro de una red, y este ha sido desarrollado en lenguaje C. Adicionalmente el sistema cuenta con una cámara IP para monitorear el sistema en tiempo real. Para comunicar los tres dispositivos principales del sistema, ordenador, estación y cámara, se ha utilizado el protocolo UDP/IP, el cual envía datos mediante una red de datos de forma más rápido que el protocolo convencional TCP/IP. Para la comunicación entre la estación y el ordenador se ha desarrollado dos sistemas de mensajería, el primero para la comunicación entre la estación y el ordenador, y el segundo para la comunicación entre el ordenador y la estación. La interfaz humano máquina cuenta con distintos niveles de seguridad, dependiendo del tipo de usuario, la misma maneja el sistema de monitoreo en tiempo real, el modo manual, semiautomático y automático, además de contar con un modo de configuración y calibración remoto de la estación. El sistema automatiza el proceso de medición del grado BS&W del petróleo forma eficiente y de manera remota, sin necesidad de la presencia de un operador en el sitio donde se encuentre la estación.

PALABRAS CLAVES:

- **SISTEMAS REMOTOS**
- **TELEOPERACIÓN**
- **MONITOREO**
- **CÁMARA IP**
- **ROBOT**

SUMMARY

This project is called teleoperation system and monitoring station for measuring the degree of settlement of sediment and water (BS&W) of petroleum, it has three main objectives, first create a teleoperation system, second to create a remote monitoring system by creating software that enables monitoring and control, and third party, monitoring must be at real time, which has developed the human machine interface (HMI), which is developed in LabVIEW through a graphic language, while the controller Station is an Arduino Mega 2650, to which it was attached an Ethernet shield to allow communication within a network, and this has been developed in C language. In addition, the system has an IP camera to monitor the system in real time. For communicate the three main system devices, computer, station and camera, was used UDP/IP protocol, which sends data through a network of data more quickly than the standard protocol TCP/IP. For communication between the station and the computer it has developed two messaging systems, the first for communication between the station and the computer, and the second for communication between the computer and the station. The human machine interface has different levels of security, depending on the type of user, it manages the monitoring system in real time, manual, semiautomatic and automatic mode. In addition the system has a configuration mode for remote calibration to the station. The system automates the process of measuring the degree of BS&W petroleum efficiently and remotely, without the presence of an operator at the site where the station is located.

KEYWORDS:

- **REMOTE SYSTEMS**
- **TELEOPERATION**
- **MONITORING**
- **ROBOT**
- **IP CAMERA**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El avance tecnológico en el área de automatización y control se ha visto incrementado en varios campos de gran manera en los últimos años. Entre estos campos se puede mencionar la teleoperación de sistemas robóticos; en estos sistemas se puede gobernar a un robot que ejerce la función de esclavo por su particular función de recibir órdenes. La principal ventaja de un sistema teleoperado es ofrecer el control de un robot de manera remota, por razones tales como: i) que el robot se encuentra en una zona de peligro para el operador, ii) que se encuentre lejos del operador iii) porque su manejo a distancia representa una ventaja para el proceso, ahorrando tiempo y costos.

La teleoperación se añade a un robot con el objeto de obtener información importante del manipulador en tiempo real, como también del entorno donde se está desarrollando el mismo, a través de un conjunto de sensores. Un ejemplo de ello son los robots encargados de realizar operaciones quirúrgicas, así como los robots que trabajan en ambientes y entornos peligrosos etc.

Los sistemas de monitorización que se han desarrollado en estos últimos años se basan en su mayor parte en imágenes procedentes de cámaras visuales o sensores centralizados. Por ello, presentan limitaciones debido a la variabilidad de las condiciones de iluminación durante el día y la noche. Actualmente un monitor de vídeo es un dispositivo electrónico que permite monitorizar señales de vídeo. A diferencia de un televisor los monitores de vídeo no incluyen sintonizador de televisión ni suelen tener altavoces. Han de ser fiables para estar mucho tiempo funcionando (a veces siempre encendidos) y robustos para soportar el trasiego de una producción o estar

instalados en una unidad móvil. Aunque hasta hace poco eran muy escasos por su alto precio, los monitores de vídeo.

En este sentido, es importante indicar que en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE se está realizando una estación de trabajo con un manipulador robótico industrial del tipo cilíndrico, que a su vez integra el proceso de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) en el petróleo. Con este antecedente, la estación robótica previamente implementada dispone de la base para poder trabajar en la teleoperación de la misma, brindando todas las ventajas que se detallarán más adelante.

Para iniciar el proceso de lo anteriormente citado, se debe realizar la prueba ASTM D4007, la misma que consiste en tomar muestras de petróleo en probetas e introducirlas en una centrífuga, para un proceso de precalentamiento y centrifugado que separa los diferentes componentes de la muestra. Esta prueba que se repite veces al día continuamente, y se la realiza con muestras de diferentes pozos: en otras palabras es un proceso repetitivo que puede ser realizado con la integración de un manipulador robótico.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La aplicación que se pretende realizar mediante el sistema teleoperado corresponde a uno de los procesos de mayor repetitividad dentro de la industria petrolera, el parámetro que se evalúa en la aplicación es el asentamiento de sedimentos y agua (BS&W), mediante el cual se determina la pureza del petróleo; en función de la cantidad de agua y sedimentos que una muestra del mismo contenga. Para realizar dicho análisis se utiliza una prueba de laboratorio conocida como ASTM D4007.

Un sistema teleoperado presenta una mayor accesibilidad sin importar el lugar donde se encuentre el operario y el lugar donde la aplicación remota este instalada; de esta manera el proceso anteriormente citado tendría un fácil acceso al control del mismo, sin obligar al operario a estar presente en el lugar de pruebas, reduciendo así los riesgos para el operario y aumentando la seguridad para poder controlar y supervisar el sistema en cualquier momento y en cualquier lugar.

Un sistema de monitoreo con cámara que se encuentre en una estación es una herramienta importante que permite verificar en cualquier momento y de manera casi instantánea su correcto funcionamiento, además permite visualizar anomalías, como también poder detectar cuando se realicen los mantenimientos preventivos y correctivos. De la misma manera un sistema de la naturaleza anteriormente citada brinda una mayor fiabilidad del trabajo realizado por el sistema al poder visualizar el mismo en tiempo real.

En la industria petrolera, la medición del parámetro BS&W se realiza a diario y varias veces al día en función de las necesidades de comprobación de la pureza del petróleo que se extrae en tiempo real. En la actualidad, para realizar el proceso de medición de pureza se vuelve necesario la presencia de un operario durante todo el proceso. Sin embargo, de acuerdo al proceso propuesto el operario únicamente supervisa el proceso desde el tiempo que se colocan las muestras de petróleo hasta que se obtienen las muestras separadas de sedimentos y agua. Conforme a lo anteriormente citado la necesidad de poder supervisar el proceso a distancia muestra varias ventajas entre las que se pueden detallar que la presencia del operario en el laboratorio no es de carácter obligatorio ya que la supervisión del mismo puede ser realizada a distancia con una visualización real del proceso.

En el contexto de lo anteriormente analizado se pretende solventar una necesidad real en un proceso real que se presenta en la industria petrolera, disminuyendo los tiempos en los que los operarios se encuentran sin ser

productivos (evitando así la supervisión del proceso de manera presencial) y aumentando de esta manera la productividad laboral.

Finalmente, es importante indicar que un Ingeniero en el área de Automatización y Control considera importante aplicar los conocimientos y avances en las nuevas áreas, como en este caso en la telemática aplicada para este proyecto específicamente a la teleoperación y monitoreo de un robot cilíndrico industrial en un proceso industrial.

1.3. ALCANCE

El primer aspecto a considerar en un sistema de teleoperación es la interfaz humano máquina que en sus siglas en inglés significa Human Machine Interfaz (HMI), la cual brindará toda la información del sistema al usuario final del mismo; es así que en primer lugar, el trabajo se centrará en desarrollar un HMI que permitirá que el proceso funcione de manera remota con el sistema.

Es así que la información brindada por el HMI en lo referente al trabajo del sistema y los movimientos reales realizados por el mismo, diseñarán e implementarán un sistema de monitoreo que permita ver en tiempo real la estación de trabajo a través de una cámara; de esta forma se dará mayor seguridad al operador al constatar si realmente la estación está trabajando conforme a lo indicado en el sistema HMI.

Para poder brindar al sistema la capacidad de comunicarse de manera remota con la estación física se debe poseer un componente de hardware cuya función será la de integrar el robot ZYMARK y la aplicación que realiza el mismo para la comunicación bidireccional remota dentro de una red LAN.

Al tratarse de un sistema de teleoperación el sistema actual de control de la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua del petróleo debe ser replanteado en función de las nuevas necesidades del mismo, de manera que se deberá desarrollar nuevos algoritmos de control para la integración con el hardware de comunicación.

En este sentido, al presentar en tiempo real y de forma precisa las condiciones físicas y electrónicas del proceso antes detallado, se desarrollará un sistema de supervisión y control que se encargará de sensor los movimientos físicos reales del manipulador robótico, mediante la adquisición de señales analógicas obtenidas del mismo y procesadas mediante el sistema de control.

De la misma manera, otra de las tareas del sistema de supervisión y control involucra la vigilancia del entorno de trabajo de todo el proceso, es así que en el HMI se visualizarán todos estos parámetros en tiempo real.

Una vez desarrollados los sistemas de supervisión HMI y de comunicación se deberán integrar los mismos y a su vez sincronizar la interfaz HMI con los movimientos reales realizados por el manipulador robótico en la estación de trabajo, para lo cual se desarrollarán algoritmos de control y supervisión del sistema robótico.

Adicionalmente, para poder brindar mayor seguridad al sistema se desarrollará a través de software un sistema que evite el ingreso de usuarios no autorizados, para evitar la manipulación incorrecta del mismo. Posteriormente, se realizará la implementación e integración de hardware y software de la plataforma robótica teleoperada y se analizará su comportamiento.

En este sentido, se realizará un análisis de las ventajas de contar con un sistema teleoperado dentro del proceso de precalentamiento y centrifugación

para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua BS&W del petróleo.

Finalmente, se realizará la evaluación de desempeño del sistema, haciendo un análisis de la latencia de los datos, la relación entre los movimientos reales y el tiempo en el que se observan los mismos en el HMI y un análisis de las ventajas obtenidas al implementar este sistema en la estación robótica formada por el robot ZYMARK.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamientos de sedimentos y agua BS&W del petróleo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer los requerimientos de teleoperación y monitoreo remoto de la estación.
- Desarrollar el software que permita la supervisión, control y monitoreo.
- Realizar el diseño de la interfaz humano máquina HMI para el manejo de la estación de trabajo.
- Seleccionar el dispositivo electrónico de hardware que permita la comunicación dentro de la red local.
- Integrar el nuevo sistema de hardware de comunicación con el sistema de control anteriormente implementado en el robot ZYMARK.
- Integrar la interfaz de supervisión y control con el hardware de comunicación así como con el hardware de control.

- Integrar e implementar el sistema de monitoreo en la interfaz HMI con el sistema de comunicaciones.
- Realizar pruebas de evaluación y desempeño de la estación de trabajo.
- Documentar apropiadamente el proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA Y VIRTUAL

La instrumentación electrónica y virtual, en conjunto tiene como objetivo la observación, medida, adquisición, registro, análisis y procesamiento de fenómenos físicos por medio de transductores, microcontroladores (MCUs o μ Cs) y sistemas informáticos, como se muestra en la Figura 1.

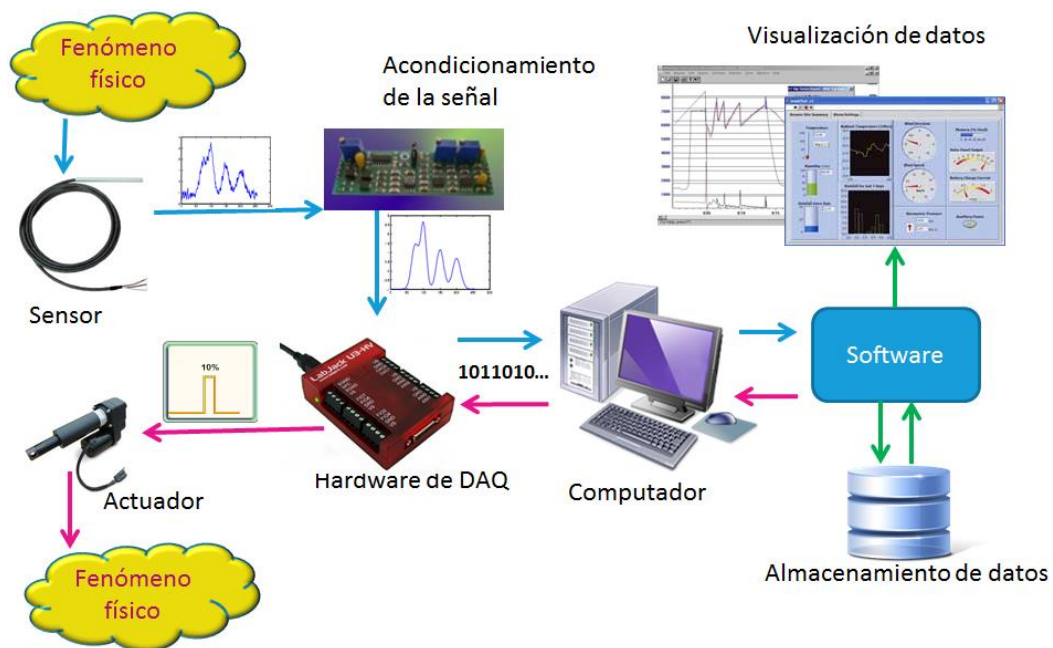


Figura 1 Esquema de funcionamiento de la instrumentación electrónica y virtual

Fuente (ROBALLO, 2011)

2.1.1. Instrumentación Electrónica

La instrumentación electrónica tiene como principal objetivo el procesamiento y análisis de información procedente de variables físicas y químicas, a través de transductores y acondicionadores, para poder establecer las magnitudes de dichas variables.

La mayoría de estas variables son señales del tipo analógico, la instrumentación electrónica toma las señales físicas por medio de un transductor, las acondiciona y las digitaliza para que estas señales puedan ser entendidas por un dispositivo microcontrolado como los MCUs (microcontroladores) o μ Cs (microprocesadores); a todo este proceso también se lo conoce con el nombre de Sistema de Adquisición de Datos, como se indica en la Figura 2.

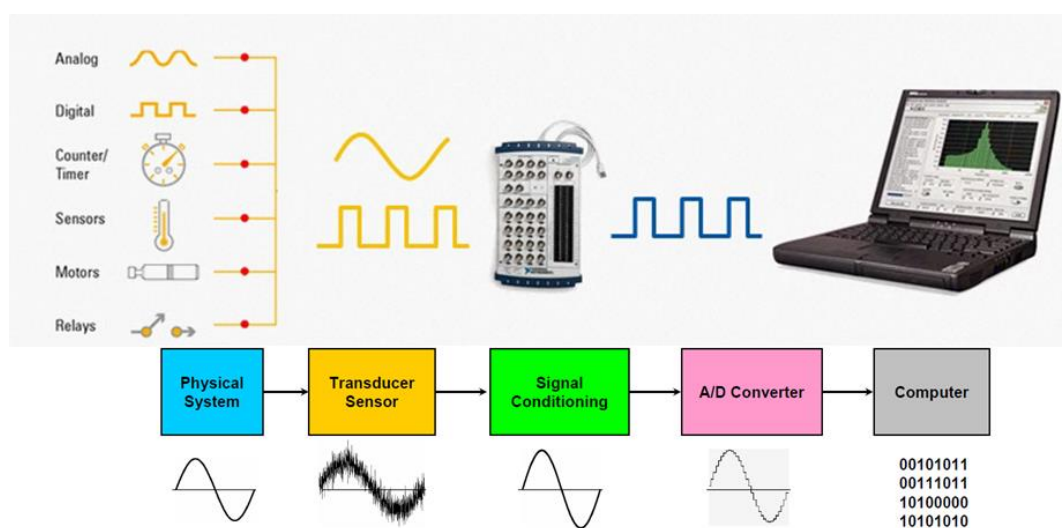


Figura 2 Esquema de un sistema de adquisición de datos

Fuente (ROBALLO, 2011)

2.1.2. Instrumentación Virtual (CHACÓN, 2002)

La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments. En el año de 1983, Truchard y Kodosky, de National Instruments, decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera utilizar un ordenador como un instrumento para realizar mediciones. De esta manera surge el concepto de instrumento virtual (IV), definido como, “un instrumento que no es real, se ejecuta en un ordenador y tiene sus funciones definidas por software.”. A este software le dieron el nombre de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, más conocido por las siglas LabVIEW. A partir del concepto de instrumento virtual, se define la instrumentación virtual como un sistema de medición, análisis y control de señales físicas con un ordenador por medio de instrumentos virtuales.

2.1.2.1. Sistemas NI LabVIEW

LabVIEW es una plataforma de programación gráfica que ayuda a los ingenieros a escalar desde el diseño hasta pruebas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistemas. Así también, ofrece la integración con otros softwares y hardwares de diferentes empresas, al aprovechar las últimas tecnologías de cómputo. De la misma manera, LabVIEW ofrece herramientas para resolver los problemas de hoy en día y la capacidad de innovación, de manera más rápida y más eficiente. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

LabVIEW, es el primer software empleado en diseñar instrumentos en el ordenador, que utiliza una metodología de programación gráfica. A diferencia de los lenguajes de programación tradicionales, este software se ejecuta a velocidades comparables con programas compilados en C. Su código no se realiza mediante secuencias de texto, sino en forma gráfica, similar a un diagrama de flujo, como se muestra en la Figura 3. (CHACÓN, 2002)

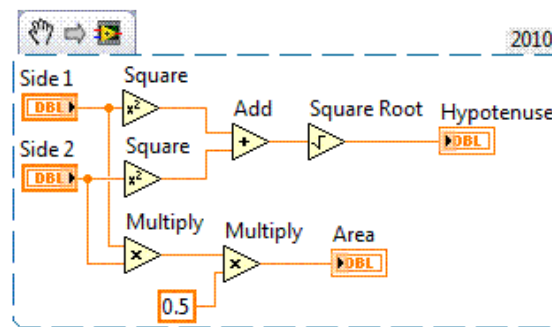


Figura 3 Programación Gráfica

Fuente (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

A diferencia de un instrumento convencional, un IV es altamente flexible y escalable, por lo que puede ser diseñado por el usuario de acuerdo a sus necesidades y funciones, las mismas que pueden ser cambiadas a voluntad modificando de esta manera el programa. (CHACÓN, 2002)

2.2. MANIPULADORES ROBÓTICOS INDUSTRIALES

Un robot industrial según la Organización Internacional de Estándares (ISO) es un "Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas". (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012).

2.2.1. Configuraciones morfológicas básicas de los robots industriales (GONZÁLEZ, 2004)

2.2.1.1. Robot Cartesiano

El Robot Cartesiano es aquel cuyo posicionamiento en el espacio se lleva a cabo mediante articulaciones lineales, como se indica en la Figura 4. Esta configuración se usa bien cuando un espacio de trabajo es grande y debe cubrirse. Un ejemplo de este robot en la industria es el Robot Cartesiano Master usado para paletizar productos envasados en la salida de las líneas de envasado o producción, como se muestra en la Figura 5.

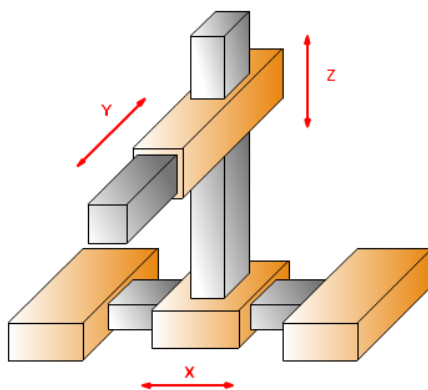


Figura 4 Robot cartesiano

Fuente (BUENO, 2015)

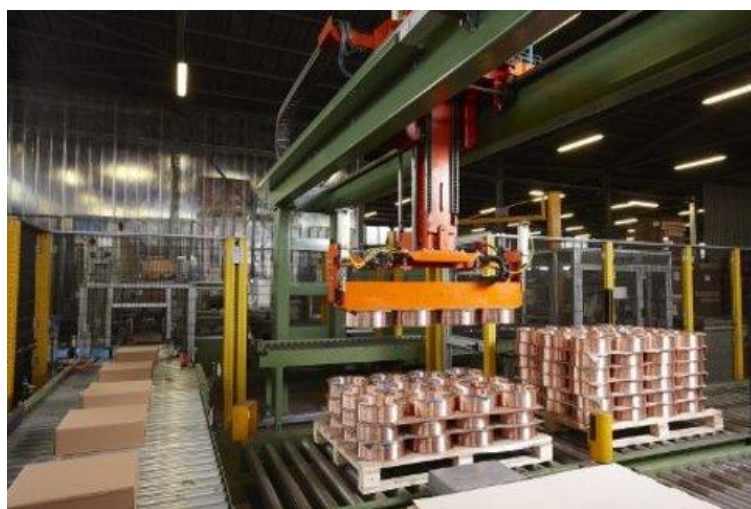


Figura 5 Robot Cartesiano Master

Fuente (EUROPACK, 2012)

2.2.1.2. Robot Cilíndrico

El Robot Cilíndrico cuenta con una articulación rotacional sobre una base y articulaciones lineales para el movimiento en altura y en radio, como se observa en la Figura 6. Este robot satisface bien a los espacios de trabajo redondos. Gracias a su eje rotacional este robot presente una mejor maniobrabilidad y velocidad que el robot cartesiano. Se usa principalmente para el traslado de material punto a punto desde una posición central, o para montaje de piezas, como por ejemplo la estación ZYMARK TPW3 la cual se la utiliza para la fabricación de medicamentos, como se muestra en la Figura 7.

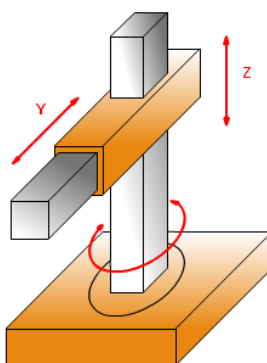


Figura 6 Robot cilíndrico

Fuente (BUENO, 2015)



Figura 7 ZYMARK TPW3 Tablet Processing Workstation

Fuente (SOTAX, 2012)

2.2.1.3. Robot Articulado

El Robot Articulado, es también conocido como Articulado Esférico, este robot usa 3 juntas de rotación para posicionar el robot, como se muestra en la Figura 8. Estos tipos de robots, la mayoría se parecen al brazo humano, con una cintura, el hombro, el codo, la muñeca. Gracias a su configuración y su maniobrabilidad son usados para procesos de soldadura, de montaje, de mecanizado, de pintura entre otras. Como por ejemplo el robot KUKA que es usado en las industrias de ensamblaje, de acuerdo a la Figura 9.

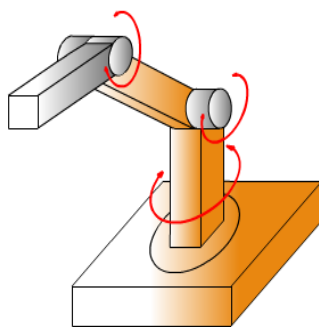


Figura 8 Robot Articulado

Fuente (BUENO, 2015)



Figura 9 Robot Kuka

Fuente (KUKA ROBOTICS, 2015)

2.2.1.4. Robot Paralelo

El Robot Paralelo es también conocido como robot delta, es un tipo de robot de brazos paralelos como se muestra en la Figura 10. El objetivo de robot es manipular objetos pequeños y ligeros a gran velocidad. Como el caso de la industria de alimentos, farmacéutica y clasificación de pequeños objetos, como se muestra en la Figura 11.

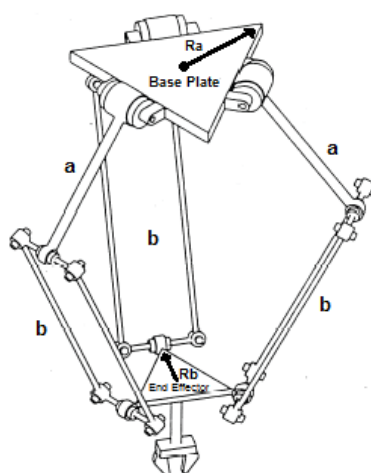


Figura 10 Robot paralelo

Fuente (ELMO MOTION CONTROL, 2015)

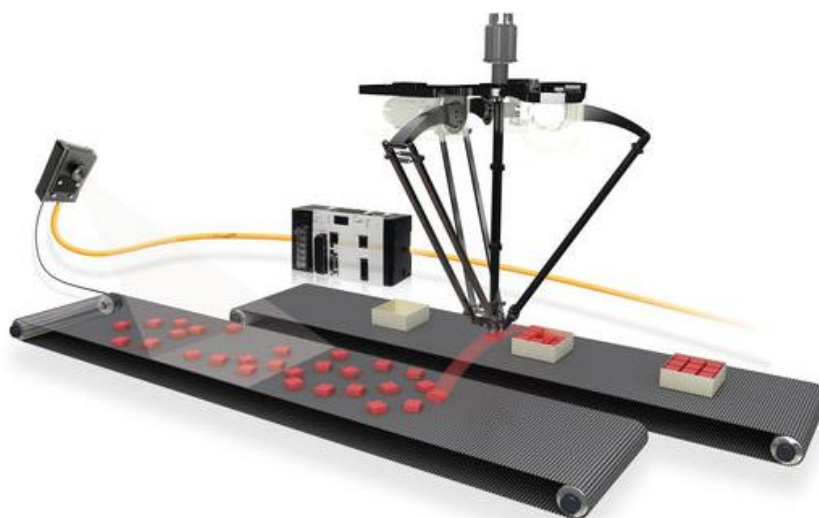


Figura 11 Omron Delta Robot

Fuente (OMRON, 2012)

2.2.1.5. Mixto

El Robot Mixto posee varios tipos de articulaciones, combinaciones de las anteriores, como por ejemplo el SCARA de acuerdo a sus siglas en inglés “Selective Compliant Articulated Robot Arm”. Este robot está conformado por coordenadas cilíndricas, pero el radio y la rotación se obtienen por uno o dos eslabones del planar con las juntas de rotación, como se muestra en la Figura 12. En la industria se los usa para procesos de selección y control de calidad, por su rapidez y precisión, como por ejemplo, la estación Staubli que sirve como clasificador de medicamentos en la industria farmacéutica, conforme a la Figura 13.

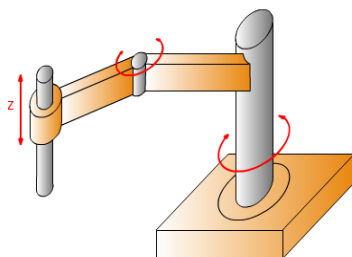


Figura 12 Robot Mixto (SCARA)

Fuente (BUENO, 2015)



Figura 13 Staubli Robot Station

Fuente (STAUBLI ROBOTICS, 2015)

2.3. TELEMÁTICA

La telemática es la disciplina científica que aparece como la fusión entre las telecomunicaciones y la informática; el nombre telemática se genera de la palabra tele que significa lejos, y la palabra informática. (PASCUAL, 2000)

Con lo anteriormente citado se puede decir que la telemática realiza el intercambio de datos y control a distancia, siendo los sistemas telemáticos capaces de procesar y almacenar grandes cantidades de información entre sistemas distantes en tiempo real. (PASCUAL, 2000)

Los sistemas telemáticos son capaces del intercambio, almacenamiento y tratamiento de información como por ejemplo; audio, imágenes, texto, datos, etc. (PASCUAL, 2000)

La telemática usa un conjunto de componentes tanto de software como de hardware que interactúan entre sí como se muestra en la Figura 14, para proveer una determinada funcionalidad por medio del análisis, diseño, implementación, integración y distribución de sistemas y servicios de telecomunicaciones con sistemas informáticos. (Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, 2014).

Los sistemas telemáticos se caracterizan por ser seguros, por tener alta disponibilidad, por ser sistemas flexibles, por ser escalables, y por último y más importante por aumentar la productividad en las empresas, al reducir tiempos y costos de operación.

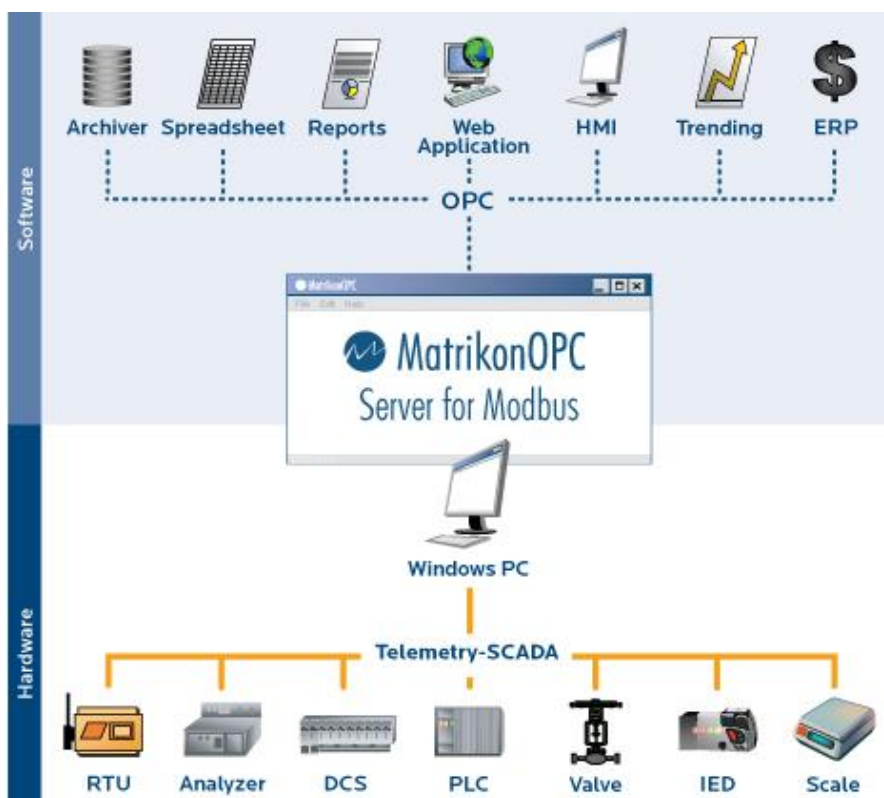


Figura 14 Diagrama de un sistema telemático en la industria

Fuente (MATRIKON OPC, 2015)

2.3.1. Medios de Transmisión en Sistemas Telemáticos

Los medios de transmisión que usa un sistema telemático son prácticamente los mismos medios de transmisión que usa un sistema de telecomunicaciones, y estos son básicamente dos; guiados y no guiados.

Los medios guiados son los que están constituidos por cables, los más utilizados son Par Trenzado, Cable Coaxial, y Fibra Óptica.

Los medios no guiados son los medios que se transmiten a través de ondas electromagnéticas, lo que quiere decir que son inalámbricos, los

medios no guiados más utilizados son; Radiofrecuencias, Microondas e infrarrojos.

La selección del medio de transmisión en un medio telemático se lo realiza de acuerdo al diseño del sistema, el cual incluye velocidad (siendo los medios guiados los más rápidos), capacidad de transmisión, accesibilidad, seguridad, costos entre otros.

2.3.2. Aplicaciones de los sistemas telemáticos (TELEFONICA MOVISTAR, 2015)

En la actualidad el uso de los sistemas telemáticos es muy extenso, como por ejemplo:

- Cajeros remotos y TPVs (Terminal punto de venta).
- Telecontrol de medidores de luz, agua o gas.
- Gestión y localización de vehículos y flotas.
- Sistemas de seguridad: Televigilancia, Alarmas en oficinas y almacenes, carreteras.
- Gestión de riegos y telecontrol de humedad del terreno.
- Control de acceso a recintos y aparcamientos.
- Estaciones meteorológicas.
- Puntos de información móviles.
- Control de la cadena del frío de alimentos transportados.
- Detección y gestión de averías en cadenas de montaje.
- Telecontrol de temperatura en edificios y almacenes.
- Telecontrol de temperatura en edificios y almacenes.

2.3.3. Ventajas (TELEFONICA MOVISTAR, 2015)

Los sistemas telemáticos incrementan la productividad debido a que automatiza los procesos de recogida de datos, la monitorización, la vigilancia, el control remoto de sistemas, entre otros.

Ya que un sistema telemático ofrece una comunicación en tiempo real esto se resume a que mejora los procesos operativos de la empresa, reduce de costes de operación, crea nuevas oportunidades de negocio y mejora el servicio al cliente final.

2.4. SISTEMAS DE MONITOREO

Los Sistema de Monitoreo son sistemas que permiten el monitoreo en tiempo real, son capaces de recibir información de diferentes sensores e instrumentos. Un sistema de monitoreo es capaz mostrar la información en una estación central. Estos sistemas también están en la capacidad de almacenar toda la información obtenida, para generar reportes y estadísticas. (TOLEDO, 2015)

De manera muy general el monitoreo permite controlar o supervisar una acción, para posteriormente detectar anomalías o prevenir situaciones peligrosas. Dentro la industria el monitoreo se lo realiza de manera remota, con diferentes fines, como por ejemplo, prevenir daños en equipos de forma remota, observar actividades donde una persona no puede estar por mucho tiempo, inspeccionar varias actividades al mismo tiempo, diagnosticar fallas en equipos.

Los sistemas de monitoreo en la industria constan de sensores de dispositivos de audio y video, un ordenador central un sistema de adquisición de datos, y una interfaz de comunicación, como se muestra en la Figura 15.

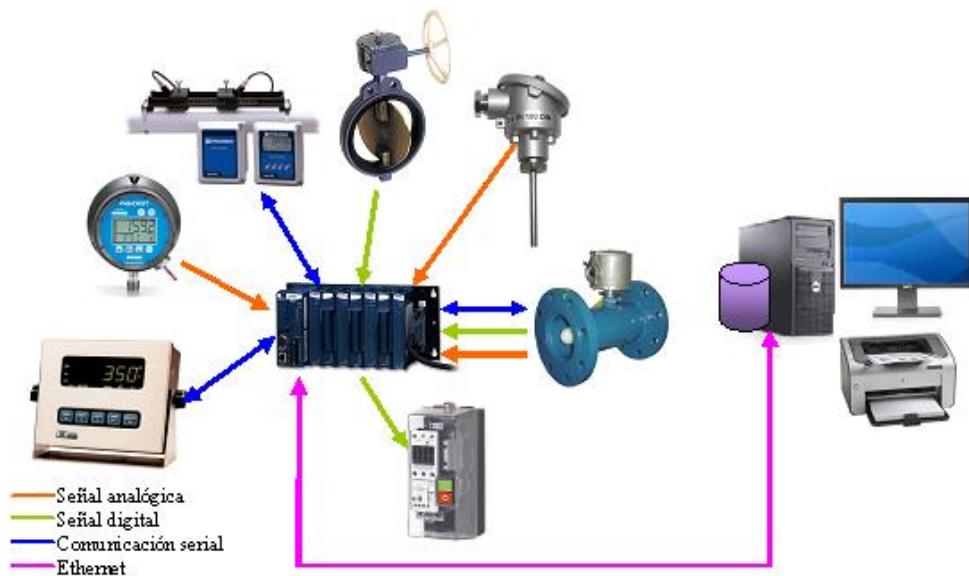


Figura 15 Sistema de Monitoreo en la Industria

Fuente (TOLEDO, 2015)

2.5. MEDICIÓN DEL GRADO BS&W EN EL PETRÓLEO

El petróleo es una sustancia oleosa de color muy oscuro compuesta de hidrógeno y carbono, y se lo llama hidrocarburo (EDUCAR, 2015). Los parámetros más importantes medibles en el petróleo son: Gravedad API, el grado BS&W y Salinidad, estos parámetros son obtenidos en pruebas de laboratorio. El BS&W que por sus siglas en inglés significa la cantidad de asentamiento de sólidos y agua que se encuentran mezclados en el petróleo.

2.5.1. Procedimiento para la Obtención del Grado BS&W (REPSOL - YPF, 1994).

El procedimiento para la obtención de Agua y Sedimentos de según la Norma ASTM D 96-88 es el siguiente:

Llene cada uno de las probetas exactamente en la marca de 50-ml con una muestra tomada directamente desde las tomas de muestreo o de un contenedor en el cual la muestra fue recolectada. Entonces llene cada tubo con solvente exactamente hasta la marca de 100-ml. Tapone fuertemente cada uno de los vasos y agítelos como mínimo unas 10 veces para asegurar que el aceite y el solvente se encuentren uniformemente mezclados.

Coloque los vasos en las copas de los axiales de la centrífuga en sentido opuesto, con el fin de establecer una condición de balance. Reajuste los tapones y proceda a la rotación al menos por unos 5 minutos.

Inmediatamente después que la centrífuga se haya parado, verifique la temperatura. La prueba no será válida en el caso de que la temperatura después de la centrifugación sea menor a 52°C.

Nota: En el caso de que la temperatura se encuentre menor a la recomendada 52°C ajuste el calentador de la centrífuga para aumentar la temperatura final de la prueba y reinicie el procedimiento.

2.5.2. Prueba ASTM D4007 ((ASTM), 2015)

Las pruebas ASTM D4007 es un método específico de centrifugación para Agua y Sedimentos en Crudos dentro del estándar ASTM D96-88. El método ASTM D4007 se basa en someter una muestra a un movimiento rotativo, que induce a la separación de los componentes en virtud de las distintas masas, inducido por la fuerza centrífuga.

Cuando se obliga una masa a desviarse de la trayectoria rectilínea que tiende a seguir, mediante una fuerza en dirección al centro de la curvatura de su trayectoria, dicha fuerza se llama centrípeta, y la reacción, igual y contraria se conoce como fuerza centrífuga; lo que permite que el agua y sedimentos presentes en la muestra se depositen en el fondo del tubo de centrifugación.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE HARDWARE

3.1. REQUERIMIENTOS

Los requerimientos del sistema son básicamente: un ordenador con tarjeta de red, una cámara IP, un switch Ethernet, la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W. Los componentes indicados deben estar dentro de una red de área local o también conocida como LAN (Local Area Network) por sus siglas en inglés. Un esquema general de toda la estación se indica en la Figura 16.

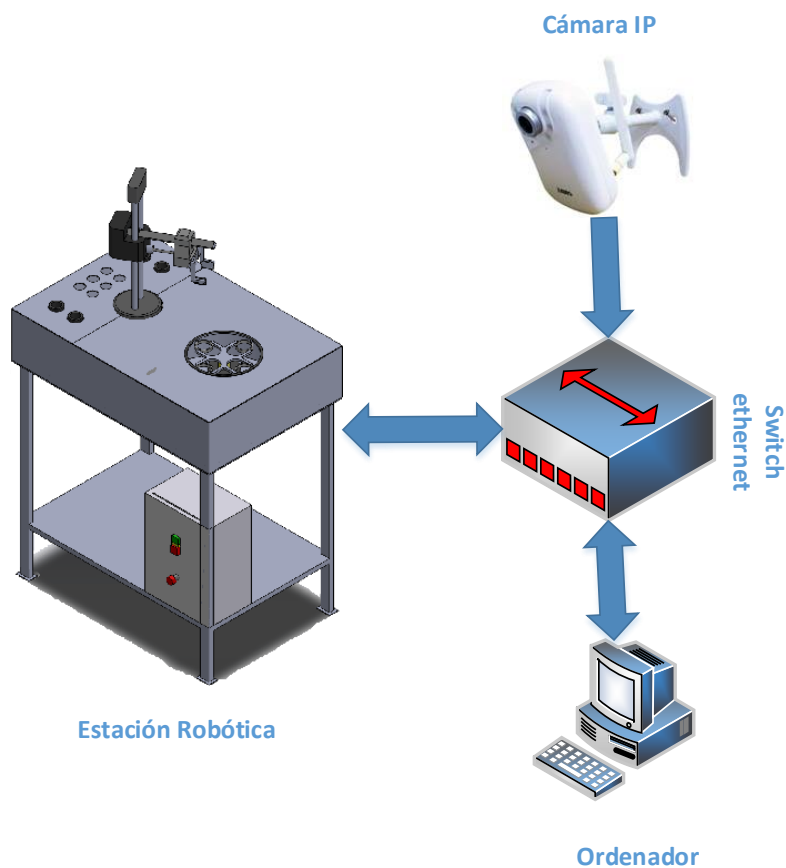


Figura 16 Esquema general del hardware de la aplicación

3.1.1. Diagrama de Bloques

En la Figura 17 se muestra el diagrama de bloques del sistema, en el cual se aprecia con más detalle los requerimientos del sistema. Dentro de este se detalla los sensores, actuadores, periféricos, controladores e interfaces de comunicación de todo el sistema.

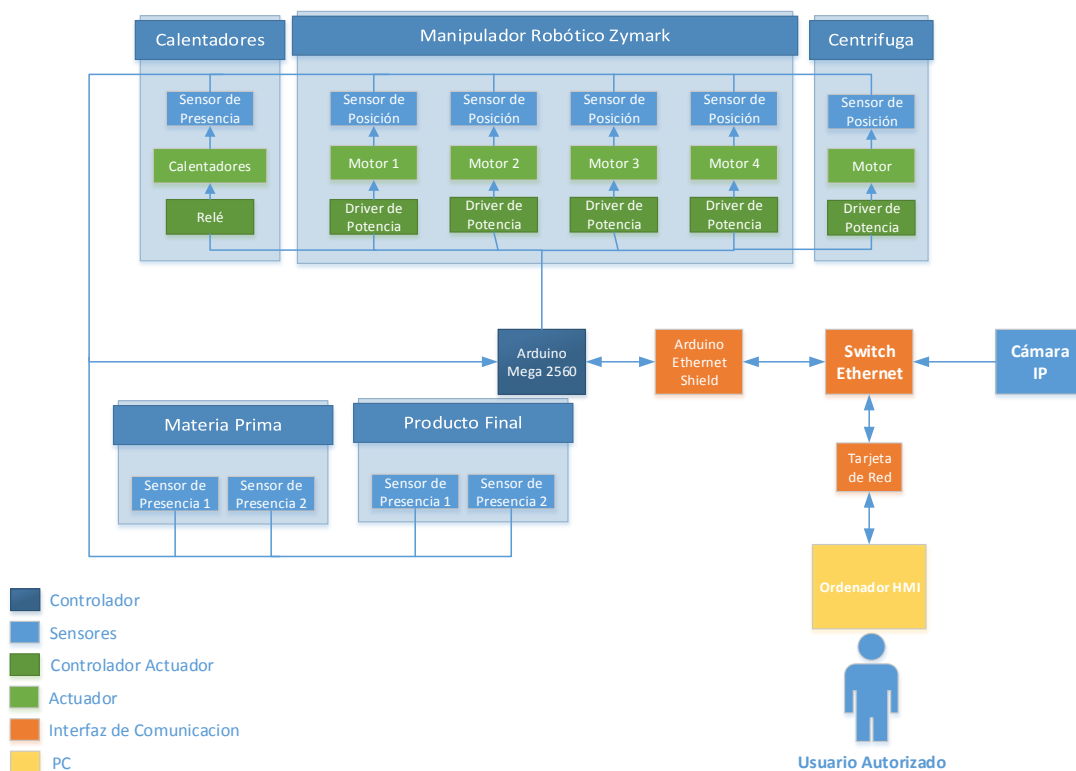


Figura 17 Diagrama de bloques de todo el sistema

Los elementos del sistema son la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W la cual contiene un conjunto de sensores y actuadores conectados a una tarjeta controladora Arduino Mega 2050, la que cuenta con entradas y salidas tanto analógicas como digitales, esta se encarga de controlar y adquirir los datos de toda la estación. Además al sistema se le agrega la interfaz de comunicación por medio de una tarjeta de Ethernet conectada directamente a la tarjeta controladora Arduino Mega 2050.

El ordenador es el segundo elemento principal, que conjuntamente con el sistema operativo, el software de control y una tarjeta de red ethernet hacen posible el manejo de la estación.

La cámara IP es el tercer elemento principal de la estación ya que esta vigilará en tiempo real todo el proceso físico del sistema. La cámara cuenta con un puerto Ethernet para comunicarse con todo el sistema.

El cuarto y último elemento principal del sistema es el Ethernet switch, o controlador de red, el cual sirve para conectar la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W, el ordenador, y la cámara IP todo dentro de una misma red de área local.

3.2. DISEÑO DE HARDWARE

A continuación se describe las características y parámetros de cada dispositivo del sistema.

3.2.1. Estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W (JARAMILLO, 2014)

La estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W es un dispositivo que automatiza el proceso de medición del parámetro BS&W con la integración de un manipulador robótico cilíndrico (ZYMARK). El proceso consistirá en:

1. Verificar si se dispone de probetas en la sección de porta probetas.
2. Trasladar las probetas una a una desde la sección de porta probetas hacia la sección de precalentadores.
3. Realizar la operación de precalentamiento a las probetas ubicadas en los precalentadores.

4. Una vez terminado el proceso de precalentamiento trasladar una a una las probetas desde dicha área hacia la centrífuga
5. Realizar el control de la centrífuga a fin de que la misma se posicione en una posición específica para ubicar cada probeta.
6. Colocar las probetas en la centrífuga.
7. Comenzar el proceso de centrifugación.
8. Tomar las probetas y colocarlas en la sección de entrega.
9. Se volverá a verificar la disponibilidad de probetas en la sección de porta probetas para repetir el proceso.

El proceso de esta manera pretende ser más eficiente y ahorrar tiempos a la vez que se obviaré que un operador este todo el tiempo supervisando la estación de trabajo, en la Figura 18 se ilustra de manera gráfica el proceso.

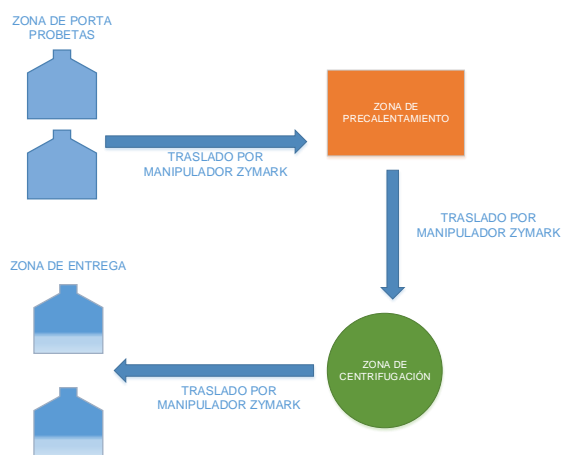


Figura 18 Procesos de medición del grado BS&W.

Fuente (JARAMILLO, 2014)

Las principales parámetros de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W se los resume en la Tabla 1.

Tabla 1**Principales parámetros de estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W**

Nombre del parámetro	Descripción
Tipo de Robot	Cilíndrico
Numero de articulaciones	4 en total, 1 cilíndrica, 2 prismática y 1 gripper
Voltaje de Operación	12 VDC
Controlador	Arduino Mega 2650
Consumo total de la estación	104W
Numero de Sensores	11 en total, 6 de presencia, 5 de posición
Numero de actuadores	13 En total, 4 drives de potencia duales, 5 motores, 1 relé de dual, 1 sirena, 2 calentadores

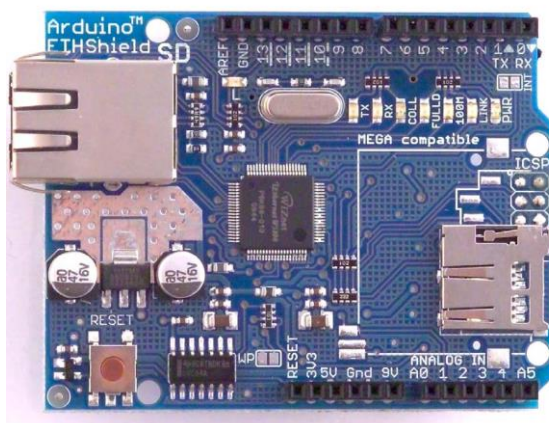
3.2.2. Tarjeta Arduino Ethernet Shield (ARDUINO, 2013)

La tarjeta Arduino Ethernet Shield permite a una placa Arduino conectarse dentro de una red. Esta placa se basa en el integrado de Ethernet Wiznet W5100, el cual permite proveer una dirección IP, capaz de transmitir datos tanto en protocolo UDP como en protocolo TCP.

La tarjeta es capaz de soportar hasta 4 conexiones de socket simultáneamente. Se comunica con la tarjeta Arduino mediante el bus SPI (Serial Peripheral Interfaz) y la conexión se la realiza montándola encima de la tarjeta Arduino Mega 2650, ya que toma la alimentación de esta, en la Tabla 2 se muestran los principales parámetros de la tarjeta Arduino Ethernet Shield, y en la Figura 19 se muestra una imagen referencial de la misma.

Tabla 2**Principales parámetros de la Arduino Ethernet Shield**

Nombre del Parámetro	Descripción
Velocidad de transmisión	10/100Mb
Voltaje de Operación	5V
Tipo de Comunicación con placas Arduino	SPI
Tipo de Conector	RJ-45
Tipo de protocolos soportados	TCP, UDP

**Figura 19 Arduino Ethernet Shield****3.2.3. Ordenador**

El ordenador es la parte de hardware donde va a programar y ejecutar la aplicación HMI, este recibirá y procesará datos para convertirlos en información que puede ser visualizada en la interfaz HMI. El ordenador tiene que cumplir los requisitos que se muestran en la Tabla 3 .

Tabla 3**Requisitos mínimos del ordenador**

Procesador	Pentium 4/M o equivalente
RAM	1 GB
Resolución de Pantalla	1600 x 900 píxeles
Sistema Operativo	Windows 8.1/8/7/Vista Windows XP SP3 Windows Server 2012 R2 Windows Server 2008 R2 Windows Server 2003 R2
Arquitectura del SO	32 bits o 64 bits
Espacio en Disco	5 GB
Tarjeta de red	Alámbrico 10/100 Mbps

Estos requisitos han sido tomados en base al software que se va a ejecutarse en el ordenador (LabVIEW), y en base a los requerimientos de hardware tomados del apartado 3.1 REQUERIMIENTOS.

3.2.4. Cámara IP

La cámara IP es una cámara que emite las imágenes directamente a la red (intranet o internet) sin necesidad de un ordenador, ya que esta trae consigo su propio ordenador para transmitir imágenes. La cámara IP es el elemento que permitirá monitorear la actividad de todo el sistema. Este proceso de monitoreo lo realizara por medio de una dirección IP, la cual estará disponible para el ordenador.

Ya que la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W está instalada en un laboratorio cerrado en con luminosidad artificial, y siempre constante, no será necesario que la cámara soporte el modo nocturno (para ver imágenes con poca luminosidad).

Las especificaciones de la cámara se muestran en la Tabla 4 y un ejemplo del mismo se indica en la Figura 20.

Tabla 4

Requisitos de la Cámara IP

Resolución	640 x 480
Imágenes por segundo	30 cuadros por segundo
Formato de Video	MPEG-4
Protocolo de Transmisión	UDP
Voltaje de Operación	12 VDC
Tipo de Conector	RJ-45
Color	Si
Luz adicional	No

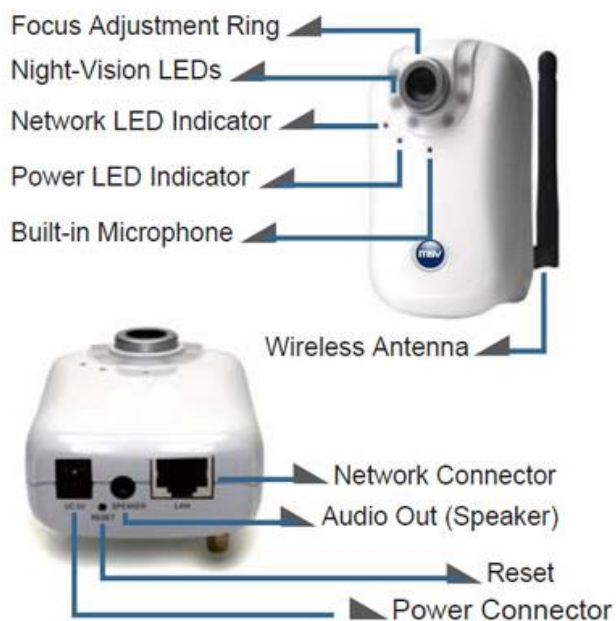


Figura 20 Cámara IP

Fuente (ZAVIO, 2015)

3.3. PLANOS Y ESPECIFICACIONES

En este apartado se detallará los dispositivos utilizados, las conexiones entre cada dispositivo, además se especificará el tipo de comunicación que utiliza cada dispositivo. Las diferentes señales que se han utilizado se detallan en la Tabla 5, y en cada plano estará detallado cada conexión, y en cada línea de conexión se especificará el tipo de comunicación que usa, o el tipo de señal a implementar.

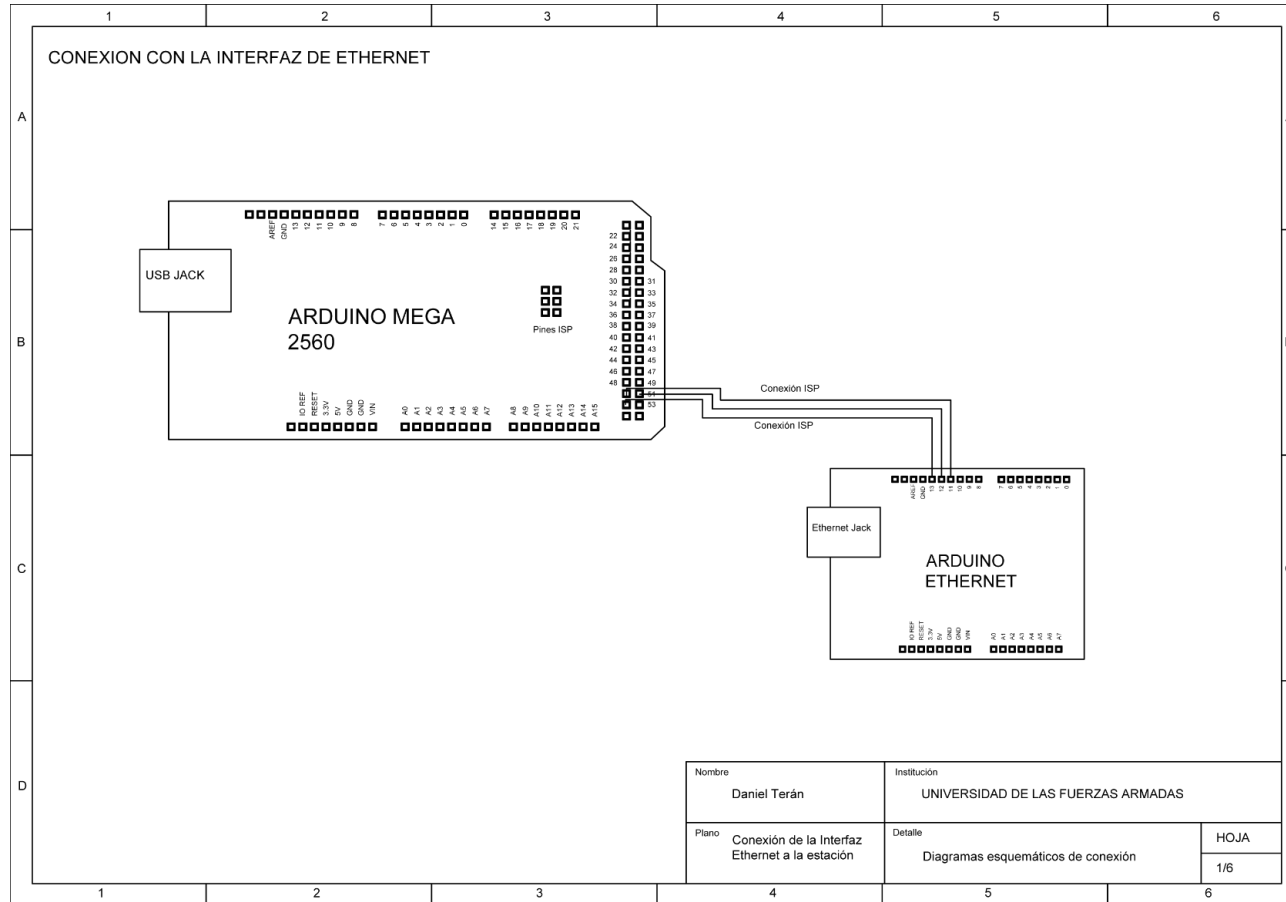
Tabla 5

Tipos de señales utilizadas

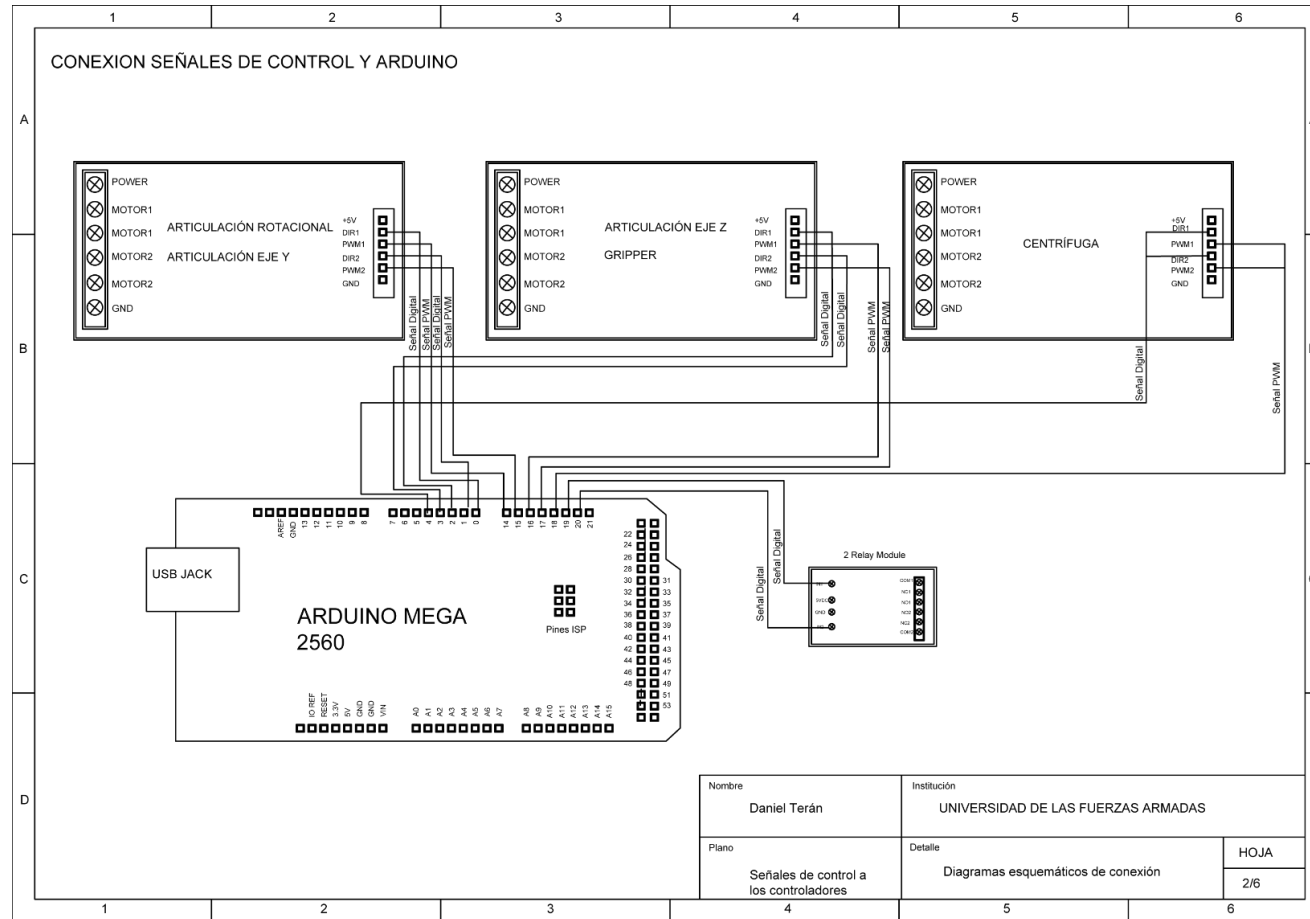
Tipo de Señal	Descripción de la señal
Digital	Es una entrada o salida lógica 0 o 1.
Analógica	Es una entrada o salida de que varía entre 0 V y 5 V.
PWM	Es una señal que varía por modulación de ancho de pulsos.
ISP	Es una señal serial con la se comunican los dispositivos electrónicos.
UDP/IP	Es un protocolo de transmisión de información que se transmite en una red IP

A continuación se muestra los planos y especificaciones de las conexiones tales como la conexión de interfaz Ethernet, conexión de sensores, conexión de controladores, conexión de actuadores, conexiones de alimentación de poder, y por último la conexión de la red de área local entre los controladores del sistema.

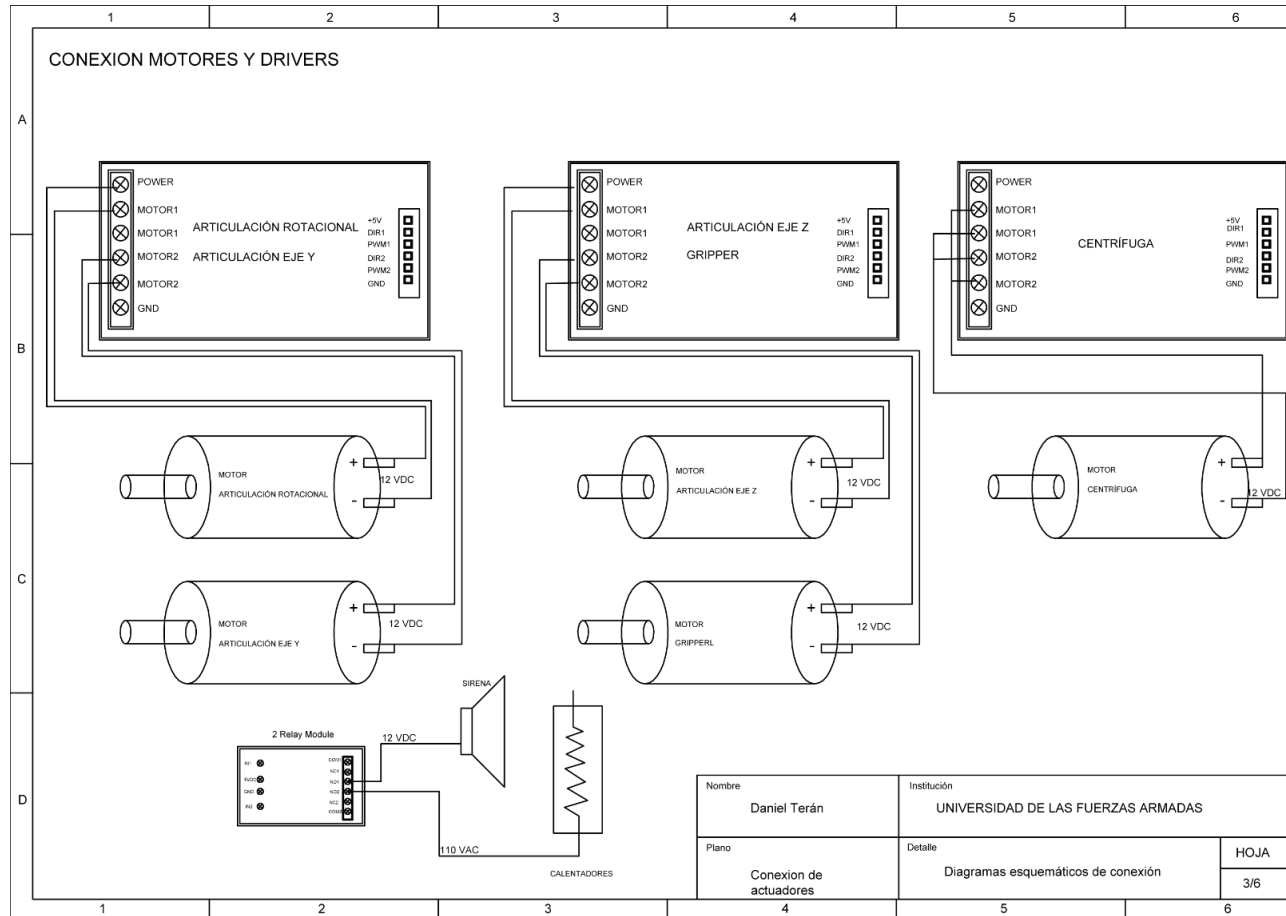
3.3.1. Conexión de la interfaz Ethernet a la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W



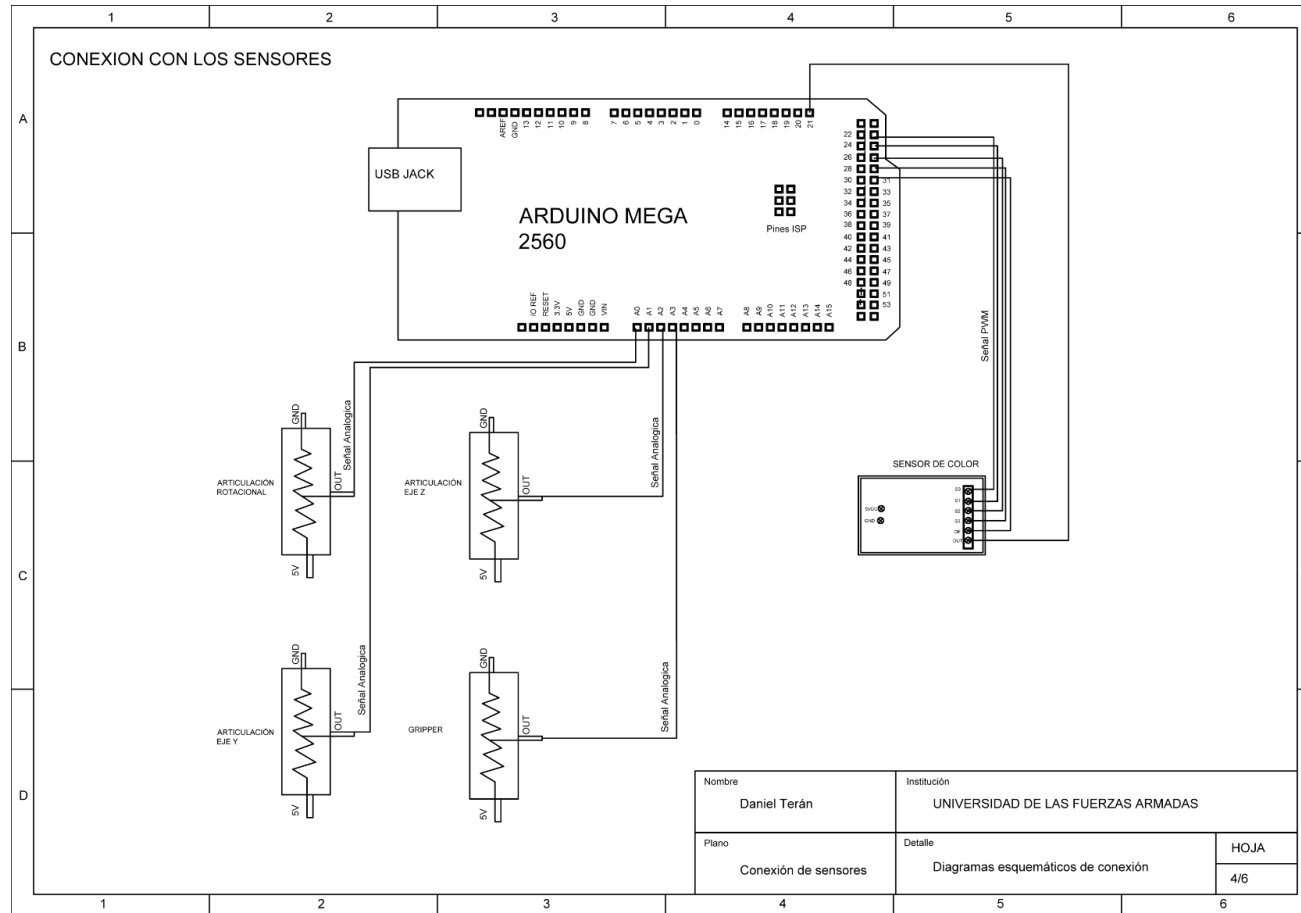
3.3.2. Conexiones de los sensores de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W



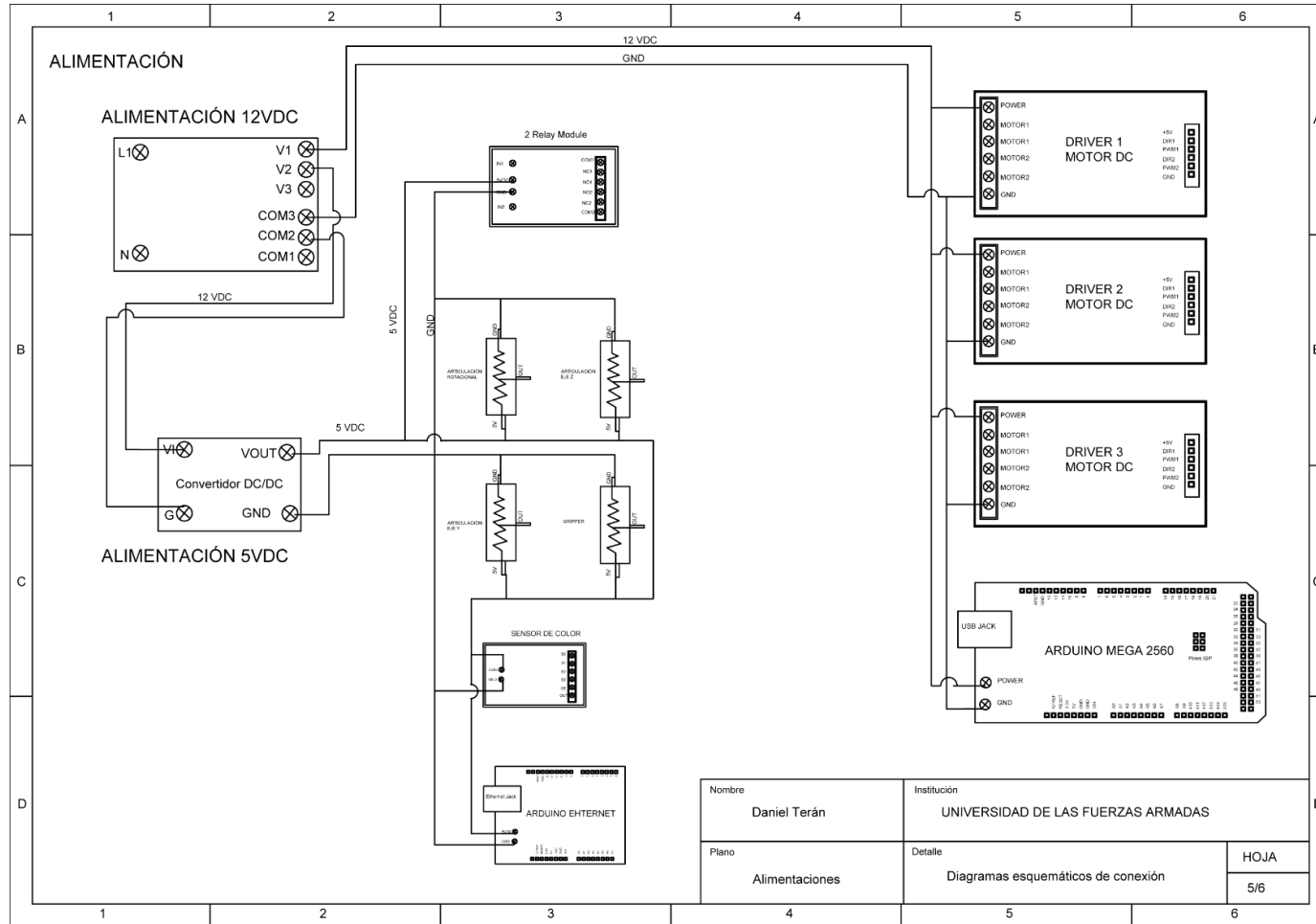
3.3.3. Conexiones a los controladores de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W



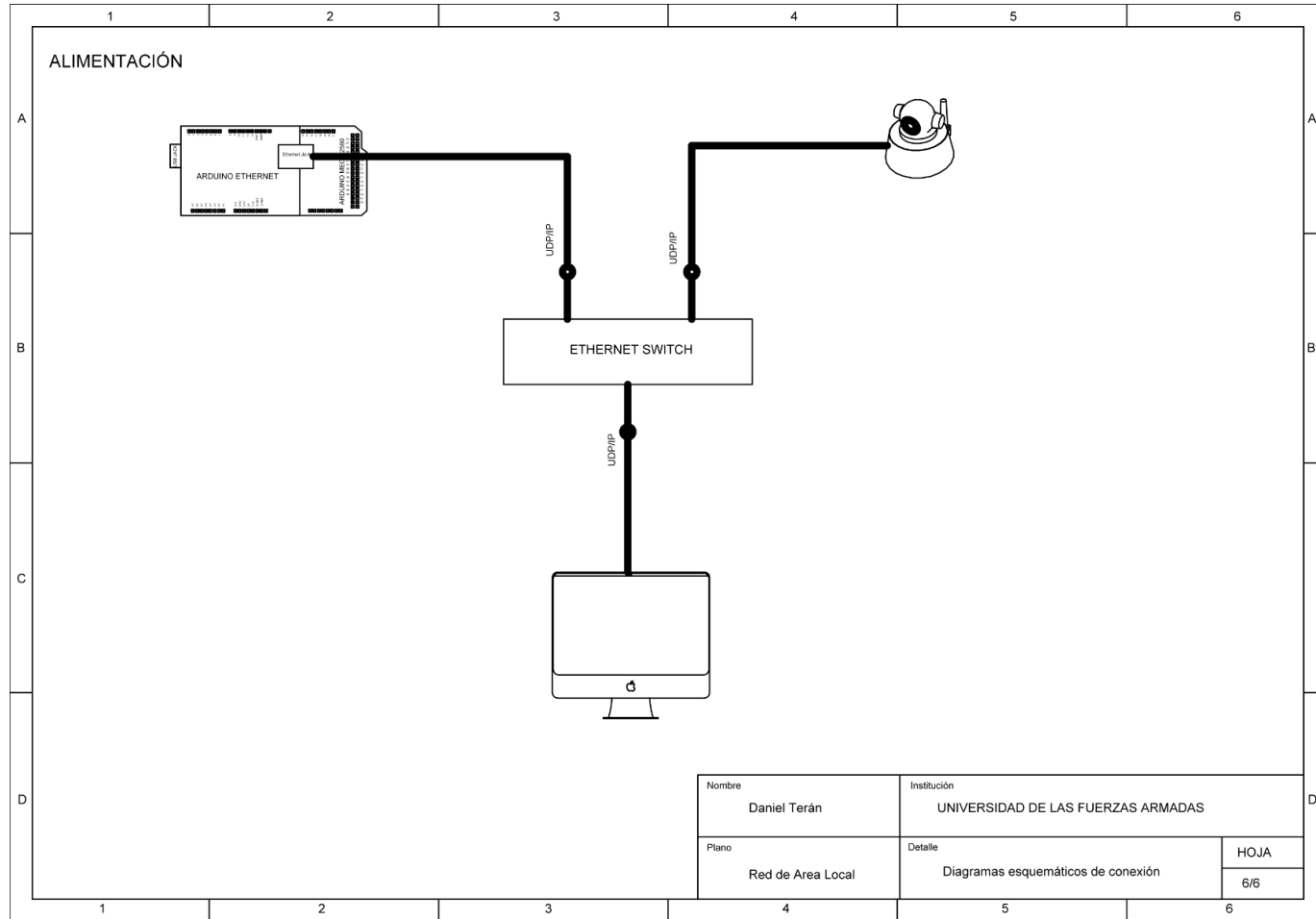
3.3.4. Conexiones a los actuadores de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W



3.3.5. Conexión de poder a la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W



3.3.6. Conexión de la red de área local



CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE SOFTWARE

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A REALIZAR EN LA ESTACIÓN

Todo el sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo cuenta con tres modos de operación manual, semiautomático y automático, los cuales se detallará en la sección 4.1.1 Modos de Operación. Adicionalmente los modos semiautomático y automático cuentan con cuatro subproceso los mismos que se detalla en la sección 4.1.2 Subprocesos.

4.1.1. Modos de Operación

4.1.1.1. Manual

Dentro del modo manual, el usuario tendrá la capacidad de poder manipular todas los actuadores de la estación remotamente, así mismo también tendrá la capacidad de poder observar las variables de los sensores. Una de las características más importantes es que el usuario estará en la capacidad de cambiar los parámetros de la estación como por ejemplo: cambiar la dirección IP y puerto de la estación, cambiar o calibrar las velocidades de los motores.

4.1.1.2. Semiautomático

El modo semiautomático permite al usuario repetir las veces que sean necesarias un subproceso, los cuales se detallan en la sección 4.1.2 Subprocesos. También el usuario tiene acceso a cambiar los parámetros de

cada subproceso como por ejemplo, tiempos de duración, velocidad y seleccionar una o ambas probetas.

4.1.1.3. Automático

Dentro del modo automático el usuario solo tendrá acceso a iniciar o detener todo un proceso, y a supervisar el estado del proceso, ya que este modo no permite la modificación de ningún parámetro. Este modo ejecuta en orden todos los subprocesos detallados en la sección 4.1.2 Subprocesos.

4.1.2. Subprocesos

4.1.2.1. Pre calentamiento

En este proceso, la estación verifica la existencia de probetas, en la zona de material de prima de la estación, una vez comprobada la existencia de ambas probetas, las traslada a la zona de pre calentamiento, donde se encuentra los calentadores, los cuales calentaran las probetas por un tiempo de 5 minutos. Todo el subproceso se observa en la Figura 21.

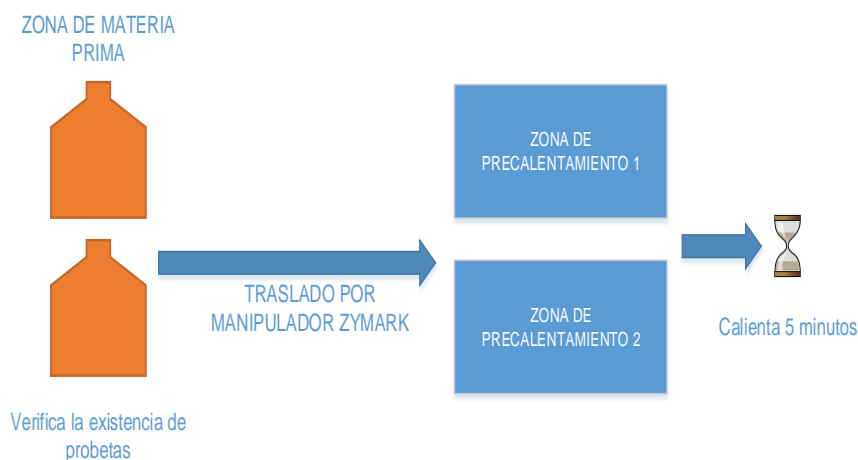


Figura 21 Subproceso de Pre calentamiento

4.1.2.2. Trasladar a la centrífuga

En este proceso, una vez que las probetas han sido calentadas, la estación posiciona la centrífuga en posición para recibir la primera probeta. Una vez que posiciona la centrífuga, el manipulador toma la primera probeta y la transporta hacia la centrífuga, después la estación vuelve a posicionar la centrífuga esta vez para recibir a la segunda probeta, y procederá a transportar la segunda probeta por medio del manipulador. Todo el subproceso se observa en la Figura 22.

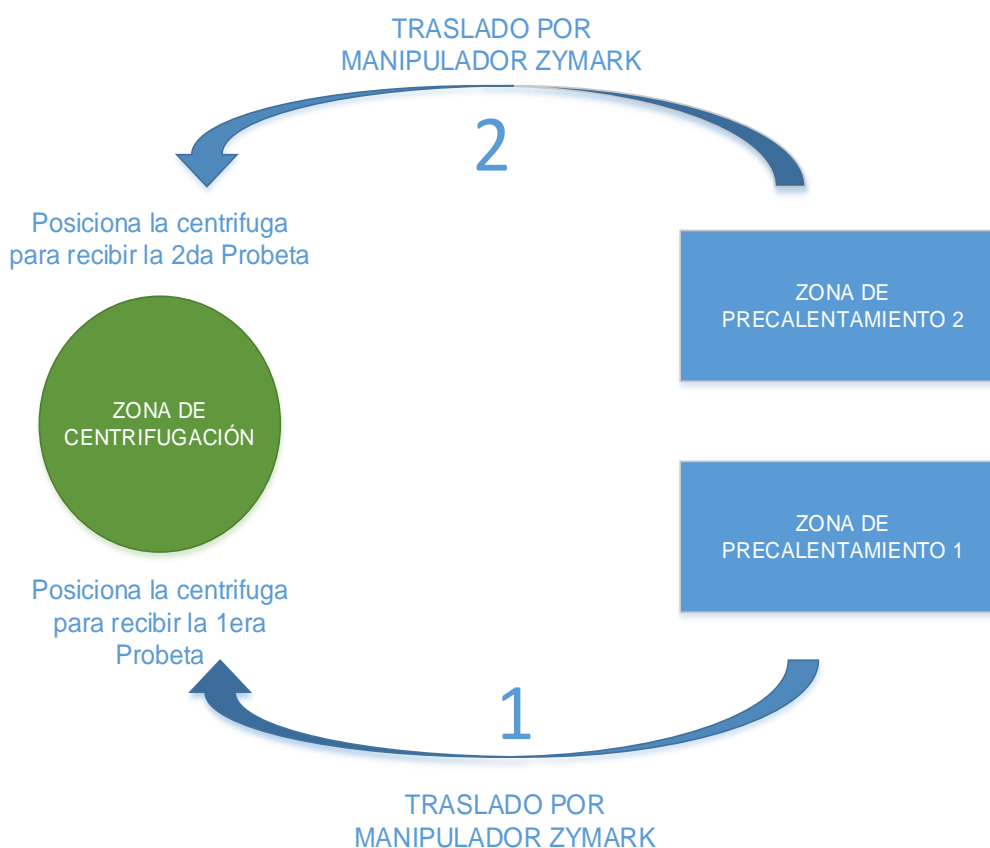


Figura 22 Subproceso trasladar a la centrífuga

4.1.2.3. Centrifugar

En este proceso la estación prende la centrifuga con una velocidad baja para evitar romper las probetas, y en cada segundo va aumentando la velocidad hasta alcanzar la velocidad máxima, se mantiene en velocidad máxima por 5 minutos, y después va reduciendo la centrifuga, hasta que estas queda totalmente inmovilizada. Todo el subproceso se indica en la Figura 23.

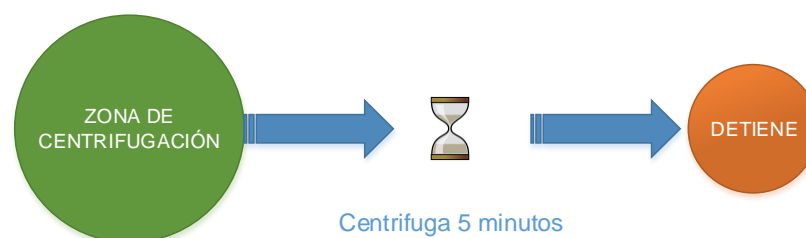


Figura 23 Subproceso centrifugar

4.1.2.4. Despachar

En este proceso, una vez que las probetas han sido centrifugadas, la estación posiciona la centrifuga en posición para que el manipulador pueda tomar la primera probeta. Una vez que se posiciona la centrifuga el manipulador toma la primera probeta y la transporta hacia la zona de despacho a una posición que se encuentre disponible, después la estación vuelve a posicionar la centrifuga esta vez para que el manipulador pueda tomar la segunda probeta, y procederá a transportar la segunda probeta hacia la zona de despacho en una posición que se encuentre disponible. Todo el subproceso se observa en la Figura 24.

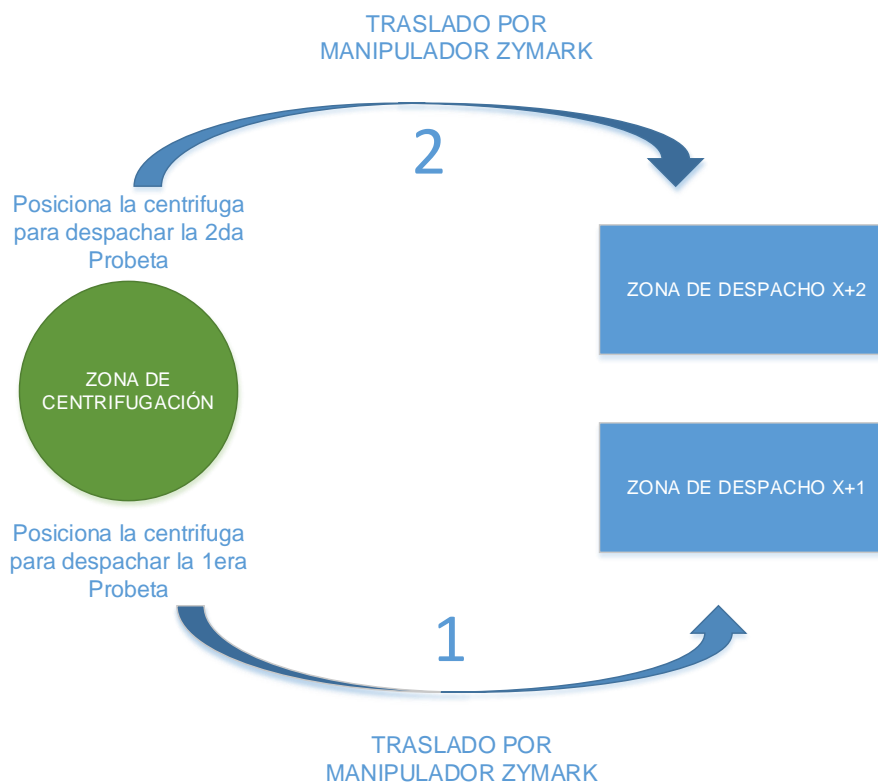


Figura 24 Subproceso despachar

4.2. DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI

La metodología de diseño se basa en la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión más conocida por sus siglas como GEDIS, basado en niveles donde se van concretando los diseños de los distintos tipos de pantalla y contenido, el esquema general de la metodología del desarrollo de la interfaz se indica en la Figura 25. (PERE, 2012)



Figura 25 Esquema general de la metodología del desarrollo de la interface

4.2.1. Arquitectura y Navegación. (PERE, 2012)

Para la realización de la arquitectura del HMI, se siguieron las siguientes normas GEDIS:

- La arquitectura en forma de mapa debe reflejar la organización de la planta.
- La arquitectura jerárquica basada en planta, área, subárea, equipo es la más recomendable.
- Es mejor definir arquitecturas anchas que profundas para que el operador pueda acceder más rápidamente la información requerida.
- Se recomienda también que el número de capas de la jerarquía no exceda de cuatro niveles.

Cumpliendo estas normas la arquitectura consta de 3 niveles jerárquicos, los cuales se encuentran relacionados entre sí, tal como se muestra en la Figura 26.

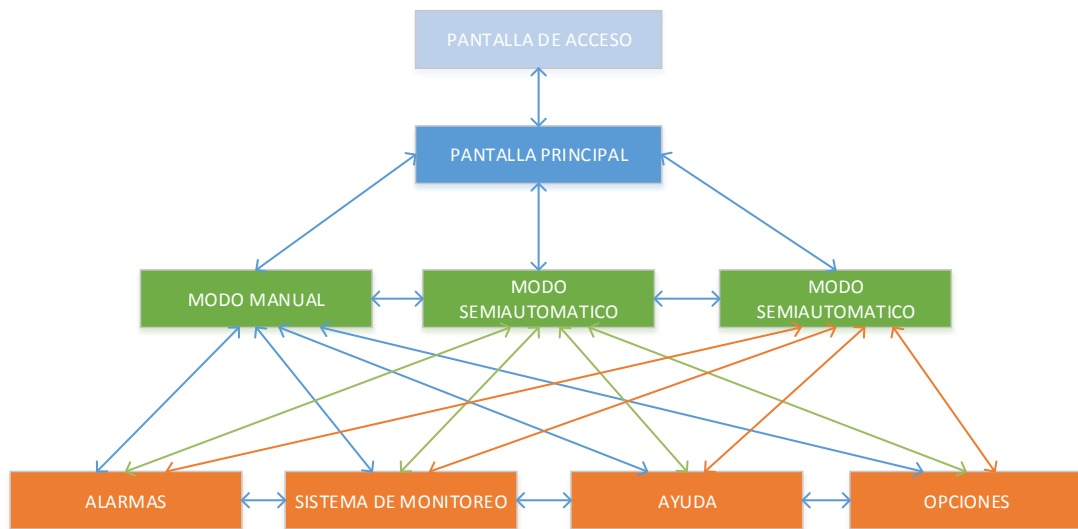


Figura 26 Arquitectura y Navegación entre pantallas del HMI

4.2.2. Distribución de Pantallas.

Haciendo referencia a la guía GEDIS, uno de los pasos importantes en el diseño de la Interfaz Hombre Máquina es definir todos los tipos de pantallas que serán utilizadas para el control y supervisión del sistema, así mismo se debe desarrollar las plantillas para cada una de ellas, donde se debe tomar en consideración los siguientes conceptos:

- Ubicación del título de la pantalla, hora, fecha y logotipo de la empresa.
- Ubicación del menú del sistema.
- Ubicación de las alarmas del proceso.
- Ubicación del mímico del área o subárea.
- Ubicación de funciones genéricas, tales como confirmación de alarmas.

Con todo esto, se tiene la estructura básica de cualquier pantalla, la que puede ser observada en la Figura 27, a la que se incluye adicionalmente una modificación; que desde cualquier pantalla se puede ver y monitorear el estado de las alarmas, y también teniendo acceso al paro de emergencia, ambas consideraciones son tomadas para aumentar los niveles de seguridad.

En base a los conceptos anteriormente detallados a lado izquierdo de la pantalla se han ubicado los botones de acceso a los diferentes submenús del sistema.

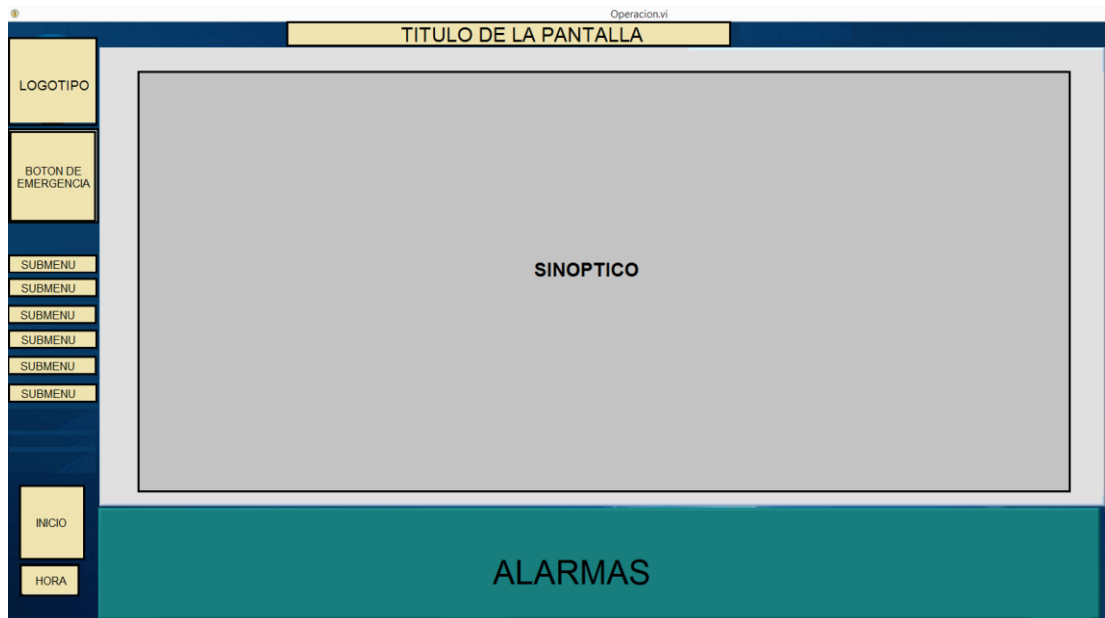


Figura 27 Estructura básica de cualquier pantalla.

4.2.2.1. Pantalla de acceso

Es la primera pantalla que aparece cuando el usuario ingrese al HMI. En ella se presenta una imagen del sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo, así mismo es la pantalla que permitirá tener acceso a la manipulación de todo el sistema, para esto esta pantalla muestra el ingreso usuario y la contraseña, cuando estos campos son ingresados satisfactoriamente, esta pantalla permitirá el acceso al resto de pantallas.

A través de esta pantalla se tendrá acceso al manual de usuario en el cual se incluye una presentación de la estación y un manual de manejo de toda la estación. En base a lo mencionado y en relación a la funcionalidad que posee, en la Figura 28 se observa el diseño que posee esta pantalla.

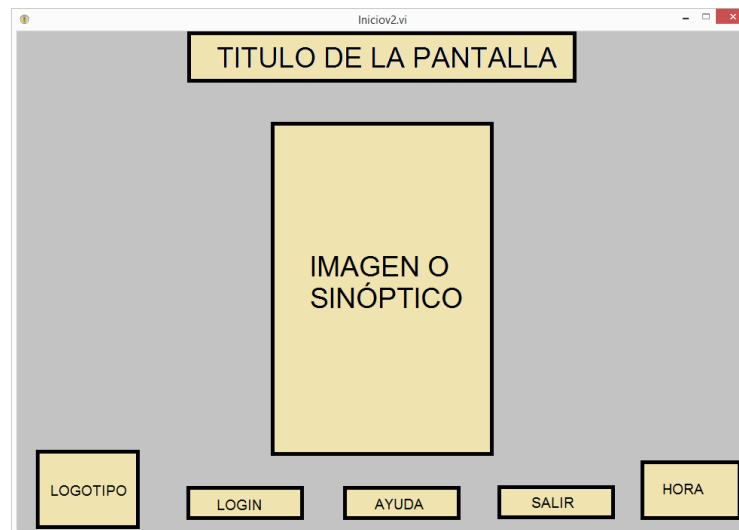


Figura 28 Diseño de la pantalla de acceso

4.2.2.2. Pantalla de modo manual

En esta pantalla se muestran los controles para manejar la estación de forma manual como se detalla en la sección 4.1.1.1 Manual, además en esta pantalla se incluye el sistema de monitoreo del sistema, donde se observa todo el sistema en tiempo real, y como en las demás pantallas se tiene vista directa a todas las alarmas. Su distribución se puede observar en la Figura 29.

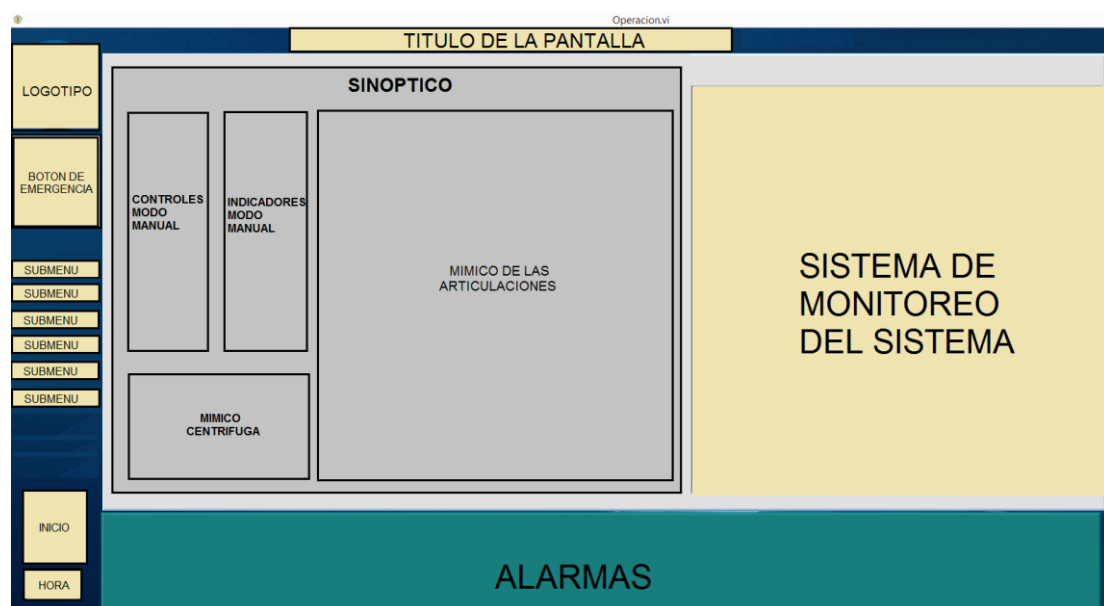


Figura 29 Diseño de la pantalla de modo manual

4.2.2.3. Pantalla de modo semiautomático

El diseño de esta pantalla contempla los 4 subprocesos que se detallan en la sección 4.1.2 Subprocesos. También se observa todo el sistema de monitoreo que permite ver el proceso en tiempo real, y como en las demás pantallas se tiene vista directa a todas las alarmas, la Figura 30 es la representación de la plantilla correspondiente a esta ventana. Como se puede observar también cumple con las consideraciones básicas de la guía GEDIS.

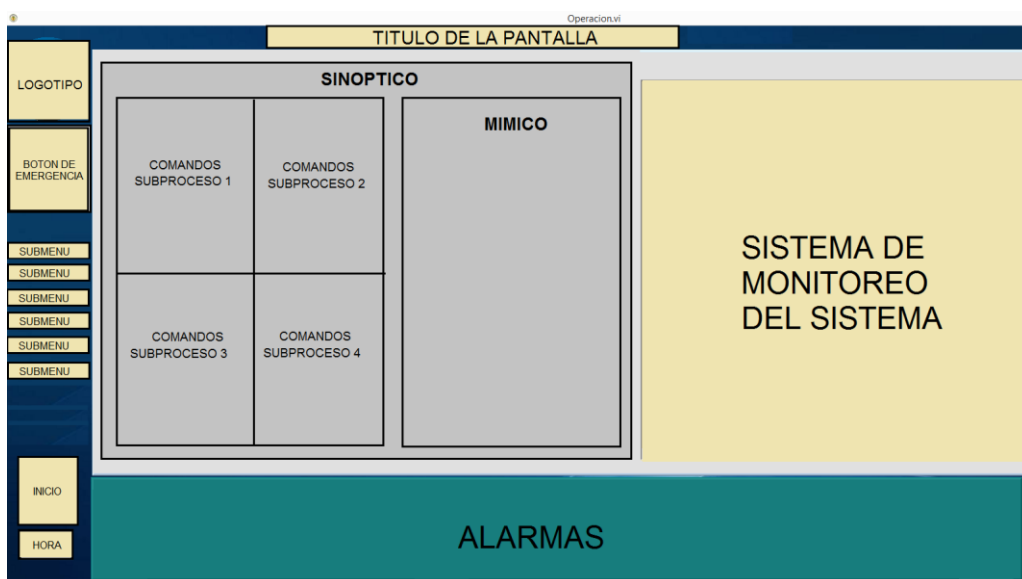


Figura 30 Diseño de la pantalla de modo semiautomático

4.2.2.4. Pantalla de modo automático

Esta pantalla es utilizada para monitorear a la estación en su modo automático, para ello se necesita un panel de control para inicio y paro del proceso, así mismo como indicadores visuales de cada proceso, además del sistema de monitoreo del sistema, Todo esto conjuntamente con los principios de la guía GEDIS, como se puede observar en la Figura 31.



Figura 31 Diseño de la pantalla de modo automático

4.2.2.5. Pantalla de ayuda

La pantalla de ayuda es la encargada de brindar información relevante en relación al proceso. Para su diseño se tomó en cuenta la estructura común del resto de pantallas, donde en el lado izquierdo es necesario un menú de navegación y la información de ayuda es desplegada en lado derecho de la pantalla. En esta pantalla se da una presentación general de lo que es todo el sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo, así mismo se presenta un manual de usuario donde se encontrara información de la operación de toda la estación. La plantilla de esta ventana se la observa en la Figura 32.

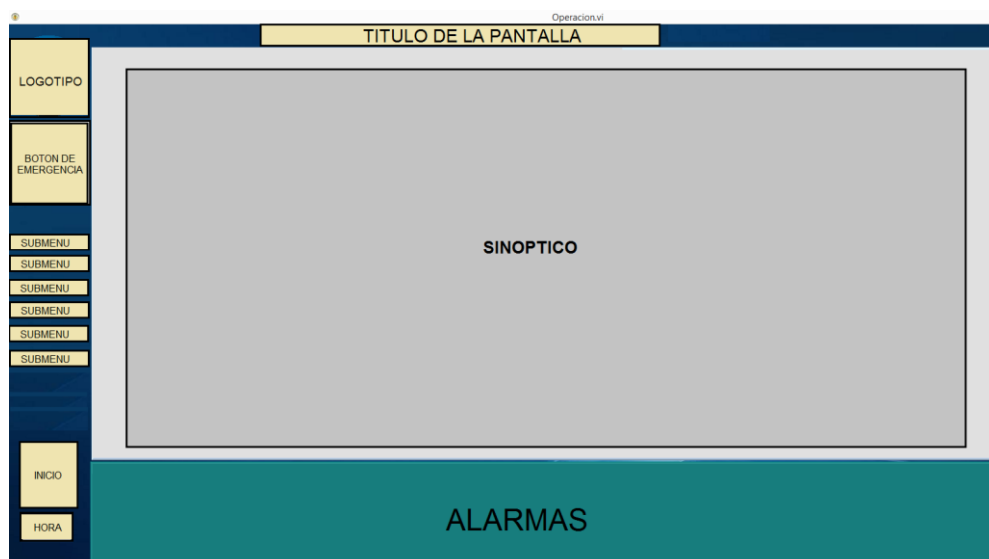


Figura 32 Diseño de la pantalla de ayuda

4.2.2.6. Pantalla de opciones

En esta pantalla se tiene la capacidad de visualizar toda la mensajería entre la aplicación y la estación para verificar que las tramas que llegan desde la estación sean las correctas, otra de las configuraciones es el cambio de la dirección IP y puerto de la estación remota. Y una de las funciones más importantes de esta pantalla es la calibración de las velocidades de cada una de las articulaciones, en caso de ser necesario, para este caso se han dispuesto indicadores visuales para saber si el cambio fue realizado exitosamente.

Al igual que en las demás pantallas, esta pantalla permite la visualización de todas las alarmas del sistema, y el menú de navegación, en la Figura 33 se muestra la plantilla de esta ventana.



Figura 33 Diseño de la pantalla de opciones

4.2.3. Color y texto. (PERE, 2012)

En base a la guía GEDIS, “el uso del color es uno de los elementos más importantes en el diseño de una interfaz, ya que su uso apropiado garantiza el confort del operador y permite un correcto control y visualización del proceso”. Por ello se han tomado las siguientes consideraciones:

- Limitar el número de colores a cuatro para principiantes y no utilizar más de siete colores para los expertos en una pantalla y asegurarse que estos sean perfectamente diferenciables entre ellos.
- Cuando se combinen colores se debe maximizar el contraste entre ellos.
- No utilizar combinaciones con contrastes incompatibles como Rojo-Azul, Rojo-Verde, Azul-Amarillo, Amarillo-Blanco, Verde-Azul.
- Para que el color sea visible, se debe usar en objetos de buen tamaño.
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas grandes de la pantalla.

- No usar blanco y negro para el fondo de pantalla ya que dan mucho resplandor.
- Los colores de fondo deben ser contrastantes con los demás elementos.

Considerando lo que indica la guía GEDIS se han seleccionado los siguientes colores, para los colores de fondo de pantallas se muestran en la Tabla 6, y para los colores de indicadores se los indica en la Tabla 7.

Tabla 6

Colores para fondos de pantalla


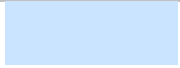



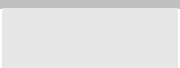

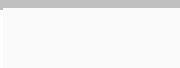




Descripción	Color	Numero de Color (RGB)		
		Rojo	Verde	Azul
Fondo general		7	51	106
Fondo submenú		202	227	254
Fondo mímico		150	155	177
Fondo alarmas		25	125	125
Fondo botón navegación		179	179	179
Fondo botón operación		231	231	231
Fondo de indicadores		210	210	210
Fondo de caja de texto		250	250	250

Tabla 7

Colores para los indicadores

Descripción	Color	Numero de Color (RGB)		
		Rojo	Verde	Azul
Indicador de operación activada		72	207	45
Indicador de operación desactivada		45	123	0
Alarma activa		255	0	0
Alarma desactivada		127	127	127

4.2.4. Información textual (PERE, 2012)

Dentro de toda interfaz Humano-Máquina es necesario el uso de texto con el fin de informar al operador del estado del proceso o la función de un botón o link dentro de la pantalla, sin embargo como estipula la guía GEDIS, el uso del texto debe seguir ciertas consideraciones para su correcta utilización y son las siguientes:

- No se deben utilizar más de tres tipos fuentes en la interfaz.
- No usar más de tres tamaños de la misma fuente.
- El tamaño de la fuente debe ser tal que se pueda leer a distancia por el operador, generalmente mayor a 8.
- No usar letras mayúsculas en todas las letras del texto, procurar combinarlas con las minúsculas.
- No utilizar énfasis en el texto (subrayado, itálico, sombreado) salvo en casos especiales.
- El color del texto debe contrastar con el fondo de la pantalla y debe respetar el código de colores previamente definido.

- Cuando se usa color en el texto se debe usar en toda la palabra y no solo en ciertos caracteres.
- Alinear el texto en pantalla y utilizar el mínimo posible de alineamientos verticales.
- El punto decimal siempre debe ir alineado.
- Espaciar el texto tanto horizontal como verticalmente y así evitar aglutinamientos.

En base a lo anteriormente detallado se garantiza que el texto colocado en la pantalla será apropiado para su fin, no distraerá al operador y no aglomerará de información la pantalla para esto se ha elegido los siguientes tipos de letras, las cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Estilo de letra

Descripción	Tipo de Letra	Tamaño	Color
Título de pantalla	Berlín Sans FB Demi	36	Blanco
Título de alarma	Berlín Sans FB Demi	38	Blanco
Instrucción de operación	Berlín Sans FB Demi	15	Negro
Nombre de alarma	Berlín Sans FB Demi	18	Blanco
Subtítulos	Berlín Sans FB Demi	18	Negro
Indicadores	Berlín Sans FB Demi	15	Negro
Cajas de texto	Berlín Sans FB Demi	15	Negro
Hora y fecha	Berlín Sans FB Demi	18	Negro
Nombre de botón navegación	Arial Bold	14	Negro
Nombre de botón de menú anterior	Arial Bold	14	Rojo

4.2.5. Información gráfica

Para que la información que se presenta en la interfaz HMI sea interpretada de una mejor manera, se han dispuesto varias imágenes, las cuales representan de mejor manera el proceso. Las imágenes relacionadas con inicio y fin del proceso, alarmas y parada de emergencia han sido tomados del módulo Datalogging and Supervisory Control (DSC) de LabVIEW el cual

ayuda de manera interactiva a crear sistemas de monitoreo y control. En la Figura 34 se muestra un ejemplo las diferentes imágenes del módulo DSC de LabVIEW.

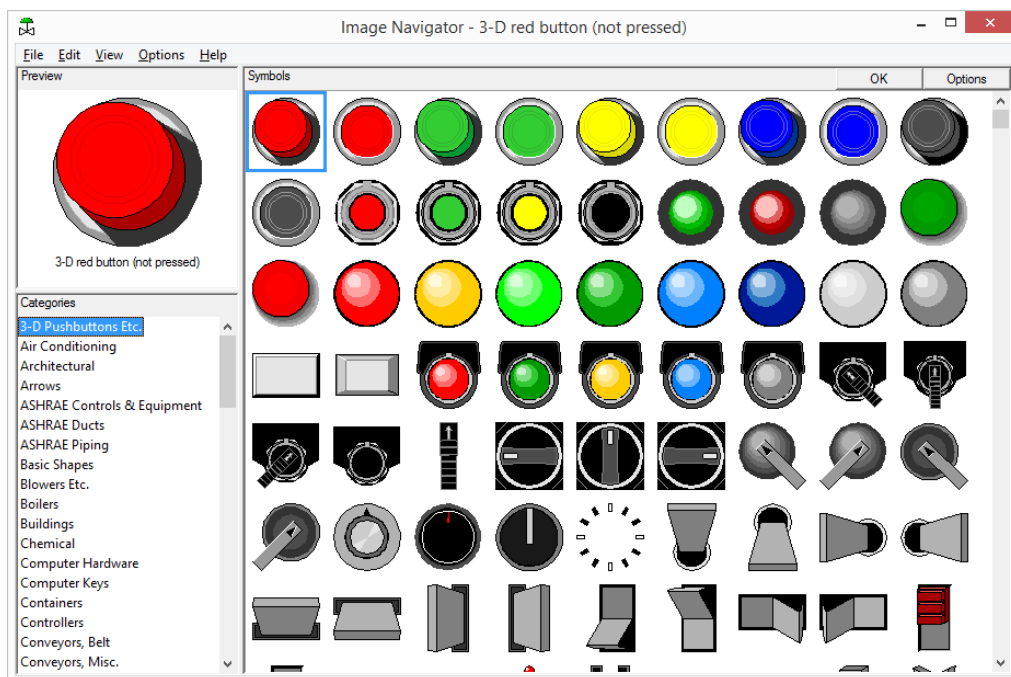


Figura 34 Imágenes del módulo DSC de LabVIEW

Para simular el proceso que realiza cada articulación del manipulador y la activación de la centrífuga se han creado varias imágenes, las mismas que son una secuencia de imágenes para crear la sensación de movimiento y observar el proceso de una forma más interactiva.

A continuación en la Tabla 9 con las imágenes descritas y los símbolos de alarmas, parada de emergencia, inicio y fin del proceso, se muestra y se detalla cada símbolo.

Tabla 9

Tabla de símbolos utilizados en el HMI

Símbolo	Descripción
	Indicador para cada subproceso y acción.
	Interruptor de inicio del proceso.
	Indicador de alarma activada.
	Indicador de alarma desactivada.
	Botón de Emergencia.
	Centrifuga.
	Articulación Rotacional.
	Gripper.
	Articulación Prismática Y.
	Articulación Prismática Z.

4.3. DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

A continuación se describe el funcionamiento de la estación para cada modo de operación, en el cual se incluye la integración tanto de la lógica de control del sistema HMI como la lógica de control del sistema microcontrolado propio de la estación.

4.3.1. Lógica de control del modo semiautomático

Como ya vimos en las secciones 4.1.1.2 Semiautomático y 4.1.2 Subprocesos, el modo semiautomático consta de cuatro subprocesos, por lo que a continuación se detalla la lógica utilizada para cada subproceso.

4.3.1.1. Lógica de control del subproceso precalentamiento

La lógica del subproceso precalentamiento se indica en el diagrama de flujo de la Figura 35.

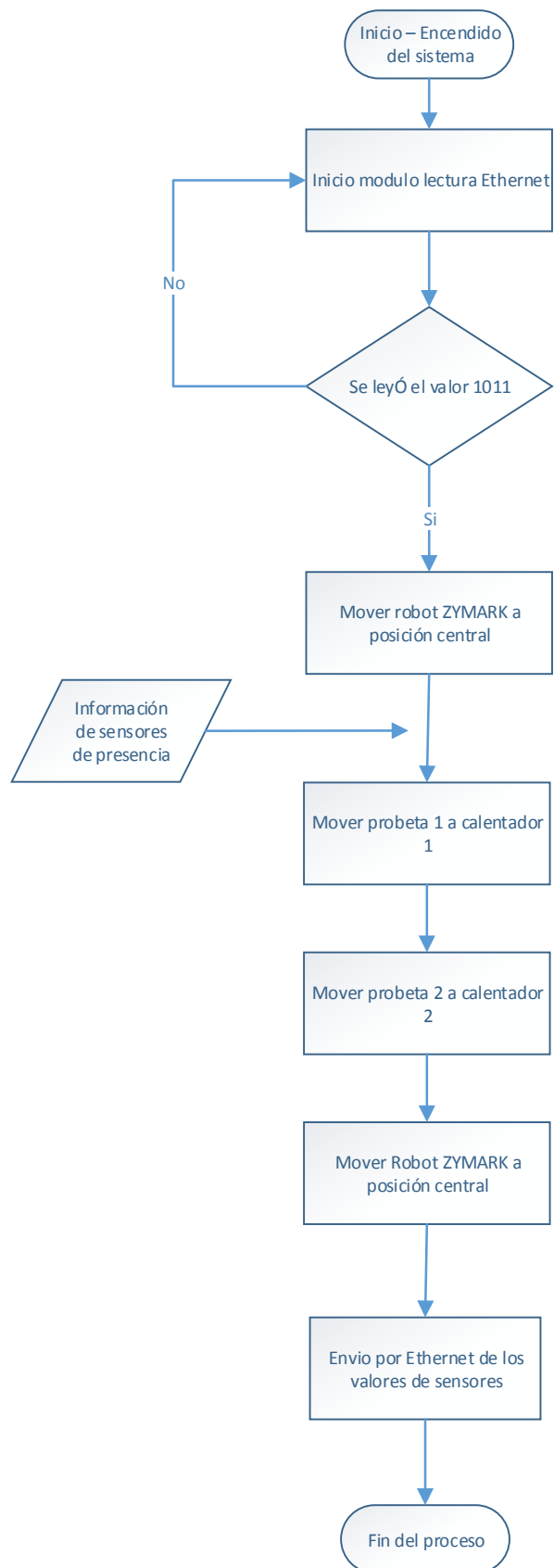


Figura 35 Diagrama de Flujo del subproceso precalentamiento

4.3.1.2. Lógica de control del subproceso trasladar a centrífuga

Para detallar la lógica del subproceso trasladar a centrífuga se ha utilizado un diagrama de flujo el mismo que se indica en la Figura 36.

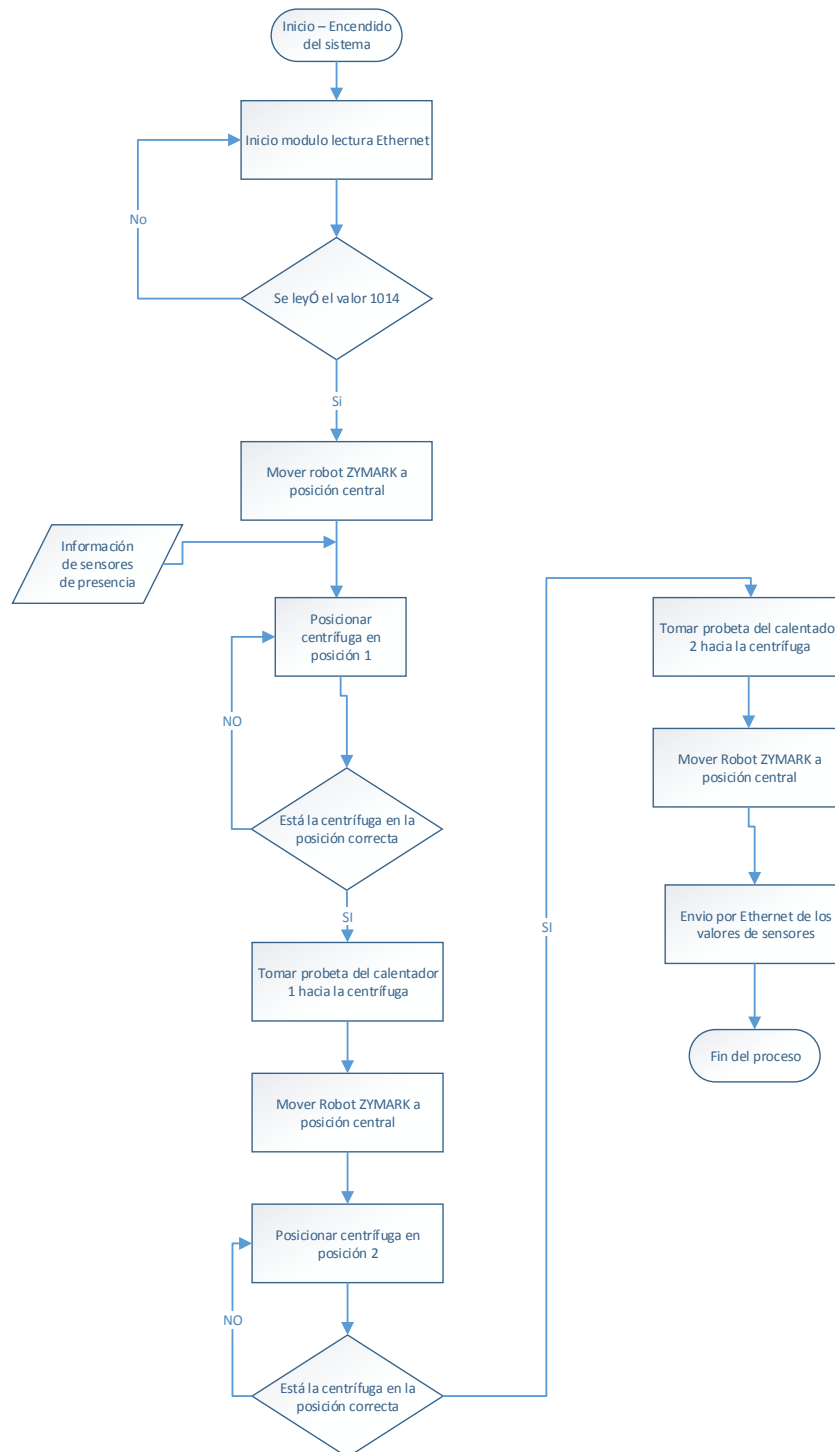


Figura 36 Diagrama de flujo del subproceso trasladar a centrífuga

4.3.1.3. Lógica de control del subproceso centrifugar

La lógica utilizada en el subproceso centrifugar se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 37.

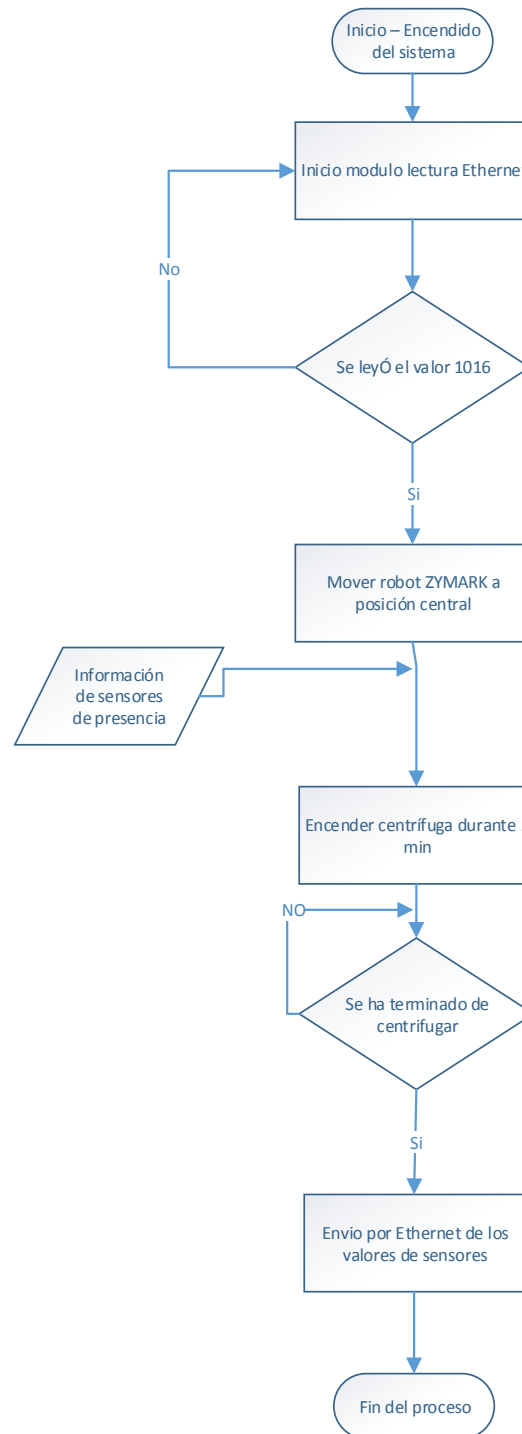


Figura 37 Diagrama de flujo del subproceso centrifugar

4.3.1.4. Lógica de control del subproceso despachar

La lógica desarrollada en el subproceso despachar se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 38.

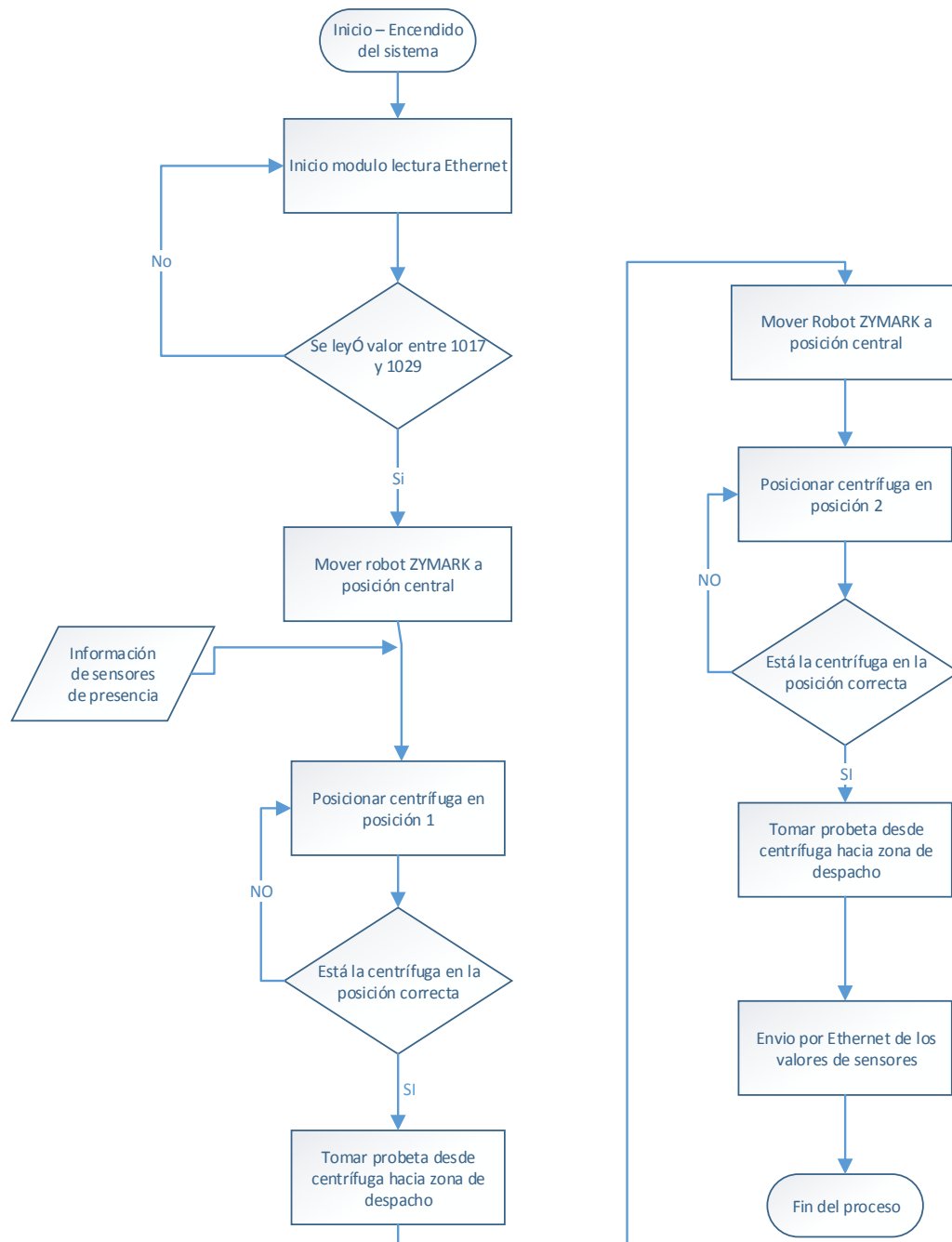


Figura 38 Diagrama de flujo del subproceso despachar

4.3.2. Lógica de control del modo automático

La lógica de control del modo automático es la secuencia de los subprocesos que contiene el modo semiautomático, la cual se indica en el diagrama de flujo de la Figura 39.

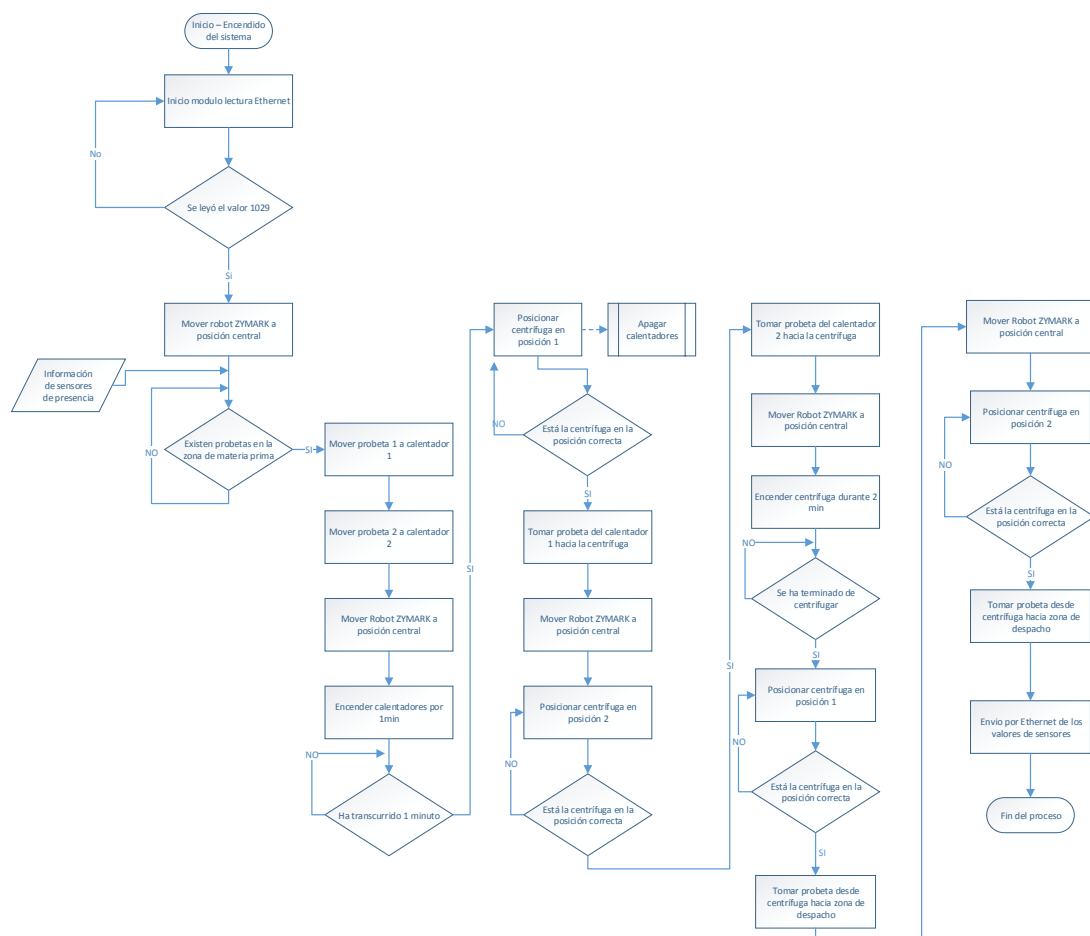


Figura 39 Diagrama de flujo del modo automático

4.4. DESARROLLO DE LA LÓGICA UTILIZADA PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.

El tipo de comunicación seleccionada entre el HMI y la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W

es el protocolo UDP/IP que significa “Protocolo de datagramas de usuario” el cual es un estándar TCP/IP, que sirve para el transporte de datos rápido, compacto y no confiable entre hosts TCP/IP.

Se ha escogido el protocolo UDP/IP ya que este es más rápido y de fácil manejo de datos. A pesar de que es vulnerable a la pérdida de datos ya que no garantiza ni comprueba la secuencia de los datos, este es protocolo es ideal para el este sistema ya que los datos se transmiten periódicamente cada 10 milisegundos, y la pérdida de uno de los datos no sería significativa ya que el siguiente dato sería correcto, y siendo los tiempos de respuesta muy cortos y al ser un mensaje periódico sería prácticamente imperceptible para el usuario la pérdida de un dato, así mismo el sistema no lo presentaría en pantalla.

Para el desarrollo de la comunicación entre el HMI y la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W, se ha utilizado dos sistemas de mensajería, el primero para la comunicación entre el HMI y la estación el cual vamos a llamar HMI to Station (H2S), y el segundo para la comunicación entre la estación y el HMI el cual vamos a llamar Station to HMI (S2H).

4.4.1. Mensajería H2S

Este es el mensaje que envía el HMI hacia la estación, se ha utilizado un mensaje corto de seis dígitos, y cada digito indica una función específica, o un parámetro configurable de la estación, se ha desarrollado un tipo de mensaje para cada modo.

Para el modo manual se han tomado los valores del 1001 al 1010, y para configurar la velocidad de la centrífuga se ha tomado los valores de 2000 a 2225, un detalle de todas las funciones del modo manual se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10**Descripción de los mensajes del modo manual**

Función	Mensaje
Parar todas las acciones en cursos	001000
Giro horario de la articulación rotacional	001001
Giro anti horario de la articulación rotacional	001002
Desplazamiento positivo de la articulación prismática Y	001003
Desplazamiento positivo de la articulación prismática Y	001004
Desplazamiento positivo de la articulación prismática Z	001005
Desplazamiento positivo de la articulación prismática Z	001006
Apertura del Gripper	001007
Cierre del Gripper	001008
Giro horario de la articulación rotacional	001009
Giro anti horario de la articulación rotacional	001010
Velocidad de la centrífuga donde XXX es la velocidad de 0 a 255 unidades asimétricas	002XXX
Iniciar centrífuga	001016

Para el modo semiautomático se han definido mensajes para cada probeta, y para cada posición en el caso del proceso de despacho, los mensajes van desde 1011 al 1028, y en el rango del 2000 al 3999 para la velocidad y tiempo de centrifugación, la descripción de cada mensaje se indica en la Tabla 11.

Tabla 11**Descripción de los mensajes del modo semiautomático**

Subproceso	Probeta	Posición	Mensaje
Precalentamiento	1	1	001011
Precalentamiento	2	2	001012
Trasladar a la centrífuga	1	1	001014
Trasladar a la centrífuga	2	2	001015
Centrifugar	1 y 2	1 y 2	001016
Velocidad de centrifugación donde XXX es la velocidad de 0 a 255 en unidades asimétricas	1 y 2	1 y 2	002XXX
Tiempo de centrifugación donde XXX es el tiempo de 0 a 999 en segundos	1 y 2	1 y 2	003XXX
Despachar	1	1	001017
Despachar	1	2	001018
Despachar	1	3	001019
Despachar	1	4	001020
Despachar	1	5	001021
Despachar	1	6	001022
Despachar	2	1	001023
Despachar	2	2	001024
Despachar	2	3	001025
Despachar	2	4	001026
Despachar	2	5	001027
Despachar	2	6	001028

Para el modo automático se han definido únicamente 3 mensajes los cuales se expresan en la Tabla 12.

Tabla 12**Descripción de los mensajes del modo automático**

Acción	Mensaje
Iniciar	001029
Parar	001030
Parada de Emergencia	001999

Por último se tiene los mensajes de configuración de la estación, estos mensajes sirven para calibrar la velocidad de los motores, donde los valores XXX son los valores expresados en unidades asimétricas y van desde 0 a 255, estos mensajes se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13**Descripción de los mensajes de configuración**

Tipo de Articulación	Sentido de giro	Mensaje
Rotacional	Horario	04XXX
Rotacional	Anti horario	05XXX
Prismática eje Y	Horario	06XXX
Prismática eje Y	Anti horario	07XXX
Prismática eje Z	Horario	08XXX
Prismática eje Z	Anti horario	09XXX
Gripper	Apertura	11XXX
Gripper	Cierre	12XXX
Centrifuga	Horario	13XXX
Centrifuga	Anti horario	14XXX

4.4.2. Mensajería S2H

La mensajería S2H son los mensajes que envía la estación hacia el HMI, este mensaje incluye información de los sensores de la estación, y de los procesos que se encuentra realizando para esto se tiene el valor de 4

sensores, y el estado de la estación, dicha información se muestra en la Tabla 14, y en la Tabla 15 se describe los valores de los subprocesos a realizar.

Tabla 14

Información de envío de datos de la estación

Descripción	Información
Sensor de la articulación rotacional	Valor analógico del sensor en el rango de 0 a 1023 unidades adimensionales
Sensor de la articulación prismática Y	Valor analógico del sensor en el rango de 0 a 1023 unidades adimensionales
Sensor de la articulación prismática Z	Valor analógico del sensor en el rango de 0 a 1023 unidades adimensionales
Sensor del gripper	Valor analógico del sensor en el rango de 0 a 1023 unidades adimensionales
Indicador del subproceso que se encuentra realizando	Valor de entre 0 y 9999 donde cada número indica en que proceso se encuentra.

Tabla 15

Descripción de los valores para el indicador de procesos

Descripción	Valor
Ningún proceso en curso	1000
Inicio del subproceso 1	1001
Inicio del subproceso 2	1002
Inicio del subproceso 3	1003
Inicio del subproceso 4	1004
Fin del subproceso 1	1005
Fin del subproceso 2	1006
Fin del subproceso 3	1007

CONTINÚA 

Fin del subproceso 4	1008
Inicio del proceso automático	1009
Fin el proceso automático	1010
Parada de emergencia	1011
Posición 1	1012
Posición 2	1013
Home	1014

Una vez que están definidos los datos que enviará la estación, es necesario definir la estructura como se enviaran los datos. En este caso se enviará toda la información en un mismo mensaje, cabe mencionar que este mensaje se enviará en una trama UDP, y posteriormente por software se enmascarará los datos. Cada dato contendrá 4 dígitos ya que el valor de los sensores contiene esta cantidad de dígitos. La estructura de la trama del mensaje se indica en la Figura 40.

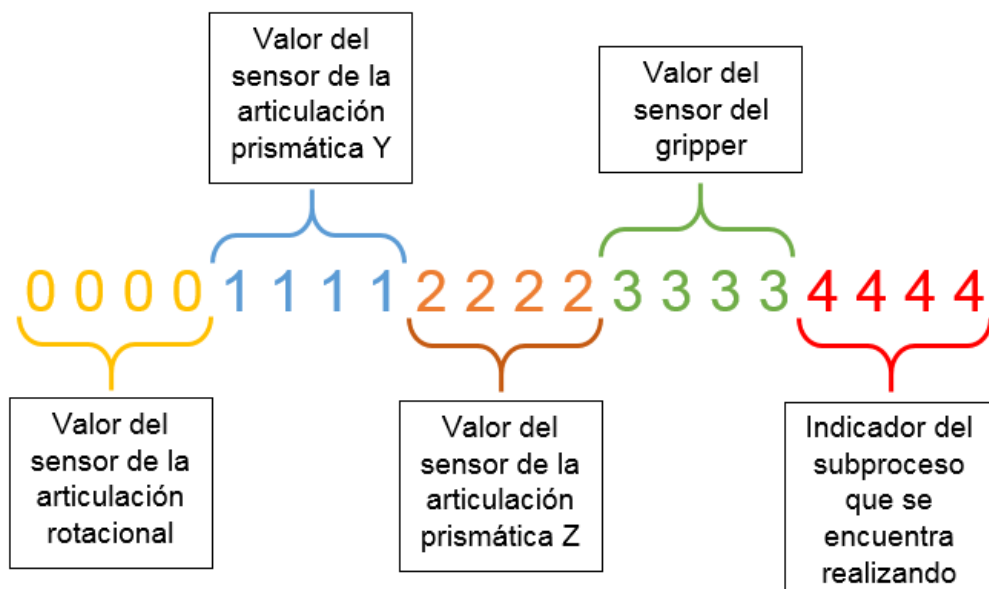


Figura 40 Trama de los mensajes S2H

4.5. SIMULACIÓN

Para saber si la lógica utilizada en el sistema de comunicación es la adecuada, y se puede manejar, filtrar y enmascarar el flujo de datos sin problemas se procederá a la simulación de los mensajes, tanto hacia el HMI, como hacia la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W.

Para esto se utilizara el software Hercules, el cual es un terminal que permite crear un puerto UDP para transmitir y recibir datos como se muestra en la Figura 41.

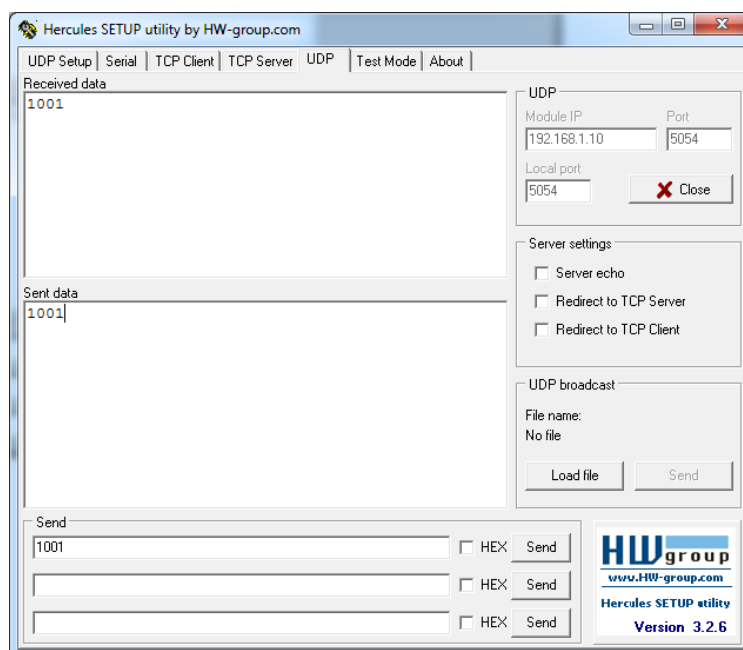


Figura 41 Terminal UDP de Hercules

Para simular la recepción de datos de la estación, se creará un pequeño programa que muestre en el terminal Arduino serial un mensaje de "OK" si recibió y comprendió el dato "999999" para lo cual en usaremos la librería "EthernetUdp.h" de Arduino para tomar el dato, y comparemos con la función "strcmp" la cual compara dos cadenas de caracteres.

Para realizar esta simulación, el ordenador desde donde se envió el dato tendrá una dirección IP de 192.168.1.10 con puerto UDP 5050, y la tarjeta Arduino será configura con la dirección IP de 192.168.1.177 y con puerto UDP 5054, ambos dispositivos serán conectados mediante un cable de red cruzado. Los resultados de esta primera simulación se muestran en la Figura 42.

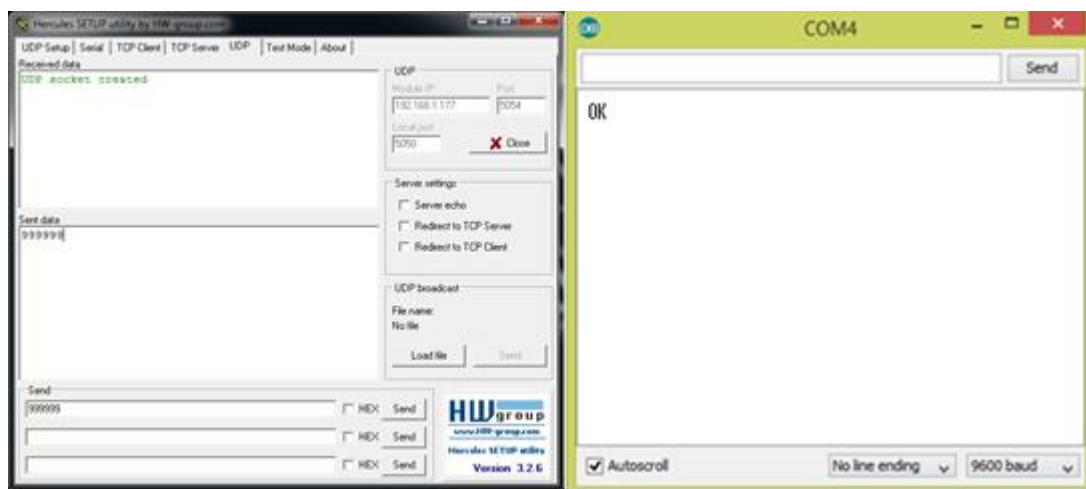


Figura 42 Pantallas de envío y recepción datos hacia la estación

Para realizar la simulación de datos hacia el HMI , se utilizará el mismo software (Hercules), para enviar los datos hacia un pantalla de Simulación de LabVIEW, donde se envió una trama de 20 caracteres para lo cual se usó la función de comunicación propia de LabVIEW llamada UDP la cual se muestra en la Figura 43, y la función “String Subset” (subcadena de un string) la cual devuelve un substring del string original comenzando en el valor del offset y con una longitud determinada como se indica en la Figura 44. Esta función se usa para separar en un Sting de 20 caracteres en 5 substrings de 4 caracteres.

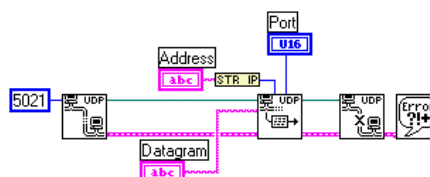


Figura 43 Función UDP de LabVIEW

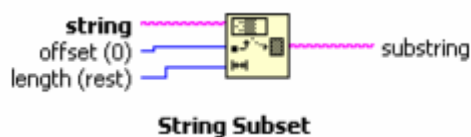


Figura 44 Función String Subset de LabVIEW

Para simular la llegada y enmascaramiento de los datos se envió una trama similar a la indicada en Figura 40. Para realizar esta simulación, el ordenador desde donde se envió el dato tendrá una dirección IP de 192.168.1.11 con puerto UDP 5050, y el otro ordenador que recibe el dato está configurado con la dirección IP 192.168.1.10 y con puerto UDP 5051, ambos ordenadores serán conectados mediante un cable de red cruzado. Los resultados de esta segunda simulación se indican en la Figura 45.

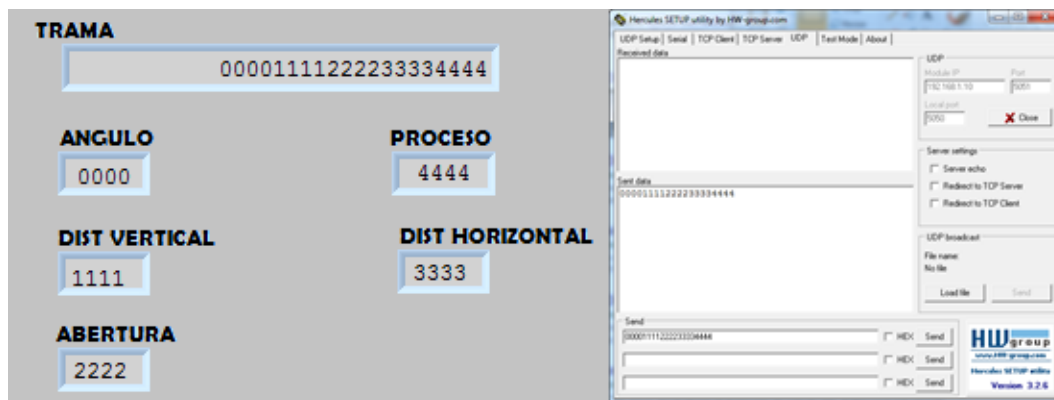


Figura 45 Pantallas de envío y recepción datos hacia el HMI

Como se puede observar en la Figura 42 y en Figura 45, la simulación de la mensajería fue un éxito, por lo cual se puede pasar a la etapa de implementación.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

La lógica implementada es la misma que se especifica en la sección 4.3 DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL, la cual se aplica al controlador de la estación, tomando en cuenta que la mensajería se aplica tanto al controlador como al HMI.

Para la implementación del sistema de control en el controlador de la estación se utilizó las librerías indicadas en la Tabla 16, y las funciones más importantes utilizadas se muestran en la Tabla 17.

Tabla 16

Descripción de las librerías Utilizadas

Librería	Descripción
SPI.h	Librería utilizada para la comunicación entre el controlador Arduino y la tarjeta Ethernet.
Ethernet.h	Librería utilizada para asignar una dirección IP.
EthernetUdp.h	Librería utilizada para transmisión y recepción de datos UDP.
stdlib.h	Librería utilizada para la administración de cadenas de caracteres en este caso gestiona las cadenas enviadas por protocolo UDP.

Tabla 17

Funciones utilizadas en la programación del controlador

Función	Descripción
Setup	Configura e inicializa el sensor de color, la comunicación Ethernet, el protocolo UDP, y las salidas y entradas digitales y analógicas.
software_Reset	Reinicia todos los registros.
Centrar	Posiciona en una posición central cada una de las articulaciones
Mover	Mueve cada una de las articulaciones según los parámetros de la función
Tomar	Abre el gripper para tomar las probetas.
Colocar	Cierra el gripper para tomar las probetas.
centrífuga_color	Posiciona la centrífuga en una posición 1.
centrífuga_color_vacio	Repite el proceso de centrífuga color cuando no se ha posicionado correctamente.
centrifugar()	Enciende la centrífuga.
detectColor	Transforma de un valor a una cadena de caracteres.
taosMode	Interpreta los pulsos del sensor de color.
TCS3200setup	Configura los parámetros del sensor de color.
loop	Es el proceso principal, lee el valor de los sensores, del proceso, y compara los datos recibidos, y ejecuta todas las subrutinas, repite todo el proceso una vez que se ejecuta todo el código.
readPacketSize	Lee los paquetes UDP.
strcpy	Concatena el valor de los sensores y del proceso.
Udp.write	Envía un paquete UDP.
manual	Realiza el modo manual.
configuración	Cambia las velocidades de articulaciones y de la centrífuga.
mpc1	Mueve probeta 1 a calentador 1.
mpc2	Mueve probeta 2 a calentador 2.

CONTINÚA 

calentar	Enciende los calentadores por un periodo de tiempo.
mpc11	Posiciona la centrífuga y mueve la probeta 1 a la centrífuga.
mpc22	Posiciona la centrífuga y mueve la probeta 2 a la centrífuga.
mpd1	Mueve la probeta 1 a la zona de despacho designada o que este libre.
mpd2	Mueve la probeta 2 a la zona de despacho designada o que este libre.
automático	Ejecuta todo el proceso automático a partir de los procesos semiautomáticos.
home	Posiciona todas las articulaciones en una posición establecida.

5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL HMI

La implementación de las ventanas y funciones del HMI han sido generadas como se indica en la sección 4.2 DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI.

5.2.1. Pantallas

5.2.1.1. Pantalla de Acceso

En la pantalla de acceso, se tiene una imagen de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación de grado de BS&W, una barra de herramientas la cual permitirá ingresar usuarios al sistema, además de los botones de inicio, ayuda y salir, como se indica en la Figura 46.



Figura 46 Descripción y presentación de la pantalla de acceso

5.2.1.2. Pantalla de modo manual

La pantalla de modo manual contiene los controles para manipular la estación, indicadores que se encienden al presionar los botones de control, un deslizador para modificar la velocidad de la centrífuga, animaciones para cada articulación, las cuales a la vez indican los valores de los sensores de posición. Además de incluir un botón de parada de emergencia, botones para la navegación entre ventanas, un interruptor de encendido de la estación, la hora del sistema, y una pantalla que indican las alarmas de todo el sistema, se puede observar con mayor detalle en la Figura 47.



Figura 47 Descripción y presentación de la pantalla de modo manual

5.2.1.3. Pantalla de modo semiautomático

Dentro de la pantalla de modo semiautomático se tiene los controles para iniciar y parar cada subproceso, y dentro del mismo un botón seleccionador para cada probeta. En el caso del subproceso “Despachar” se tiene un seleccionador de la posición de despacho, además contamos con indicadores que se encienden al presionar los botones de control, dos deslizador para modificar la velocidad y el tiempo de la centrífuga, una animación para cada subproceso. Y como en la mayoría de pantallas también se incluye un botón de parada de emergencia, botones para la navegación entre ventanas, un interruptor de encendido de la estación, la hora del sistema, y una pantalla que indican las alarmas de todo el sistema, la pantalla se muestra con mayor detalle en la Figura 48.



Figura 48 Descripción y presentación de la pantalla de modo semiautomático

5.2.1.4. Pantalla de modo automático

La pantalla de modo automático cuenta básicamente con los controles para iniciar y parar todo el proceso, además cuenta con indicadores que se encienden al ejecutarse cada subprocesso, también cuenta con una animación para simular todo el proceso. Y como en la mayoría de pantallas también se incluye un botón de parada de emergencia, botones para la navegación entre ventanas, un interruptor de encendido de la estación, la hora del sistema, y una pantalla que indican las alarmas de todo el sistema, con mayor detalle se muestra en la Figura 49 la ventana del modo automático.



Figura 49 Descripción y presentación de la pantalla de modo automático

5.2.1.5. Pantalla de ayuda

La pantalla de ayuda indica un documento digital en formato “PDF”, en el cual se describe el funcionamiento de toda la interfaz. Además cuenta como en la mayoría de pantallas con un botón de parada de emergencia, botones para la navegación entre ventanas, un interruptor de encendido de la estación, la hora del sistema, y una pantalla que indican las alarmas de todo el sistema, esta ventana se aprecia con más detalle en la Figura 50.

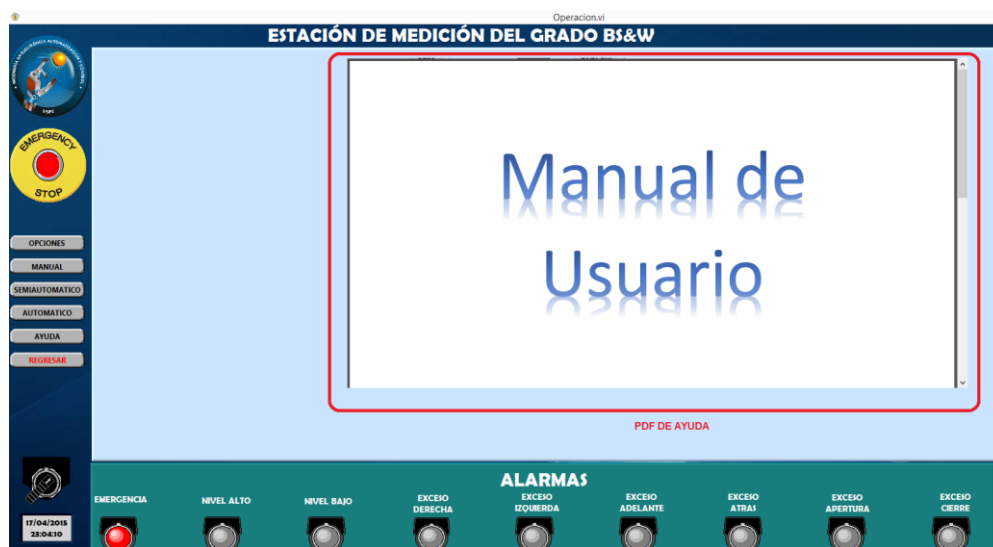


Figura 50 Descripción y presentación de la pantalla de ayuda

5.2.1.6. Pantalla de opciones

Dentro de la pantalla de opciones se cuenta con todos los parámetros que se pueden configurar remotamente de la estación, los cuales son las velocidades de los motores del manipulador ZYMARK, la dirección y el puerto de la estación remota. Además cuenta con un sistema de depuración del sistema, el cual permite verificar si las tramas que llegan al HMI son las correctas, la cual sirve para detectar errores de comunicación entre el HMI y la estación. Y como en la mayoría de pantallas también se incluye un botón de parada de emergencia, botones para la navegación entre ventanas, un interruptor de encendido de la estación, la hora del sistema, y una pantalla que indican las alarmas de todo el sistema, esta ventana se indica con mayor detalle en la Figura 51.

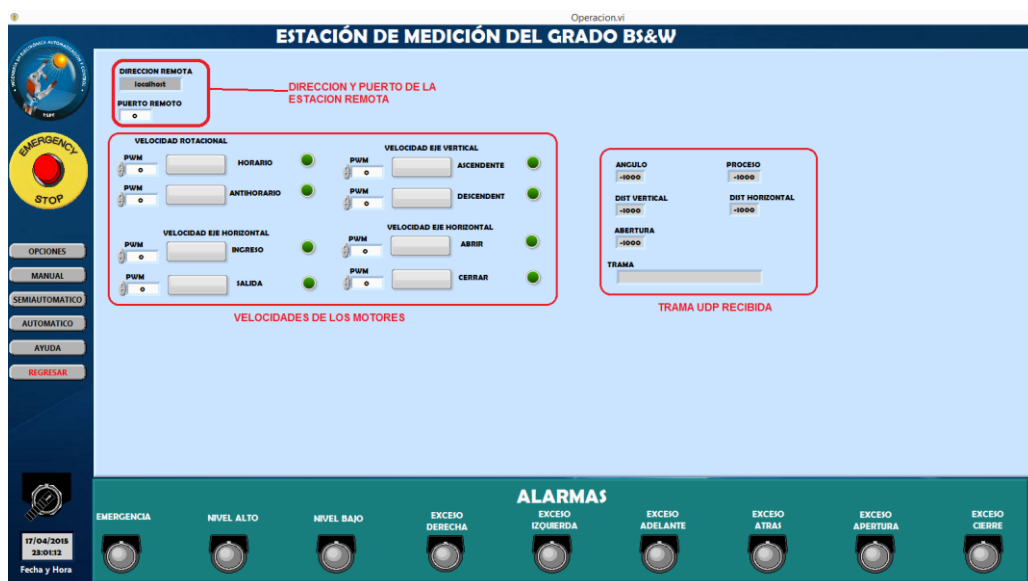


Figura 51 Descripción y presentación de la pantalla de opciones

5.2.2. Instrumentos Virtuales

Para la elaboración y compilación del HMI, se ha creado un proyecto en LabVIEW, el mismo que contiene varios instrumentos virtuales estos se muestran en la Figura 52, y en la Tabla 18 se describe la función de cada instrumento virtual utilizado.

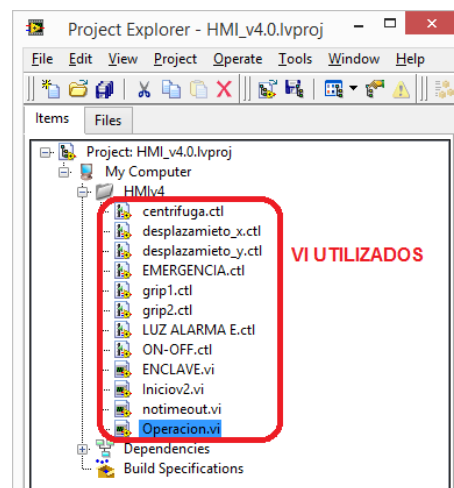


Figura 52 Ventana del proyecto con los instrumentos virtuales utilizados

Tabla 18

Descripción de los instrumentos virtuales

Nombre del Instrumento Virtual	Descripción
Centrifuga	En este VI se encuentra la animación de la centrífuga.
Desplazamiento_x	En este VI se encuentra la animación de la articulación prismática Z.
Desplazamiento_y	En este VI se encuentra la animación de la articulación prismática Y.
Emergencia	En este VI se encuentra la imagen y funcionalidad del botón de emergencia
Grip1	En este VI se encuentra la animación del primer extremo del griper.
Grip2	En este VI se encuentra la animación del segundo extremo del griper.
Luz_Alarma	En este VI se encuentra la imagen y funcionalidad de los indicadores de las alarmas.

CONTINÚA →

ON-OFF	En este VI se encuentra la imagen y funcionalidad del interruptor de encendido de la estación.
Enclave	Este VI sirve como subfunción para enclavar variables.
Iniciov2	Dentro de este VI se encuentra el desarrollo de la pantalla de acceso.
Notimeout	Este VI sirve como subfunción para eliminar los errores de los datos UDP.
Operación	Este es el VI principal donde se encuentra desarrollada toda la lógica de control de todo el HMI, así como todas las ventanas de operación.

5.2.3. Funciones

Dentro del HMI se ha implementado 4 funciones principales las cuales son: manejo de ventanas, lectura de Datos, escritura de datos, y manejo del teclado, adicionalmente se han creado las funciones para el manejo de la configuración, del modo manual, semiautomático, y automático.

5.2.3.1. Función de manejo de ventanas

La función para el manejo de ventanas que se implementó es la que viene incluida en LabVIEW, dentro de la cual se tiene las funciones abrir, cerrar, minimizar y maximizar ventana, como se indica en la Figura 53.

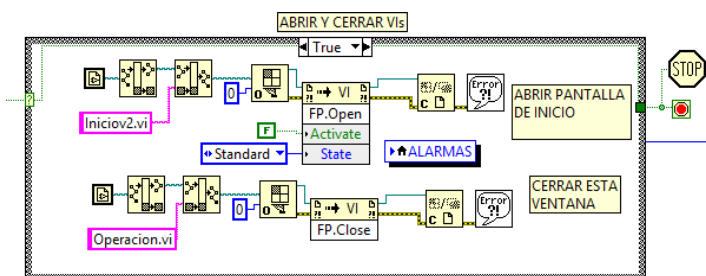


Figura 53 Función usada para el cambio, apertura y cierra de ventana

Para el manejo de ventanas dentro del VI de “Operación”, se seleccionó un contenedor de pestañas, las cuales han sido operadas con una interrupción de software, la cual es nativa de LabVIEW, esta función se muestra en la Figura 54.



Figura 54 Interrupción usada para el cambio de pestañas

5.2.3.2. Función de lectura de datos

Una vez implementado la función de comunicación de datos UDP, la misma que se indica en la Figura 43 Función UDP de LabVIEW, se ha enmascarado los datos por medio de la función indica “SubString” indicada en la Figura 55, se transforma de un carácter a un número entero, y posteriormente se resta el valor de 1000 para obtener el valor real que envió la estación.

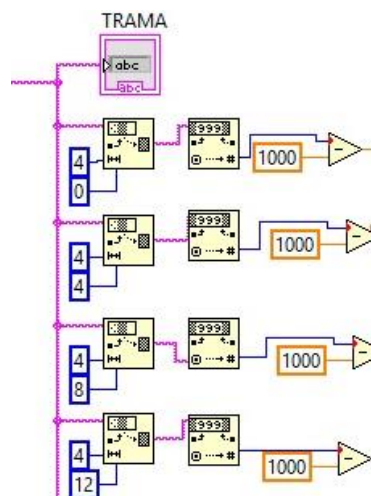


Figura 55 Función para el enmascaramiento de datos

5.2.3.3. Función de escritura de datos

Una vez implementado la función de comunicación de datos UDP, la misma que se indica en la Figura 43 Función UDP de LabVIEW, se ha concatenan los datos obtenidos de las operaciones del HMI, los multiplica por mil, los transforma a una cadena de caracteres, para posteriormente enviarlos por medio del puerto UDP, esta función que sirve para la escritura de los datos se observa en la Figura 56.

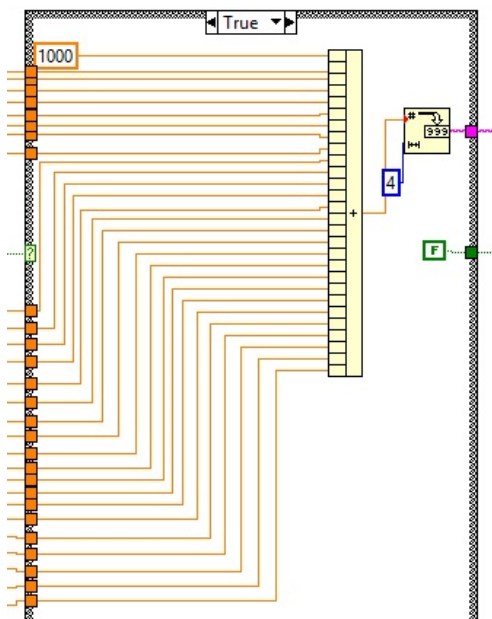


Figura 56 Función para concatenar los datos

5.2.3.4. Funciones de control

Las funciones de control, son las funciones utilizadas para el manejo de la estación, a continuación se muestran las funciones más importantes de la estación.

Para realizar enviar instrucciones hacia la estación se utilizó la función “IF” como se muestra en la Figura 57, como por ejemplo el modo automático, como se indicó en la sección 4.4.1 Mensajería H2S, envía el valor 1029 para iniciar el proceso y el valor 1030 para detener el proceso.

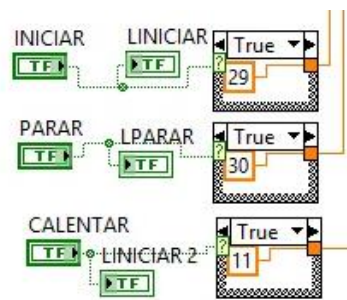


Figura 57 Función para enviar los datos del modo automático

Para realizar enviar un configuración remotamente hacia la estación se utilizó la función "IF" y dentro de este se le sumo el valor correspondiente al motor como por ejemplo se indica en la Figura 58, los valores sumados a cada motor son los especificados la sección 4.4.1 Mensajería H2S.

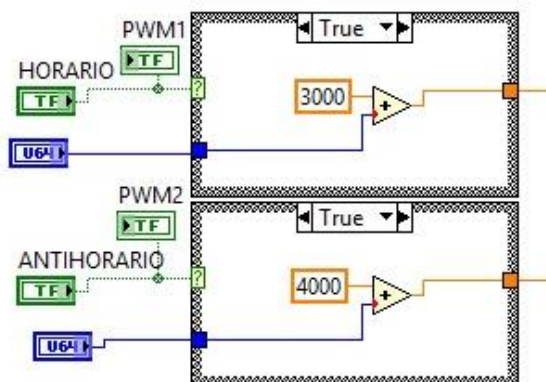


Figura 58 Función para enviar los datos de modificación de la velocidad de los motores

Para reemplazar los botones virtuales, por botones físicos, se utilizó la función de lectura del teclado la misma que obtiene la tecla que se presiona desde el teclado, esta función se utilizó para la operación del modo manual, el símbolo de la función de lectura del teclado se muestra en la Figura 59.



Figura 59 Función para tomar los datos del teclado del ordenador

Una de las funciones utilizadas fue la de apertura de documentos por medio de una ventana del explorador a través de controles ActiveX, esta función se utilizó para visualizar documentos dentro del HMI, lo cual sirvió para la implementación de la ventana de ayuda, esta función se muestra en la Figura 60.



Figura 60 Función para mostrar el PDF de ayuda

5.2.4. Acceso y Seguridad

Una vez implementado todo el sistema de control del HMI, se implementó el sistema de acceso y seguridad, para lo cual se utilizó la funcionalidad DSC de LabVIEW la que cual permite crear usuarios, y habilitar y deshabilitar accesos a funcionalidades del HMI como se observa en la Figura 61.

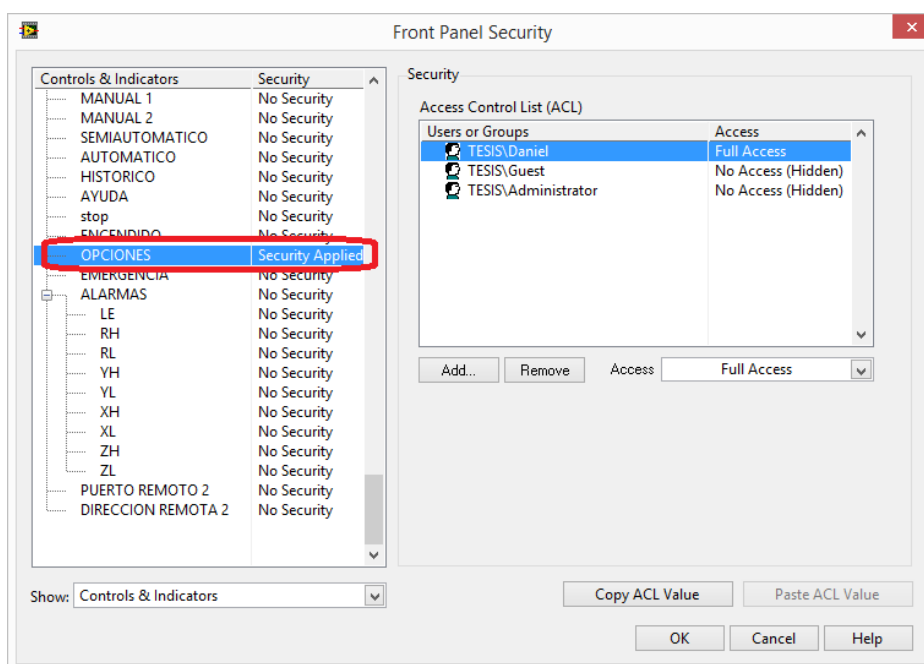


Figura 61 Pantalla de creación de permisos y usuarios

Para la creación de usuarios se tomaron en cuenta los privilegios a los que cada usuario tiene acceso. En total se crearon 4 tipos de usuarios para todo el sistema, los cuales se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19

Privilegios de usuarios

Tipos de Usuarios	Privilegios
Administrador	Tiene acceso a todo el sistema incluido la ventana de opciones.
Operador	Tiene acceso a todo el sistema excepto a la ventana de opciones.
Invitado	Tiene acceso a todo el sistema de monitoreo, pero no puede manipular ningún control de la estación.
Ninguno	Solo tiene habilitada la pantalla de acceso, y la ventana de ayuda.

5.3. INTEGRACIÓN Y SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL CON EL HMI

Para la sincronización del sistema de control con el HMI, es necesario que las tarjetas de red de ambos dispositivos estén en la misma red de área local y que los puertos de comunicación no estén repetidos, para los cual se ha elaborado una tabla de dirección y puertos de todo el sistema la misma que se muestra en Tabla 20.

Tabla 20

Tabla de direcciones y puertos de los dispositivos del todo el sistema

Dispositivo	Dirección IP	Puerto
Ordenador	192.168.001.010	5050
Estación	192.168.001.177	5054
Cámara	192.168.001.020	0080

Con esto se garantiza que todos los dispositivos tengan acceso el uno al otro, y puedan compartir información bidireccionalmente, por medio del protocolo UDP/IP.

5.4. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

Para la integración del sistema de monitoreo al HMI, es necesario configurar la cámara IP, para lo cual se ingresa al software que viene incluido a la cámara IP, y se cambia la dirección IP y el puerto de la misma como se observa en la Figura 62. La dirección IP asignada para la cámara IP dentro del sistema es la 192.168.1.20 en el puerto 80.

Surveillance Tech. Innovator Wireless IP Camera

Inicio

Ajuste

- Básico
 - Sistema
 - Cámara
 - Network
- Información**
- PPPoE
- DDNS
- UPnP
- Bonjour
- Avisar
- Inalámbrico

Dirección MAC 00:1B:FE:00:F5:71

Obtener IP Automáticamente (DHCP)

Usar Dirección IP Siguiente

Dirección IP 192.168.1.20

Máscara de subred 255.255.255.0

Puerta de enlace pred. 192.168.1.1

Usar Dirección de Server DNS Siguiente

Server DNS Principal 8.8.8.8

Segundo Server DNS 4.4.4.4

Número de Puerto HTTP 80 (1024 to 65535)

OK Cancelar

Figura 62 Pantalla de configuración de la cámara IP

Una vez configurada la cámara se verifica que la cámara se encuentre en línea, para lo cual en el explorador web de Windows se ingresa a la dirección 192.168.1.20, en la cual aparecerá la imagen de la cámara IP como se indica en la Figura 63.



Figura 63 Video de la cámara IP visto del explorador web

Para visualizar la cámara IP dentro de la interfaz HMI, se usó la función de aperturas de ventanas del explorador web a través de controles ActiveX, en la cual se le especifica la dirección IP de la cámara, esta función se la indica en la Figura 64. Una vez implementada esta función podrá ser visualizada desde dentro de la interfaz HMI como se puede observar en la Figura 65.

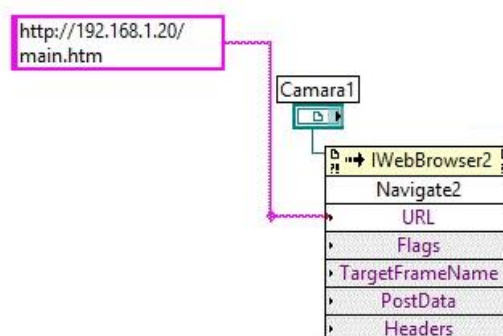


Figura 64 Función para obtener la imagen de la cámara IP



Figura 65 Integración del Sistema de Monitoreo al HMI

5.5. PUESTA EN MARCHA

5.5.1. Creación de la red de área local

Para la puesta de todo el sistema, se instaló un switch Ethernet de marca “Cnet”, para integrar la estación con el HMI y con el sistema de monitoreo, todo dentro de una misma red. Una imagen del switch utilizado se muestra en la Figura 66.



Figura 66 Switch Ethernet

Una vez que esta instalado el switch Ethernet, conectamos mediante tres cables de par trenzado o mejor conocido como cables UTP, los tres cables tienen que tener la configuración de conexión directa. Conectamos cualquier extremo del cable hacia el switch Ethernet, hacemos estos para los tres cables.

Después de conectar los tres extremos de los cables UDP al switch, conectamos los extremos en cada dispositivo, el primer cable hacia la tarjeta Ethernet de la estación, el segundo cable hacia la cámara IP, y el tercer y último cable hacia el ordenador donde se va a instalar el HMI.

Una vez conectados todos los equipos que componen el sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo, encendemos cada uno de los dispositivos y verificamos que estén alimentados.

Se comprueba el estado de cada dispositivo desde el ordenador donde se va instalará la aplicación, para lo cual se configura la dirección IP de la tarjeta red como se muestra en la Figura 67, la dirección IP selecciona para el ordenador es 192.168.1.10.

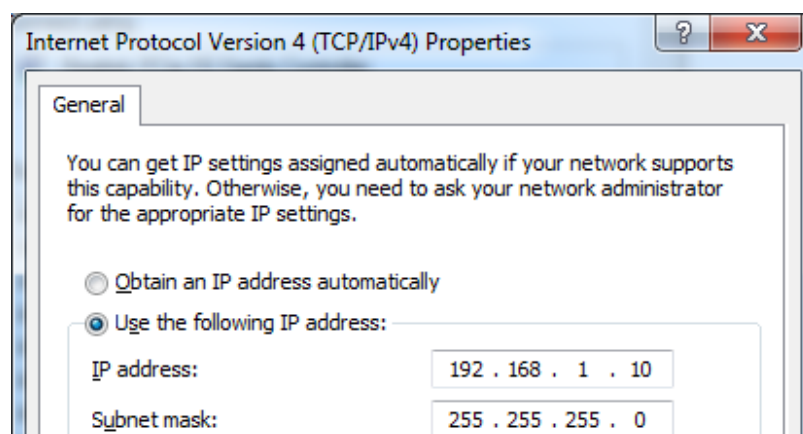


Figura 67 Propiedades de la tarjeta de red del ordenador

Por último se verifica que todos los dispositivos estén en la misma red, para lo cual se utilizará el terminal propio de Windows más conocido como símbolo del sistema CMD, en este se ingresa el comando “arp -a”, este comando se usa para ver los dispositivos que se encuentran en la red como se indica Figura 68.

```
C:\Users\Daniel>arp -a
Interface: 192.168.1.10 --- 0xb
Internet Address      Physical Address      Type
192.168.1.1          00-25-86-cd-08-58    dynamic
192.168.1.21         00-1b-fe-00-f7-97    dynamic
192.168.1.177        50-ea-d6-95-af-de    dynamic
192.168.1.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff    static
```

Figura 68 Terminal de Windows para verificar los dispositivos de red

Como se observa en la Figura 68, se tiene dentro de la red a la estación con la dirección IP 192.168.1.177, y a la cámara IP con la dirección 192.168.1.21. Con lo cual ya se tiene implementada la red de área local LAN.

5.5.2. Instalación del HMI

Como último paso de la integración del sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo se instalará el HMI.

Para facilitar el uso del HMI, se ha creado un instalador el cual se muestra en la Figura 69 damos doble clic sobre este instalador y esperamos que se despliegue la ventana destino de la instalación la que se indica en la Figura 70.

bin	13/04/2015 22:04	File folder	
license	13/04/2015 22:02	File folder	
supportfiles	13/04/2015 22:05	File folder	
nidist.id	13/04/2015 22:05	ID File	1 KB
setup	21/06/2011 21:25	Application	1.345 KB
setup	13/04/2015 22:05	Configuration sett...	10 KB

Figura 69 Instalador del HMI

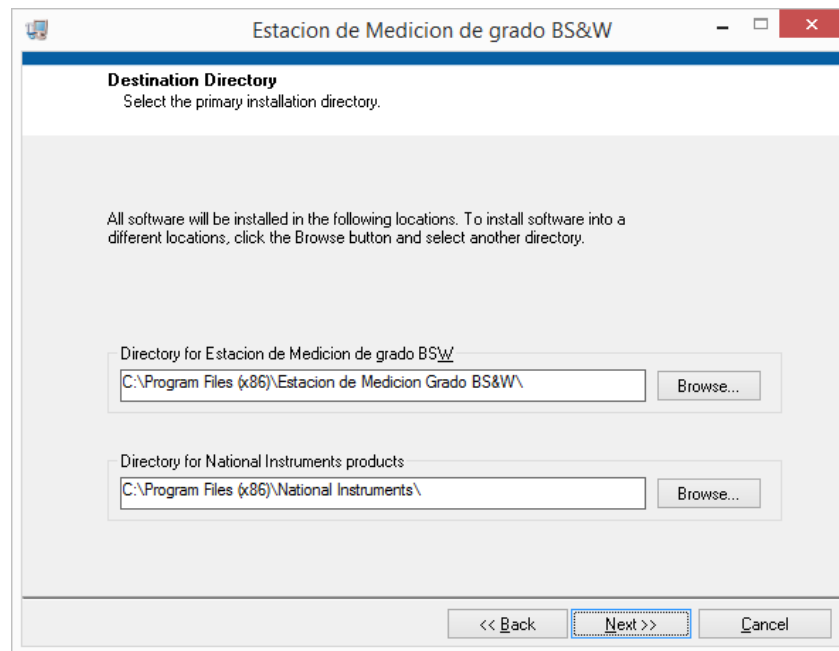


Figura 70 Ventana del destino del HMI

Una vez elegido el directorio de instalación damos clic en siguiente y aparecerá la ventana de progreso de la instalación, la cual se muestra en la Figura 71.

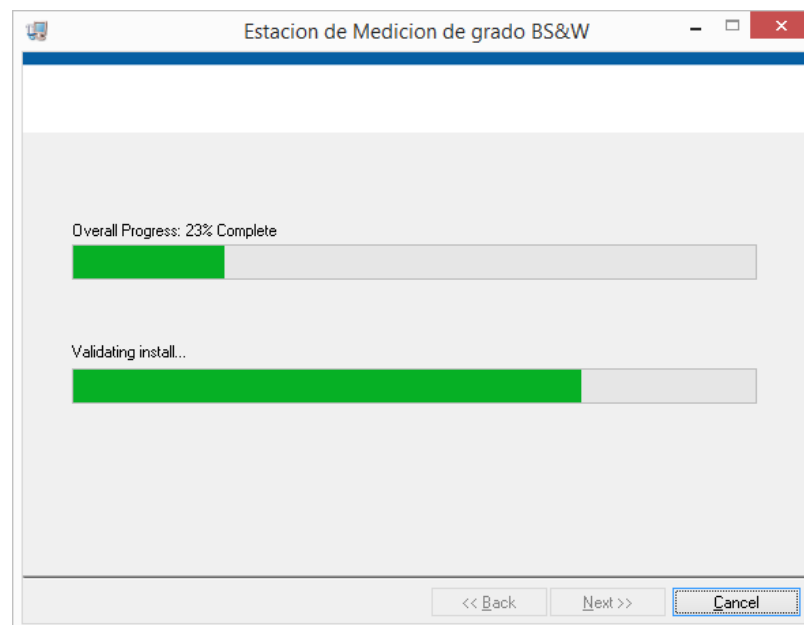


Figura 71 Ventana de progreso de avance de la instalación del HMI.

Después de finalizado la instalación se dirige a la carpeta donde seleccionamos que se instale la aplicación y aparecerá cuatro iconos como se indica en la Figura 72.

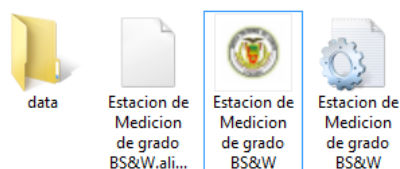


Figura 72 Directorio de instalación del HMI

5.5.3. Ejecución del programa HMI

Ejecutamos el programa dando doble clic en el icono que dice “Estación de Medición de grado BS&W”, y se abrirá la pantalla de inicio la que se indica en Figura 73.



Figura 73 Pantalla de inicio de la aplicación

Como se puede observar en la Figura 73, no se tiene acceso a la pantalla principal, ya que en el sistema aún no se ha definido un usuario. Para ingresar un usuario, se da clic en “Tools” luego en “Security” y por último en “Login”, como se indica en la Figura 74.

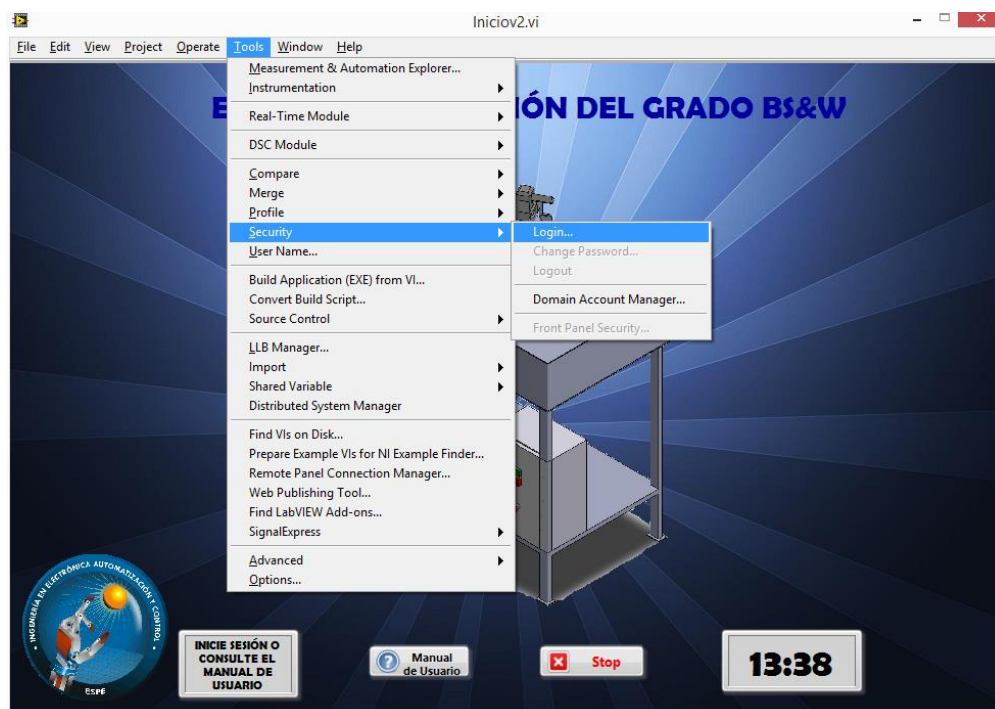


Figura 74 Pantalla de ingreso de usuario

Una vez que se despliega la ventana de “Login”, en la cual se ingresa el nombre de usuario y la contraseña, y damos clic en “OK”.

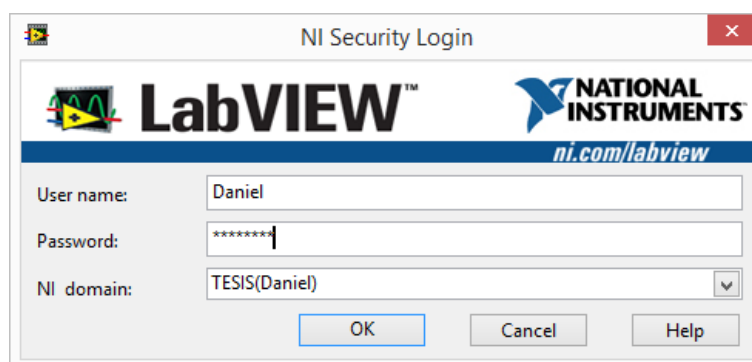


Figura 75 Ingreso de Usuario

Una vez ingresado el usuario correctamente, se habilita el botón de inicio como se observa en la Figura 76, con lo cual ahora ya se tiene acceso a la pantalla de operación de toda la aplicación.



Figura 76 Pantalla de inicio con acceso a todo el menú

Por ultimo para acceder a la ventana de operación se da clic en inicio, con lo que presentará el modo manual, también en esta pantalla se tiene acceso al menú de opciones, al modo semiautomático, al modo automático y al menú de ayuda como se muestra en la Figura 77. Dentro de esta ventana se tiene acceso a la operación de toda la estación.



Figura 77 Ventana de operación

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. PRUEBAS

Al terminar la implementación del sistema de teleoperación para la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado BS&W del crudo, es necesario comprobar el correcto funcionamiento de dicho sistema, mediante la determinación de la correspondencia existente de las acciones a realizar por el manipulador robótico junto con la centrífuga y lo desplegado por el HMI, en donde también se determina los tiempos de respuesta entre el ordenador y el resto de la estación.

6.1.1. Determinación del tiempo de latencia entre los datos enviados y recibidos entre la Interfaz HMI y la tarjeta Ethernet Arduino

Uno de los principales factores a tomar en cuenta antes de operar la estación mediante el sistema teleoperado, es determinar la correcta operación de la red. Esto se hará determinando parámetros como la latencia existente en el sistema, es decir el tiempo de respuesta del sistema Arduino al recibir una orden del sistema tele operado ya que esto determina su capacidad de reacción en tiempo real.

En función de lo anteriormente mencionado la primera prueba se basará en tomar datos directamente de la red del sistema, mediante una herramienta Sniffer de Datos y posteriormente realizar a modo de compilación un resumen de los tiempos de latencia existentes entre paquetes, por cada articulación del sistema, tanto en el ordenador como en controlador de la estación, conforme a los valores indicados en la Figura 78, así como los valores indicados en la Tabla 21 correspondiente a los parámetros de medición de entrega de

paquetes del ordenador y a los parámetros de medición de entrega de paquetes del controlador de la Tabla 22.

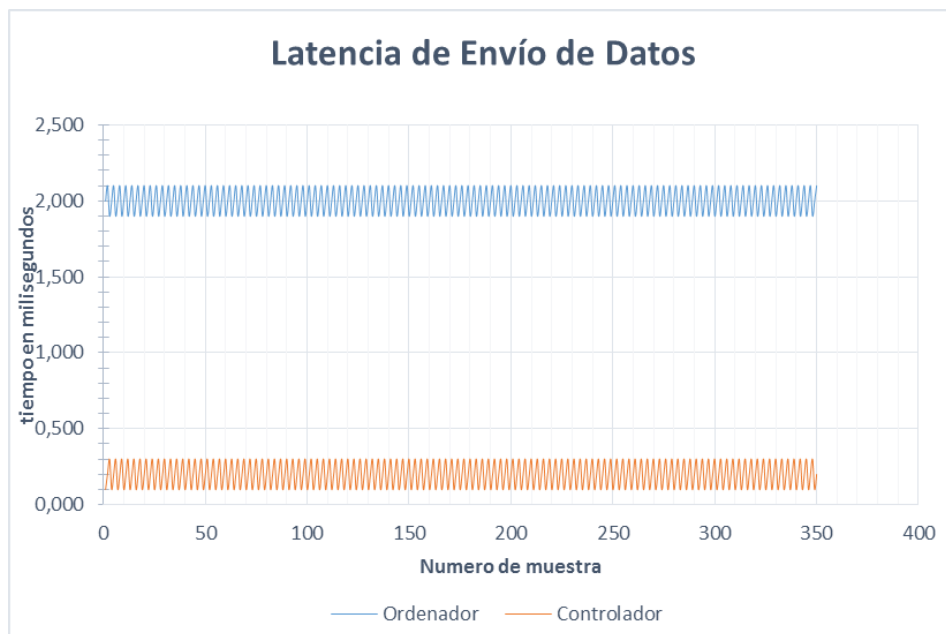


Figura 78 Datos obtenidos

Tabla 21

Parámetros de medición de entrega de paquetes del Ordenador

Tipo de articulación [Descripción de la articulación]	Tiempo mínimo [ms]	Tiempo máximo [ms]	Valor Promedio [ms]
Rotacional	Valor	Valor	Valor
Prismática eje Y	Valor	Valor	Valor
Prismática eje Z	Valor	Valor	Valor
Gripper	Valor	Valor	Valor

Tabla 22

Parámetros de medición de entrega de paquetes del Controlador

Tipo de articulación [Descripción de la articulación]	Tiempo mínimo [ms]	Tiempo máximo [ms]	Valor Promedio [ms]
Rotacional	Valor	Valor	Valor
Prismática eje Y	Valor	Valor	Valor
Prismática eje Z	Valor	Valor	Valor
Gripper	Valor	Valor	Valor

6.1.2. Tiempo de respuesta de retorno de datos mediante prueba Ping, entre la cámara IP, el controlador del sistema y el HMI

Esta prueba se realiza para determinar el tiempo de respuesta en milésimas de segundo que poseen la cámara IP y el controlador del sistema con respecto al ordenador donde se encuentre instalado el HMI. El tiempo de respuesta se utiliza para verificar que los elementos del sistema estén operando correctamente en la red y que la misma se encuentre operando en velocidades óptimas. A continuación se registra los valores obtenidos de acuerdo a la Figura 79, así como también se indica el resumen de estos valores conforme a la Tabla 23.

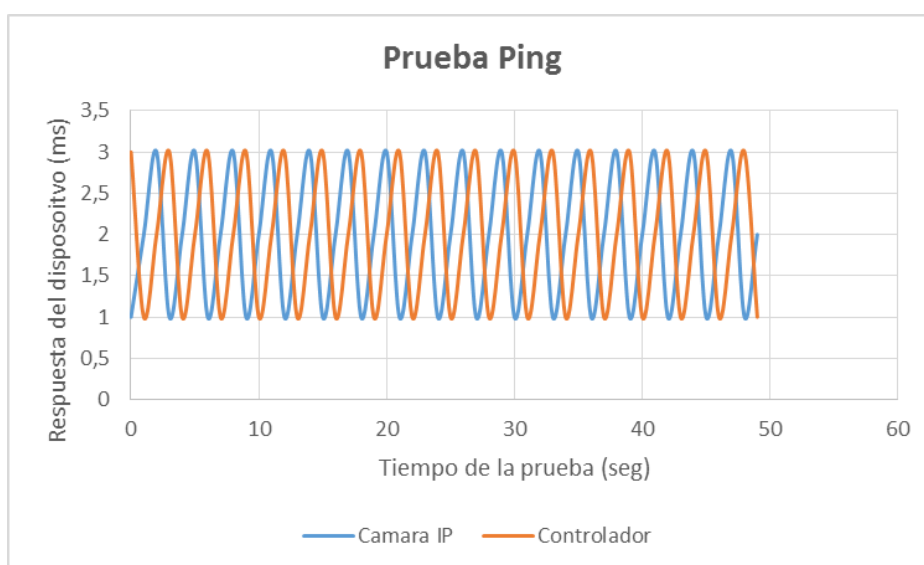


Figura 79 Datos obtenidos en la prueba Ping

Tabla 23**Resumen de la prueba Ping**

Nombre del Elemento [Descripción del elemento]	Tiempo mínimo [ms]	Tiempo máximo [ms]	Valor Promedio [ms]
Cámara IP	Valor	Valor	Valor
Controlador del sistema	Valor	Valor	Valor

6.1.3. Precisión en el posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK

Para comprobar que la precisión obtenida en el manipulador Robótico sea la óptima, se deberá obtener la misma mediante pruebas de posicionamiento de cada una de las articulaciones del manipulador. Es así que se comprobará el parámetro de precisión dentro de cada uno de los subprocesos que realiza el manipulador.

Una vez que se tomen el conjunto de mediciones mencionadas se realizarán los cálculos de error absoluto y error relativo en función del valor considerado como exacto es decir el valor ideal obtenido en voltaje y transformado a las unidades correspondientes, el valor obtenido en el HMI, para posteriormente obtener los errores.

Un mayor detalle de los parámetros medidos se muestra en la Figura 80 y en la Figura 81 tanto para la probeta 1 como para la probeta 2, respectivamente, y en la Tabla 24 y Tabla 25 se indica un resumen de los datos obtenidos en ambas probetas.

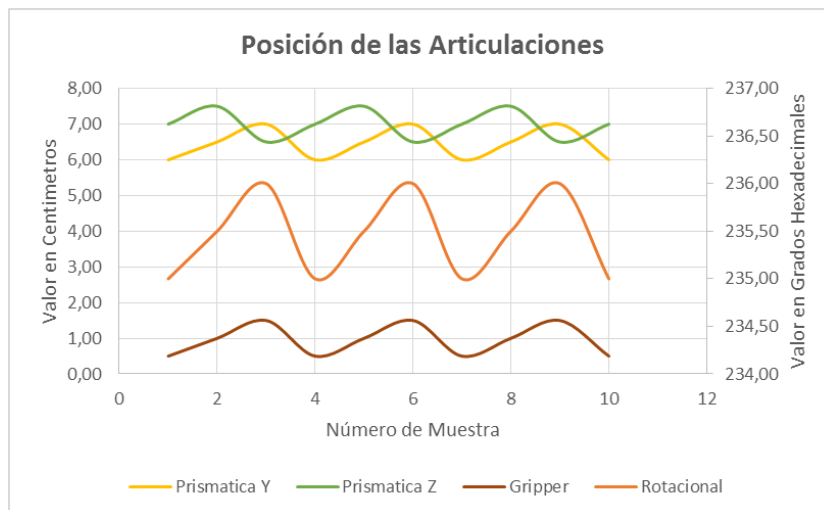


Figura 80 Valores de las Articulaciones para la probeta 1

Tabla 24

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1

Tipo de Articulación [Descripción de la articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto ($Valor\ leído - valor\ real$) [adimensional]	Error relativo ($\frac{Error\ absoluto}{Valor\ ideal} * 100\%$) [porcentual]
Descripción del tipo de articulación	Valor medio de los valores medidos	Valor considerado como ideal	Valor	Valor

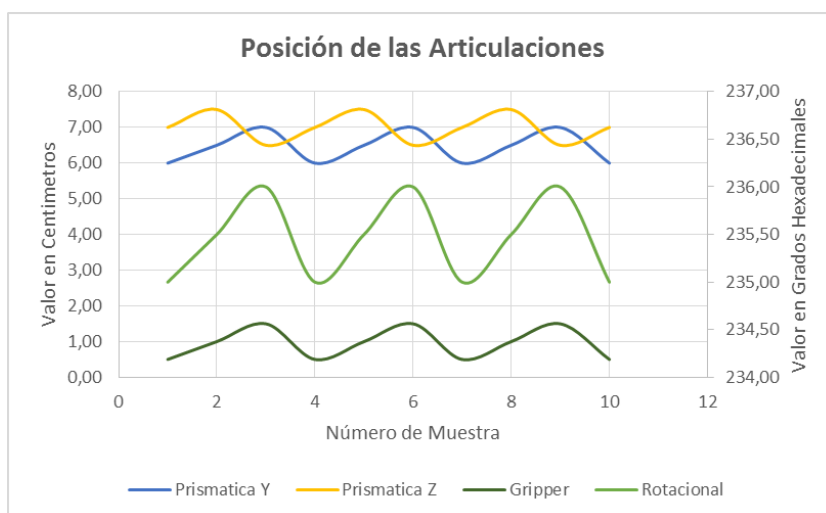


Figura 81 Valores de las Articulaciones para la probeta 2

Tabla 25

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2

Tipo de Articulación	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Descripción del tipo de articulación	Valor medio de los valores medidos	Valor considerado como ideal	Valor	Valor

6.2. RESULTADOS

6.2.1. Determinación del tiempo de latencia entre los datos enviados y recibidos entre la Interfaz HMI y la tarjeta Ethernet Arduino

Como se detalló en el apartado anterior de pruebas, en este apartado se han tomado un conjunto de 350 datos provenientes de un Sniffer de red llamado CommView, el cual permite observar todas las conexiones en la red como se indica en la Figura 82, así como los tiempos de envíos entre paquetes, los tiempos de recepción, el tamaño y tipo de los paquetes, entre otros datos, como se puede observar en la Figura 83.

IP Local	IP Remota	Entrada	Salida	Dirección	Sesiones	Puertos
[?] HMI	[?] Camara IP	6084	610	Salida	38	http,8554,5002,5000,5003,50...
[?] 192.168.1.1	[?] Router	0	112	Paso	0	1025,ssdp
[?] HMI	[?] 192.168.1.255	0	12	Salida	0	17500,netbios-ns,netbios-dg...
[?] Camara IP	[?] Router	0	43	Paso	0	1041,ssdp,1044
[?] HMI	[?] Router	0	3	Salida	0	

Figura 82 Conexiones de red de CommView

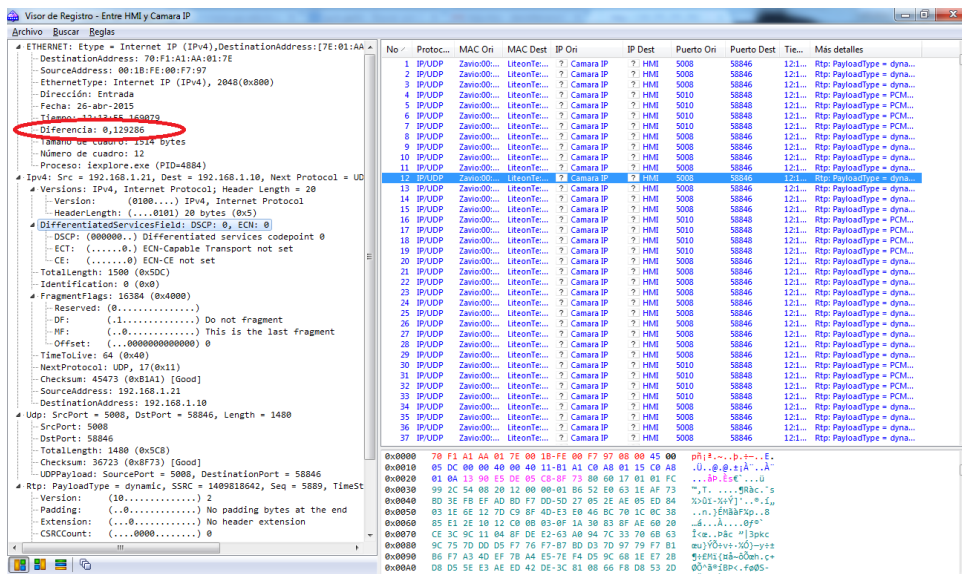


Figura 83 Visor de registro del CommView

Estos datos se separan entre los datos enviados vistos desde el ordenador con el HMI con los datos recibidos por el controlador. Los datos se tomaron enviando y recibiendo datos a cada una de las articulaciones; conforme a ello se expone a continuación la Figura 84 que muestra los datos de la articulación rotacional, mientras que la Figura 85 indica los datos de la articulación prismática Y, por otra parte la Figura 86 revela los datos de la articulación Z, y por último en la Figura 87 indica los resultados del gripper.

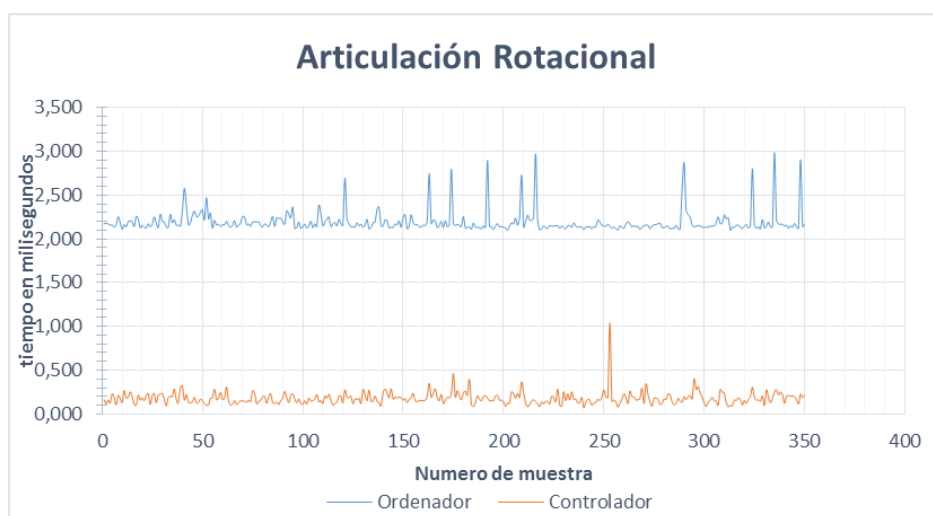


Figura 84 Tiempo de latencia de datos enviados a la articulación rotacional

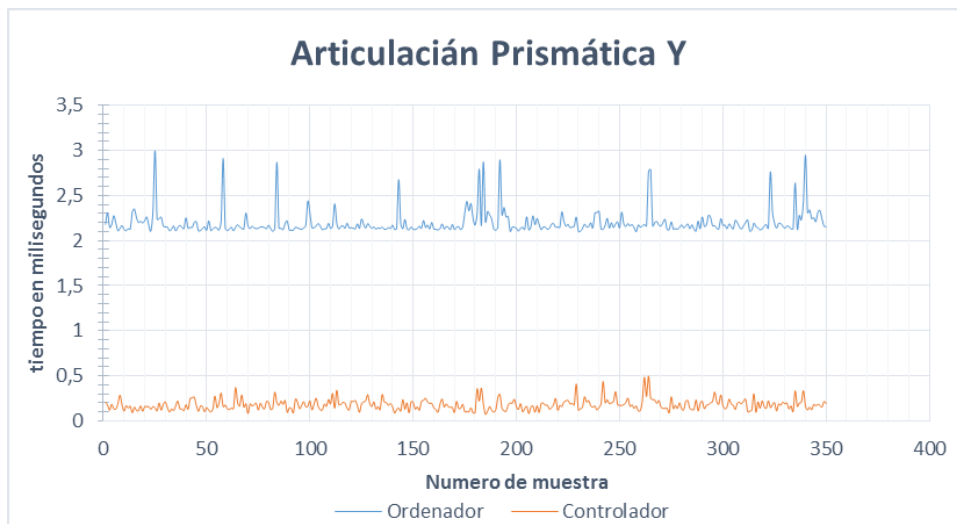


Figura 85 Tiempo de latencia de datos enviados a la articulación prismática Y

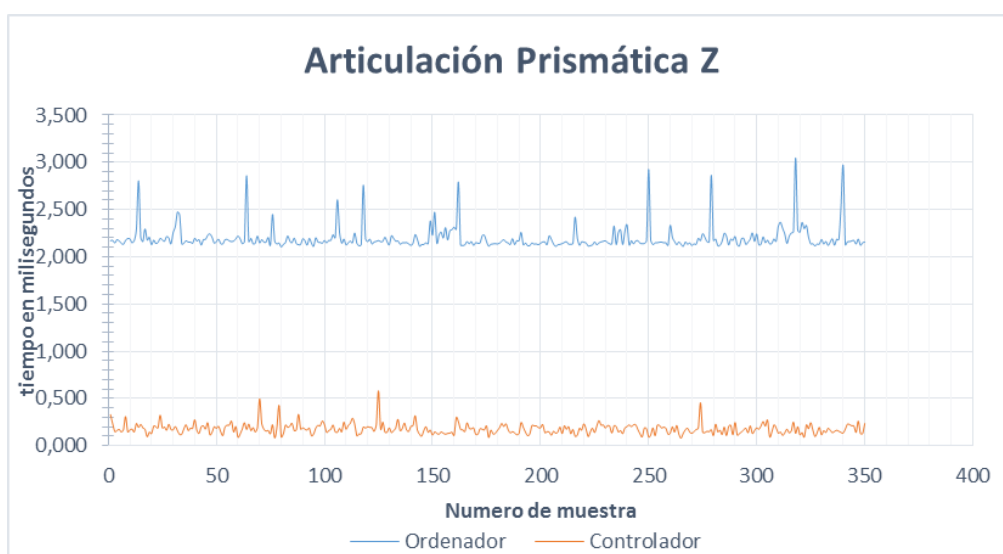


Figura 86 Tiempo de latencia de datos enviados a la articulación prismática Z

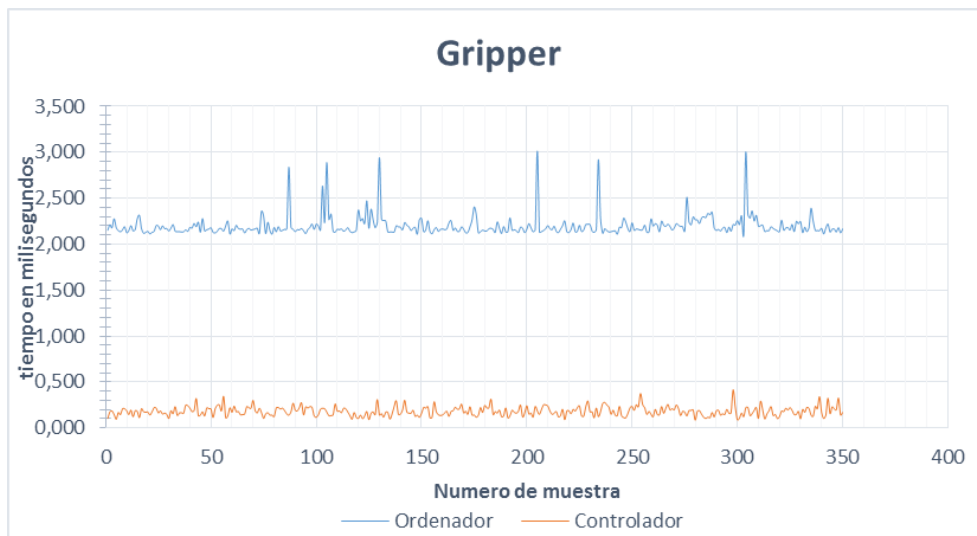


Figura 87 Tiempo de latencia de datos enviados al gripper

Con los datos obtenidos anteriormente se realizó dos tablas, en donde se resumen los tiempos mínimos, máximos y promedios para cada articulación. En la Tabla 26 se observa los parámetros de medición de entrega de paquetes del ordenador, mientras que en la Tabla 27 se muestran los parámetros de medición de entrega de paquetes del controlador.

Tabla 26

Parámetros de medición de entrega de paquetes del Ordenador

Tipo de articulación [Descripción de la articulación]	Tiempo mínimo [ms]	Tiempo máximo [ms]	Valor Promedio [ms]
Rotacional	2,101	2,987	2,193
Prismática eje Y	2,099	2,997	2,198
Prismática eje Z	2,105	3,047	2,194
Gripper	2,103	3,013	2,199

Tabla 27**Parámetros de medición de entrega de paquetes del Controlador**

Tipo de articulación [Descripción de la articulación]	Tiempo mínimo [ms]	Tiempo máximo [ms]	Valor Promedio [ms]
Rotacional	0,074	1,041	0,181
Prismática eje Y	0,075	0,497	0,178
Prismática eje Z	0,080	0,581	0,177
Gripper	0,084	0,415	0,180

6.2.2. Tiempo de respuesta de retorno de datos mediante prueba Ping, entre la cámara IP, el controlador del sistema y el HMI

Los datos recopilados en este apartado se han tomado a través de la herramienta Cywgin que es un sistema para comprobación de la red y un terminal de Linux que se ejecuta en un entorno de Windows como se puede observar en la Figura 88. En esta herramienta mediante un conjunto de comandos permite desplegar el parámetro de red deseado y para este caso se ha utilizado el parámetro Ping, el mismo que como datos de ejecución solicita al usuario las direcciones IP de los dispositivos involucrados en la red. Siendo la IP del sistema de supervisión y control HMI 192.168.1.100 desde donde se hace la solicitud ping hacia la IP de la estación robótica 192.168.1.177, y la IP de la cámara 192.168.1.20.

```

Daniel@Daniel-Toshiba ~
$ ping 192.168.1.10
PING 192.168.1.10 (192.168.1.10): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=0 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=1 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=2 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=3 ttl=128 time=1 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=4 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=5 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=6 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=7 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=8 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=9 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=10 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=11 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=12 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=13 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=14 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=15 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=16 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=17 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=18 ttl=128 time=0 ms
64 bytes from 192.168.1.10: icmp_seq=19 ttl=128 time=1 ms

```

Figura 88 Terminal Cywgin ejecutando un Ping

La prueba se ejecutó durante la operación de la estación, en donde se tomaron un conjunto de 50 muestras, que fueron tomadas cada segundo. Estos datos se pueden observar en la Figura 89 y se resumen en la Tabla 28.

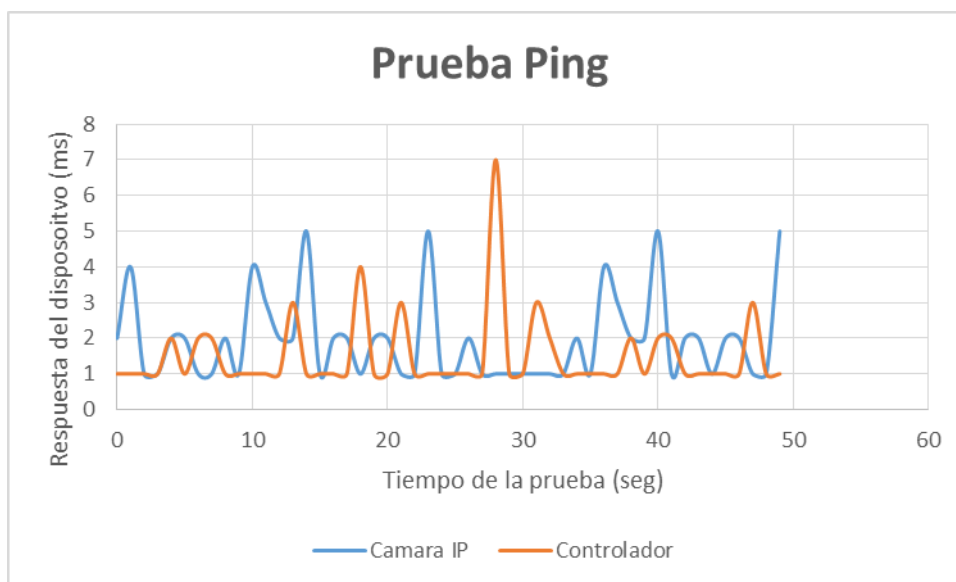


Figura 89 Datos obtenidos en la prueba Ping

Tabla 28

Resumen de la prueba Ping

Nombre del Elemento [Descripción del elemento]	Tiempo mínimo [ms]	Tiempo máximo [ms]	Valor Promedio [ms]
Cámara IP	1,000	5,000	1,940
Controlador del sistema	1,000	7,000	1,480

6.2.3. Precisión en el posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK

La toma de datos de la presente prueba se la realizó en uno de los subprocesos de la estación, cuyos valores provienen directamente del HMI como se indica en la Figura 90.

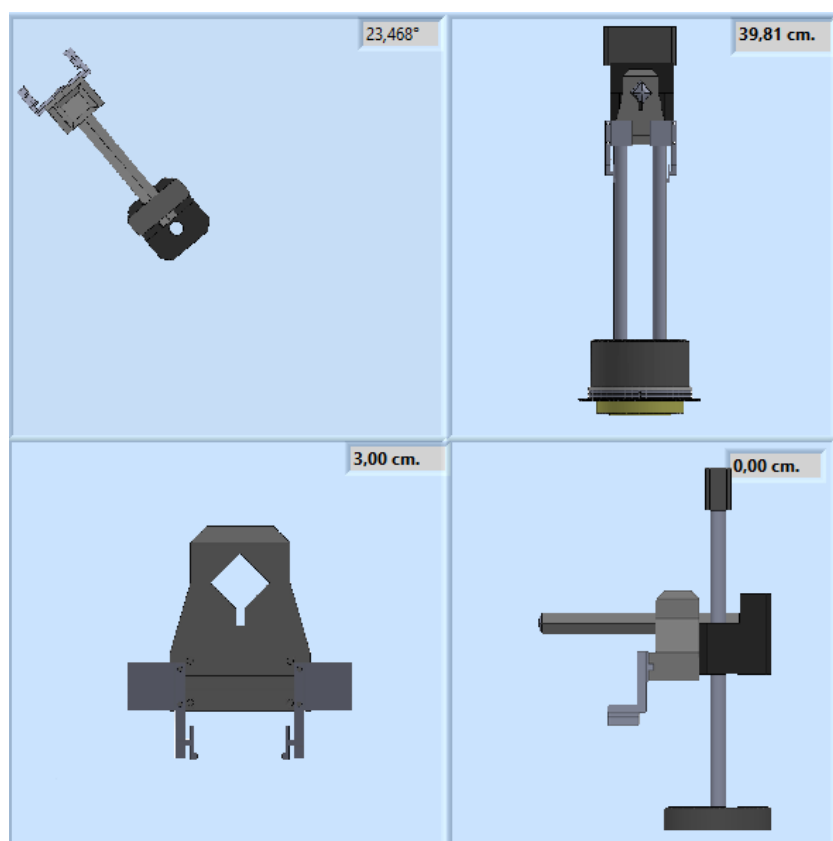


Figura 90 Zona de entrada de materia prima, valor de los sensores

6.2.3.1. Proceso de calentamiento de las muestras de crudo

El primer subproceso que se realiza en la estación es el calentamiento de las muestras de crudo. Este proceso inicia cuando las dos probetas se han colocado en la zona de materia prima y el manipulador ZYMARK los traslada hacia los precalentadores de la zona de precalentamiento.

El punto de inicio del traslado de las probetas es la zona de materia prima como se muestra en la Figura 91.

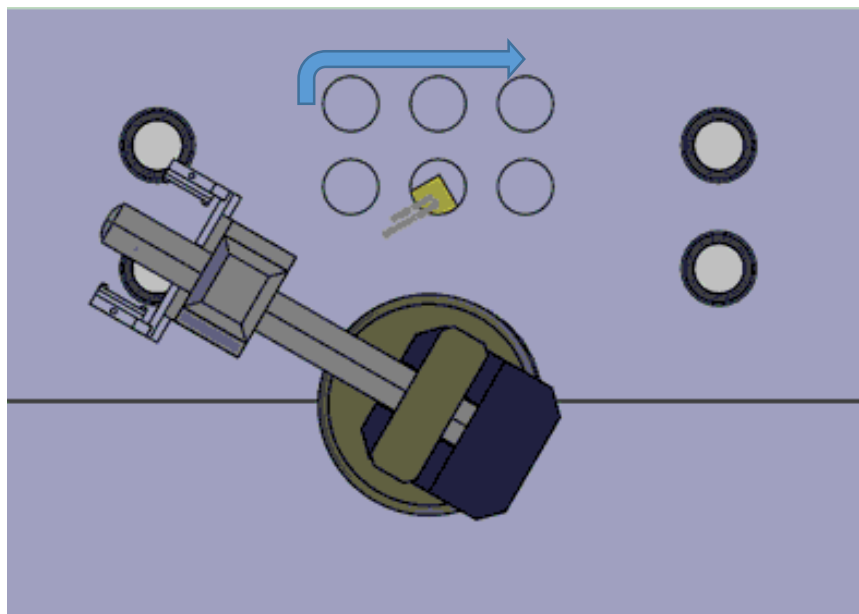


Figura 91 Traslado de la zona de materia prima a la zona de precalentamiento.

Se ha tomado los puntos iniciales en el movimiento del manipulador ZYMARK, para tomar una probeta del porta probeta 1 y 2 ubicado en la zona de entrada de materia prima. Este procedimiento se ha realizado diez veces para cada porta probeta. Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran para la probeta 1 en la Figura 92 y para la probeta 2 en la Figura 93.

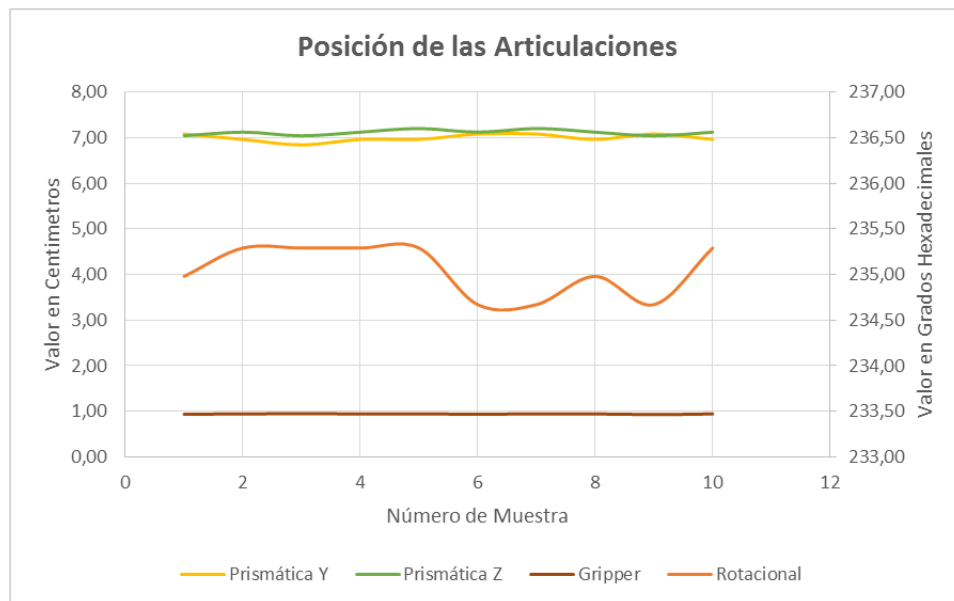


Figura 92 Valores de las Articulaciones para la probeta 1

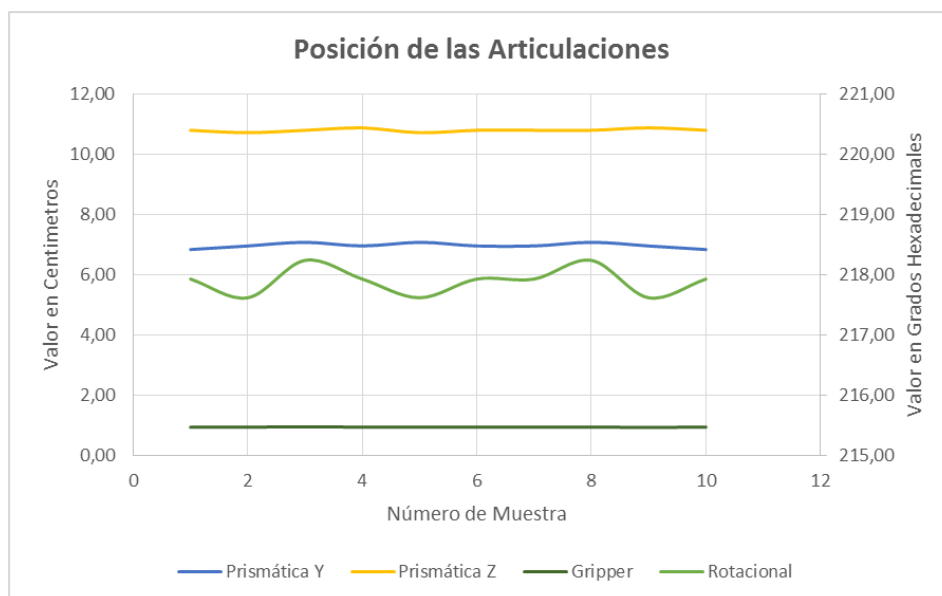


Figura 93 Valores de las Articulaciones para la probeta 2

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la cada articulación se obtuvieron los siguientes valores referentes al error de posicionamiento de las articulaciones, como se muestra en la Tabla 29 para la probeta 1, y para la probeta 2 en la Tabla 30.

Tabla 29

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1

Tipo de Articulación [Descripción de la Articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	235,04	234,67	0,37	0,16
Prismática eje Y	7,00	6,96	0,06	0,86
Prismática eje Z	7,11	7,12	0,04	0,56
Gripper	0,94	0,95	0,01	0,37

Tabla 30

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2

Tipo de Articulación [Descripción de la Articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	217,90	217,93	0,16	0,07
Prismática eje Y	10,80	10,80	0,03	0,30
Prismática eje Z	6,97	6,96	0,06	0,86
Gripper	0,94	0,95	0,01	0,79

6.2.3.2. Proceso de traslado a la zona de centrifugación

Este proceso consiste en que el manipulador robótico lleve las muestras calentadas de crudo desde los calentadores hacia la centrífuga, para que posteriormente las muestras sean centrifugadas, el punto de inicio de este proceso se indica en la Figura 94.

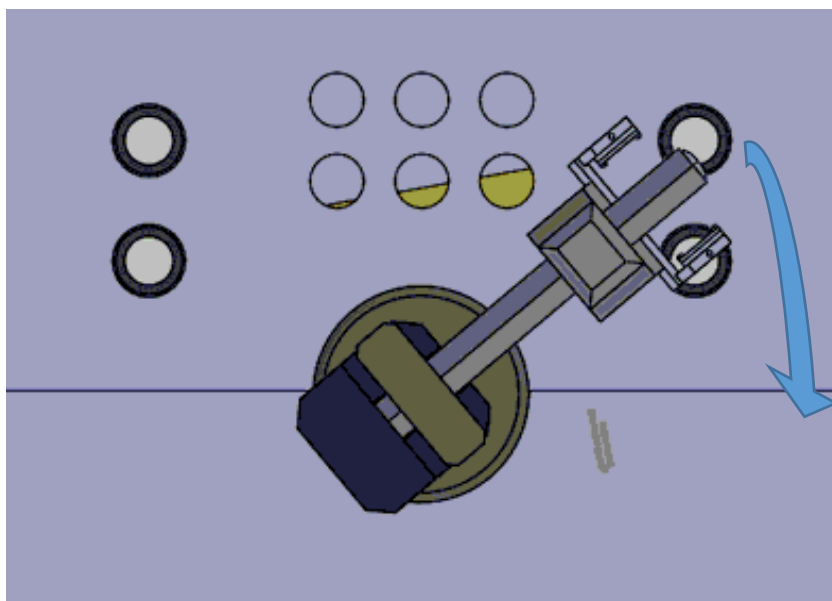


Figura 94 Traslado de la zona de precalentamiento a la zona de centrifugación

Se ha tomado los puntos iniciales en el movimiento del manipulador ZYMARK, para tomar una probeta de los precalentadores 1 y 2 ubicado en la zona de precalentamiento. Este procedimiento se ha realizado diez veces para cada porta probeta. Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran para la probeta 1 en la Figura 95 y para la probeta 2 en la Figura 96.

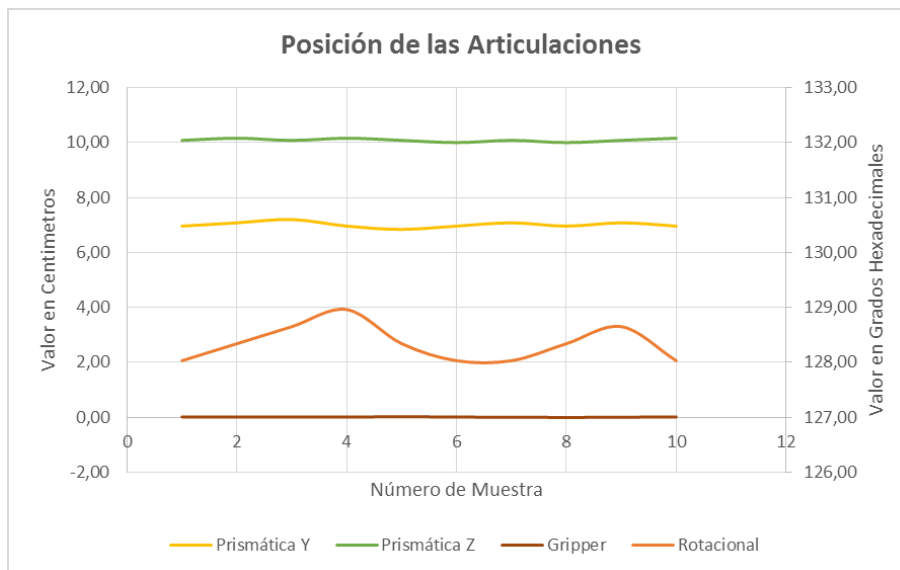


Figura 95 Valores de las Articulaciones para la probeta 1

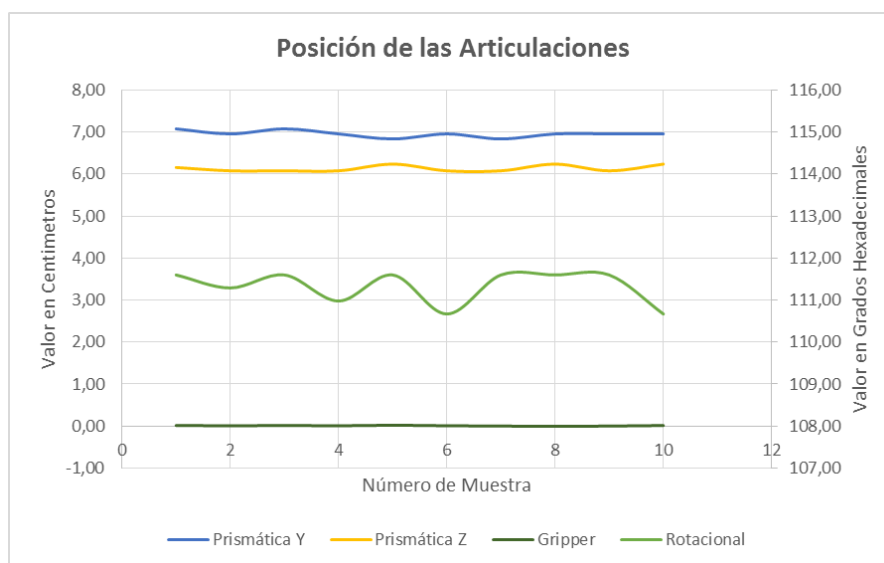


Figura 96 Valores de las Articulaciones para la probeta 2

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la cada articulación se tienen los siguientes valores referentes al error de posicionamiento de las articulaciones, como se muestra para la probeta 1 en la Tabla 31 y para la probeta 2 en la Tabla 32.

Tabla 31

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1

Tipo de Articulación [Descripción de la Articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	128,34	128,34	0,25	0,19
Prismática eje Y	7,01	6,96	0,07	1,03
Prismática eje Z	10,09	10,08	0,04	0,40
Gripper	0,01	0,01	0,01	0,06

Tabla 32

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2

Tipo de Articulación [Descripción de la Articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	111,32	111,60	0,28	0,25
Prismática eje Y	6,96	6,96	0,05	0,69
Prismática eje Z	6,14	6,08	0,06	0,92
Gripper	0,01	0,01	0,01	0,01

6.2.3.3. Proceso de centrifugación

Una vez que las probetas con crudo han sido centrifugadas, se encuentran listas para ser llevadas a la zona de entrega de componentes terminados. El manipulador ZYMARK es el encargado de trasladar a la zona de entrega, en función de los porta-probetas disponibles, a fin de posicionarlas en uno de los seis espacios, para su respectivo almacenamiento, conforme al proceso expuesto en la Figura 97.

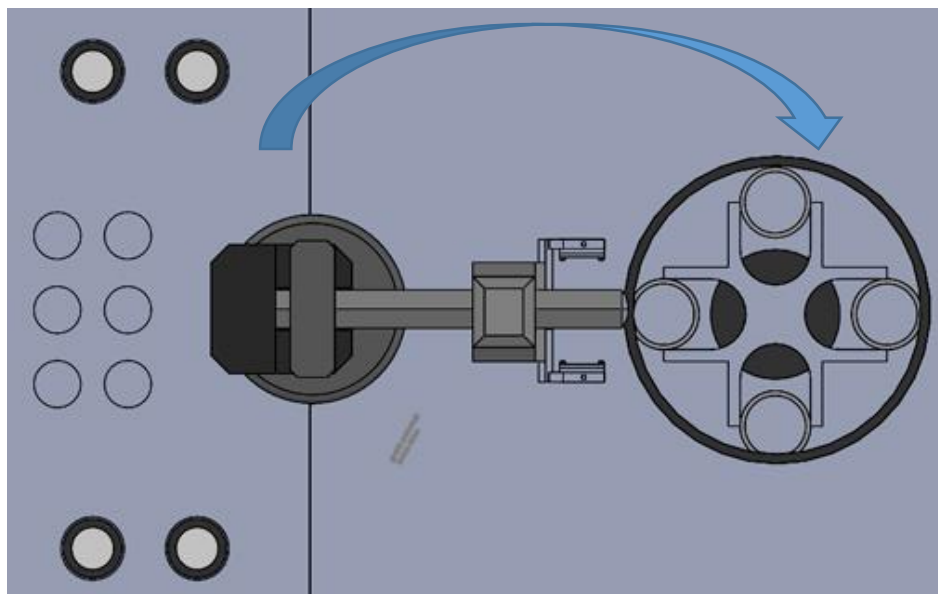


Figura 97. Ubicación de probetas en la zona de entrega.

Se ha tomado los puntos iniciales en el movimiento del manipulador ZYMARK, para tomar una probeta de la zona de centrifugación. Este procedimiento se ha realizado diez veces para cada porta probeta. Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran en la Figura 98 para la probeta 1 y en la Figura 99 para la probeta 2.

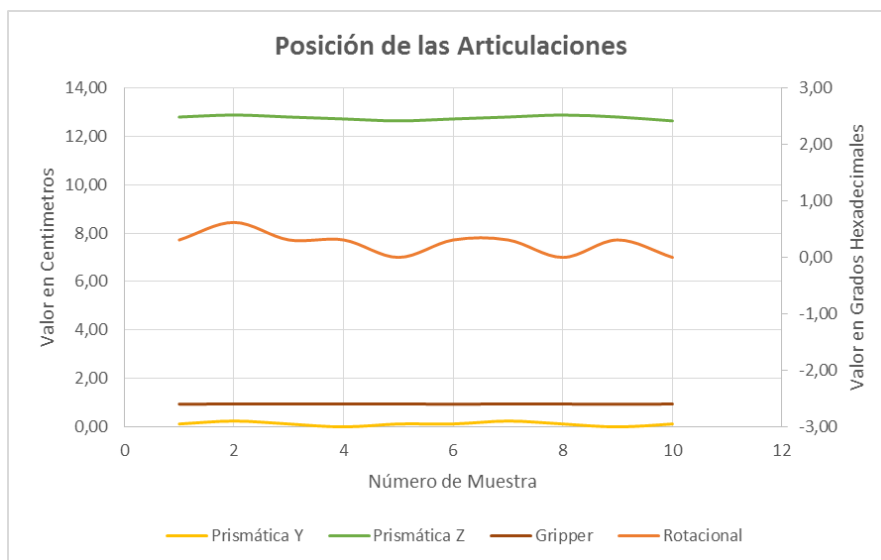


Figura 98 Valores de las Articulaciones para la probeta 1

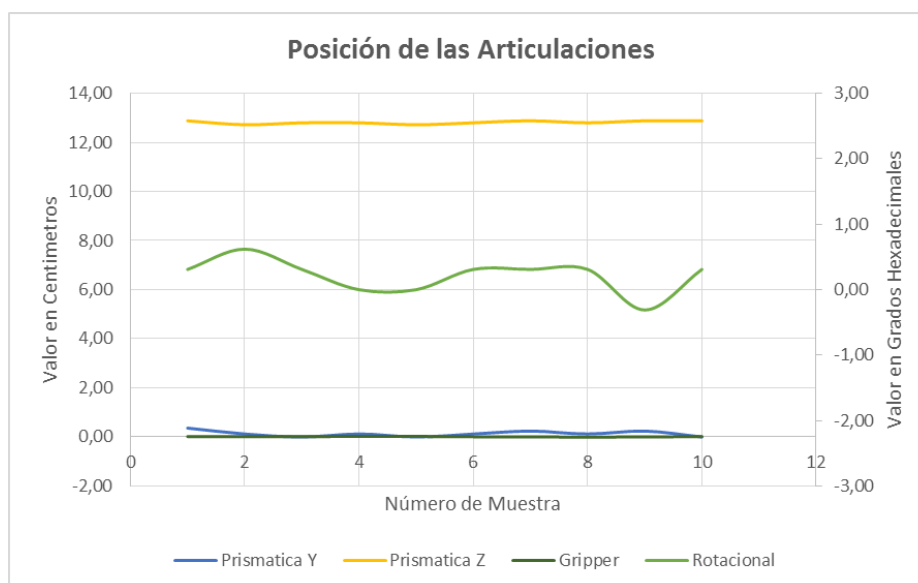


Figura 99 Valores de las Articulaciones para la probeta 2

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la cada articulación se tienen los siguientes valores referentes al error de posicionamiento de las articulaciones, como se muestra para la probeta 1 en la Tabla 33 y para la probeta 2 en la Tabla 34.

Tabla 33**Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1.**

Tipo de Articulación [Descripción de la Articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	0,25	0,31	0,12	1,20
Prismática eje Y	0,12	0,12	0,05	0,47
Prismática eje Z	12,77	12,80	0,06	0,50
Gripper	0,94	0,95	0,00	0,37

Tabla 34**Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2.**

Tipo de Articulación [Descripción de la Articulación]	Valores leídos en el HMI. [Grados Hexadecimales o centímetros]	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	0,22	0,31	0,16	1,60
Prismática eje Y	0,13	0,12	0,08	0,85
Prismática eje Z	12,82	12,80	0,05	0,38
Gripper	0,01	0,95	0,01	0,76

6.2.3.4. Proceso de despacho de componentes centrifugados.

Una vez que las probetas con crudo han sido centrifugadas, se encuentran listas para ser llevadas a la zona de entrega de componentes centrifugados. El manipulador ZYMARK es el encargado de trasladar las probetas a la zona de entrega en función de los porta-probetas disponibles, posicionando las probetas en uno de los seis espacios para el almacenamiento de dicha zona. En la Figura 100 se presenta el mencionado proceso.

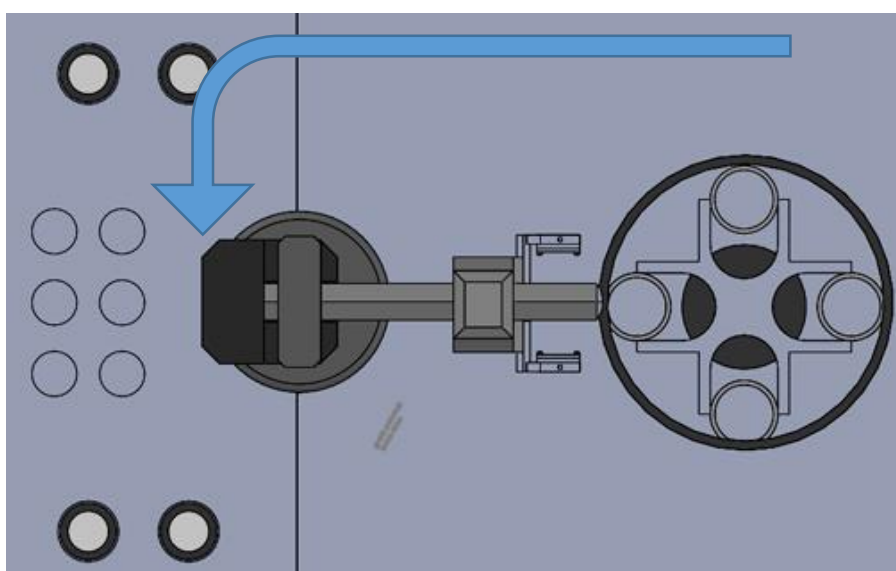


Figura 100 Ubicación de probetas en la zona de entrega.

Se ha tomado los puntos finales en el movimiento del manipulador ZYMARK, para posicionar las probetas 1 y 2 en las zonas de despacho 1 y 2, respectivamente. Este procedimiento se ha realizado diez veces para cada porta probeta. Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran para la probeta 1 en la Figura 101 y para la probeta 2 en la Figura 102.

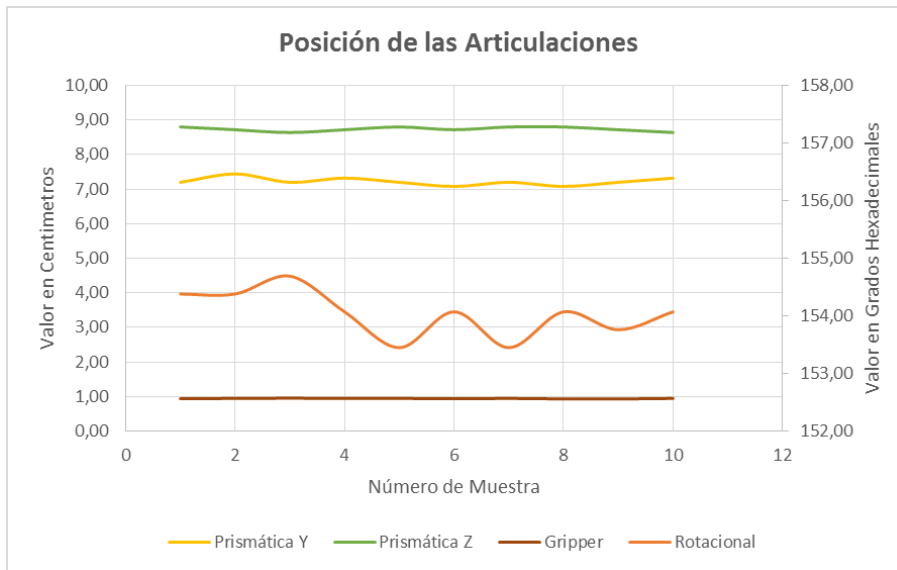


Figura 101 Valores de las Articulaciones para la probeta 1

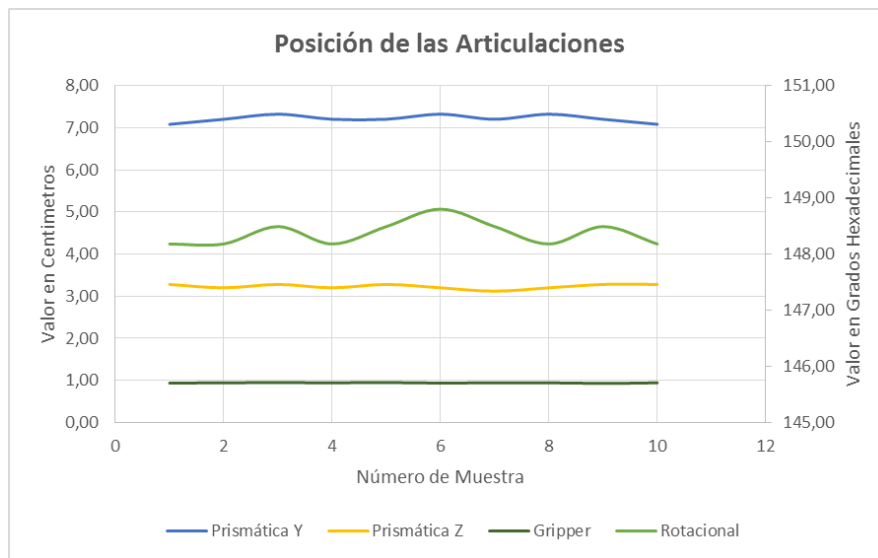


Figura 102 Valores de las Articulaciones para la probeta 2

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la cada articulación se tienen los siguientes valores referentes al error de posicionamiento de las articulaciones, como se muestra para la probeta 1 en la Tabla 35 y para la probeta 2 en la Tabla 36.

Tabla 35

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 1

Tipo de Articulación	Valores leídos en el HMI.	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	154,04	154,07	0,28	0,18
Prismática	7,22	7,20	0,07	1,00
eje Y				
Prismática	8,74	8,72	0,05	0,55
eje Z				
Gripper	0,94	0,95	0,01	0,94

Tabla 36

Resumen de los valores medidos en posicionamiento de las articulaciones en la probeta 2

Tipo de Articulación	Valores leídos en el HMI.	Valor ideal [Grados Hexadecimales o centímetros]	Error absoluto (<i>Valor leído – valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Rotacional	148,37	148,49	0,19	0,13
Prismática	7,21	7,20	0,06	0,83
eje Y				
Prismática	3,23	3,20	0,05	1,50
eje Z				
Gripper	0,94	0,95	0,01	0,76

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Se logró cumplir con el diseño y la implementación del sistema de teleoperación y monitoreo para la estación de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo, en base al alcance propuesto.

Se aprovechó de las nuevas tecnologías que se encuentran actualmente en nuestro mercado como son las tarjetas microcontroladas Arduino, y sus diferentes módulos de expansión, haciendo de estas tarjetas sistemas flexibles económicos, y de fácil programación.

Las señales provenientes de los sensores de posición fueron lineales, y muy estables tanto en la lectura del controlador como en el envío de los valores hacia el HMI, y gracias a las animaciones de la interfaz estos datos fueron presentados de forma más dinámica y de mejor comprensión para el operador.

La tarjeta de expansión de Ethernet usada para la transmisión y recepción de datos en el controlador de la estación, se comportó de manera muy estable, y la operación de la estación no afectó su rendimiento en la transmisión y recepción de datos.

El desarrollo de la mensajería entre la estación y el HMI fue exitoso, ya que facilitó la transmisión de datos entre ambos dispositivos, y fue mucho más fácil la interpretación de los mismos.

Se logró implementar todo un sistema de monitoreo, manejo, control y supervisión dentro de una misma plataforma de programación, la misma que puede ser controlado tanto desde el teclado físico, como a través de los botones virtuales propios de la aplicación.

El presente proyecto fue una valiosa experiencia en la implementación de un sistema teleoperado, lo que prueba que estos sistemas reaccionan como cualquier otro sistema cableado, lo cual permite hacer sistemas con mayor cobertura, ya que al manejar comunicaciones a través de protocolo UDP no limita las distancias, y como se observó en la sección 6.2.1 Determinación del tiempo de latencia entre los datos enviados y recibidos entre la Interfaz HMI y la tarjeta Ethernet Arduino, se observó que los tiempos de latencia fueron de menos de 1 milisegundo en el caso del HMI hacia la estación y de menos 2.5 milisegundos entre la estación y el HMI, haciendo de este sistema una plataforma rápida en tiempos de transmisión de datos.

Dentro del modo automático y semiautomático se implementó un control de velocidad en la centrífuga, a fin de evitar un arranque inicial brusco, y así proteger a las probetas de posibles daños, dicho control fue exitoso ya que durante todas las pruebas ninguna probeta resulto dañada.

Siendo este sistema una plataforma teleoperada es decir que se puede operar desde varias partes del mundo, hace que este que sistema sea ideal para la operación de procesos donde el operador corre riesgo de salir herido, o donde no hay gente capacitada para el manejo de este tipo de procesos.

El uso de una cámara IP dentro de la plataforma ayudo al operador a verificar si los movimientos de la estación coincidían con los mostrados por el HMI, haciendo de este sistema una plataforma robusta y segura al momento de manipularla.

Gracias a la flexibilidad en hardware y software de las tarjetas Arduino, y la flexibilidad de la programación gráfica de LabVIEW, la programación de

estos tipos de sistemas es mucho más rápida que en otros programas o lenguajes de programación similares.

La implementación de accesos de usuarios hace de este sistema seguro, ya que evita que personas no autorizadas manipulen el sistema, y provoquen posibles daños a la estación.

Al finalizar este proyecto se concluye que tanto el software de Arduino, como el software de National Instruments, LabVIEW, son herramientas tan flexibles que el código desarrollado en este proyecto puede servir para otro tipo de plataformas robóticas, o incluso ampliar el manejo de más estaciones desde el mismo proyecto gracias a que el uso de la red Ethernet no limita el número de dispositivos conectados en red, y así una sola persona estaría en la capacidad de operar varias estaciones desde un mismo lugar.

7.2. RECOMENDACIONES

Se puede optar por implementar un sistema de visión artificial y un sistema de base de datos, para determinar y almacenar los datos obtenidos después de todo el proceso de detallado en la sección 4.3.2 Lógica de control del modo automático.

Es recomendable instalar una cámara IP que soporte transmisión UDP, para que las imágenes sean vistas más rápidas que con otras cámaras que manejan protocolo TCP.

Este proyecto puede ser manejado desde internet, siempre y cuando se alquile una IP pública y el servidor ISP proporcione los puertos necesarios para el trabajo de la estación.

Para que la aplicación sea más robusta se puede optar por el protocolo TCP/IP, ya que este evita errores y colisiones de datos, pero ralentiza el envío y recepción de datos, lo que da mayor confiabilidad a menor velocidad.

Se recomienda que la estación se encuentre bien iluminada, para poder apreciar de manera más clara todo el proceso que realiza la estación.

Se recomienda que la instalación de la estación sea en un lugar seco, para evitar la corrosión de sus componentes mecánicos, y el posible daño por humedad de sus componentes eléctricos y electrónicos.

Se recomienda no prender la centrífuga en su velocidad máxima con probetas en su interior, ya que el arranque inicial brusco puede hacer que las probetas de centrifugación en ocasiones terminen dañadas o incluso rotas.

Siempre se recomienda ejecutar un comando Ping en un terminal para verificar que los dispositivos se encuentren en línea y listos para trabajar.

BIBLIOGRAFÍA

- (ASTM), A. S. (15 de Marzo de 2015). *Prueba ASTM D4007*. Obtenido de ASTM INTERNATIONAL: <http://www.astm.org/Standards/D4007.htm>
- ARDUINO. (2013). *Arduino CC*. Obtenido de Arduino CC: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- BOSCH, J., & CARMONA, M. (2012). *Instrumentación Electrónica Avanzada*. Barcelona, España. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/34483/1/Instrumentaci%C3%B3n%20Electr%C3%B3nica%20Avanzada-Instrumentaci%C3%B3n%20Inteligente.pdf>
- BUENO, A. (2015). *Unidad didáctica: "Control y Robótica"*. IES Gonzalo Anaya de Xirivella, Valencia. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/Robot/unidad_4_robotica_v1_c.pdf
- CHACÓN, R. R. (Febrero de 2002). La instrumentación virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica. *ACCIÓN PEDAGÓGICA*, 11(1). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2973136.pdf>
- Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos. (2014). *Fundamentos de los Sistemas Telemáticos*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de Universidad Politécnica de Madrid: http://www.dit.upm.es/~ftel/FTEL_0_Introduccionx2.pdf
- EDUCAR. (15 de Marzo de 2015). *Educar*. Obtenido de <http://www.educar.org/inventos/petroleo.asp>
- ELMO MOTION CONTROL. (2015). *ELMO MOTION CONTROL*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://www.elmomc.com/capabilities/6.GMAS%20Multi%20Axis%20Motion/12.GMAS%20Delta%20Robot/GMAS-Delta-Robot.htm#page=page-1>
- EUROPACK. (2012). *Europack palletising solutions*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://www.europackitaly.com/esp/robots-paletizadores/robot-cartesiano-master.html>
- GONZÁLEZ, V. (2004). *INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS Y DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO*. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2012). *ISO 8373*. Retrieved Marzo 15, 2015, from <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>

- JARAMILLO, M. (2014). *Diseño e Implementación de una estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas. Recuperado el 30 de 03 de 2015, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8561/1/T-ESPE-047808.pdf>
- KUKA ROBOTICS. (2015). *KUKA ROBOTICS*. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de http://www.kuka-robotics.com/es/products/industrial_robots/
- MATRIKON OPC. (2015). *MATRIKON OPC*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://www.matrikonopc.com/opc-drivers/302/base-driver-details.aspx>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (15 de Marzo de 2015). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (15 de Marzo de 2015). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Obtenido de <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/gprogramming.htm>
- OMRON. (13 de Septiembre de 2012). *OMRON INDUSTRIAL AUTOMATION*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://industrial.omron.co.uk/en/news/product-news/sy-smac-and-delta>
- PASCUAL, J. (2000). *Introducción a la Telemática*. Madrid, España. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <https://pastranamoreno.files.wordpress.com/2011/03/introduccion-a-la-telematica-y-redes-de-datotelefonica.pdf>
- PERE, A. (2012). *Diseño de Pantalla*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 01 de Abril de 2015, de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/pantalla.pdf>
- REPSOL - YPF. (1994). *Manual de Calidad*. Ecuador. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5910/1/18451_1.pdf
- ROBALLO, R. (6 de Octubre de 2011). *Genexus wiki*. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de [http://wiki.genexus.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control,](http://wiki.genexus.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control)
- SOTAX. (Julio de 8 de 2012). *LABX*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://www.labx.com/item/zymark-tpw3-tablet-processing-workstation/414158>
- STAUBLI ROBOTICS. (2015). *STAUBLI ROBOTICS*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://www.staubli.com/en/robotics/robot-solution-application/life-science-pharmaceutical-medical-robot/>
- TELEFONICA MOVISTAR. (2015). *Movistar*. Recuperado el 16 de Marzo de 2005, de <https://www2.movistar.com.ec/site/negocios/datos/m2m.html>

TOLEDO, J. (2015). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-12202>

ZAVIO. (30 de marzo de 2015). *ZAVIO*. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de <http://www.zavio.com/product.php?id=25>

ANEXOS

ANEXO 1

CÓDIGO FUENTE DEL HMI

ACTA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, 21 Mayo de 2015

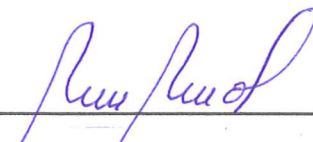
ELABORADO POR:



DANIEL LIZARDO TERÁN MERCHÁN

1719747030-0

AUTORIDAD



Ing. Luis Orozco MSc.



DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL