



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

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

AUTOR: JARAMILLO MONGE, MANUEL DARIO

TEMA: 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.

DIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

CODIRECTOR: ING. SEGOVIA, XAVIER

SANGOLQUÍ, MARZO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN 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 una estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación 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: "Manuel Dario Jaramillo Monge con cédula de identidad 1714298005".

Atentamente.



Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR



Ing. Xavier Segovia
CODIRECTOR

II
Declaración de Responsabilidad

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado "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", 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, 24 de Marzo del 2014



Manuel Dario Jaramillo Monge

III
Autorización de publicación

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "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", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 24 de Marzo del 2014



Manuel Dario Jaramillo Monge

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme brindado la capacidad de llegar a culminar mi carrera otorgándome constancia, disciplina, dedicación, sabiduría, entendimiento y la salud necesaria para haber sobrellevado los diferentes obstáculos y desafíos a lo largo de cada nivel.

A mi madre Elena

Por haber estado a mi lado en cada momento desde los primeros años de primaria hasta haber culminado esta etapa universitaria, siempre orientándome con sus sabios consejos y siendo mi soporte en los momentos más difíciles nunca dejando me dé por vencido.

A mi padre Manuel

Por ser el modelo a seguir en valores y carácter que siempre he tenido, sirviéndome de referente en cuanto a lo que una persona de bien debe ser, por su sacrificio diario en nombre de mi familia y por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

A mis hermanas Elena y Lizbeth

Por permitirme ser un amigo para ellas y formar parte de sus vidas recordándome siempre que debo ser un hombre de bien y lo bendecido que soy por que formen parte de mi vida.

A mis amigos

Por estar siempre presentes y pendientes de cada uno de los problemas que se han suscitado a lo largo de la carrera, 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 Dios por haberme brindado salud y vida y ser siempre la luz que guía nuestro camino en los momentos más oscuros.

A mi querida Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por haber sido la cuna de desarrollo profesional que me ha permitido culminar mi carrera, conocer amigos de por vida y haberme inculcado valores junto a un sentido de responsabilidad y ética profesional.

Al ingeniero Hugo Ortiz y al ingeniero Xavier Segovia por haber brindado su ayuda para la culminación de este proyecto de tesis, por su orientación y guía que determinó el satisfactorio cumplimiento de todos los objetivos planteados.

A mis amados padres Elena y Manuel por ser mis soportes en todo momento, por haberme inculcado valores a lo largo de mi formación, por ser un ejemplo de padres, por brindarme su cariño en todo momento y por su apoyo incondicional en todas los objetivos que fijo en mi vida.

A mi gran amigo Daniel 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 amigos y familiares que han estado conmigo a lo largo de estos años de formación profesional, sobre todo a David y Giovanni por su constante apoyo y ser amigos y compañeros incondicionales brindándome su apoyo en los momentos que lo he necesitado.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
1.3 ALCANCE	5
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO 2.	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 ROBOT CILÍNDRICO	11
2.1.1 Parámetros de desempeño de un manipulador robótico	13
2.1.1.1 Grados de Libertad (GDL)	13
2.1.1.2 Espacio o volumen de trabajo	14
2.1.1.3 Precisión de los movimientos	16
2.1.1.4 Capacidad de carga	17
2.1.1.5 Velocidad	18
2.1.1.6 Tipo de actuadores	19
2.1.1.7 Programabilidad	19
2.1.2 Métodos de control utilizados en manipuladores robóticos	20
2.1.2.1 Sistemas Servo Control o Control de lazo cerrado	20
2.1.2.2 Sistemas No Servo Controlados o Control de lazo abierto	21
2.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES	22
2.2.1 Elementos que conforman un sistema robótico	22

	VII
2.2.2	Articulaciones de un manipulador robótico 24
2.2.2.1	Tipos de articulaciones 25
2.2.3	Sensores y Actuadores 27
2.2.3.1	Actuadores 27
2.2.3.2	Sensores 32
2.3	APLICACIONES INDUSTRIALES 35
2.4	MEDICIÓN DEL GRADO BS&W EN EL PETRÓLEO 38
2.4.1	Prueba ASTM D4007 38
CAPÍTULO 3.	40
REHABILITACIÓN DEL MANIPULADOR ROBÓTICO “ZYMARK”	40
3.1	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL MANIPULADOR 40
3.1.1	Articulaciones del manipulador robótico..... 40
3.1.1.1	Articulación Rotacional..... 41
3.1.1.2	Articulación Prismática para el desplazamiento en el eje Z..... 42
3.1.1.3	Articulación Prismática para el desplazamiento en el eje Y..... 45
3.1.2	Elemento terminal o Gripper 46
3.1.3	Instrumentación existente en el manipulador ZYMARK 48
3.2	READECUACION MECANICA DEL MANIPULADOR ZYMARK..... 49
3.2.1	Articulación prismática para el eje Z 50
3.2.1.1	Guías de movimiento..... 50
3.2.1.2	Motor de la articulación del eje Z..... 52
3.3	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL DEL MANIPULADOR 55
3.3.1	Análisis de las señales de entrada y salida en el manipulador ZYMARK.. 55
3.3.2	Consumo energético del manipulador ZYMARK. 58
3.3.3	Sistema eléctrico de potencia para la activación de los motores del manipulador ZYMARK..... 60
3.3.3.1	El puente H 60
3.3.3.2	Elemento seleccionado para el cambio de giro de los motores..... 61
3.3.4	Diseño del sistema de control para los movimientos del manipulador ZYMARK..... 63
3.3.5	Elección del componente principal de control para el manipulador ZYMARK..... 65
3.4	DOCUMENTACIÓN 67

CAPÍTULO 4.	68
DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO BS&W.	68
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A REALIZAR EN LA ESTACIÓN	68
4.1.1 Proceso comercial para la medición del parámetro BS&W	68
4.1.1.1 La centrífuga Robinson 820A (Robinson, 2013)	70
4.1.2 Proceso de medición del parámetro BS&W con la integración del manipulador ZYMARK	72
4.2 DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO	74
4.2.1 Zona de centrifugación	74
4.2.2 Ubicación del manipulador ZYMARK en la estación.	76
4.2.3 Zona de entrada de materia prima	77
4.2.4 Zona de precalentamiento de crudo	79
4.2.5 Zona de entrega de componentes centrifugados	81
4.2.6 Documentación	82
4.3 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN.	83
4.3.1 La centrífuga Robinson	83
4.3.2 Activación de los precalentadores	83
4.3.3 Sistema de alimentación DC para el sistema	84
4.3.4 Sistema de alimentación AC para el sistema	85
4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA ESTACIÓN.	86
4.4.1 Diseño de la lógica de control para encendido de la estación.	86
4.4.2 Sistema de detección de probetas en la zona de entrada de materia prima.	89
4.4.3 Sistema de control de posición de la centrífuga Robinson.	90
 CAPÍTULO 5.	 92
IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO BS&W.	92
5.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES	92
5.1.1 Componente principal de control: ARDUINO MEGA 2560	92
5.1.2 Componente para activación de motores DC: Driver motor DC	93
5.1.3 Fuente de Alimentación DC: Fuente 12V-20A	93

5.1.4	Elemento para la activación de los precalentadores: ARDUINO relé de 5VDC.....	94
5.1.5	Sensor para la detección de posición en la centrífuga Robinson: TCS3200d	95
5.1.6	Sensor para la detección de presencia de probetas: Fin de carrera	97
5.1.7	Pulsador encendido/apagado del sistema: CHNT serie NP2-BW8445.....	97
5.1.8	Paro de emergencia del sistema: CHNT serie NP2-ES442	98
5.1.9	Componente principal de control: ARDUINO MEGA 2560	98
5.1.10	Porta fusible y fusible para riel Din.....	99
5.1.11	Relé para riel Din: Omron 12VDC	100
5.1.12	Borneras simples para Riel Din	101
5.1.13	Borneras dobles para Riel Din	102
5.2	INTEGRACIÓN	102
5.2.1	Instalación de componentes en el área próxima al manipulador ZYMARK.....	102
5.2.2	Instalación de la centrífuga Robinson.....	103
5.2.3	Disposición de los componentes del tablero de control.....	104
5.2.4	Cableado del sistema.....	106
5.2.5	Resultados de implementación de la estación respecto a los esquemas de diseño.	107
5.2.6	Lógica de programación del elemento principal de control.....	110
5.2.7	Diagramas de interconexión de componentes.....	113
5.3	PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN.....	113
5.3.1	Comprobación de alimentación del sistema.....	113
5.3.1.1	Alimentación global del sistema: 110VAC	113
5.3.1.2	Alimentación de la fuente de 12VDC.....	114
5.3.1.3	Convertidor DC/DC	115
5.3.2	Comprobación del correcto funcionamiento de la tarjeta ARDUINO Mega. 2560.....	116
5.3.3	Comprobación del funcionamiento del sensor de color para la centrífuga.	118
5.3.4	Análisis del consumo energético de la estación.....	119
CAPÍTULO 6.		121
PRUEBAS Y RESULTADOS.		121

		X
6.1	PRUEBAS.....	121
6.1.1	Detección de componentes en la zona de entrada de materia prima.	122
6.1.2	Precisión en la posición de las articulaciones del manipulador ZYMARK.....	123
6.1.3	Posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK en las zonas de trabajo.....	124
6.2	RESULTADOS.....	126
6.2.1	Detección de componentes en la zona de entrada de materia prima.	126
6.2.2	Precisión en la posición de las articulaciones del manipulador ZYMARK.....	128
6.2.2.1	Articulación Rotacional	128
6.2.2.2	Articulación Prismática del eje Z.....	129
6.2.2.3	Articulación Prismática del eje Y.....	131
6.2.2.4	Elemento terminal o Gripper.....	132
6.2.3	Posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK en las zonas de trabajo.....	134
6.2.3.1	Zona de entrada de materia prima.....	134
6.2.3.2	Zona de precalentamiento de crudo	141
6.2.3.3	Zona de centrifugación	148
6.2.3.4	Zona de entrega de componentes centrifugados	156
6.2.3.5	Error de posicionamiento de las articulaciones del .manipulador ZYMARK	163
 CAPÍTULO 7.		 165
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		165
7.1	CONCLUSIONES.....	165
7.2	RECOMENDACIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA.....		169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración de un Robot Cilíndrico.	12
Figura 2. Volumen de trabajo de un robot cilíndrico.....	15
Figura 3. Resolución espacial de un manipulador robótico.	16
Figura 4. Elementos de una célula robótica de trabajo.....	22
Figura 5. Movimiento de un servomotor con una señal PWM.	30
Figura 6. Diagrama de un motor a pasos de 4 devanados.	31
Figura 7. Articulación rotacional, robot ZYMARK.	41
Figura 8. Articulación prismática para el eje z.....	42
Figura 9. Polea guía defectuosa.....	43
Figura 10. Ubicación del motor que acciona eje Z.	44
Figura 11. Articulación prismática para el eje Y.....	45
Figura 12. Gripper del manipulador ZYMARK.....	46
Figura 13. Gripper totalmente abierto.....	47
Figura 14. Gripper totalmente cerrado.	47
Figura 15. Sensores de posición de manipulador ZYMARK.....	48
Figura 16. Juego de poleas funcional para la articulación del eje Z.....	51
Figura 17. Juego de poleas acoplado al potenciómetro y el motor.	52
Figura 18. Motor Pittman GM9413-3.	55
Figura 19. Ubicación del bus de señales entrada y salida, robot ZYMARK.	56
Figura 20. Puente H. (Harper, 2003)	61
Figura 21. Driver de potencia para motores DC.	62
Figura 22. Esquema de control del manipulador ZYMARK.....	64
Figura 23. Tarjeta ARDUINO MEGA 2560.	66
Figura 24. Proceso para medir el parámetro BS&W en el petróleo.....	69
Figura 25. Centrífuga Robinson 820A. (Robinson, 2013)	71
Figura 26. Proceso a implementar de medición del grado BS&W.....	73
Figura 27. Centrífuga Robinson 820A, sin su cubierta.	74
Figura 28. Diseño de la zona de centrifugación.....	75
Figura 29. Zona de centrifugación con centrífuga Robinson 870A.....	76
Figura 30. Integración del manipulador ZYMARK en la zona de centrifugación.	77
Figura 31. Porta-probetas utilizado en la estación.	78
Figura 32. Diseño de la zona de entrada de materia prima.	79
Figura 33. Calentadores utilizados en la estación.	80
Figura 34. Zona de precalentamiento.....	81
Figura 35. Zona de entrega.....	82
Figura 36. Diagrama de potencia	85
Figura 37. Diagrama de flujo para verificar presencia de probetas	89
Figura 38. Verificación de posición de la centrífuga.....	91
Figura 39. Fuente DC del sistema.....	94
Figura 40. ARDUINO relé de 5VDC.....	95
Figura 41. Módulo TCS3200d.....	96
Figura 42. Fin de carrera.	97
Figura 43. Pulsador NP2-BW8445.....	98
Figura 44. Botón de emergencia NP2-ES442.....	98

Figura 45. Breaker NB1 MCB.	99
Figura 46. Porta Fusible y Fusible para riel Din.	100
Figura 47. Relé de 12VDC marca Omron.	101
Figura 48. Bornera simple para Riel Din.	101
Figura 49. Bornera doble para Riel Din.	102
Figura 50. Disposición de componentes en el área del manipulador ZYMARK. ...	103
Figura 51. Instalación de la centrífuga Robinson y sensor de color.	104
Figura 52. Vista exterior del panel de control.	105
Figura 53. Interior del tablero de control.	105
Figura 54. Conexión de componentes en el área del manipulador ZYMARK.	106
Figura 55. Conexión de componentes en el tablero de control.	107
Figura 56. Vista isométrica del diseño de la estación.	108
Figura 57. Diseño: Zonas de trabajo de la estación.	108
Figura 58. Diseño: Panel de control de la estación.	109
Figura 59. Estación implementada.	110
Figura 60. Lógica de programación ARDUINO	112
Figura 61. Voltaje AC de alimentación del sistema.	114
Figura 62. Voltaje 12VDC de la fuente.	115
Figura 63. Voltaje del conversor DC/DC.	116
Figura 64. ARDUINO Mega 2560 cargando software.	117
Figura 65. ARDUINO Mega carga de software satisfactoria.	118
Figura 66. Datos enviados por el sensor de color.	119
Figura 67. Valor leído por el sensor en función del número de muestra.	126
Figura 68. Probetas de centrifugación en la zona de materia prima.	127
Figura 69. Movimiento de la articulación rotacional.	128
Figura 70. Movimiento de la articulación prismática del eje Z.	130
Figura 71. Movimiento de la articulación prismática del eje Y.	131
Figura 72. Movimiento del gripper.	133
Figura 73. Traslado de la zona de materia prima a la zona de precalentamiento.	134
Figura 74. Zona de entrada de materia prima, valor del sensor articulación rotacional.	135
Figura 75. Zona de entrada de materia prima, articulación rotacional.	137
Figura 76. Zona de entrada de materia prima, articulación eje Z.	137
Figura 77. Zona de entrada de materia prima, articulación eje Z.	139
Figura 78. Zona de entrada de materia prima, articulación eje Y.	139
Figura 79. Zona de entrada de materia prima, articulación eje Y.	141
Figura 80. Ubicación de probeta en la zona de precalentamiento.	141
Figura 81. Zona de precalentamiento, valor del sensor articulación rotacional.	142
Figura 82. Zona de precalentamiento, valor sensor en articulación rotacional.	144
Figura 83. Zona de precalentamiento, valor del sensor articulación eje Z.	144
Figura 84. Zona de precalentamiento, valor sensor en articulación eje Z.	146
Figura 85. Zona de precalentamiento, valor del sensor articulación eje Y.	146
Figura 86. Zona de precalentamiento, valor sensor en articulación eje Y.	148
Figura 87. Posicionamiento de probetas en la centrífuga.	149
Figura 88. Zona de centrifugación, valor del sensor articulación rotacional.	150
Figura 89. Zona de centrifugación, valor sensor en articulación rotacional.	151
Figura 90. Zona de centrifugación, valor del sensor articulación eje Z.	152

Figura 91. Zona de centrifugación, valor sensor en articulación eje Z.....	153
Figura 92. Zona de centrifugación, valor del sensor articulación eje Y.....	154
Figura 93. Zona de centrifugación, valor sensor en articulación eje Y.....	155
Figura 94. Ubicación de probetas en la zona de entrega.....	156
Figura 95. Zona de entrega, valor del sensor articulación rotacional.....	157
Figura 96. Zona de entrega, valor sensor en articulación rotacional.....	158
Figura 97. Zona de entrega, valor del sensor articulación eje Z.	159
Figura 98. Zona de entrega, valor sensor en articulación eje Z.	160
Figura 99. Zona de entrega, valor del sensor articulación eje Y.	161
Figura 100. Zona de entrega, valor sensor en articulación eje Y.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de articulaciones en manipuladores robóticos.....	26
Tabla 2. Manipuladores robóticos en la industria Ingles en 1984.....	37
Tabla 3. Principales parámetros de los potenciómetros BOURN	49
Tabla 4. Criterios para elección de motor	53
Tabla 5. Parámetros del motor Pittman GM9413-3 (PITTMAN, 2013).....	54
Tabla 6. Señales de entrada y salida al manipulador ZYMARK.....	57
Tabla 7. Consumo energético de los componentes del manipulador ZYMARK.....	59
Tabla 8. Principales características de Driver de Control de Motor DC	63
Tabla 9. Características de operación ARDUINO MEGA 2560.....	67
Tabla 10. Consumo energético DC global del sistema	84
Tabla 11. Consumo de energía DC del sistema	120
Tabla 12. Parámetros a medir para la detección de materia prima	122
Tabla 13. Parámetros relacionados a la precisión de cada articulación.	123
Tabla 14. Parámetros a medir del posicionamiento de las articulaciones	125
Tabla 15. Resultados de la detección de probetas.	127
Tabla 16. Resolución del movimiento de la articulación rotacional.....	129
Tabla 17. Resolución del movimiento de la articulación prismática del eje z.....	130
Tabla 18. Resolución del movimiento de la articulación prismática del eje Y	132
Tabla 19. Resolución del movimiento del gripper.	133
Tabla 20. Zona de materia prima, posicionamiento, articulación rotacional.....	136
Tabla 21. Zona de materia prima, posicionamiento, articulación eje Z	138
Tabla 22. Zona de materia prima, posicionamiento, articulación eje Y	140
Tabla 23. Zona de precalentamiento, posicionamiento, articulación rotacional ...	143
Tabla 24. Zona de precalentamiento, posicionamiento, articulación eje Z.....	145
Tabla 25. Zona de precalentamiento, posicionamiento, articulación eje Y.....	147
Tabla 26. Zona de centrifugación, posicionamiento, articulación rotacional	150
Tabla 27. Zona de centrifugación, posicionamiento, articulación eje Z.....	152
Tabla 28. Zona de centrifugación, posicionamiento, articulación eje Y	154
Tabla 29. Zona de entrega, posicionamiento, articulación rotacional	157
Tabla 30. Zona de entrega, parámetros de posicionamiento, articulación eje Z...	159
Tabla 31. Zona de entrega, parámetros de posicionamiento, articulación eje Y...	161
Tabla 32. Errores globales de posicionamiento manipulador ZYMARK	163
Tabla 33. Error en unidades físicas de posicionamiento de cada articulación.	164

RESUMEN DE PROYECTO

El presente proyecto, denominado 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, plantea como objetivo principal el diseño e implementación de una estación que realice un proceso que permita determinar el grado de asentamiento de sólidos y agua en una muestra de petróleo para lo cual dicha muestra debe ser centrifugada de tal manera que pueda ser separada en sus distintos componentes (petróleo, agua, sedimentos varios). El proceso será llevado a cabo por un manipulador robótico tipo cilíndrico el cual realizará las tareas de tomar las muestras de petróleo llevándolas hacia una zona encargada de calentarlas para que tengan una menor viscosidad y posteriormente sean colocadas en una centrífuga para crudo marca Robinson, una vez finalizado el proceso las muestras de crudo centrifugadas serán llevadas por el manipulador robótico hacia una zona destinada a almacenar las muestras de salida para que posteriormente un técnico laboratorista pueda analizar las muestras. El acondicionamiento del manipulador robótico para poder realizar el proceso consiste en una readecuación mecánica del mismo, diseño del sistema de potencia para la activación de motores, y el diseño del sistema de instrumentación y sensores para poder determinar con precisión la ubicación de las articulaciones del robot. El sistema de control del sistema esta comandado por una tarjeta Arduino Mega 2560 capaz de procesar las señales análogas provenientes del robot y capaz de dar las señales digitales y de modulación por ancho de pulso PWM para la activación de los motores del robot y centrífuga de acuerdo a los tiempos estipulados para el proceso.

PALABRAS CLAVE: Robot, Microcontrolador, Petróleo, Centrifugación, Calentamiento.

PROJECT SUMMARY

This project, called Design and Implementation of a preheating station and centrifugation for determining the degree of settling of sediment and water (BS & W) of petroleum, proposes as its main objective the design and implementation of a station to undertake a process to determine the degree of settling of solids and water in an petroleum sample for which the sample must be centrifuged so as to be separated into its components (petroleum, water , various sediments). The process will be conducted by a cylindrical robot manipulator type which performs the tasks of taking petroleum samples taking them to an area responsible for heat them to have a lower viscosity and then be placed in a centrifuge for oil brand Robinson once ended process crude centrifuged samples will be taken by the robotic manipulator to an area for storing the output samples to a laboratory technician can then analyze the samples . Conditioning of the robotic manipulator to perform the process consists of a mechanical readjustment of the same power system design for activating motors, and design of the instrumentation system and sensors to accurately determine the location of the joints of the robot. The control system is commanded by an Arduino Mega 2560 processes the analog signals from the robot, capable of providing digital signals and pulse width modulation PWM for the activation of the robot's motors and centrifuge according Card the stipulated time for the process.

KEYWORDS: Robot, Microcontroller, Petroleum, Centrifugation, Heating.

GLOSARIO

Manipulador Zymark: Robot o manipulador robótico cilíndrico utilizado en la industria farmacéutica para tareas de PICK & PLACE, fabricado por Industrias Sotax.

Controlador Lógico Programable - PLC: Dispositivos electrónicos posibles de programar para el control de un proceso determinado.

Manipulador CRS-255: Brazo robótico de 5 grados de libertad diseñado para trabajar en laboratorios de automatización, como levanta objetos, en el ámbito de investigación y educación.

BS&W: Parámetro referido al grado de asentamiento de sólidos y agua en el crudo.

ARDUINO: Término referido a un componente de hardware basado en microcontroladores utilizado para control de procesos debido a sus ventajas de entradas y salidas análogo/digitales.

CAPÍTULO 1.

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La formación de un profesional en Ingeniería Electrónica con especialidad en Automatización y Control, debe llevarse a la par con los avances tecnológicos y científicos del área, entre los que se incluyen los conocimientos relacionados a Robótica y Controladores Lógicos Programables (PLC's); para cumplir con esta orientación académica la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE cuenta con laboratorios específicos para cada una de estas áreas.

Para el área de Robótica y PLC's la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE cuenta con un laboratorio dedicado a dicha área de conocimiento, cuya función hablando específicamente de robótica es la de instruir a los estudiantes sobre las diferentes configuraciones robóticas que se encuentran hoy en día en la industria. Sin embargo actualmente dicho laboratorio cuenta con una sola configuración para manipuladores robóticos (es decir un solo tipo de robots), dicha configuración es de tipo antropomórfico (manipulador robótico que emula la forma humana de una extremidad, para este caso un brazo), específicamente se habla del manipulador CRS – A255; además del manipulador anteriormente mencionado el laboratorio de Robótica y PLC's cuenta con un manipulador robótico de característica hidráulica igualmente antropomórfico.

Los manipuladores robóticos son utilizados de manera frecuente en la industria debido a la versatilidad, exactitud y repetitividad que brindan en los procesos. Uno de los tipos de manipuladores robóticos que se emplean en la industria son los de configuración cilíndrica, la principal característica de los mismos es su versatilidad para tareas de Pick and Place (Tomar y ubicar) tareas en las cuales existen una gran variedad de aplicaciones disponibles para el empleo de los mismos.

En vista de las bondades que brinda un manipulador robótico cilíndrico, por iniciativa propia se decidió adquirir un manipulador robótico del tipo Cilíndrico de índole industrial (Robot ZYMARK), el cual será utilizado en el desarrollo del presente proyecto.

Al empezar a abordar la aplicación práctica que un manipulador robótico cilíndrico puede realizar, es indispensable mencionar que en la industria petrolera uno de los principales parámetros que se evalúan a diario en el petróleo es el BS&W (asentamiento de sedimentos y agua), mediante el cual se determina la pureza del petróleo; dicha pureza se obtiene en función de la cantidad de agua y sedimentos que una muestra de petróleo contenga. Para realizar dicho análisis se utiliza una prueba de laboratorio conocida como ASTM D4007.

La prueba ASTM D4007 consiste en tomar muestras de petróleo en probetas e introducirlas en una centrífuga, es necesario precalentar el petróleo de las probetas antes de empezar el proceso de centrifugación para que posteriormente al empezar la centrifugación se logren separar los diferentes componentes de la muestra, esta prueba es repetida varias veces al día y se realiza de manera diaria; razón por la cual es un proceso repetitivo que puede ser realizado con la integración de un manipulador robótico.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Durante la formación de un profesional en Automatización y Control en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE una de las materias de orientación profesional que el estudiante debe cursar es la asignatura de Robótica Industrial, en la misma se estudian los diferentes tipos de manipuladores robóticos existentes; sin embargo en los laboratorios de Robótica y PLC's únicamente se disponen de manipuladores CRS-255 lo cual limita la percepción del estudiante entre el conocimiento teórico y el práctico. Mediante el presente proyecto se pretende utilizar el conocimiento teórico de la asignatura de robótica y llevarlo a la práctica al trabajar con un manipulador robótico del tipo cilíndrico (robot ZYMARK) aplicado a un proceso industrial.

Al tener un primer contacto con el manipulador robótico ZYMARK, se encontró que el mismo presenta problemas en su estructura mecánica y una nula parte eléctrica y electrónica que realice el control de movimiento del mismo, el trabajo de ingeniería se centrará por lo tanto en aplicar los conocimientos que el estudiante de Automatización y Control debe tener para poder rehabilitar la parte mecánica del manipulador robótico y además diseñar e implementar un sistema de potencia y control para el movimiento del mismo, obteniendo de esta manera un manipulador robótico en óptimas condiciones de funcionamiento y adecuado para su integración en un proceso industrial.

En la industria petrolera se realizan varios análisis de laboratorio al petróleo de manera periódica, uno de los que se realizan con mayor frecuencia es el del parámetro BS&W (asentamiento de sedimentos y agua) del petróleo, este análisis consiste en tomar un conjunto de probetas que contienen muestras de petróleo, llevarlos a la centrífuga que se encargará de separar los componentes de las muestras y finalmente llevar las probetas con los compuestos separados para su análisis. Este proceso es realizado varias veces al día todos los días y el traslado de las probetas con muestras a la centrífuga y luego a la zona de análisis constituye un proceso repetitivo y engorroso para el operador, razón por la cual la integración de un manipulador robótico en el proceso ayudará a aliviar la carga del operador y hará que el proceso se realice de manera más eficiente.

1.3 ALCANCE

En el presente proyecto, se plantea en primera instancia la rehabilitación del manipulador robótico “ZYMARK” .Posteriormente se realizará el diseño y la implementación de una estación de trabajo robótica para la aplicación de “Precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo”.

Actualmente en su estructura mecánica el manipulador robótico ZYMARK, presenta daños en el movimiento de su articulación correspondiente al eje Y, en cuanto a la instrumentación los sensores de posición de las articulaciones y el gripper no presentan una calibración adecuada para su funcionamiento. Es así que en cuanto a la parte mecánica del robot ZYMARK el trabajo de rehabilitación se centrará en reemplazar el motor que presenta problemas para el movimiento de la articulación del eje Y, acondicionar el conjunto de poleas que sirven de guía y soporte para el movimiento de dicha articulación y además calibrar adecuadamente los sensores de posición de las articulaciones y del gripper a fin de que brinden una lectura adecuada y coherente al movimiento físico realizado.

Se puede detallar adicionalmente que el manipulador cilíndrico ZYMARK posee actualmente 4 motores que se encargan de transmitir el movimiento a las 3 articulaciones y al gripper, además de los sensores de posición que se encargan de brindar la información de posicionamiento de los mismos. Por lo tanto el trabajo se centrará en diseñar e implementar un sistema de potencia para la activación de los motores, diseñar e implementar un sistema de control que se encargue de adquirir las señales de los sensores, interpretarlas y realizar el movimiento de las articulaciones de acuerdo a las necesidades de la aplicación planteada en el presente proyecto.

Para la etapa de control del manipulador robótico, se ha decidido utilizar como elemento principal de control un sistema microcontrolado, mismo que se encargará de procesar las señales entregadas por los sensores del manipulador robótico y en función de las mismas enviar las respectivas señales de control a los actuadores. La adquisición de datos de esta manera será prácticamente en tiempo real para poder realizar un control óptimo del sistema.

Adicionalmente en cuanto a la rehabilitación del manipulador, se generará la documentación respectiva que incluirá planos y especificaciones. En lo referente a la instrumentación del manipulador se incluirá toda la información referida a los sensores que posee el mismo, su función y especificaciones técnicas, de tal manera que se tenga la información de las variables que se están sensando en el manipulador.

Debido a que el acondicionamiento del manipulador se diseñará en función de generar una estación de trabajo robusta, se incluirá un sistema de protecciones eléctricas, dentro de las cuales se encontrarán circuitos de conmutación como fusibles, contactores, disyuntores, relés, entre otros. El sistema de protecciones eléctricas poseerá indicadores que permitan verificar el estado de la estación; dichos indicadores son del tipo lumínico.

En cuanto a la aplicación en la cual se pretende integrar al manipulador robótico, la misma se dedicará a medir el parámetro BS&W en el petróleo, esta aplicación trabajará de modo tal que el manipulador robótico tomará las muestras de petróleo previamente depositadas en probetas y las colocará en una centrífuga para la separación de sus componentes, una vez finalizada la centrifugación el manipulador tomará las probetas y las colocará en una zona de despacho.

Por tanto para el diseño y la implementación de la estación de trabajo en primer lugar se utilizará la instrumentación respectiva que brinde la retroalimentación de la información sobre si se cuenta con las muestras de petróleo necesarias para empezar el proceso, esta información será procesada mediante el sistema de control del manipulador robótico.

Además se realizará la programación y la sincronización de los movimientos del manipulador robótico con el proceso, a fin de que el mismo sea capaz de tomar las muestras de petróleo de manera precisa llevándolas a la centrífuga y una vez procesadas las coloque de una manera previamente determinada en la zona de entrega.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar una estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Rehabilitar el robot cilíndrico ZYMARK solventando sus problemas mecánicos y de instrumentación.
- Realizar el diseño y la implementación de la etapa de potencia para la activación de los motores del manipulador robótico, buscando la mejor opción electrónica posible.
- Realizar el diseño e implementación del sistema control del robot cilíndrico ZYMARK.
- Realizar planos y esquemas del manipulador robótico "ZYMARK" a fin de documentar sus características, funcionalidad y especificaciones.
- Analizar el proceso de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado BS&W del petróleo.

- Diseñar la estación de trabajo para el proceso de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado BS&W del petróleo.
- Implementar la estación de trabajo para el proceso de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado BS&W del petróleo.
- Realizar pruebas de evaluación y desempeño de la estación de trabajo

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 ROBOT CILÍNDRICO (Calkiní, 2009)

Se conoce como Robot Cilíndrico a aquel que tiene dos ejes lineales y un eje rotacional. La posición del manipulador permite al brazo rotar cerca de la base también llamado espalda y los otros dos ejes permiten movimientos hacia arriba, hacia afuera y hacia adentro. Los ejes para las coordenada cilíndricas son θ (la base que es eje rotacional); R (alcance), el eje hacia adentro y hacia afuera; y Z el eje hacia arriba y hacia abajo.

En un robot cilíndrico normalmente la primera articulación es la que realiza el movimiento de rotación y los ejes lineales crean dos articulaciones del tipo

prismático, de esta forma se conoce a la estructura de un robot cilíndrico como estructura RPP (articulaciones rotacional, prismática, prismática, en ese orden) como se muestra en la Figura 1.

Debido a la naturaleza de la estructura del robot cilíndrico su posición se especifica de forma natural en coordenadas cilíndricas. Esta configuración robótica puede ser de interés en una célula flexible, con el robot situado en el centro de la célula sirviendo a diversas máquinas dispuestas radialmente a su alrededor (BRITO, 2005).

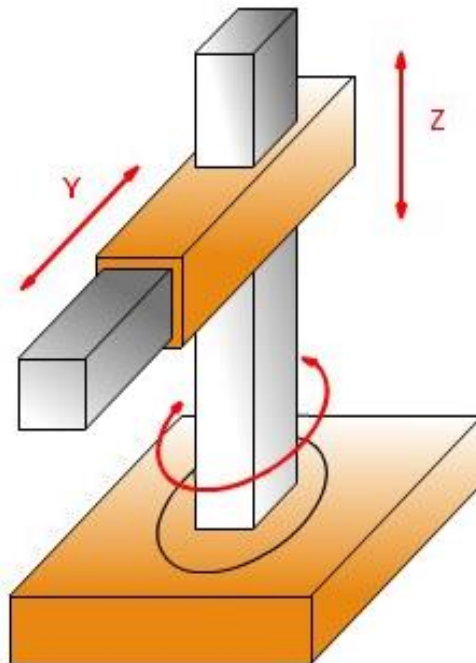


Figura 1. Configuración de un Robot Cilíndrico.

Fuente (Calkiní, 2009)

2.1.1 Parámetros de desempeño de un manipulador robótico (CALDAS, 2004)

Dentro de los parámetros que se toman en consideración al momento de evaluar el desempeño de un manipulador robótico se evalúan principalmente a los grados de libertad, el espacio de trabajo, la precisión de los movimientos, capacidad de carga, velocidad, tipo de actuadores, programabilidad. El análisis de estos parámetros brinda los criterios necesarios para elegir al correcto manipulador robótico para la tarea deseada. A continuación se detallan los parámetros previamente mencionados.

2.1.1.1 Grados de Libertad (GDL)

El término grados de libertad en un manipulador robótico se refiere a cada uno de los movimientos independientes (giros y desplazamientos) que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. A su vez mediante este parámetro se puede determinar la posición y la orientación del elemento terminal del manipulador (también conocido como gripper). El número de grados de libertad total de un manipulador robótico se compone de la suma de los grados de libertad de cada una de las articulaciones que componen la estructura mecánica del mismo.

En el caso ideal para posicionar y orientar un cuerpo de cualquier manera en el espacio se necesitan seis parámetros, tres de los cuales definen la posición del objeto a orientar y tres definen la orientación del mismo. Por lo tanto un manipulador robótico que desee orientar y posicionar un objeto de cualquier forma necesita al menos 6 grados de libertad (6 GDL).

En el caso específico de un robot cilíndrico el mismo posee tres grados de libertad los cuales corresponden a las tres articulaciones que posee el manipulador es decir una rotacional y dos prismáticas.

2.1.1.2 Espacio o volumen de trabajo

El espacio o volumen de trabajo constituye una de las principales características de operación de un manipulador robótico debido a que brinda la información de cómo puede el mismo interactuar con su entorno y de esta forma las tareas que puede realizar.

Entre los factores que definen al volumen de trabajo están los elementos físicos del manipulador, junto a los grados de libertad del mismo, estos factores definen la zona de trabajo del robot, característica fundamental en las fases de selección e implantación del modelo adecuado.

El volumen de trabajo de un robot por lo tanto se refiere únicamente al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca (donde se puede colocar un gripper).

Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el actuador final o gripper. La razón de ello es que a la muñeca del robot se le pueden adaptar grippers de distintos tamaños cambiando a su vez con ello el volumen de trabajo si el mismo fuera considerado (CALDAS, 2004).

Como su nombre lo indica el manipulador robótico cilíndrico tiene un volumen de trabajo con forma cilíndrica en el caso ideal. En el caso real un robot cilíndrico como se muestra en la Figura 2, el mismo no puede girar 360° con su articulación rotacional debido a limitaciones físicas del mismo, sin embargo el volumen de trabajo sigue teniendo la forma de un cilindro.

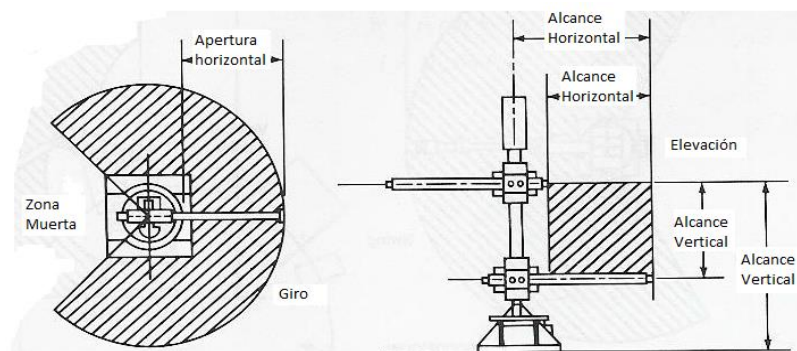


Figura 2. Volumen de trabajo de un robot cilíndrico.

Fuente: (CALDAS, 2004)

2.1.1.3 Precisión de los movimientos

La precisión de los movimientos de un manipulador robótico depende de tres factores, la resolución espacial, la exactitud y la repetibilidad.

Resolución espacial

La resolución espacial se define como el incremento más pequeño de movimiento en que el robot puede dividir su volumen de trabajo. De esta forma la resolución espacial puede definirse también como la distancia entre dos puntos adyacentes (mínima distancia entre dos puntos que alcanza el manipulador) tal y como se muestra en la Figura 3. Lo más común es que la distancia mínima que se puede desplazar un manipulador robótico en su extremo sea dada en milímetros, ya que mientras más pequeña sea esta medida más exacto será el manipulador. A continuación se ilustra de mejor manera este parámetro en donde R es la distancia mínima que el manipulador robótico se desplaza en su extremo.

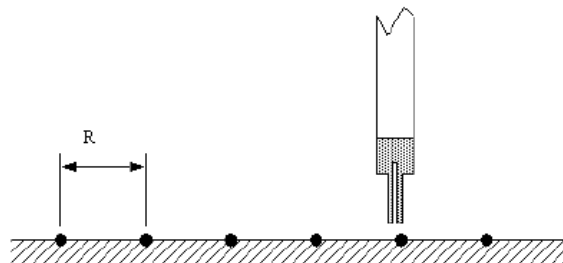


Figura 3. Resolución espacial de un manipulador robótico.

Fuente: (CALDAS, 2004)

Exactitud

Este parámetro define la capacidad del robot de posicionar el extremo de su muñeca o el extremo del gripper en caso de tenerlo en un punto determinado dentro del volumen de trabajo. Este parámetro se obtiene relacionando la distancia entre la posición especificada y la posición real alcanzada por el actuador terminal del robot. Este parámetro está directamente relacionado con la resolución espacial.

Repetibilidad

Se refiere a la capacidad del robot de regresar al punto programado las veces que sean necesarias. Esta magnitud establece el grado de exactitud en la repetición de los movimientos de un manipulador al realizar una tarea programada.

2.1.1.4 Capacidad de carga

Este parámetro se refiere específicamente al peso, en kilogramos, que puede transportar la garra del manipulador (gripper o elemento terminal). Al ser un parámetro relacionado directamente con las características de construcción del

manipulador robótico lo más común es que el mismo sea un dato proporcionado por los fabricantes, incluyendo el peso de la propia garra o gripper.

En modelos de robots industriales, la capacidad de carga de la garra, puede oscilar de entre 205kg. y 0.9Kg. La capacidad de carga es una de las características que más se tienen en cuenta en la selección de un robot, según la tarea a la que se destine.

En soldadura y mecanizado es común precisar capacidades de carga superiores a los 50kg (Rafael Iñigo Madrigal, 2002).

2.1.1.5 Velocidad

Se refiere a la velocidad máxima alcanzable por las articulaciones. En muchas ocasiones, una velocidad de trabajo elevada, aumenta extraordinariamente el rendimiento del robot, por lo que esta magnitud se valora considerablemente en la elección del mismo.

En tareas de soldadura y manipulación de piezas es muy aconsejable que la velocidad de trabajo sea alta. En pintura, mecanizado y ensamblaje, la velocidad

debe ser media e incluso baja dependiendo de la calidad del producto final deseado.

2.1.1.6 Tipo de actuadores

Los actuadores de un manipulador robótico son los elementos motrices que generan el movimiento de las articulaciones pueden ser, según la energía que consuman, de tipo hidráulico, neumático o eléctrico. El detalle de cada uno de estos tipos de articulaciones se detallará más adelante.

2.1.1.7 Programabilidad

Con los avances que se producen en el campo de la electrónica los controladores de los manipuladores robóticos tienen cada vez más componentes microelectrónicos integrados, los mismos permiten la programación del robot de muy diversas formas.

En general, los modernos sistemas de robots admiten la programación manual, mediante un módulo de programación. Las programaciones gestual y textual, controlan diversos aspectos del funcionamiento del manipulador.

2.1.2 Métodos de control utilizados en manipuladores robóticos (Calkiní, 2009)

Un sistema de control en un manipulador robótico cumple la función de controlar las acciones a realizar por las articulaciones a fin de que se realicen acciones individuales que en un orden específico ejecuten el ciclo de movimiento deseado para realizar una acción de trabajo. Básicamente los sistemas de control empleados en manipuladores robóticos pueden ser clasificados en controlados y no controlados.

Los robots sin servomecanismo no son adecuados para aplicaciones que requieren que un efector final se mueva a diversas posiciones dentro de un cierto volumen de trabajo. En tales casos es necesario utilizar robots servo controlados.

Los sistemas servo controlados son sistemas de malla cerrada en los cuales necesita medirse la variable controlada. Además de permitir el control de la posición, estos sistemas pueden usarse para medir la velocidad y aceleración.

2.1.2.1 Sistemas Servo Control o Control de lazo cerrado

Este sistema consiste en retroalimentación continua respecto a la velocidad, dirección y posición de las articulaciones del robot. Dentro de este tipo de robots

se pueden encontrar los robots punto a punto (PTP) y de trayectoria continua (CP), esta clasificación se da en función de las exigencias de la aplicación que el robot realizará. Existen muchas actividades que requieren un control preciso de la trayectoria entre 2 puntos como por ejemplo la soldadura continua, en este caso el control PTP puede ser inadecuado y posiblemente resulte necesario emplear un control CP. En general las ventajas de un control de lazo cerrado son:

- Uso donde la ruta de movimiento es crítica.
- Gran capacidad de retroalimentación.
- Puede realizar tareas más complejas y diversas.

2.1.2.2 Sistemas No Servo Controlados o Control de lazo abierto

La diferencia principal con un sistema de control en lazo cerrado es que el movimiento se controla mediante un sensor al final de la articulación. Los robots no controlados o sin servomecanismo se conocen como robots de extremo a extremo, para levantar o colocar o de secuencia limitada.

Su naturaleza de malla abierta lo restringe a la realización de tareas simples como la transferencia de partes de un lugar a otro. Por otra parte, estos robots cuentan con varias ventajas como bajo costo, precisión, confiabilidad y sencillez.

2.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

2.2.1 Elementos que conforman un sistema robótico (CALDAS, 2004)

Los movimientos que se generan dentro de un sistema robótico no solo se dan exclusivamente por el robot en sí; el brazo mecánico realiza únicamente los movimientos para cumplir con la tarea a desempeñar por la célula de trabajo. En la Figura 4 se muestran los componentes que conforman una célula robótica de trabajo.

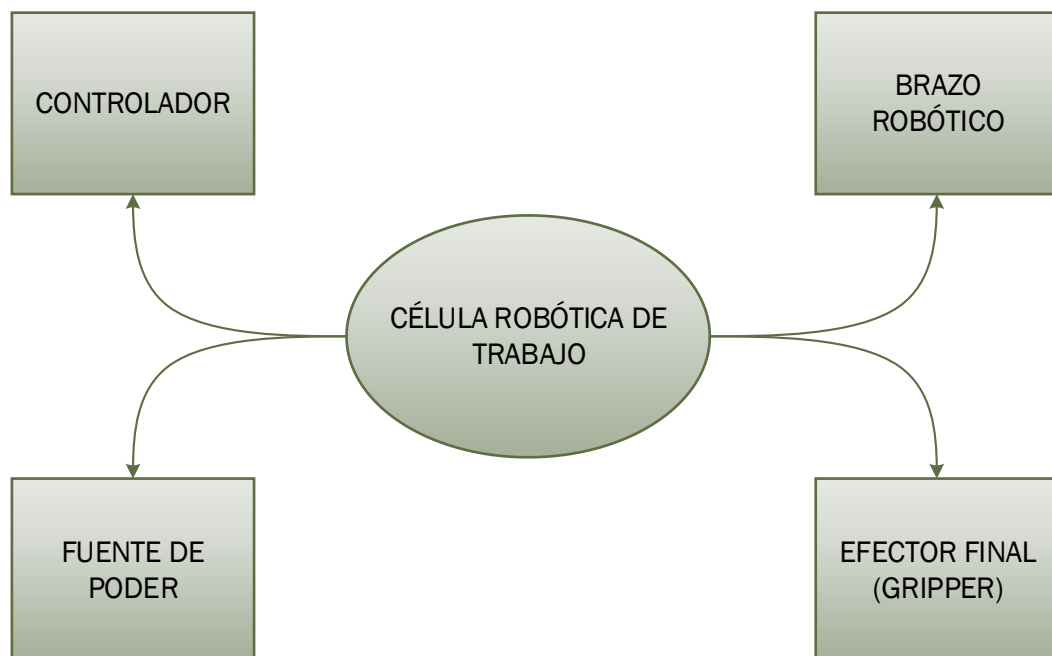


Figura 4. Elementos de una célula robótica de trabajo.

El Brazo Robótico

El brazo mecánico está constituido por el manipulador robótico en sí, refiriéndose al mismo en su estructura mecánica. Para el caso del presente documento el Brazo Robótico es el manipulador robótico Cilíndrico ZYMARK.

La fuente de poder

Es la que se encarga de suministrar la potencia que hará que el manipulador robótico pueda ejecutar sus movimientos. Esta potencia puede ser administrada de tres formas, de manera eléctrica, neumática o hidráulica. El manipulador robótico ZYMARK necesita para su funcionamiento de una fuente Eléctrica.

El controlador

Para una célula de trabajo robótica el controlador es aquel que realiza las veces de computadora, cuenta en su hardware con una CPU y una serie de entradas para la recolección de señales del manipulador robótico y su entorno y un conjunto de salidas para enviar señales de control. Un controlador realiza tres funciones en una célula de trabajo robótica:

- Inicia y termina el movimiento del manipulador de acuerdo con una secuencia y en los puntos deseados.
- Almacena la información de la secuencia de movimiento y la posición en la memoria interna.
- Realiza la interface con el entorno o ambiente en que opera el manipulador robótico.

El Efecto Final

Es el elemento del manipulador robótico que realiza la actividad para la cual se colocó el robot en el proceso, su función puede ser la de sujetador o la de herramienta. Es importante recalcar que el Efecto final o Gripper puede ser cambiado de acuerdo a la operación que el manipulador robótico necesite realizar.

2.2.2 Articulaciones de un manipulador robótico (José Luis Lopez Segovia, 2007)

Las articulaciones en un robot pueden ser de revolución o prismáticas, las del primer tipo se refieren a un movimiento de tipo rotacional que se genera por el movimiento de un motor, por otro lado la articulación prismática implica la

conversión de un movimiento de revolución entregado por el actuador (un motor) en un movimiento de traslación.

2.2.2.1 Tipos de articulaciones


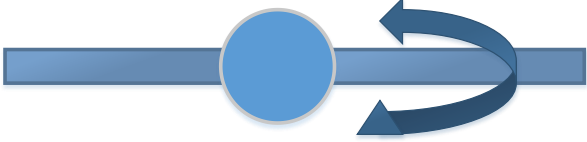
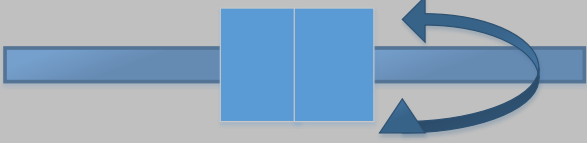
Las articulaciones y el movimiento que las mismas realizan están asociadas directamente con los grados de libertad del manipulador robótico por lo que mientras más articulaciones más grados de libertad tendrá el manipulador robótico.

En el diseño de robots industriales las articulaciones suelen implicar un movimiento relativo a las uniones contiguas, este movimiento es lineal o rotacional. Las articulaciones con movimientos lineales implican un desplazamiento deslizante o dicho en otras palabras de traslación de las uniones de conexión. La articulación de movimiento lineal también se conoce como articulación de tipo L (lineal) y en robótica se denomina comúnmente como articulación Prismática.

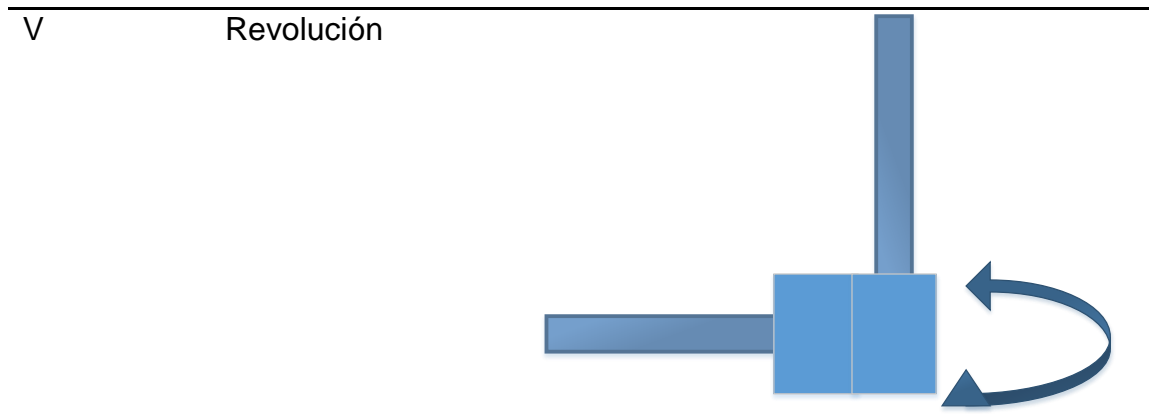
En cuanto a articulaciones cuyo movimiento es rotacional, se distinguen tres subtipos de articulaciones que realizan este movimiento. La primera se denomina articulación del tipo R en la cual el eje de rotación es perpendicular al eje de las

uniones. El segundo tipo de articulación implica un movimiento de torsión entre las uniones de entrada y salida, esta articulación se conoce como de tipo T (torsión). Finalmente el tercer tipo de articulación es aquella en la cual la unión de entrada es paralela al eje de rotación y la de la salida es perpendicular a dicho eje, esta articulación se conoce como de tipo V (revolución). En la Tabla 1 se ilustra de una mejor manera los tipos de articulaciones para un manipulador robótico.

Tabla 1. Tipos de articulaciones en manipuladores robóticos.

Tipo	Nombre	Ilustración
L	Lineal	
R	Rotacional	
T	Torsión	

CONTINÚA →



2.2.3 Sensores y Actuadores

2.2.3.1 Actuadores (BRITO, 2005)

Son los dispositivos que se encargan de accionar las articulaciones del manipulador robótico. La energía necesaria para accionar las articulaciones suele ser de tres tipos: aire comprimido, fluido por presión y electricidad. En función de la energía utilizada se clasifican los actuadores de la siguiente manera.

Actuadores neumáticos e hidráulicos

Este tipo de actuadores obtienen su energía a partir del movimiento de fluidos bajo presión, sea este agua o aceite. El funcionamiento de estos actuadores es similar, razón por la cual se los analiza como si fueran un único tipo; la diferencia más notable en estos actuadores es la manera en como obtienen el fluido a

presión y su presión-fuerza máxima. Es así que mientras los actuadores neumáticos están destinados a trabajar a una capacidad de cien libras por pulgada cuadrada, los actuadores hidráulicos pueden operar entre 1000 y 3000 libras por pulgada cuadrada de presión.

En los actuadores neumáticos e hidráulicos existen dos relaciones importantes al momento de realizar el diseño de las articulaciones de un manipulador robótico la primera es la velocidad del actuador con respecto a la potencia de entrada y la fuerza del actuador con respecto a la potencia de entrada. En su mayoría los actuadores neumáticos e hidráulicos utilizados en los manipuladores robóticos son cilindros, en la Ecuación 1 y Ecuación 2 se muestran las relaciones de velocidad y fuerza para dichos actuadores (En donde A se refiere al área del cilindro).

$$V(t) = \frac{f(t)}{A}$$

Ecuación 1. Velocidad de cilindro neumático/hidráulico

$$F(t) = P(t) * A$$

Ecuación 2. Fuerza del cilindro neumático/hidráulico

Motores Eléctricos

Los motores eléctricos como su nombre lo indica tienen como fuente de potencia la energía eléctrica. Estos motores se caracterizan por su gran capacidad de control con un requerimiento mínimo de mantenimiento en relación a los actuadores neumáticos e hidráulicos.

En esta categoría de actuadores los más utilizados para manipuladores robóticos son los servomotores de corriente continua c.c., los servomotores de corriente alterna c.a., y los motores a pasos.

Los servomotores son un tipo especial de motor cuya característica fundamental es que en lugar de rotar continuamente lo hacen en pequeños pasos, en sentido horario y anti horario a través de un campo limitado de movimiento. Es de esta manera que un servomotor por ejemplo se puede utilizar para mover con precisión una articulación de un manipulador robótico. Mecánicamente un servomotor está constituido por un motor, una caja reductora y un circuito de control.

En cuanto a la señal de control, un servomotor hace uso de una señal de modulación por ancho de pulso PWM para controlar la dirección de giro y la

posición del motor de corriente continua. En la Figura 5 se ilustra el funcionamiento de un servomotor.

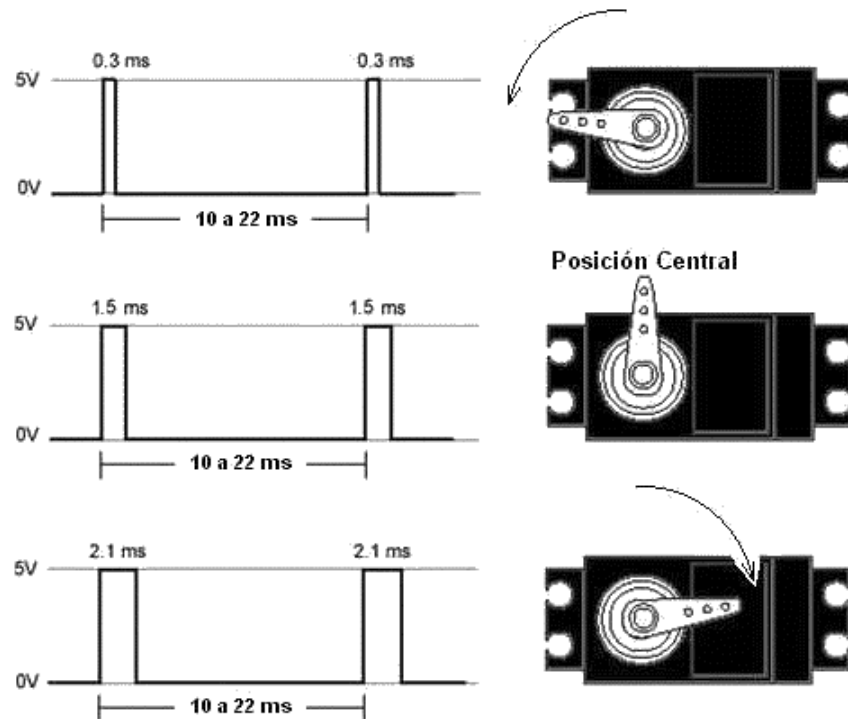


Figura 5. Movimiento de un servomotor con una señal PWM.

Fuente: (BRITO, 2005)

Los motores a pasos se caracterizan porque permiten un control preciso de la posición de cada una de sus juntas. Mediante este tipo de motores se simplifica el control en comparación con la alternativa de servomecanismos, en los cuales es necesario un sistema de control de lazo cerrado como en la Figura

6 que permita detectar en cada momento la posición del eje del motor lo cual hace al sistema más complejo.

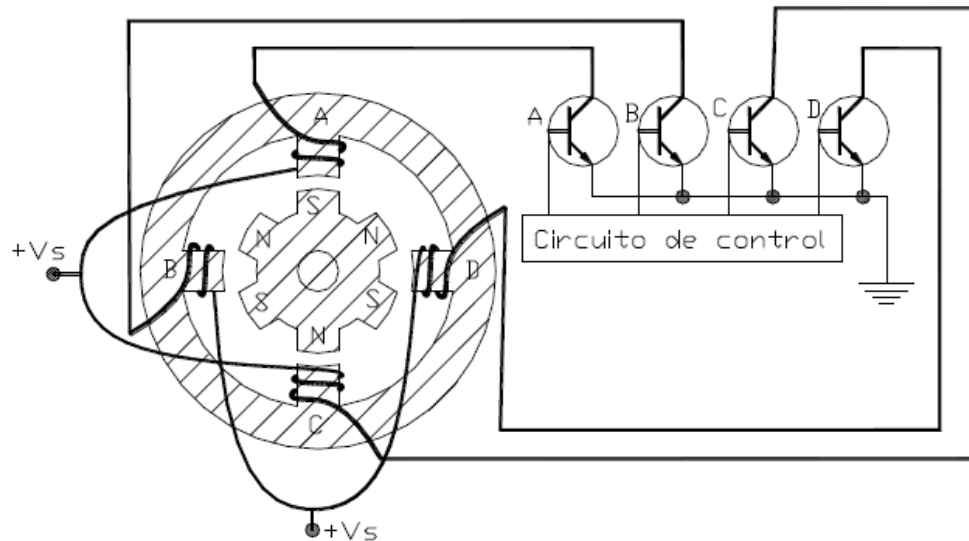


Figura 6. Diagrama de un motor a pasos de 4 devanados.

Fuente: (BRITO, 2005)

En la Figura 6 los 4 devanados de los polos del estator están enrollados de manera que el sentido de la corriente tenga una dirección específica que de acuerdo con la ley de Lorenz se genera un polo norte siempre que exista circulación de corriente a través del transistor.

El circuito de control en un motor a pasos es el encargado de encender en forma lógica un transistor específico para generar la rotación deseada del eje del motor.

2.2.3.2 Sensores (José Luis Lopez Segovia, 2007)

Sensores de Posición

Una de las variables mayormente controladas en los manipuladores robóticos es la posición, para medir la misma los dispositivos más utilizados y de mejor exactitud son potenciómetros, unidades de resolución y codificadores.

Sensores de Posición: Potenciómetros

Los potenciómetros son dispositivos analógicos cuya tensión de salida es proporcional a la posición del cursor. La energía que cruza el potenciómetro pasa a través de un elemento resistivo y es dividida en dos partes por el cursor del potenciómetro. La medición de esta energía proporciona la posición del cursor. En la Ecuación 3 se muestra la función del potenciómetro.

$$V(t) = k_p * \theta(t)$$

Ecuación 3. Función de voltaje de un potenciómetro.

Analizando la Ecuación 3, $V(t)$ es la tensión de salida del potenciómetro, k_p es la constante de tensión del potenciómetro en Volts por Radianes y $\theta(t)$ es la situación o posición del potenciómetro en radianes.

Sensores de Posición: Unidades de resolución

Otro tipo de dispositivos analógicos de posición son Las Unidades de Resolución y se caracterizan porque su salida es proporcional al ángulo de un elemento de rotación con respecto a un elemento fijo. En su forma más sencilla cuenta con un devanado sencillo en su rotor y un par de devanados en su estator.

Sensores de Posición: Codificadores

Existen comercialmente dos tipos de codificadores, incrementales y absolutos. Esto está referido en la manera en que se suministran los datos al codificador.

Un codificador incremental consta de un disco de cristal marcado con bandas transparentes y opacas alternadas radialmente alineadas. Un fototransmisor se encuentra situado en el lado del disco y un fotoreceptor en el otro. A medida que

gira el disco el haz de luz emitido por el fototransmisor se corta de forma alternativa, la salida desde el fotoreceptor es por tanto un tren de pulsos que es proporcional a la velocidad del disco.

En los casos que se desea conocer la posición de un objeto en términos absolutos sin que la misma dependa de una posición de arranque referencial. Para estos casos se utilizan codificadores absolutos, estos codificadores emplean básicamente la misma estructura física de los codificadores incrementales con la diferencia de que poseen más pistas de bandas con su número correspondiente de receptores y transmisores.

Sensores de Velocidad

Como su nombre lo indica, estos sensores miden la variable física de velocidad.

El sensor más utilizado para medir velocidad es el tacómetro que proporciona una tensión de salida proporcional a la velocidad angular del inducido. Esta relación se muestra en la Ecuación 4.

$$V(t) = k_t(t) * w$$

Ecuación 4. Función de voltaje de un tacómetro.

En la Ecuación 4, $V(t)$ es la tensión de salida del tacómetro en voltios, $k_t(t)$ es la constante del tacómetro dada en $\frac{V}{rad/seg}$ y w es la velocidad angular medida en radianes por segundo.

2.3 APLICACIONES INDUSTRIALES (CALDAS, 2004)

Los manipuladores robóticos pueden ser utilizados en una amplia gama de aplicaciones en la industria. Actualmente la mayoría de las aplicaciones están en los procesos de fabricación para el desplazamiento de materiales, piezas y herramientas de diversos tipos.

Las futuras aplicaciones incluirán tareas de otro tipo como trabajos de construcción, exploración de espacio y cuidados médicos. Se piensa que en un futuro un robot casero será un elemento de producción en serie de igual utilización como el automóvil actualmente.

Las aplicaciones que los manipuladores robóticos pueden realizar en la industria se clasifican en tres grupos:

Aplicaciones de manipulación de materiales y de carga y descarga de máquina

La función que los manipuladores robóticos de esta categoría realizan es desplazar materiales o piezas de un lugar a otro dentro de la célula de trabajo. Dentro de la actividad de manipulación de materiales está incluida la carga y/o descarga de una máquina de producción.

Aplicaciones de procesos

Incluye la soldadura por puntos, la soldadura por arco, la pintura por pulverización y otras operaciones donde el manipulador robótico manipula una herramienta dentro de la célula de trabajo.

Montaje e inspección

El montaje robótico es un campo en que la industria tiene gran interés debido a su potencial económico. Los robots de inspección utilizan sensores para calibrar y medir características de calidad del producto fabricado. Un ejemplo de la importancia de los manipuladores robóticos en la industria se puede demostrar con las cifras de robots operativos que existían en Inglaterra en 1984.

En la Tabla 2 se muestra la distribución de estos manipuladores robóticos en el campo industrial:

Tabla 2. Manipuladores robóticos en la industria Ingles en 1984.

Fuente: (CALDAS, 2004)

Descripción de la actividad	Número de manipuladores robóticos
Soldadura por puntos	471
Moldeo por inyección	412
Soldadura por arco	341
Servicio a máquinas herramientas	213
Ensamble	199
Recubrimiento de superficies	177
Diversos	175
Movimiento de charolas	102
Pruebas de inspección	41
Fundición por inyección	40
Pegado y sellado	23
Fundición a la cera perdida	14

2.4 MEDICIÓN DEL GRADO BS&W EN EL PETRÓLEO

El petróleo crudo es una mezcla de muchos hidrocarburos que varían de tipo, peso molecular y punto de ebullición; su mérito consiste en los muchos productos que de él se pueden obtener en una refinería. El crudo se clasifica, según una escala adoptada por el Instituto Americano de Petróleo, de acuerdo a sus en inglés API en: condensados, liviano, mediano, pesado, extra pesado. La API se determina a partir de la densidad del crudo, existen diferentes métodos de determinarla.

Además de los grados API uno de los parámetros de mayor interés en relación al crudo es el BS&W el cual por sus siglas en inglés determina la cantidad de asentamiento de sólidos y agua que se encuentran mezclados en el crudo.

2.4.1 Prueba ASTM D4007 ((ASTM), 2014)

Es una prueba Estándar para Agua y Sedimentos en Crudos realizada por el Método de la Centrífuga.

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 3.

REHABILITACIÓN DEL MANIPULADOR ROBÓTICO “ZYMARK”

3.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL MANIPULADOR

3.1.1 Articulaciones del manipulador robótico

El manipulador robótico “ZYMARK” es un manipulador robótico industrial del tipo cilíndrico y como se analizó en la sección **2.1 ROBOT CILÍNDRICO** , estos tipos de manipuladores robóticos cuentan con una configuración RPP es decir tiene tres articulaciones una del tipo rotacional y dos cilíndricas.

3.1.1.1 Articulación Rotacional

La articulación rotacional en el robot “ZYMARK” es la que se encuentra ubicada en la base del mismo y se encarga de brindar un movimiento de rotación.

La principal característica de esta articulación es que en su estado original no poseía un control adecuado para su desplazamiento lo cual brindaba un giro al robot de 270 grados pero a su vez comprometía la estructura mecánica a sufrir un daño futuro debido a la falta de controles para limitar el giro de la mencionada articulación. En la Figura 7 se muestra la articulación rotacional.

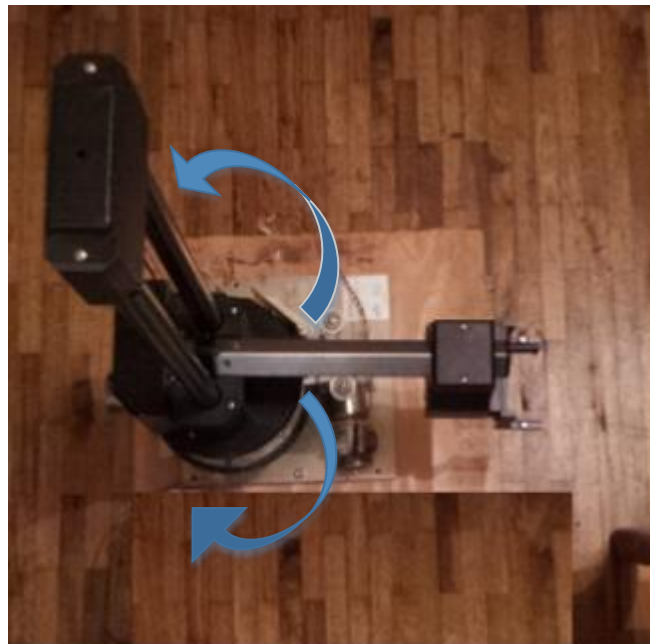


Figura 7. Articulación rotacional, robot ZYMARK.

3.1.1.2 Articulación Prismática para el desplazamiento en el eje Z

La primera articulación prismática a analizar en el robot “ZYMARK” es la encargada del desplazamiento en el eje Z es decir del desplazamiento vertical del robot. En la Figura 8 se muestra la articulación en cuestión.



Figura 8. Articulación prismática para el eje z.

Al analizar el estado de esta articulación se analizó el sistema de dirección de movimiento de la misma. Este sistema de dirección de movimiento está formado por un conjunto de poleas que hacen un juego opuesto la una con la otra

de manera tal que al realizar un movimiento hacia arriba una de las poleas ayuda a la articulación a moverse en esa dirección, de manera análoga es el trabajo realizado por la segunda polea, para la dirección contraria. Este juego de poleas se ilustra en la Figura 9.

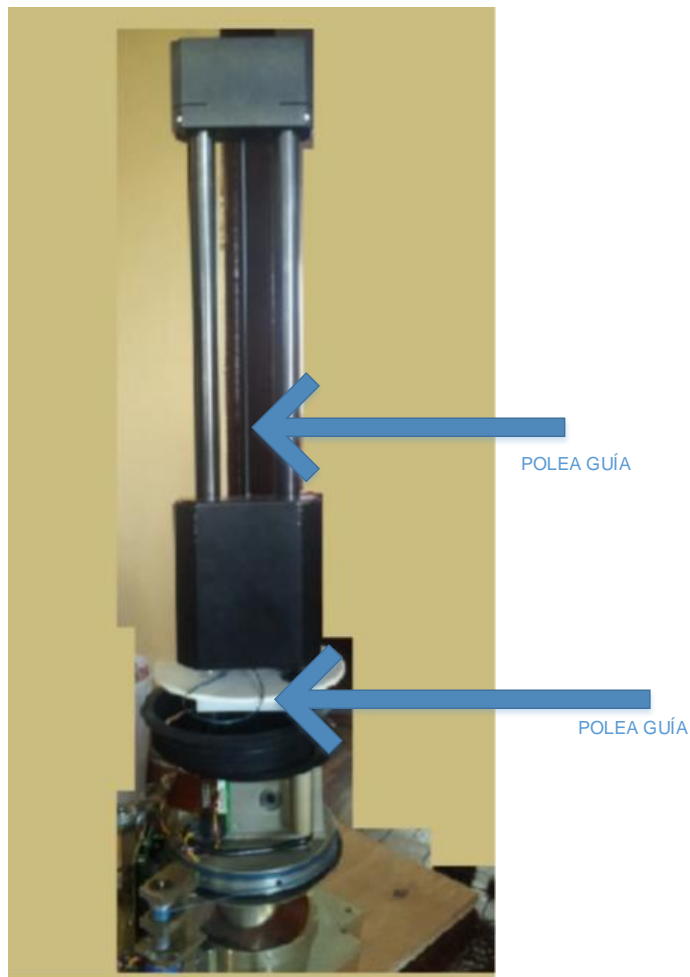


Figura 9. Polea guía defectuosa.

Sin embargo en el estado que se encontraba el manipulador “ZYMARK” una de las mencionadas poleas se encontraba rota lo que impedía el desplazamiento de la articulación. Además una segunda función de este juego de poleas es la de accionar un mecanismo de movimiento de piñones que a su vez transmiten el movimiento del motor DC y el movimiento a un potenciómetro que posteriormente se utilizará para conocer la posición exacta de la articulación en cuestión.

Un segundo problema encontrado con esta articulación es que el motor que se encarga de mover la misma, no se encontraba funcional. En la Figura 10 se muestra la ubicación del motor mencionado.

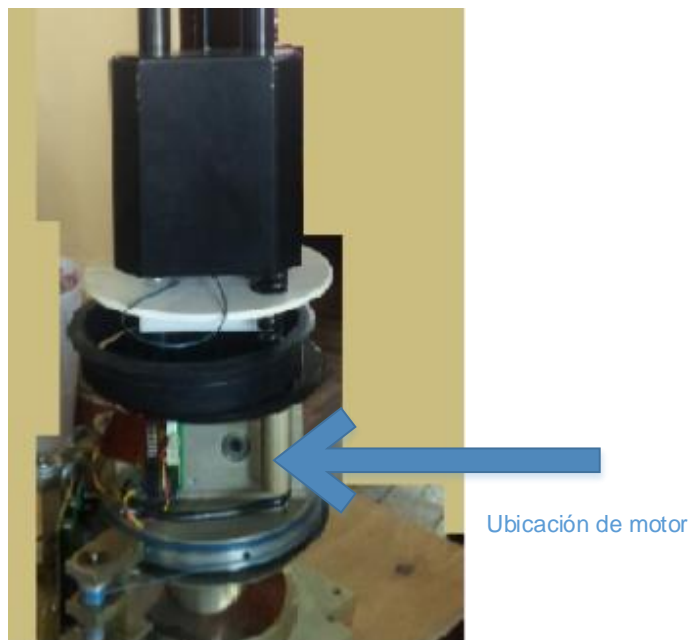


Figura 10. Ubicación del motor que acciona eje Z.

Con los problemas anteriormente mencionados el manipulador “ZYMARK” no podía realizar ninguna clase de movimientos en el eje Z, razón por la cual se volvía necesaria la reparación y solución a los problemas presentes en dicha articulación.

3.1.1.3 Articulación Prismática para el desplazamiento en el eje Y

La segunda articulación prismática a analizar en el robot “ZYMARK” es la encargada del desplazamiento en el eje Y, la mencionada articulación se muestra en la Figura 11, adicionalmente es importante decir que esta articulación permite un movimiento de “entrada-salida” en el mencionado eje.

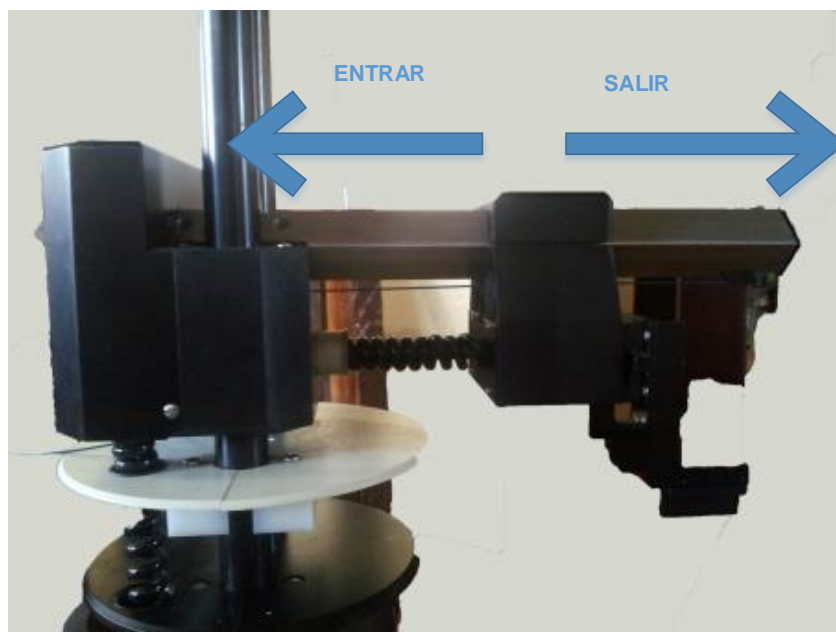


Figura 11. Articulación prismática para el eje Y.

Esta articulación no presentaba problemas en su estructura mecánica sin embargo se optó por realizar un mantenimiento preventivo en la misma revisando el sistema de poleas de la misma.

3.1.2 Elemento terminal o Gripper

El manipulador robótico “ZYMARK” posee un gripper o elemento efector final como se muestra en la Figura 12, el cual es del tipo pinza el cual permite hacer tareas de recolección y posicionamiento de piezas.



Figura 12. Gripper del manipulador ZYMARK.

En cuanto a su estructura mecánica es importante mencionar que el gripper no presentaba anomalías particulares sin embargo el tamaño de objetos que el mismo permite tomar como se muestra en la Figura 13 es de 97mm cuando se encuentra totalmente abierto y como se puede ver en la Figura 14 es de 68mm cuando se encuentra totalmente cerrado.

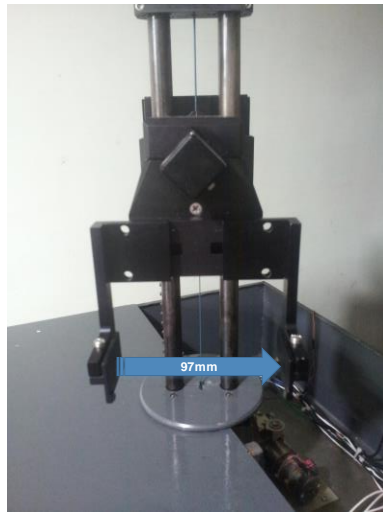


Figura 13. Gripper totalmente abierto.



Figura 14. Gripper totalmente cerrado.

3.1.3 Instrumentación existente en el manipulador ZYMARK

El manipulador robótico “ZYMARK” poseía en su estado original para la instrumentación del sistema únicamente de un conjunto de potenciómetros de características industriales como se muestra en la Figura 15 los cuales son utilizados como sensores de posición.

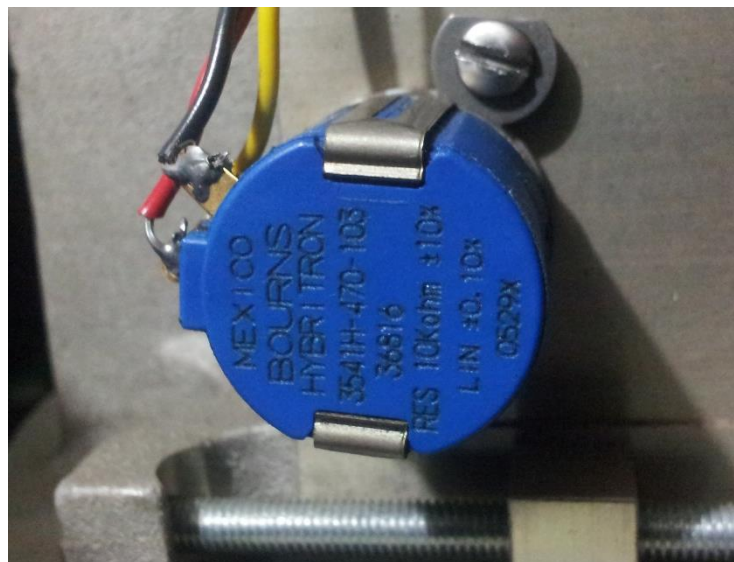


Figura 15. Sensores de posición de manipulador ZYMARK.

Los potenciómetros empleados en el robot ZYMARK, son potenciómetros marca BOURN del tipo lineal lo cual hace que al obtener una lectura de los mismos relacionada a la posición de las articulaciones, la misma sea lo más exacta posible. Adicionalmente el hecho de que estos potenciómetros sean de

naturaleza industrial los posibilita a trabajar en condiciones de operación continua, situación en la cual se planea que el manipulador robótico ZYMARK opere. En la Tabla 3 se muestra un mejor detalle de las principales características de estos potenciómetros.

Tabla 3. Principales parámetros de los potenciómetros.

Fuente: BOURN (electronics, 2014)

Nombre del parámetro	Ponderación
Valor de resistencia	10k Ω
Tolerancia de resistencia	$\pm 5\%$
Independencia	$\pm 0,25\%$
Variación máxima por ruido	100 Ω
Potencia de trabajo	2 watt
Temperatura máxima de trabajo	70°C
Número de vueltas	10
Normas IP	IP 40

3.2 READECUACION MECANICA DEL MANIPULADOR ZYMARK

Al analizar la estructura mecánica del manipulador ZYMAR en la sección respectiva de **ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL**

MANIPULADOR se pudo determinar que la articulación que presentaba mayores problemas era la prismática para los movimientos en el eje Z. El trabajo mecánico de readecuación se centra por lo tanto en reparar el juego de poleas guía y el motor de dicha articulación.

3.2.1 Articulación prismática para el eje Z

3.2.1.1 Guías de movimiento

Como se analizó anteriormente una de las guías de movimiento de la articulación en cuestión se encontraba rota/dañada por lo que no permitía que se pudiera realizar ningún movimiento en la articulación prismática del eje Z.

Debido al problema mencionado el primer trabajo de rehabilitación fue reemplazar la polea dañada por una de un material igual de resistente que la original (la polea original era de cable).

El material seleccionado fue posteriormente cubierto de termo-contráible a fin de proveer de mayor resistencia al mismo. El juego de doble poleas en

condiciones óptimas se muestra a en la Figura 16 en donde la polea reemplazada se puede ver de color negro y la polea original se muestra en color azul.



Figura 16. Juego de poleas funcional para la articulación del eje Z.

Una vez que se encontró un reemplazo para la polea dañada, el siguiente paso en la reparación de la articulación consistió en colocar de manera adecuada el juego de poleas en la pieza a modo de tambor que es la encargada de transmitir el movimiento del motor a la articulación, de esta manera se transmite el movimiento del motor a las poleas y estas a su vez se encargan de subir y bajar la articulación a lo largo del eje Z.

Adicionalmente es importante detallar que la correcta integración del tambor con las poleas hace que el sensor de posición pueda acoplarse de manera casi perfecta al eje del motor, lo cual garantiza que se obtendrá una lectura del mencionado sensor muy cercano a la realidad. En la Figura 17 se muestra el trabajo de esta pieza y su integración con el juego de poleas.

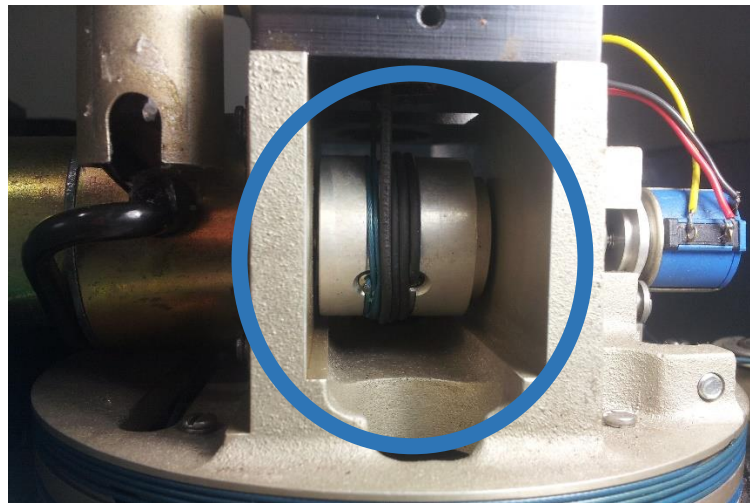


Figura 17. Juego de poleas acoplado al potenciómetro y el motor.

3.2.1.2 Motor de la articulación del eje Z

El segundo problema con la articulación prismática del eje Z es la falta de un motor funcional que permita el desplazamiento de la articulación a lo largo del eje mencionado. Originalmente se disponía de un motor DC de 12V marca Pittman que poseía una caja reductora con una relación de 30 a 1 es decir que por cada

30 revoluciones del motor, la caja reductora proveía de una revolución que se transmitía a la articulación.

Uno de los principales parámetros que se consideró para buscar un reemplazo al motor es que el mismo posea una caja reductora de mayor torque es decir una relación mayor de reducción que el motor original: la razón de esto es que al poseer un motor cuya caja reductora tenga estas características se garantizará que la articulación tenga menos inercia y soporte un mayor peso en los materiales u objetos que el manipulador robótico sujete. En la Tabla 4 se detallan los criterios para la elección del motor.

Tabla 4. Criterios para elección de motor

Nombre del parámetro	Valor en el motor defectuoso	Valor ideal para motor de reemplazo
Voltaje de trabajo del motor	12V	5V-12V
Revoluciones por minuto	400	Mayor a 600
Consumo nominal de corriente	1A	Máximo 1A
Relación de reducción	32:1	Mayor a 32:1

Considerando los anteriores puntos, el motor de reemplazo que se compró es un motor marca Pittman GM9413-3 de 12V cuya caja reductora tiene una relación de 65.5 a 1 es decir, la relación de reducción es el doble que la del motor

original. En la Tabla 5 se ofrece un detalle más completo de las características de este motor.

Tabla 5. Parámetros del motor Pittman GM9413-3.

Fuente: (PITTMAN, 2013)

Nombre del parámetro	Valor
Serie del motor	GM9413-3
Voltaje de trabajo	12V
Revoluciones por minuto	800
Corriente sin carga	0.1A
Consumo nominal de corriente	1A
Relación de reducción	65.5:1
Torque de caja reductora	1.25 N-m
Eficiencia del motor	0.66

Finalmente después de conseguir el motor con los parámetros adecuados para el desempeño de la articulación se instaló el motor en su posición correspondiente, de esta forma el juego mecánico formado por el piñón del motor, el potenciómetro y el tambor de las poleas se adaptaron perfectamente. En la Figura 18 se muestra el motor instalado para la articulación del eje Z.



Figura 18. Motor Pittman GM9413-3.

3.3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL DEL MANIPULADOR

3.3.1 Análisis de las señales de entrada y salida en el manipulador ZYMARK

A fin de tener todas las señales de entrada y salida del manipulador ZYMARK se optó por diseñar un sistema tipo bus que consense todas las señales

mencionadas. En total se disponen de 4 motores y 4 sensores de posición es decir uno para cada articulación.

En relación a los motores, para cada uno de ellos se necesitan dos señales que son correspondientes a la alimentación de los mismos. Sin embargo debido a que el bus no puede ser muy grande no se puede colocar un cable de gran calibre para la alimentación de los motores, razón por la cual se optó por tener 4 señales para cada motor es decir dos para la alimentación negativa y dos para la alimentación positiva de los 12V que necesita el motor. En relación a los sensores, cada uno de ellos necesita 3 señales, dos de las cuales son para la alimentación y una es la señal de salida que representa la posición de la articulación correspondiente. En la Figura 19 se muestra la ubicación del bus que concentra todas las señales en el manipulador robótico ZYMARK.

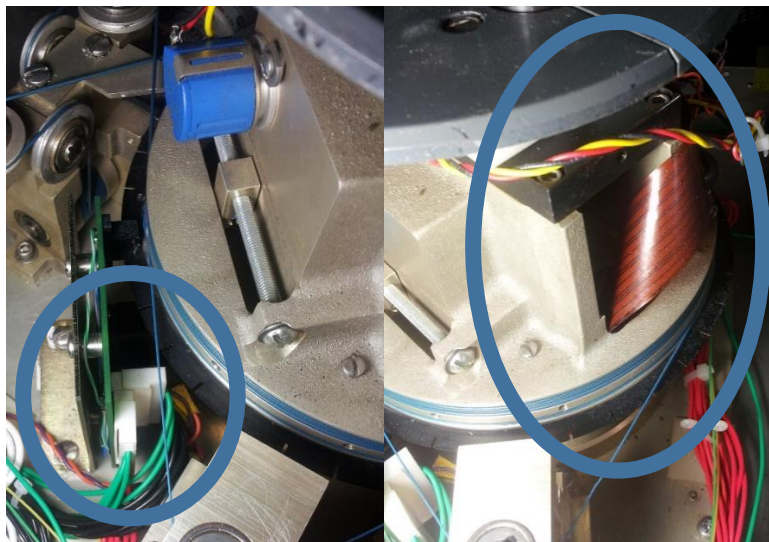


Figura 19. Ubicación del bus de señales entrada y salida, robot ZYMARK.

Finalmente y después de hacer pasar todas las señales por el bus se optó por llevar todas las señales a dos conectores tipo MOLEX de 13 pines cada uno. En la Tabla 6 se detalla las señales que se obtienen en los conectores MOLEX.

Tabla 6. Señales de entrada y salida al manipulador ZYMARK

Número de PIN	DESCRIPCIÓN
1	MOTOR1A; motor de la articulación cilíndrica, polo positivo.
2	MOTOR1B; motor de la articulación cilíndrica, polo negativo.
3	MOTOR1A; motor de la articulación cilíndrica, polo positivo.
4	MOTOR1B; motor de la articulación cilíndrica, polo negativo.
5	MOTOR2A; motor de la articulación prismática eje Z, polo positivo.
6	MOTOR2B; motor de la articulación prismática eje Z, polo negativo.
7	MOTOR2A; motor de la articulación prismática eje Z, polo positivo.
8	MOTOR2B; motor de la articulación prismática eje Z, polo negativo.
9	MOTOR3A; motor de la articulación prismática eje Y, polo positivo.
10	MOTOR3B; motor de la articulación prismática eje Y, polo negativo.
11	MOTOR3A; motor de la articulación prismática eje Y, polo positivo.
12	MOTOR3B; motor de la articulación prismática eje Y, polo negativo.
13	MOTOR4A; motor del gripper, polo positivo.
14	MOTOR4B; motor del gripper, polo negativo.

CONTINÚA 

15	MOTOR4A; motor del gripper, polo positivo.
16	MOTOR4B; motor del gripper, polo negativo.
17	No ocupado
18	Alimentación 5V Potenciómetros: 1, 2, 3, 4
19	Salida Potenciómetro 2; sensor articulación prismática eje Z.
20	Salida Potenciómetro 1; sensor articulación rotacional.
21	Salida Potenciómetro 4; sensor del gripper.
22	Salida Potenciómetro 3; sensor articulación prismática eje Y.
23	No ocupado
24	GND Potenciómetros: 1, 2, 3, 4
25	No ocupado
26	No ocupado

3.3.2 Consumo energético del manipulador ZYMARK.

Es importante para el subsiguiente diseño del sistema de potencia, detallar el consumo energético que tendrá el manipulador ZYMARK. El consumo de dicho manipulador se centra en sus 4 motores de DC y sus cuatro sensores de posición (potenciómetros). El análisis del consumo de potencia se hace en función del consumo de energía de los componentes mencionados, en la Tabla 7 se

muestran las principales características de consumo de potencia especificadas por los respectivos fabricantes.

Tabla 7. Consumo energético de los componentes del manipulador ZYMARK

DETALLE	VALOR
Consumo energético por motor DC	12W
Consumo energético por sensor de posición	2W
Consumo total de motores	48W
Consumo total por sensores de posición	8W
Consumo total de potencia	56W

Adicionalmente se vuelve importante mencionar que en la operación de un manipulador robótico por lo general las articulaciones del mismo se mueven una a la vez razón por la cual el consumo energético del manipulador ZYMARK en todos los casos se reduciría únicamente a la suma del consumo por sensores de posición (8W) y al consumo de un único motor (12W). Siendo así el consumo energético real de 20W.

3.3.3 Sistema eléctrico de potencia para la activación de los motores del manipulador ZYMARK.

Como ya se ha mencionado los motores Pittman que posee el manipulador ZYMARK son del tipo DC; ahora bien en cuanto a los movimientos de las articulaciones y el gripper cada motor debe ser capaz de cambiar el sentido de su movimiento. El cambio de sentido de giro en un motor DC se logra intercambiando la polaridad de la alimentación del mismo; por lo tanto en vista de que es indispensable lograr el cambio de giro de todos los motores del sistema, el método o circuito que se analizará para dicho propósito es el del Puente H.

3.3.3.1 El puente H (Harper, 2003)

Se conoce como puente H al circuito eléctrico de potencia conformado por cuatro transistores arreglados de forma tal que pueden ser utilizados como un accionamiento reversible de un motor de DC, en la Figura 20 se muestra el circuito básico de un puente H. Cuando un puente H adicionalmente se utilizará para controlar la velocidad del motor, los transistores son reemplazados por MOSFET o IGBT.

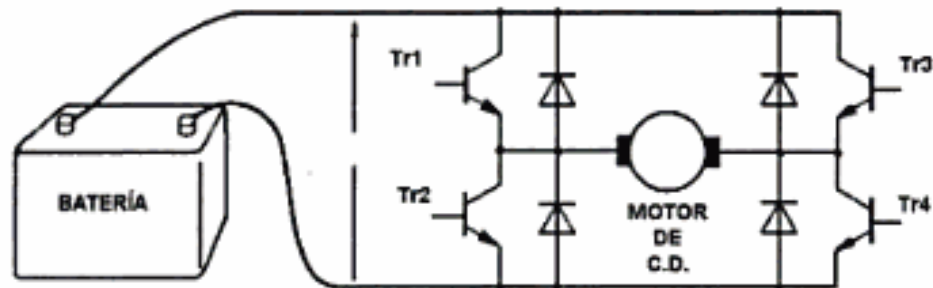


Figura 20. Puente H.

Fuente: (Harper, 2003)

3.3.3.2 Elemento seleccionado para el cambio de giro de los motores

Una vez analizadas las ventajas de utilizar un circuito para la activación de motores DC basado en el principio del puente H se decidió utilizar una alternativa de potencia que utilice la configuración mencionada. Sin embargo debido a la necesidad de también controlar la velocidad de los motores es decir utilizar una señal de control del tipo PWM se vuelve necesario trabajar con transistores MOSFET de alta frecuencia.

En base a lo anteriormente mencionado la alternativa de diseñar un circuito de acuerdo a las necesidades del sistema se vuelve una solución no confiable ya que dicho diseño puede estar sujeto a fallas, además de que el manipulador ZYMARK necesita una solución robusta para la activación de sus motores.

Por lo tanto se buscó una solución estándar que cumpla con los requisitos del sistema y que brinde la robustez necesaria al mismo. La solución elegida es un Driver para Motor DC con principio de cambio de giro mediante puente H y capaz de trabajar en alta frecuencia con señales del tipo PWM. En la Figura 21 se muestra el driver en cuestión.



Figura 21. Driver de potencia para motores DC.

En la Tabla 8 se muestran las ventajas y principales características del Driver seleccionado.

Tabla 8. Principales características de Driver de Control de Motor DC

PARÁMETRO	VALOR
Rango de voltaje de operación	3V-36V
Corriente nominal de trabajo	15A
Corriente pico máxima	30A
Capacidad de motores	2
Tipo de activación	MOSFET
Ciclo de PWM	0%-99%
Función de frenado de motor	0PWM

3.3.4 Diseño del sistema de control para los movimientos del manipulador ZYMARK.

El principal propósito del apartado de control del manipulador ZYMARK es lograr dar las órdenes al sistema para que las articulaciones del manipulador se muevan de manera tal que puedan realizar una actividad determinada.

Para poder controlar el manipulador se deberán captar las señales brindadas por los sensores de posición de cada una de las articulaciones y en función a

dichos valores se enviarán señales de control que determinen el sentido del movimiento de cada articulación y la velocidad de las mismas. El sentido de movimiento y la velocidad de cada articulación son señales recibidas por los Drivers de los motores y estos a su vez se encargan de realizar la parte de potencia. En la Figura 22 se explica de mejor manera el esquema de control del sistema.

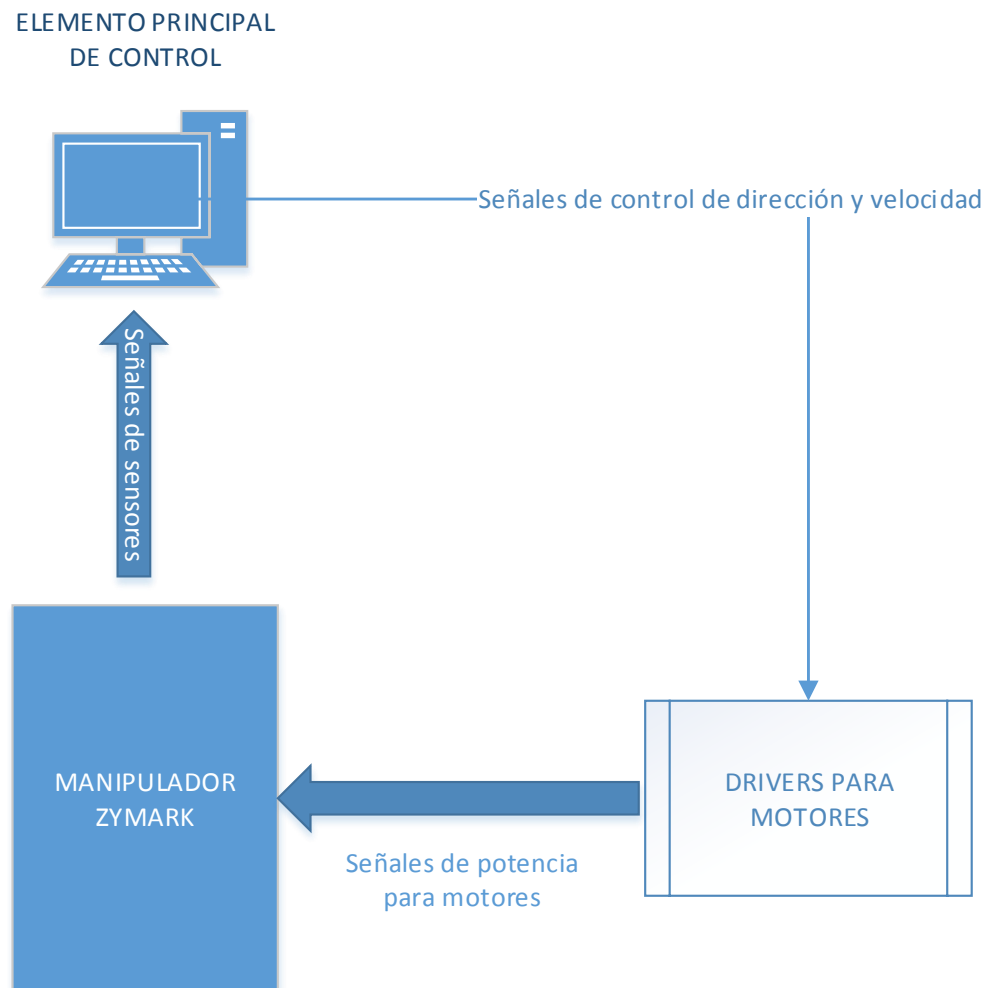


Figura 22. Esquema de control del manipulador ZYMARK.

3.3.5 Elección del componente principal de control para el manipulador ZYMARK.

El elemento de control que se encargará de controlar las acciones de todo el sistema debe ser capaz de realizar un conjunto de funciones específicas entre las que se detallan:

- Leer señales analógicas provenientes de los sensores de posición.
- Generar señales digitales para indicar el sentido de giro de los motores a los Drivers de los mismos.
- Generar señales de modulación de ancho de pulso PWM para controlar la velocidad de los motores.
- Ser flexible en su programación a fin de alterar el proceso.
- Comunicación estándar para fácil conectividad al ordenador.
- Ser robusto.

Por lo tanto en vista de las exigencias expuestas por el sistema se ha decidido utilizar un sistema microcontrolado para cumplir con las mismas. Dentro de las nuevas tecnologías que se disponen hoy en día los sistemas ARDUINO brindan la ventaja de ser flexibles, fáciles de programar y de poseer un conjunto de señales de entrada y salida que varían dependiendo de los modelos.

Dentro de los sistemas ARDUINO, aquel que brinda la posibilidad de trabajar con señales PWM es la tarjeta ARDUINO MEGA 2560, en la Figura 23 se muestra la tarjeta ARDUINO en cuestión.

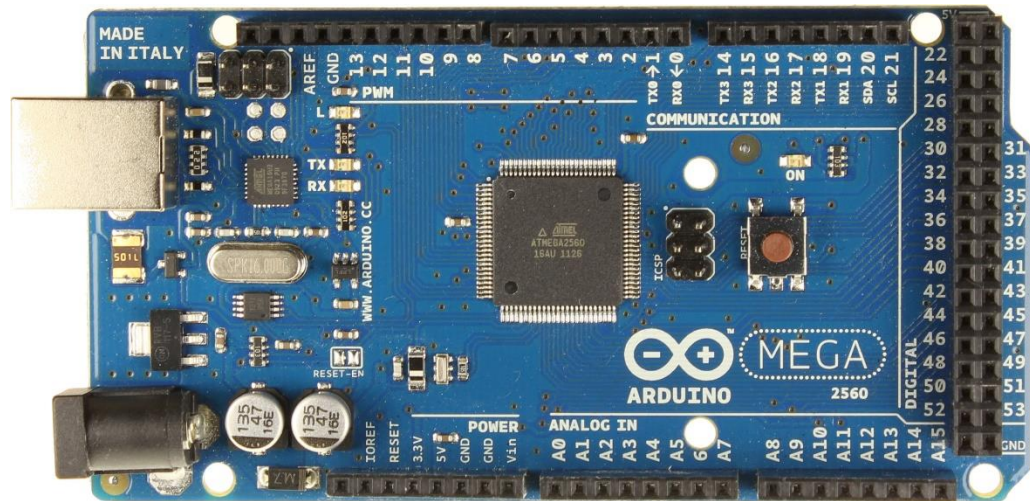


Figura 23. Tarjeta ARDUINO MEGA 2560.

La ARDUINO MEGA 2560 es una tarjeta microcontrolada basada en el chip propietario ATmega2560, que entre sus principales características de hardware posee 54 entradas/salidas digitales de las cuales 15 pueden ser usadas como PWM, 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales UART, conexión USB, conectividad ICSP y trabaja con un cristal de 16MHZ. (ARDUINO, 2013)

En la Tabla 9 se muestran las principales características de operación de la ARDUINO MEGA 2560 tenemos que considerar lo siguiente.

Tabla 9. Características de operación ARDUINO MEGA 2560 (ARDUINO, 2013)

PARÁMETRO	DETALLE
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Pines digitales entrada/salida	54 (15 de los cuales se pueden utilizar como PWM)
Entradas analógicas	16
Corriente de entrada/salida	40mA
Memoria flash	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad de reloj	16MHZ

3.4 DOCUMENTACIÓN

Estructura mecánica del manipulador robótico ZYMARK

La estructura del manipulador robótico ZYMARK, sus dimensiones y demás parámetros físicos de interés de detallan en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

CAPÍTULO 4.

DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO BS&W.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A REALIZAR EN LA ESTACIÓN

4.1.1 Proceso comercial para la medición del parámetro BS&W

Como ya se analizó en la sección **2.4 MEDICIÓN DEL GRADO BS&W EN EL PETRÓLEO**, la medición del parámetro BS&W del petróleo es un proceso que se hace por un operario y el que consiste en trasladar muestras de crudo en probetas hacia un conjunto de calentadores para posteriormente colocar las

muestras en una centrífuga. En la Figura 24 se presenta un diagrama explicativo del proceso.

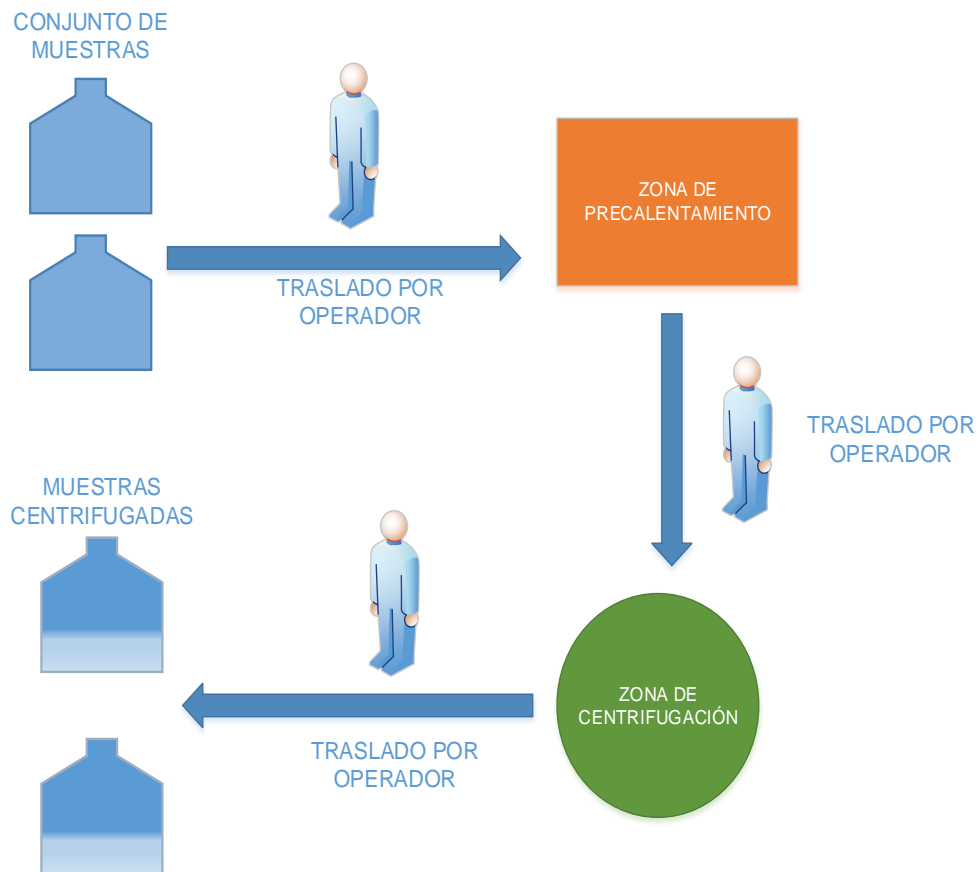


Figura 24. Proceso para medir el parámetro BS&W en el petróleo.

Una vez realizado el proceso, el mismo se repite algunas veces al día, el número de veces que el encargado de supervisar el pozo de crudo crea convenientes. Por esta razón el proceso es altamente repetitivo e implica que el operador se encuentre pendiente del mismo en todo momento.

Uno de los componentes de hardware que debe tener una especial consideración es la centrífuga del sistema, la misma es de una configuración especial ya que sus componentes eléctricos se encuentran aislados a fin de evitar contacto con el crudo y de esta manera una posible explosión del mismo al ser este un elemento explosivo/inflamable.

4.1.1.1 La centrífuga Robinson 820A (Robinson, 2013)

El en presente proyecto se utilizará una centrífuga para el proceso de centrifugación del crudo una vez este haya sido calentado para hacerlo más liviano. La centrífuga elegida pertenece a la marca Robinson, misma que se encarga de fabricar máquinas y material de laboratorio para la industria petrolera.

Está centrífuga presenta características importantes para poder trabajar con el crudo debido a que el mismo es un material pesado e inflamable, las principales característica de la centrífuga Robinson 820A, son:

- Cumple con las normas y requerimientos establecidos por la ASTM (American Society for Testing and Materials) y API (American Petroleum Institute) para trabajar con el petróleo.

- Posee un conjunto de dos calentadores para colocar probetas con crudo antes de ingresarlas a la centrífuga.
- Conjunto de dos porta probetas para almacenamiento temporal de las mismas.
- Cubierta extraíble a fin de mover el área encargada de la centrifugación a un lugar de trabajo diferente.
- Pre calentadores y porta probetas extraíbles.
- Motor anti explosión de altas revoluciones diseñado para trabajar con materiales explosivos.
- Voltaje de trabajo del motor de 12VDC a una corriente máxima de 3A

En la Figura 25 se muestra la centrífuga Robinson 820A.



Figura 25. Centrífuga Robinson 820A. (Robinson, 2013)

4.1.2 Proceso de medición del parámetro BS&W con la integración del manipulador ZYMARK

El propósito de este proyecto es automatizar el proceso de medición del parámetro BS&W con la integración de un manipulador robótico cilíndrico (ZYMARK). El manipulador robótico se encargará de realizar las tareas anteriormente encargadas al operador de la centrífuga. Por lo tanto el proceso consistirá en:

1. Verificar si se dispone de probetas (materia prima) en la sección de porta probetas.
2. Trasladar las probetas una a una desde la sección de porta probetas hacia la sección de precalentadores. Este trabajo lo realizará el manipulador ZYMARK.
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. Esta tarea la realiza el manipulador ZYMARK.
5. Realizar el control de la centrífuga a fin de que la misma se posicione en una posición específica para ubicar cada probeta.

6. Una vez colocadas dos probetas con crudo en la centrífuga se empezará el proceso de centrifugación.
7. Al terminar el proceso de centrifugación el manipulador ZYMARK tomará una a una las probetas y las llevará a la sección de entrega.
8. 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 obviará que un operador este todo el tiempo supervisando la estación de trabajo, en la Figura 26 se ilustra de manera gráfica el proceso:

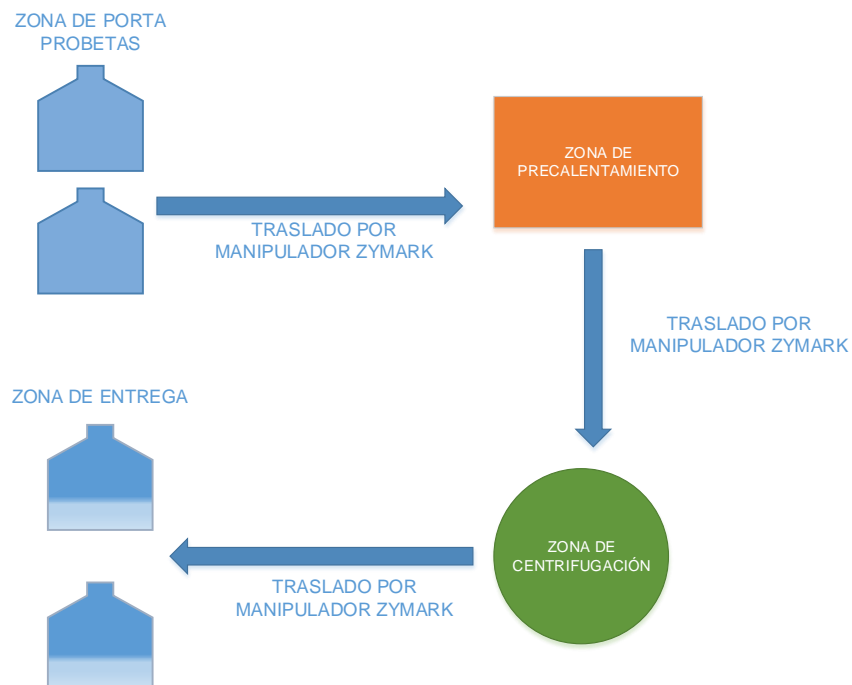


Figura 26. Proceso a implementar de medición del grado BS&W.

4.2 DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO.

4.2.1 Zona de centrifugación

Para empezar a diseñar esta zona en primer lugar se retiró la cubierta de la centrifuga Robinson 820A, a fin de extraer únicamente la centrifuga sin su cubierta protectora y también tener los porta-probetas, y precalentadores a disposición. En la Figura 27 se muestra la centrifuga sin su cubierta.



Figura 27. Centrífuga Robinson 820A, sin su cubierta.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se presenta a detalle las dimensiones físicas de la centrífuga Robinson en el plano del mismo nombre.

Una vez que se ha extraído la centrífuga se debe diseñar un área diseñada para la zona de centrifugación, esta área debe tener una zona de contención en caso de que haya fugas de crudo y una zona encargada de rodear la centrífuga a fin de que sirva de protección para el usuario. Debido a las características de robustez necesarias para el sistemas de decidió diseñar en acero inoxidable mediante planchas de TOL de 3mm de grosor. En la Figura 28 se presenta el diseño de esta zona.

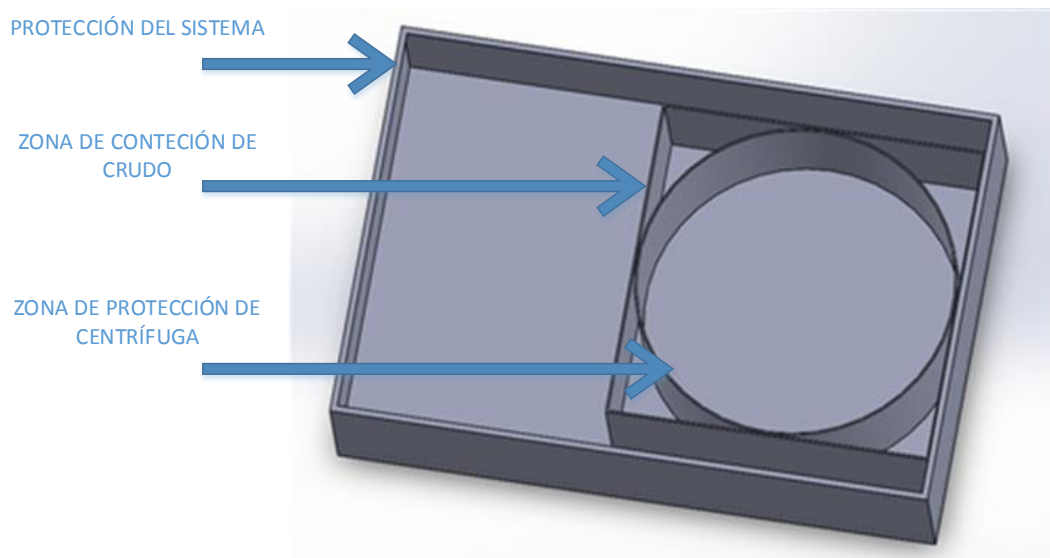


Figura 28. Diseño de la zona de centrifugación.

Después de haber realizado el diseño de la zona de centrifugación, se coloca la centrífuga en su interior a fin de comprobar que las dimensiones del diseño son las correctas, obteniendo la zona 1 con la centrífuga en su interior. El diseño final de la zona 1 realizado en Solid Works se muestra en la Figura 29.

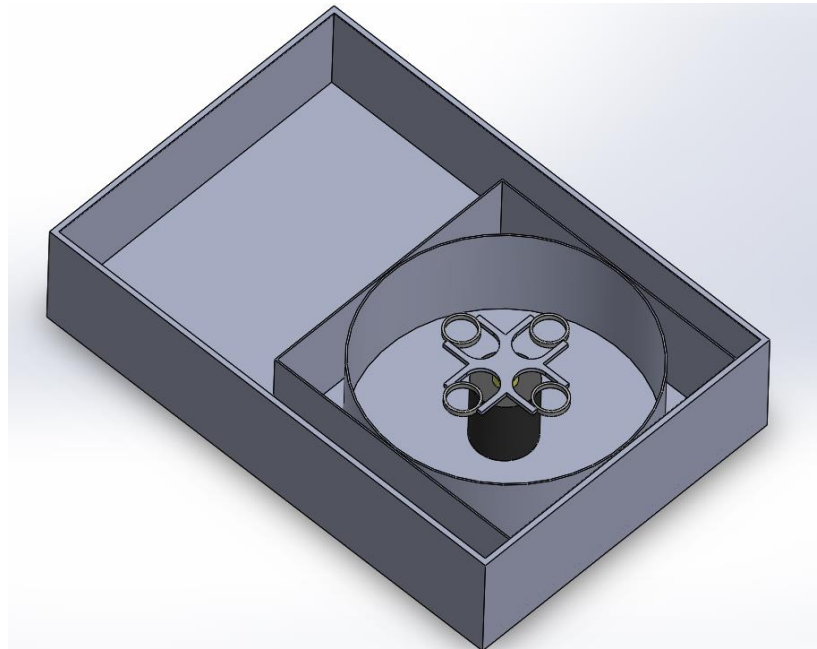


Figura 29. Zona de centrifugación con centrífuga Robinson 870A

Las dimensiones físicas de la zona de centrifugación se detallan en el **¡Error!**
No se encuentra el origen de la referencia., en el plano del mismo nombre.

4.2.2 Ubicación del manipulador ZYMARK en la estación.

Una vez diseñada la zona 1, el manipulador ZYMARK debe ubicarse de manera tal que su volumen de trabajo pueda interactuar con la centrífuga y el resto de la estación, en la Figura 30 se muestra el diseño de la mejor ubicación para colocar al manipulador robótico.

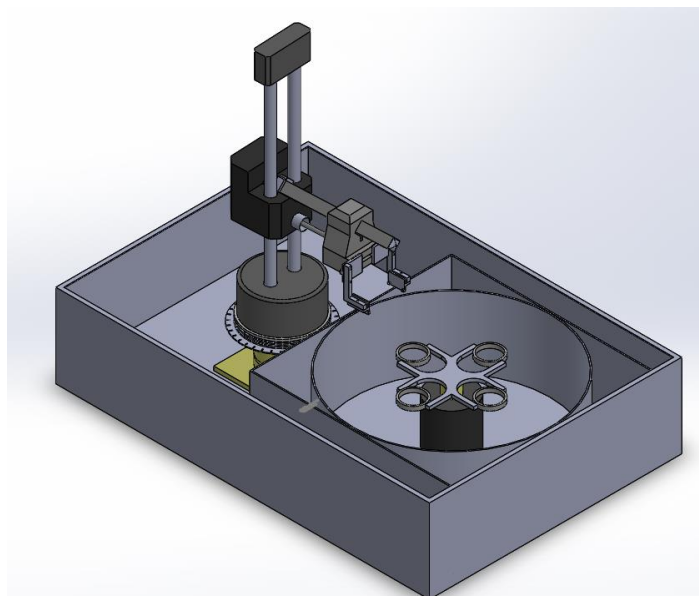


Figura 30. Integración del manipulador ZYMARK en la zona de centrifugación.

El plano que presenta la ubicación del manipulador ZYMARK en la zona de centrifugación se presenta en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

4.2.3 Zona de entrada de materia prima

En la zona de entrada de materia prima se hará uso de los porta probetas que forman parte de la centrífuga Robinson 820A. Estos porta-probetas tienen como característica principal que están hechos de aluminio material que les permite ser livianos pero a la vez resistente al crudo. Uno de los porta-probetas a utilizar se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Porta-probetas utilizado en la estación.

Una vez determinado el objeto que se utilizará como porta probeta el siguiente paso consiste en colocar los mismos sobre una superficie sólida. La superficie en cuestión debe brindar la resistencia adecuada a fin de que soporte el peso de los materiales que se colocarán posteriormente. Por lo tanto se ha decidido trabajar en una plancha de acero TOL de 3mm de grosor.

Esta zona y las siguientes se trabajarán a fin de posicionarlas posteriormente a manera de cubierta en la zona 1, de manera tal que se encuentren dentro del volumen de trabajo del manipulador ZYMARK y el mismo pueda acceder sin ningún problema físico a todas ellas. El diseño de la zona de entrada de la materia

prima al igual que las anteriores zonas se ha realizado en Solid Works y se muestra en la Figura 32.

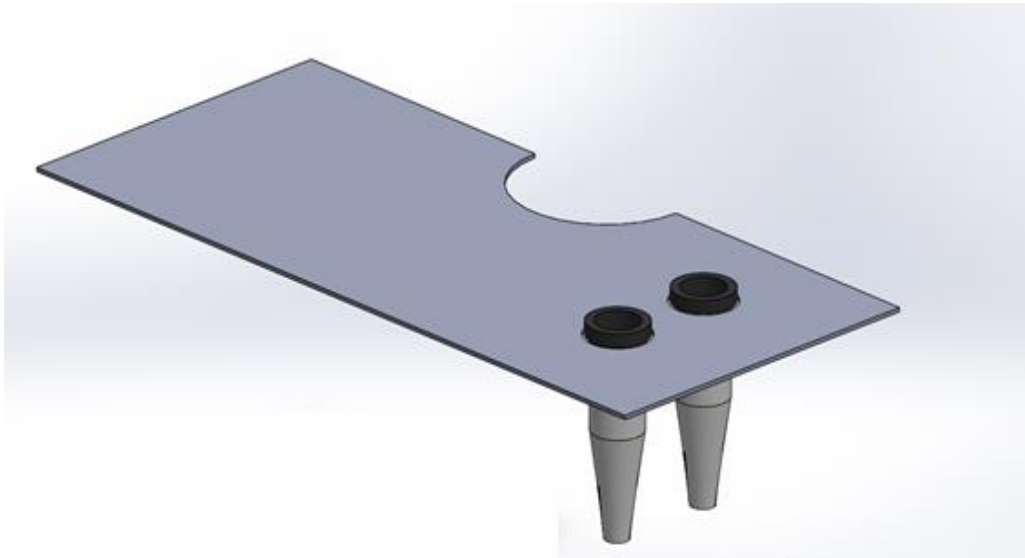


Figura 32. Diseño de la zona de entrada de materia prima.

4.2.4 Zona de precalentamiento de crudo

En la zona destinada a precalentar el crudo se hará uso de los calentadores (heaters) que forman parte de la centrífuga Robinson 820A. Estos calentadores tienen como característica principal que están hechos de aluminio material que les permite poder elevar su temperatura mediante niquelinas que forman parte de los calentadores.

Las niquelinas de los calentadores funcionan con alimentación de 110VAC.

Los calentadores a utilizar se muestran en la Figura 33.

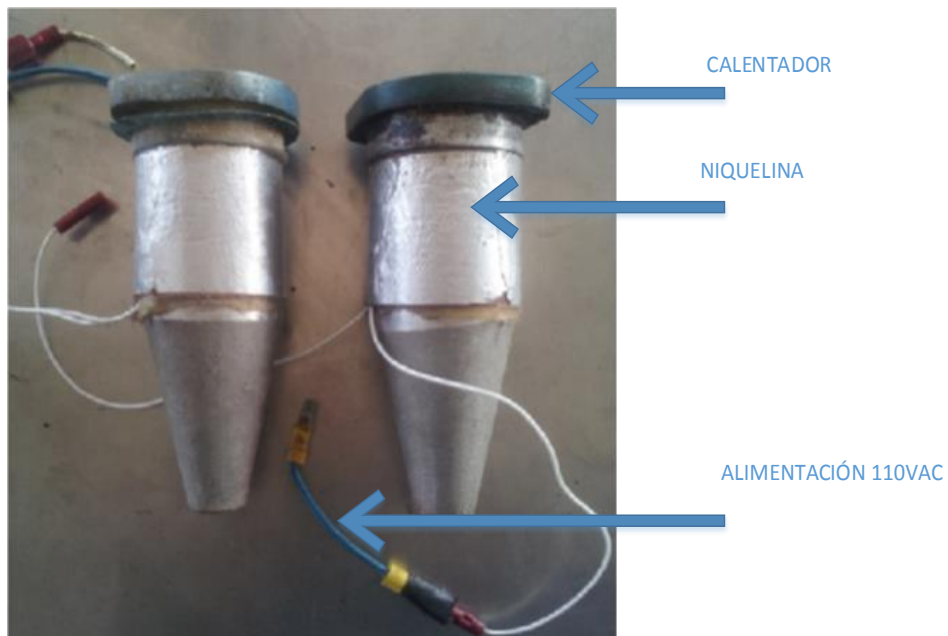


Figura 33. Calentadores utilizados en la estación.

Al haber analizado los objetos que se utilizarán como calentadores, el siguiente paso es colocar los mismos sobre la zona de entrada de materia prima es decir en la plancha de acero TOL de 3mm de grosor.

Al igual que con la zona de entrada de materia prima, la zona de precalentamiento debe estar dentro del volumen de trabajo del manipulador

ZYMARK. El diseño de la zona de entrada de precalentamiento se ha realizado en Solid Works y se muestra en la Figura 34 y los planos correspondientes se detallan en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

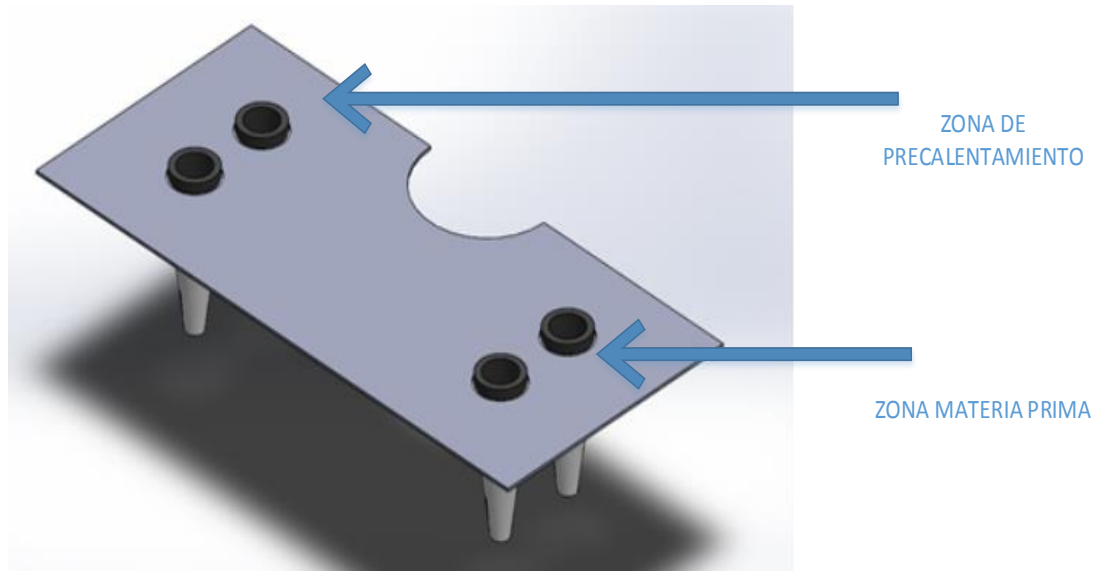


Figura 34. Zona de precalentamiento.

4.2.5 Zona de entrega de componentes centrifugados

La tercer zona a colocar junto a las de materia prima y precalentamiento es la zona donde se colocarán las probetas después de haberse realizado el proceso de centrifugación es decir una vez se terminó todo el proceso.

Para esta zona se realizarán perforaciones en la superficie de acero para posteriormente colocar porta-probetas que recibirán sus respectivas probetas. El diseño de la zona de entrega de componentes centrifugados se ha realizado en Solid Works y se muestra en la Figura 35.

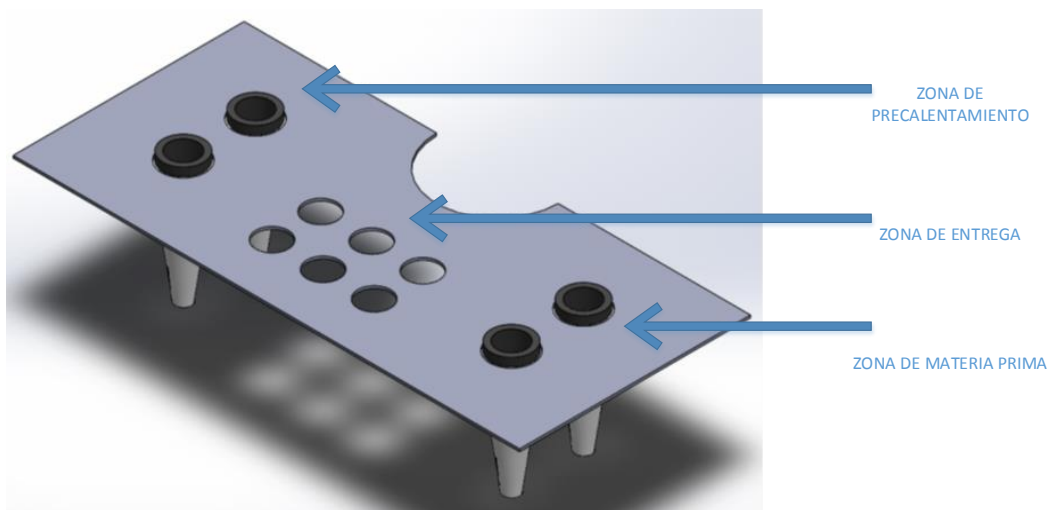


Figura 35. Zona de entrega.

4.2.6 Documentación

Los planos respectivos de los diseños de la zona de centrifugación, la centrifuga, los porta-probetas, y las zonas entrada, precalentamiento y entrega de probetas y el panel de control de la estación se muestran en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN.

4.3.1 La centrífuga Robinson

La centrífuga Robinson instalada en la zona de centrifugación necesita para su funcionamiento de una alimentación de 12VDC, por esta razón al igual que los motores del manipulador ZYMARK se utilizará un Driver para Motor DC.

De esta manera se podrá controlar la centrifuga mediante una señal proveniente del elemento principal de control ARDUINO MEGA 2560.

4.3.2 Activación de los precalentadores

Para el funcionamiento de los precalentadores los mismos necesitan de una alimentación de 120VAC razón por la cual para poder activar los mismos desde el elemento principal de control ARDUINO MEGA 2560 se necesita de un sistema capaz de activar y desactivar la alimentación AC mediante una señal de control DC digital de 5V.

Es así que para la activación de los precalentadores se hará uso de un sistema de activación con relés.

4.3.3 Sistema de alimentación DC para el sistema

El sistema o fuente de alimentación DC que se encargará de alimentar al sistema global debe cumplir con proveer la potencia suficiente al sistema.

Para la elección de una fuente DC adecuada se deberá hacer un análisis global de cargas en el sistema. En la Tabla 10 se presentan todas las cargas DC del sistema.

Tabla 10. Consumo energético DC global del sistema

DETALLE	POTENCIA	CORRIENTE
Consumo energético motores DC del manipulador ZYMARK (4)	48W	4A
Consumo energético de sensores de posición del manipulador ZYMARK (4)	2W	1.6A
Centrífuga Robinson	36W	3A
Consumo total de potencia	86W	8.6A

En base al análisis de la Tabla 10 el consumo DC total del sistema es de 8.6A y una potencia de 86W, además debido el mayor voltaje en DC necesario es de

12VDC para los motores se necesitará una fuente de dicho voltaje y una corriente de 10A para abastecer la demanda de 8.6A del sistema.

4.3.4 Sistema de alimentación AC para el sistema

A fin de proveer de las protecciones adecuadas al sistema la alimentación global del sistema AC, el diseño del mismo tendrá como protecciones un Breaker principal y dos fusibles, de esta manera se garantiza una protección global al sistema y en el caso de fallas en el mismo como corto circuitos se evitarán daños en los componentes eléctricos de la estación. El diagrama de potencia se muestra en la Figura 36.

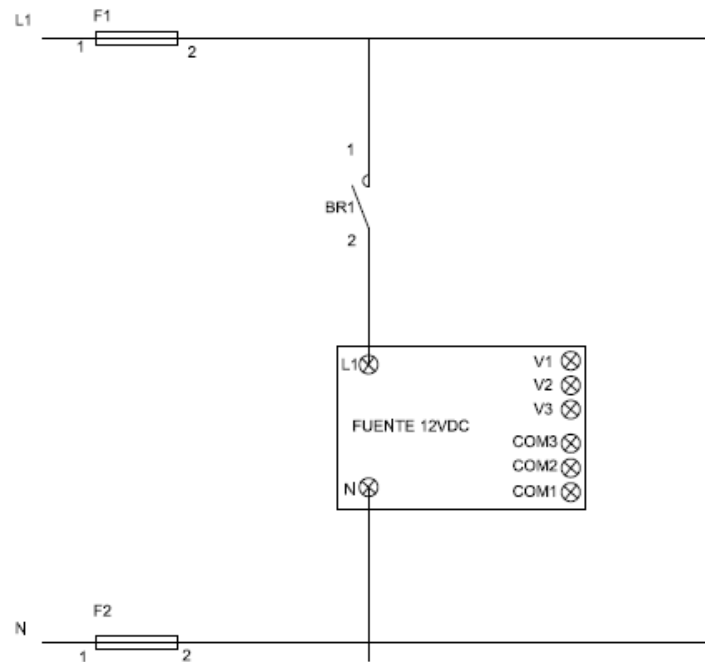


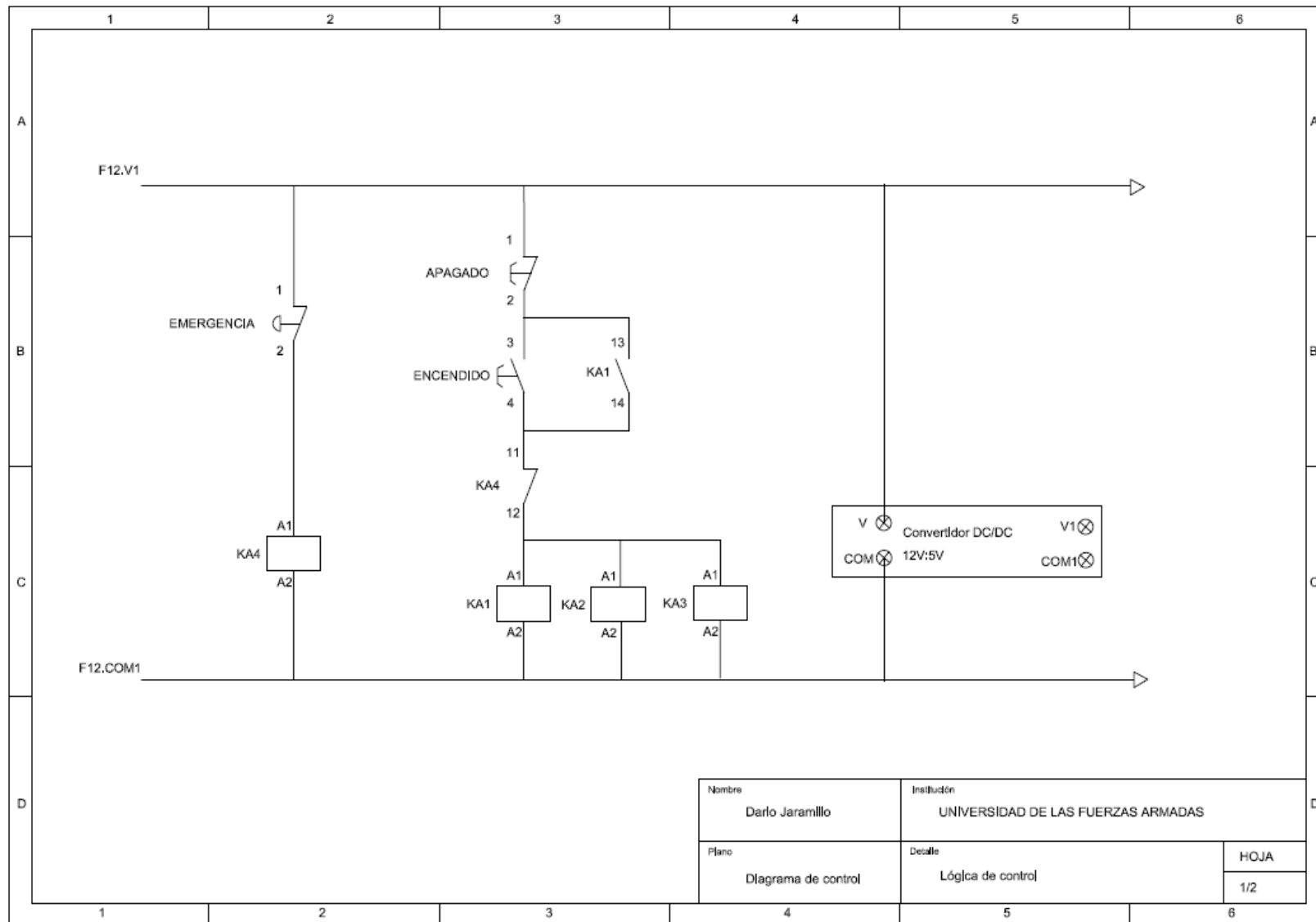
Figura 36. Diagrama de potencia

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA ESTACIÓN.

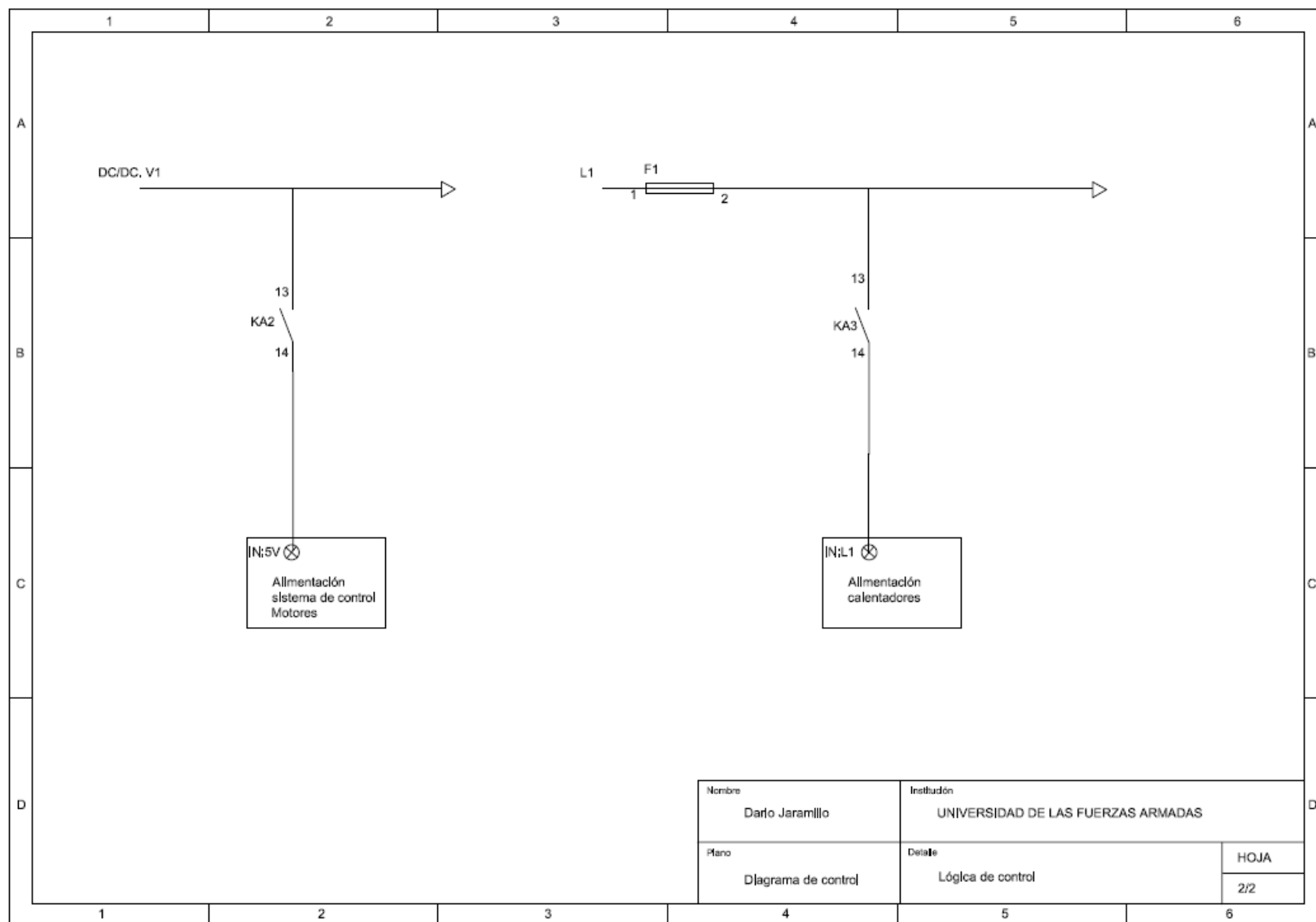
4.4.1 Diseño de la lógica de control para encendido de la estación.

El tablero de control de la estación tendrá en su exterior dos pulsadores uno para encendido y otro para apagado, además de un botón de paro de emergencia. El propósito de los pulsadores de encendido y apagado es energizar al sistema y permitir que todos los componentes puedan trabajar, si el botón de paro de emergencia es presionado las alimentaciones de las señales de control del sistema así como la alimentación para los calentadores serán cortadas impidiendo de esta forma cualquier movimiento de los motores y que los calentadores entren en acción.

Cuando el botón de paro de emergencia deje de ser presionado las alimentaciones de control para los motores y de alimentación para los calentadores podrán volver a ser activadas. Por otro lado si el sistema está encendido y se presiona el pulsador de Apagado, es necesario volver a presionar el botón de encendido para que el sistema vuelva a estar energizado. La lógica de control del sistema se presenta en los siguientes planos.



Nombre	Darlo Jaramillo		Institución	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS	
Plano	Diagrama de control		Detalle	Lógica de control	HOJA
					1/2



4.4.2 Sistema de detección de probetas en la zona de entrada de materia prima.

A fin de que el sistema empiece a trabajar se necesita que el operador encienda el mismo mediante el pulsador de encendido del tablero de control. Una vez que el sistema se encuentre encendido, para que el proceso inicie se deberá detectar si se encuentran probetas en la zona de entrada de materia prima. En la Figura 37 se presenta el diagrama de la lógica de detección de probetas.

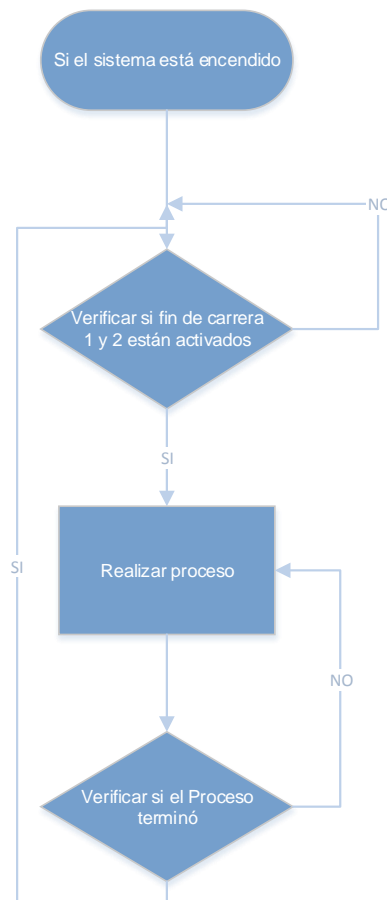


Figura 37. Diagrama de flujo para verificar presencia de probetas

Para detectar si se encuentran probetas en la zona de materia prima se ha decidido utilizar sensores de contacto, también conocidos como fines de carrera de tal manera que cuando ambos porta-probetas contengan una probeta el sistema empiece a trabajar de manera automática.

Una vez que se haya terminado el proceso, la verificación de nuevas muestras en la zona de materia prima se volverá a realizar para de esta manera iniciar un nuevo ciclo.

4.4.3 Sistema de control de posición de la centrífuga Robinson.

Una vez que el proceso en la estación haya arrancado, eventualmente el manipulador ZYMARK deberá colocar las probetas en la centrífuga, sin embargo la centrífuga posee cuatro posiciones para colocar probetas razón por la cual se hace necesario un sistema para posicionar la centrífuga en la ubicación deseada de manera que las probetas no se confundan entre si y que el manipulador ZYMARK pueda colocar las mismas en la centrífuga.

Debido a la velocidad a la que gira la centrífuga y a la necesidad de posicionar de manera exacta la misma se ha decidido utilizar un sensor de color. El sensor de color en cuestión permitirá identificar claramente en cuál de las cuatro posiciones para colocar probetas se encuentra la centrífuga y de esta manera

que el manipulador ZYMARK pueda colocar las mismas. En la Figura 38 se detalla el proceso de identificación mediante el sensor de color.

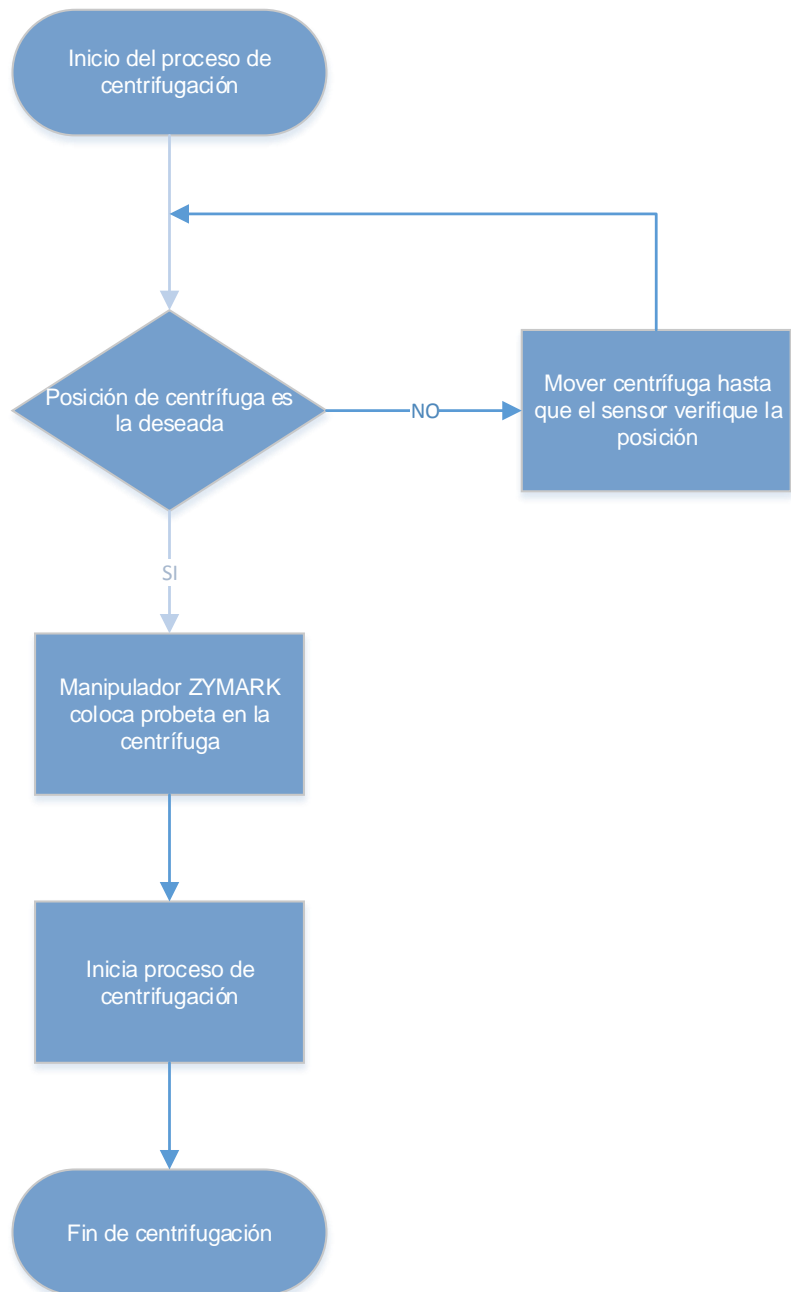


Figura 38. Verificación de posición de la centrífuga.

CAPÍTULO 5.

IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DEL GRADO BS&W.

5.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES

5.1.1 Componente principal de control: ARDUINO MEGA 2560

El componente de control para el manipulador ZYMARK determinado en la sección **3.3.5 Elección del componente principal de control para el manipulador ZYMARK.**, fue la ARDUINO MEGA 2560. La mencionada tarjeta de control ARDUINO ejercerá el control del resto de la estación siendo así la encargada del control de: la centrífuga Robinson, los precalentadores, el sistema de detección

de materia prima, el sistema de control de posición de la centrífuga Robinson y los movimientos del manipulador ZYMARK.

5.1.2 Componente para activación de motores DC: Driver motor DC

Al igual que se habló en la sección **3.3.3.2 Elemento seleccionado para el cambio de giro de los motores**, los componentes seleccionados para encargarse de realizar la activación de los motores DC tanto del manipulador ZYMARK como el motor de la centrífuga Robinson serán un conjunto de Drivers para motores DC.

Los Drivers para motores DC utilizados en el presente proyecto presentan la ventaja de ser compatibles para trabajar con el elemento principal de control es decir la ARDUINO MEGA 2560 de manera que basta con generar las señales de PWM y de sentido de giro para que los motores del sistema puedan trabajar de acuerdo a lo deseado por la aplicación.

5.1.3 Fuente de Alimentación DC: Fuente 12V-20A

El elemento seleccionado para proveer de alimentación DC al sistema es una fuente de 12VDC a una corriente de 20A, esta fuente es de características

industriales y para su funcionamiento necesita una alimentación de 110VAC, la fuente mencionada se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Fuente DC del sistema.

5.1.4 Elemento para la activación de los precalentadores: ARDUINO relé de 5VDC.

Para que los precalentadores puedan trabajar se necesita de una alimentación de 110VAC y debido a que el elemento de control es la ARDUINO MEGA 2560 no se pueden activar directamente.

Para solventar el problema mencionado se optó por trabajar con un módulo ARDUINO relé de 5VDC el cual puede trabajar hasta 250VAC a una corriente de

10A y necesita para su activación una señal digital proveniente del componente principal de control del sistema. El ARDUINO relé de 5VDC utilizado en el sistema se muestra en la Figura 40.



Figura 40. ARDUINO relé de 5VDC.

5.1.5 Sensor para la detección de posición en la centrífuga Robinson:

TCS3200d

El sensor encargado de determinar la posición de la centrífuga Robinson es el que incluye el módulo TCS3200d, este módulo se utiliza para detectar y diferenciar entre colores y es el que se muestra en la Figura 41.

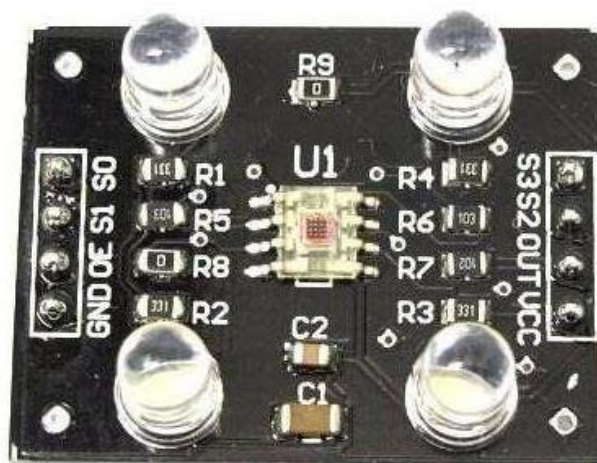


Figura 41. Módulo TCS3200d.

Las principales características del sensor TCS3200 que incluye el módulo para medir el color se presentan a continuación.

- Voltaje de operación de 2.7V a 5.5V.
- Comunicación directa con microcontroladores.
- Error de no linealidad de máximo 2%.
- Alta resolución de conversión de luz a frecuencia.
- Escala ajustable de medición de luz.
- Salida en frecuencia para determinar el color leído.

5.1.6 Sensor para la detección de presencia de probetas: Fin de carrera

A fin de detectar la presencia de probetas en la zona de materia prima del sistema, se usarán dos fines de carrera para detectar la presencia de probetas en los dos porta-probetas. En la Figura 42 se muestra el sensor utilizado en la estación.



Figura 42. Fin de carrera.

5.1.7 Pulsador encendido/apagado del sistema: CHNT serie NP2-BW8445

Para encender y apagar el sistema se eligió trabajar con pulsadores marca CHNT de la serie NP2-BW8445 los cuales cumplen con el estándar IEC60947-5-1 para instalaciones eléctricas. Los pulsadores/switch elegidos para el tablero de control se muestran en la Figura 43.

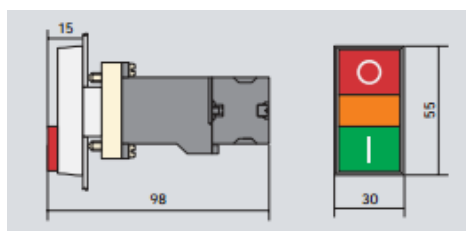


Figura 43. Pulsador NP2-BW8445.

5.1.8 Paro de emergencia del sistema: CHNT serie NP2-ES442

En caso de presentarse una situación de emergencia en el sistema se eligió trabajar con un botón de emergencia CHNT de la serie NP2-ES442 el cual cumple con el estándar IEC60947-5-1 para instalaciones eléctricas. El botón de emergencia para el tablero de control se muestra en la Figura 44.

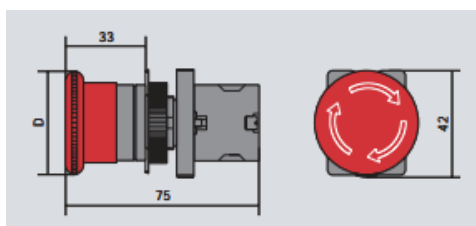


Figura 44. Botón de emergencia NP2-ES442.

5.1.9 Componente principal de control: ARDUINO MEGA 2560

Para energizar a todo el sistema y como principal protección del mismo se seleccionó un Breaker unipolar de 10A de la serie NB1 MCB, como todos los

elementos de la marca CHNT el Breaker cumple con el estándar IEC60947-5-1 para instalaciones eléctricas. En la Figura 45 se presenta el Breaker en cuestión para el tablero de control.



Figura 45. Breaker NB1 MCB.

5.1.10 Porta fusible y fusible para riel Din.

Como segunda protección del sistema se decidió utilizar un sistema de Porta Fusible y Fusible para Riel Din, siendo los fusibles de 10A cada uno y son utilizados para la línea de alimentación L1 y para el neutro del sistema. El Porta Fusible junto con el fusible utilizado se muestra en la Figura 46.

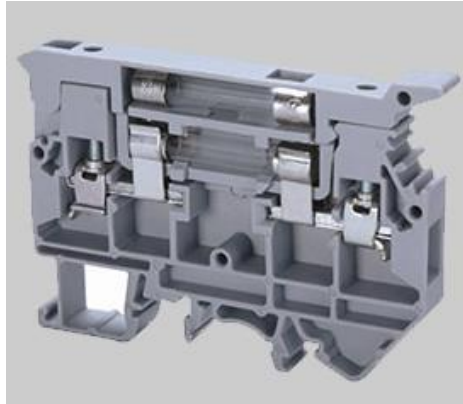


Figura 46. Porta Fusible y Fusible para riel Din.

5.1.11 Relé para riel Din: Omron 12VDC

La lógica del control del sistema para el arranque necesita de relés que trabajen a 12VDC, los relés que se han escogido para este propósito son de marca Omron y sus principales características son:

- Voltaje de activación de la bobina de 12VDC
- Capacidad de contactos en DC hasta 28V a 10A en AC 250V hasta 10A.
- Resistencia de los contactos 500m Ω .
- Dos contactos NO y dos contactos NC

En la Figura 47 se muestra en relé junto con el porta relé para riel Din utilizados en el tablero de control.



Figura 47. Relé de 12VDC marca Omron.

5.1.12 Borneras simples para Riel Din

Las borneras utilizadas en este proyecto se utilizan para realizar el cableado del panel de control y como característica principal permiten colocar un cable de hasta calibre 12AWG y se fijan por tornillos. En la Figura 48 se muestra el tipo de bornera simple utilizado en el tablero de control.



Figura 48. Bornera simple para Riel Din.

5.1.13 Borneras dobles para Riel Din

Las borneras dobles se utilizaron en este proyecto debido a la necesidad de ahorrar espacio en el tablero de control a causa del elevado número de señales de control de la tarjeta ARDUINO. Como característica principal permiten colocar un cable de hasta calibre 12AWG y se fijan por presión. En la Figura 49 se muestra el tipo de bornera doble utilizado en el tablero de control.



Figura 49. Bornera doble para Riel Din.

5.2 INTEGRACIÓN

5.2.1 Instalación de componentes en el área próxima al manipulador ZYMARK.

En el área cercana al manipulador ZYMARK se dispone del espacio suficiente para instalar componentes necesarios del sistema, es así que se decidió aprovechar este espacio para instalar una serie de componentes.

Los componentes que se instalaron en el área cercana al manipulador ZYMARK son la Fuente de alimentación DC, los Drivers para motores DC y el módulo ARDUINO relé de 5VDC. La disposición de estos componentes se muestra en la Figura 50.

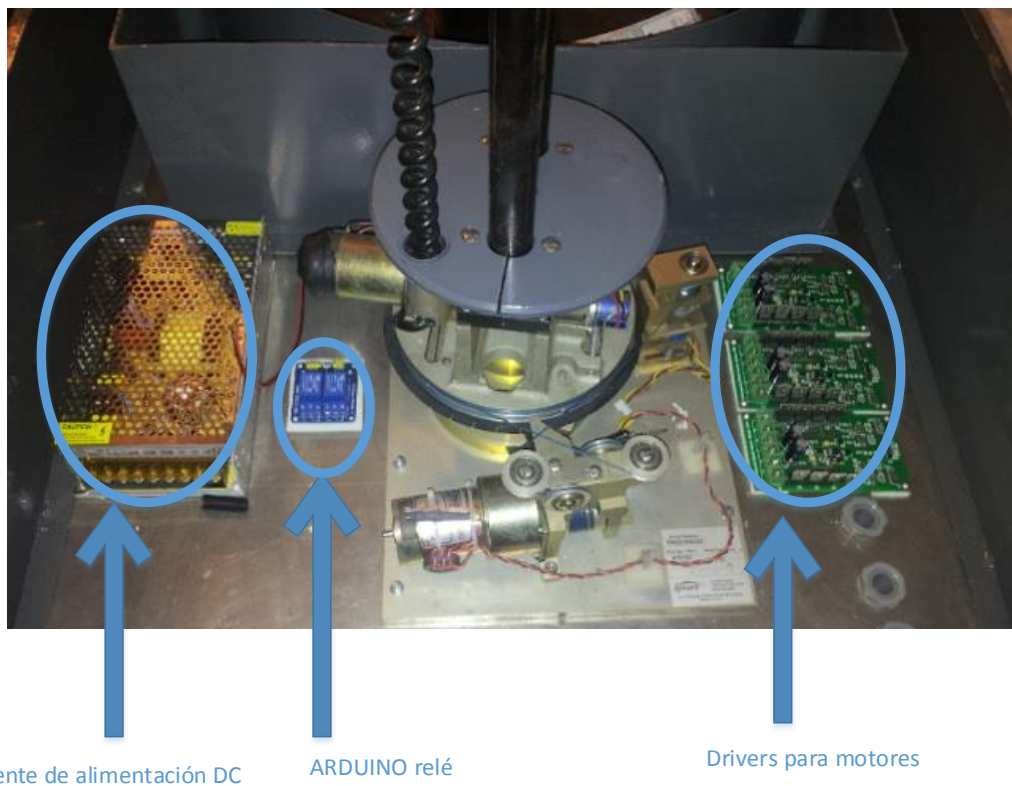


Figura 50. Disposición de componentes en el área del manipulador ZYMARK.

5.2.2 Instalación de la centrífuga Robinson.

Al igual que se indicó en el diseño de **4.2.1 Zona de centrifugación**, la centrífuga Robinson junto con el sensor de color TCS3200d se colocarán en dicha área. En la Figura 51 se muestra la instalación de la centrífuga y del sensor.

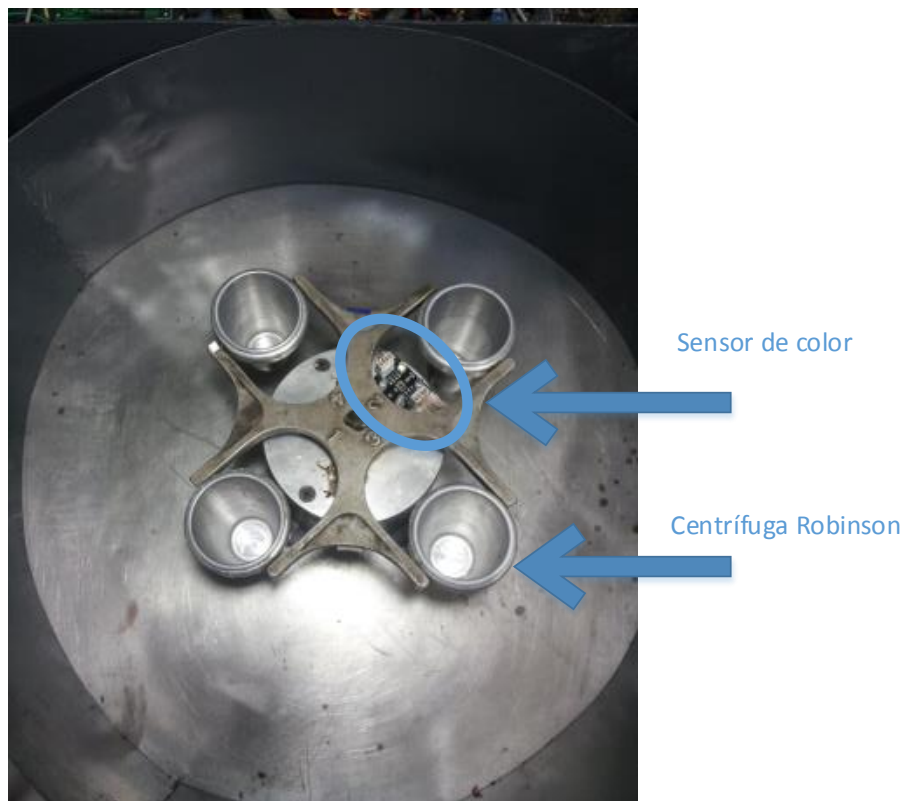


Figura 51. Instalación de la centrífuga Robinson y sensor de color.

5.2.3 Disposición de los componentes del tablero de control.

Externamente el tablero de control únicamente dispone de los pulsadores para encender y apagar el sistema y del botón de parada de emergencia.

La instalación de estos componentes se muestra en la Figura 52, en la cual es importante mencionar que se está presentando una vista frontal del panel de control y por lo tanto únicamente se visualizan los pulsadores del sistema, estando el resto de componentes en el interior del mismo.

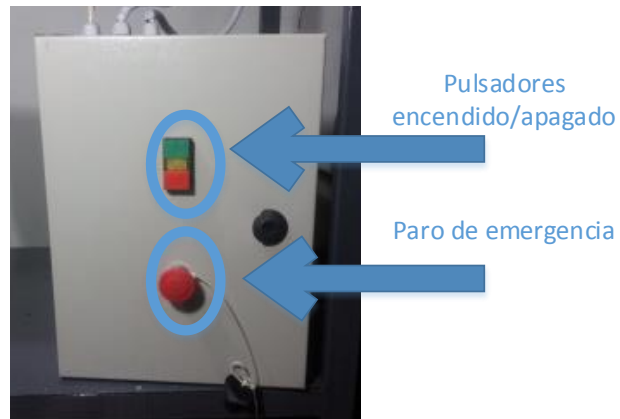


Figura 52. Vista exterior del panel de control.

Internamente el tablero de control posee la tarjeta ARDUINO Mega 2560, Breaker, fusibles, relés y borneras. La disposición de estos elementos dentro del tablero de control se indica en la Figura 53.

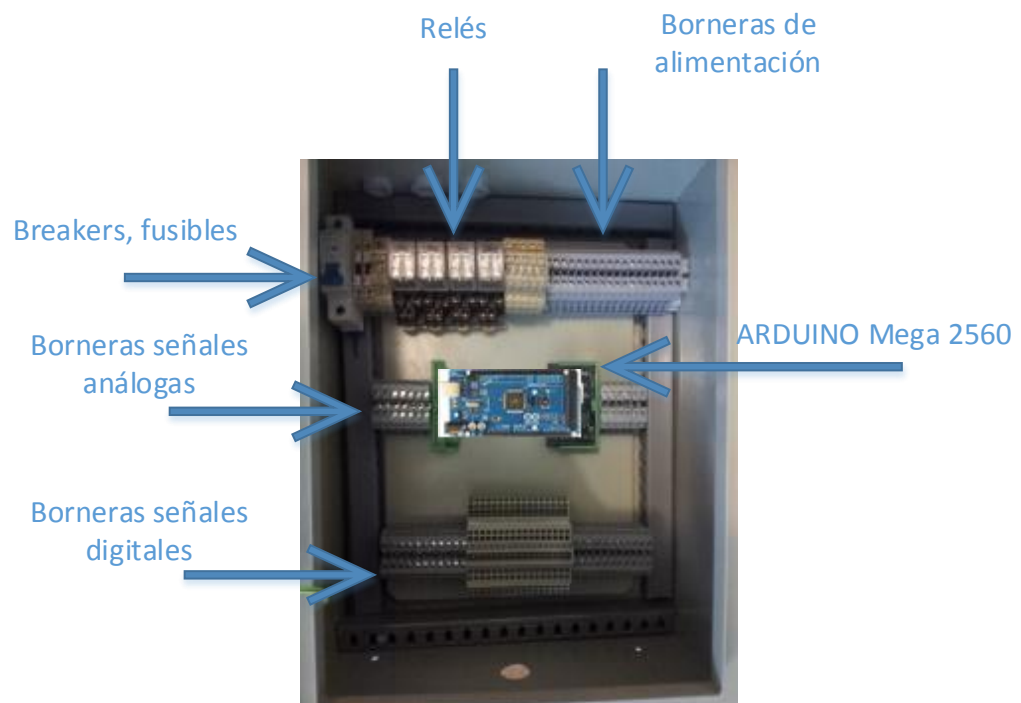


Figura 53. Interior del tablero de control.

5.2.4 Cableado del sistema.

Una vez colocados todos los componentes en la zona cercana al manipulador ZYMARK y los componentes internos del panel de control se procede al cableado general del sistema obteniendo como resultado todos los dispositivos interconectados y listos para operar.

En la Figura 54 se muestra la disposición de los componentes eléctricos y electrónicos ubicados en el área adyacente al manipulador ZYMARK.

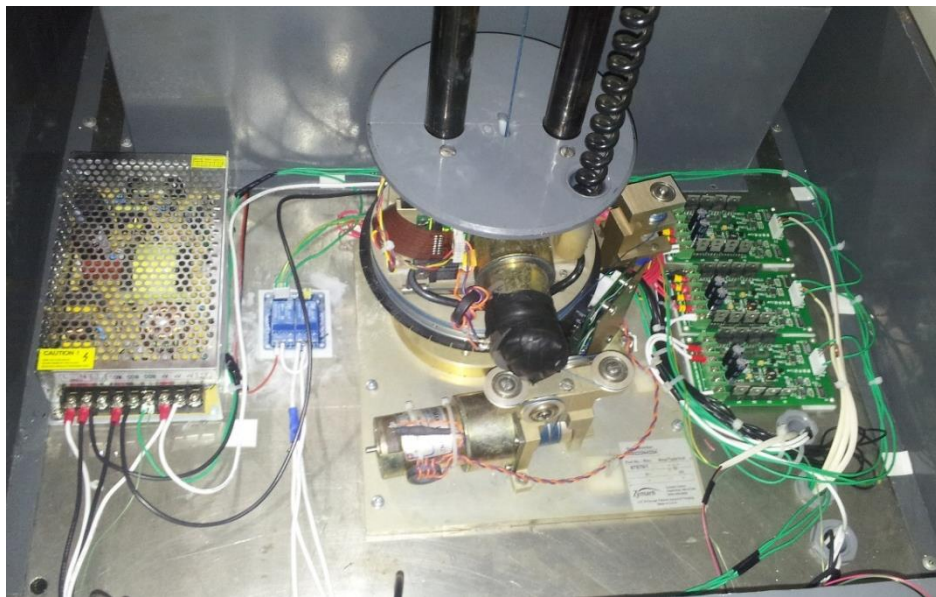


Figura 54. Conexión de componentes en el área del manipulador ZYMARK.

En la Figura 55 se muestra la disposición de los componentes eléctricos y electrónicos en el interior del tablero de control.

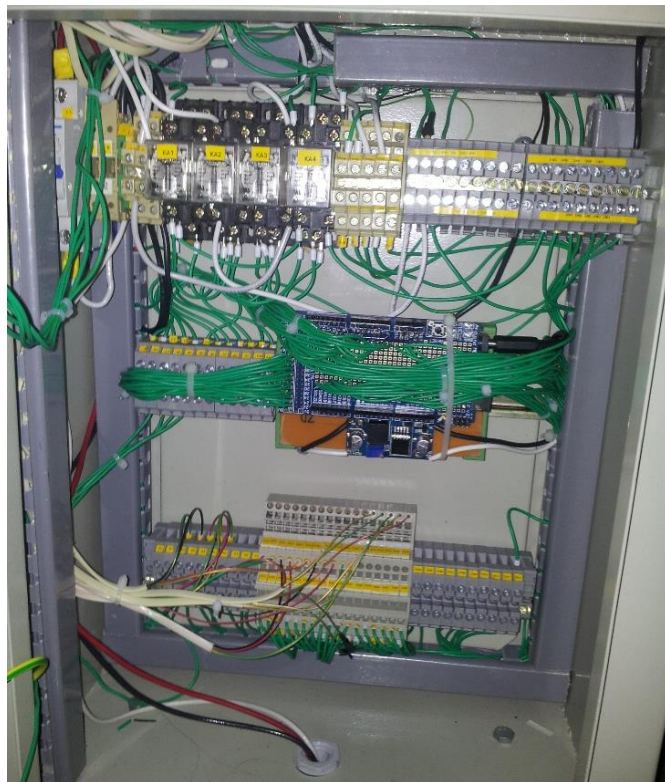


Figura 55. Conexión de componentes en el tablero de control.

5.2.5 Resultados de implementación de la estación respecto a los esquemas de diseño.

Al haber terminado la implementación de la estación de medición del grado BS&W del petróleo es oportuno comparar el diseño mecánico realizado en Solid Works con la implementación física de la estación.

En la Figura 56 se muestra una vista isométrica del diseño que sirvió de base para la disposición general de todos los componentes de la estación.

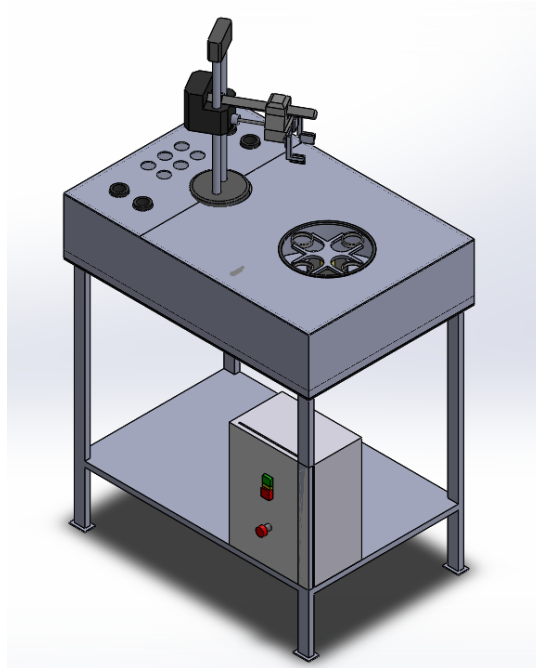


Figura 56. Vista isométrica del diseño de la estación.

En la Figura 57 se identifican las diferentes zonas de trabajo en el diseño de la estación, las cuales son análogas a los resultados obtenidos.

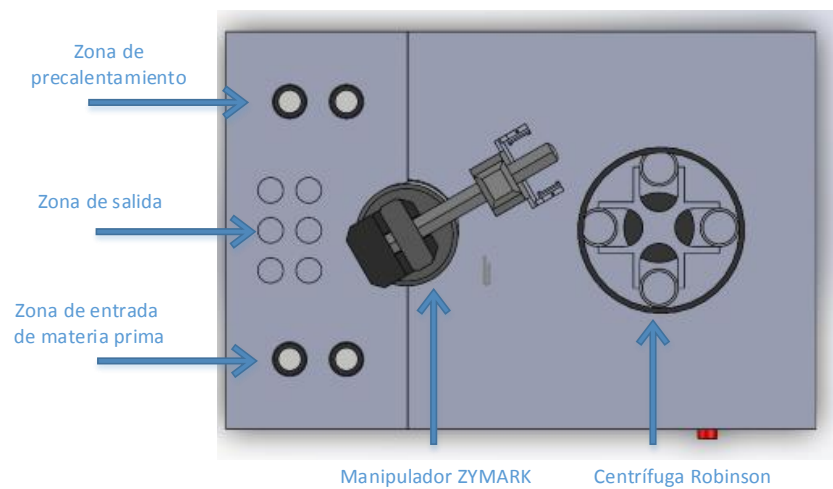


Figura 57. Diseño: Zonas de trabajo de la estación.

Finalmente en la Figura 58 se presenta una vista frontal de la estación en la que se distingue el área de trabajo y el panel de control del sistema.

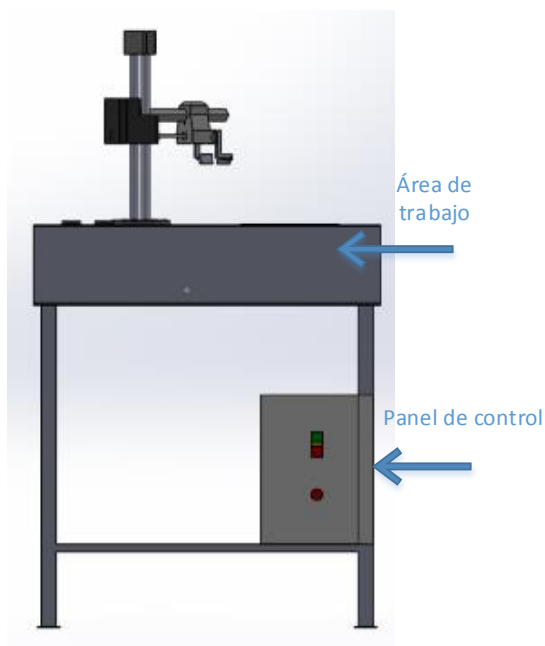


Figura 58. Diseño: Panel de control de la estación.

Ahora bien en base a los diseños de la estación mostrados se realizó la implementación física de la misma cumpliendo con la disposición de las zonas de materia prima, centrifugación y salida de material centrifugado; así como la ubicación del manipulador ZYMARK respecto a la centrifuga Robinson.

En la Figura 59 se presenta el resultado de la implementación física de la estación en la cual se distingue el área de trabajo y el panel de control;

cumpliendo cada una de ellas con los requisitos de diseño mencionados anteriormente.



Figura 59. Estación implementada.

De esta manera se evidencia que se cumplió al seguir el diseño mecánico en la estación implementada identificándose claramente las zonas diseñadas y su correspondencia con la implementación mecánica, así como el panel de control.

5.2.6 Lógica de programación del elemento principal de control.

Una vez que se tienen todos los componentes interconectados se puede programar el componente principal de control es decir la tarjeta ARDUINO Mega 2560.

La programación de la tarjeta ARDUINO Mega 2560 sigue una lógica de control cíclica en la cual se van realizando una serie de pasos para cumplir con el proceso y una vez que este termina el sistema puede volver a ejecutar el proceso en función de las condiciones de la estación. Para que el proceso pueda empezar la tarjeta ARDUINO verifica los sensores de los porta probetas, si es que se encuentran probetas en ambos porta probetas entonces el proceso puede iniciar, caso contrario se espera a que se tengan las dos probetas.

Una vez verificada la existencia de las dos probetas el manipulador ZYMARK se encargará de llevar una a una las probetas hacia los calentadores para posteriormente empezar el proceso de calentamiento del crudo en las probetas. Cuando el proceso de calentar el crudo se ha terminado se verifica la posición de la centrífuga a fin de que el manipulador ZYMARK pueda colocar las probetas en una posición conocida; después de haber colocado ambas probetas en la centrífuga el proceso de centrifugación puede empezar.

Cuando el proceso de centrifugación termina se verifica la posición de la centrífuga a fin de que el manipulador ZYMARK pueda llevar las probetas con crudo centrifugado hacia la zona de entrega de componentes.

La lógica de programación se detalla de mejor manera en el diagrama de flujo presentado en la Figura 60.

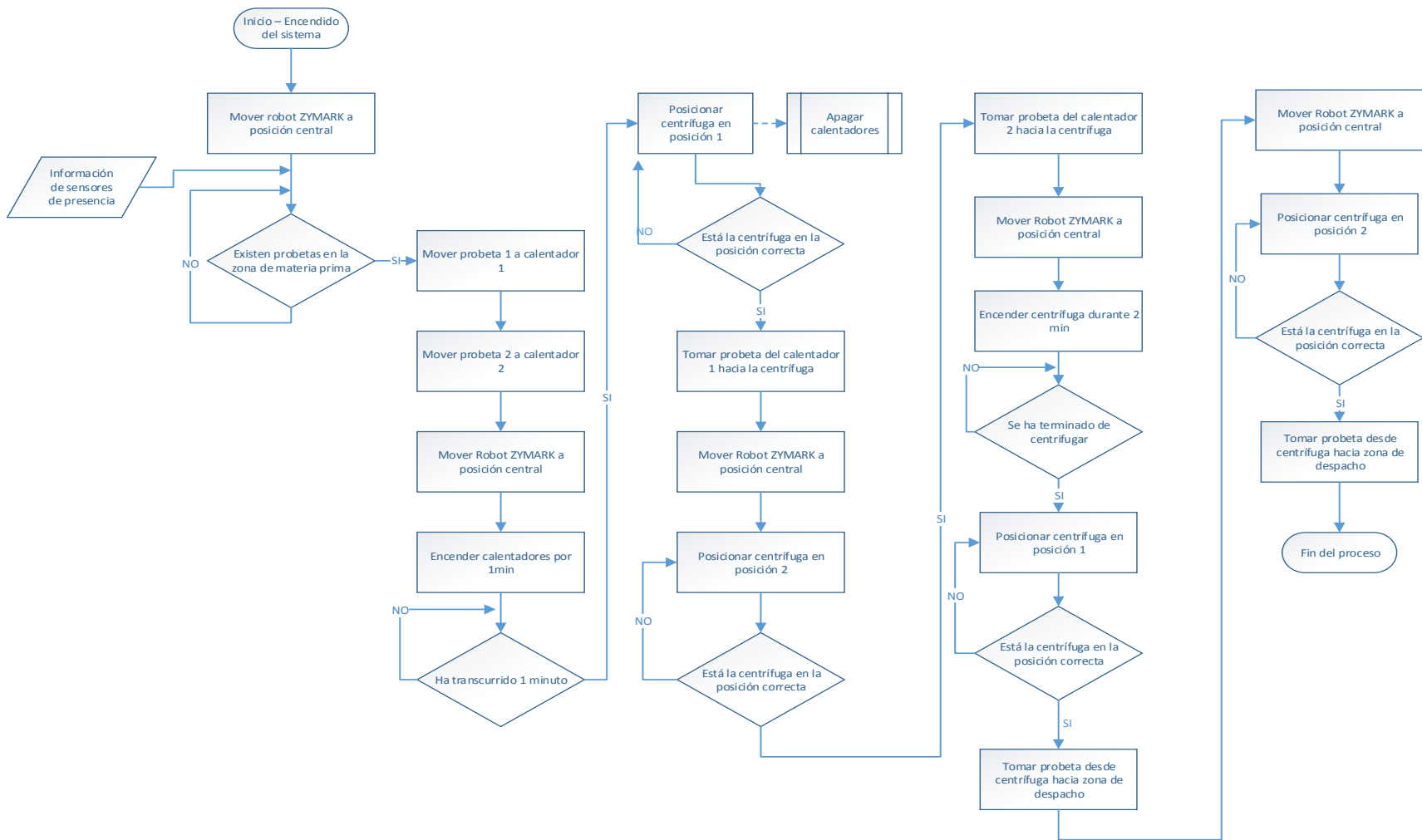


Figura 60. Lógica de programación ARDUINO

5.2.7 Diagramas de interconexión de componentes.

A fin de documentar las conexiones realizadas en el tablero de control y los componentes del manipulador robótico ZYMARK en la sección de anexos se encontrarán los planos de las conexiones eléctricas del sistema, en la sección de **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

5.3 PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN

5.3.1 Comprobación de alimentación del sistema.

El primer aspecto a comprobar después de haber terminado de realizar todas las conexiones en la estación es la correcta alimentación de cada uno de los componentes.

5.3.1.1 Alimentación global del sistema: 110VAC

La alimentación de 110VAC para el funcionamiento de todo el sistema se comprueba en el panel de control tomando la medición de este voltaje después del Breaker dispuesto para la línea L1. El resultado de la medición de este voltaje se presenta en la Figura 61.

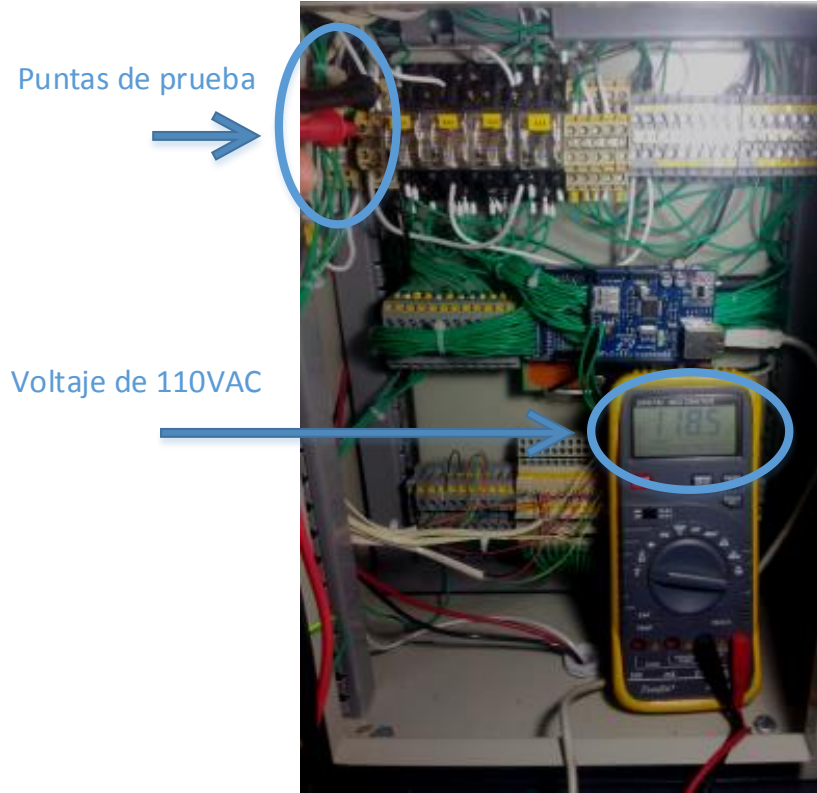


Figura 61. Voltaje AC de alimentación del sistema.

5.3.1.2 Alimentación de la fuente de 12VDC

La fuente de 12VDC garantiza el funcionamiento de los motores y los sensores del sistema, razón por la cual es necesario comprobar su correcto desempeño entregando el voltaje deseado.

La medida de voltaje entregado por la fuente se toma en el panel de control, en las borneras destinadas a distribuir el voltaje de 12VDC, la lectura de este voltaje se presenta en la Figura 62.



Figura 62. Voltaje 12VDC de la fuente.

5.3.1.3 Convertidor DC/DC

Para que los sensores de posición y de color puedan trabajar, además de tener un voltaje DC se necesita reducir el voltaje de 12VDC de la fuente a un voltaje de 5VDC razón por la cual se debe verificar el correcto funcionamiento del conversor DC/DC.

El voltaje de salida del conversor también se utiliza para la alimentación de los Drivers para los motores en sus señales de control. La medida de voltaje

entregado por el conversor DC/DC se toma en el panel de control a la salida mismo como se muestra en la Figura 63.

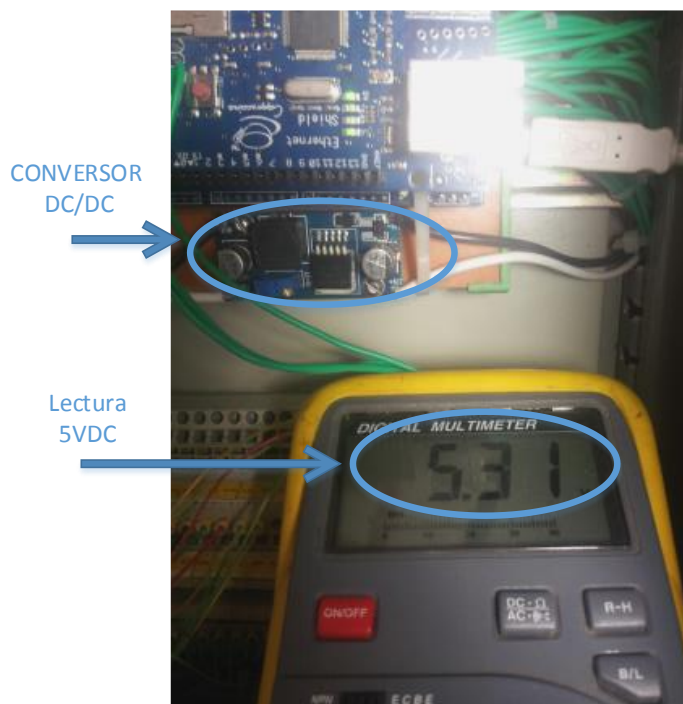


Figura 63. Voltaje del conversor DC/DC.

5.3.2 Comprobación del correcto funcionamiento de la tarjeta ARDUINO Mega 2560.

Como ya se ha hablado anteriormente el elemento principal de control es la tarjeta ARDUINO Mega 2560 y el correcto funcionamiento y desempeño del sistema depende de la misma.

La forma de determinar si la tarjeta ARDUINO se encuentra en condiciones óptimas de operación es energizando la misma y verificando la conexión USB con el PC, si se puede descargar con éxito un programa ejemplo en la tarjeta eso será un indicador de que la misma trabaja adecuadamente. En la Figura 64 se muestra el proceso para cargar un programa en la tarjeta ARDUINO.

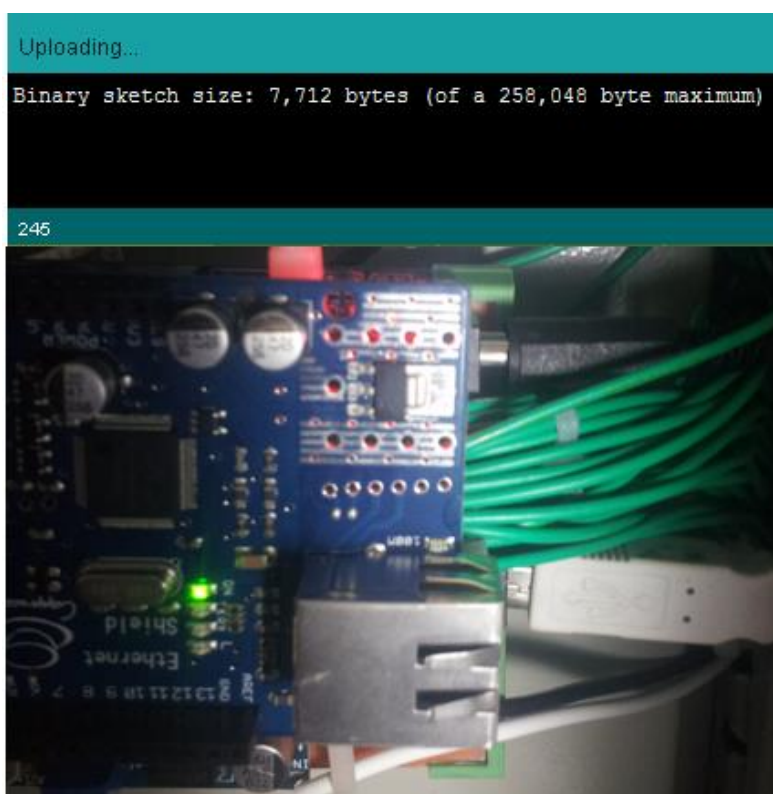
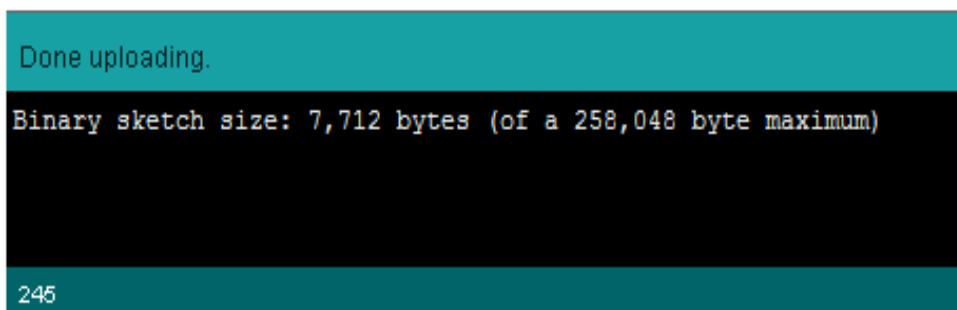


Figura 64. ARDUINO Mega 2560 cargando software.

Si la tarjeta ARDUINO no presenta ningún problema de hardware, el proceso de carga de programa se terminará satisfactoriamente como se muestra en la Figura 65.



```
Done uploading.  
Binary sketch size: 7,712 bytes (of a 258,048 byte maximum)  
245
```

Figura 65. ARDUINO Mega carga de software satisfactoria.

5.3.3 Comprobación del funcionamiento del sensor de color para la centrífuga.

En sensor de color será el encargado de permitir posicionar la centrífuga de una manera exacta, por esta razón uno de los primeros pasos en la comprobación del correcto funcionamiento del sistema es verificar que el mencionado sensor trabaja como se espera.

Una vez cargado un programa en la tarjeta ARDUINO, se confirma que el sensor funciona correctamente mediante los datos que son enviados por el puerto serie, tal como se muestra en la Figura 66.

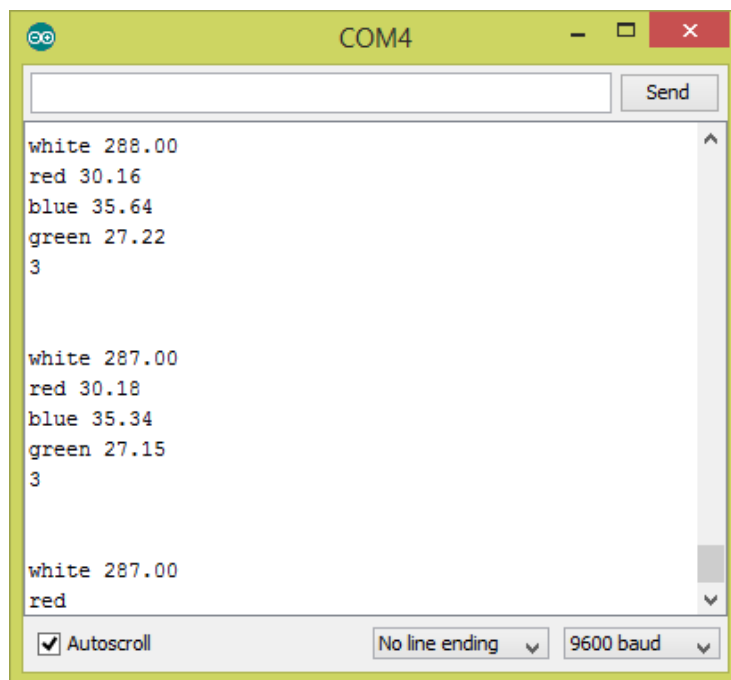


Figura 66. Datos enviados por el sensor de color.

De esta forma se puede verificar que el sensor de color está trabajando de forma correcta al enviar porcentajes de cada color al PC.

5.3.4 Análisis del consumo energético de la estación.

Debido a que la estación de medición del grado BS&W se ha construido con la proyección de trabajar de manera permanente en un laboratorio portátil en un campo petrolero, es importante realizar un análisis de la carga que representa el sistema para la red eléctrica. La carga del sistema está sujeta a la demanda de la fuente DC de 12V razón por la cual en primer lugar se deben sumar todas

las cargas de corriente continua de la estación. En la Tabla 11 se presenta un resumen de las cargas del sistema.

Tabla 11. Consumo de energía DC del sistema

DETALLE	Potencia por componente	Corriente por componente	Potencia total	Corriente total
Motores del manipulador ZYMARK	12W	1A	48W	4A
Motor de la centrifuga ZYMARK	48W	4A	48W	4A
Sensor de posición	2W	0.4	8W	1.6A
Sensor de color	0.05W	0.01A	0.05W	0.01A
Tarjeta ARDUINO Mega 2560	0.36W	0.03A	0.36W	0.03A
Consumo total de potencia	104W			
Consumo total de corriente		9.64A		

Tomando en consideración que la fuente DC puede entregar hasta 20A a un voltaje de 12V, en función de la Tabla 11 se puede deducir que la fuente está trabajando a la mitad de su capacidad. La fuente de DC del sistema trabaja a 110VAC a una corriente de 2A cuando está a su máxima capacidad por lo tanto su consumo de potencia máximo es de 220W sin embargo debido a que el sistema solamente hace que la fuente trabaje a la mitad de su capacidad, el consumo energético del sistema sería de 110W.

CAPÍTULO 6.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

6.1 PRUEBAS

Al terminar la implementación de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado BS&W del crudo, es necesario comprobar el correcto funcionamiento del proceso realizado en la estación para lo cual se pondrá en marcha el mencionado proceso y se comprobará las acciones a realizar por el manipulador robótico y la centrífuga.

6.1.1 Detección de componentes en la zona de entrada de materia prima.

Para arrancar el proceso es necesario colocar en la zona de materia prima dos tubos de centrifugación (probetas) que contengan crudo de manera que al ser detectados por la estación el proceso pueda iniciar.

En función de lo anteriormente mencionado la primera prueba es comprobar que al ser colocados los tubos de centrifugación el proceso inicie. De esta manera se harán un conjunto de diez pruebas en las cuales se registrarán los valores indicados en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros a medir para la detección de materia prima

Parámetros	Valor
Número de pruebas realizadas	Valor
Número de veces que el proceso inicia correctamente	Valor
Número de veces que el proceso falla al iniciar	Valor
Porcentaje de detección de probetas correcto.	Porcentaje

6.1.2 Precisión en la posición de las articulaciones del manipulador

ZYMARK.

Para comprobar la precisión obtenida en los movimientos del manipulador robótico en cada una de sus articulaciones se debe considerar que la precisión de los movimientos se encuentra en función al desplazamiento realizado por cada articulación y por la resolución en bits que representa en software para la tarjeta ARDUINO dicho movimiento.

Por lo tanto los parámetros a medir para poder mostrar la precisión del movimiento de las articulaciones son el rango de movimiento medido en grados hexadecimales o en milímetros dependiendo de cada articulación, el rango de voltaje medido por el sensor de la articulación y los valores leídos en la tarjeta ARDUINO, estos parámetros a medir se detallan de mejor manera en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros relacionados a la precisión de cada articulación.

Parámetros	Valor
Rango de movimiento	Grados hexadecimales o milímetros
Rangos de voltaje de variación del sensor	Volts

CONTINÚA →

Rangos de lectura analógica de 10 bits en la tarjeta ARDUINO	Unidades adimensionales
Variación del voltaje en el sensor	Volts
Variación de unidades en la tarjeta ARDUINO	Unidades adimensionales
Resolución de la articulación	Grados hexadecimales o milímetros por unidad

6.1.3 Posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK en las zonas de trabajo.

Cuando el proceso a realizar por la estación empieza, el manipulador ZYMARK moverá sus articulaciones en función de desplazar las probetas entre las diferentes áreas de trabajo.

Para poder comprobar el correcto posicionamiento de las probetas en cada una de las zonas de trabajo se realizarán un conjunto de diez mediciones de los valores de los sensores analógicos obtenidos en la tarjeta ARDUINO de cada articulación y a su vez este proceso se repetirá para cada una de las zonas de trabajo.

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 al que se ha definido que la articulación deba desplazarse.

Un mayor detalle de los parámetros a medir se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros a medir referidos al posicionamiento de las articulaciones

Valores leídos del sensor de posición en la tarjeta ARDUINO [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto (<i>Valor leído</i> – <i>valor real</i>) [adimensional]	Error relativo ($\frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$) [porcentual]
Conjunto de 10 valores leídos	Valor considerado como ideal	Conjunto de 10 valores de errores	Conjunto de 10 valores de errores porcentuales

Después de detallar el conjunto de valores de la Tabla 14 se realizará un gráfico que muestre de manera clara la diferencia entre el valor ideal a marcar por el sensor de posición y los valores reales obtenidos por las pruebas. El tipo de gráfico a realizar de muestra en la Figura 67.

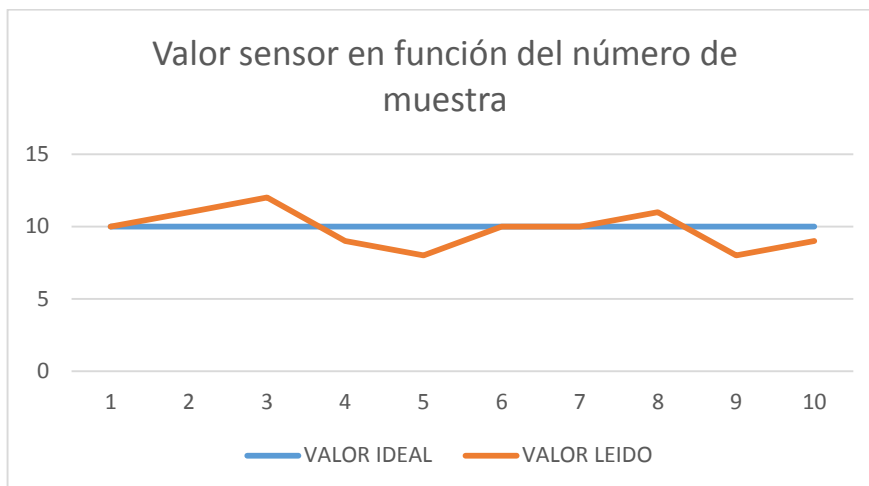


Figura 67. Valor leído por el sensor en función del número de muestra.

6.2 RESULTADOS

6.2.1 Detección de componentes en la zona de entrada de materia prima.

Antes de detallar los resultados obtenidos al detectar las probetas en la zona de entrada de materia prima, se debe mencionar que las probetas a colocar en la mencionada zona estarán llenas de crudo, de esta manera el peso de las probetas con su contenido hará que el sensor ubicado en la base del porta-probetas se presione y envíe una señal a la tarjeta ARDUINO indicando dicho estado. En la Figura 68 se muestra como se colocan las probetas con crudo en los porta probetas de la zona de entrada de materia prima.



Figura 68. Probetas de centrifugación en la zona de materia prima.

. En la Tabla 15 se muestran los resultados del conjunto de diez pruebas realizadas para comprobar la efectividad de la detección de las probetas en la zona de entrada de materia prima.

Tabla 15. Resultados de la detección de probetas.

Parámetros	Valor
Número de pruebas realizadas	10
Veces que se detectaron correctamente las probetas	9
Veces que se falló en la detección de probetas	1
Porcentaje de detección de probetas correcto.	90%

En función de los datos presentados en la Tabla 15 se puede detallar que un 90% de las veces que se colocan probetas en la zona de entrada de materia prima el sistema inicia el proceso de la manera esperada. Sin embargo es importante mencionar que la única vez que el sistema falló al detectar las probetas se debió a que el sensor no se había presionado correctamente siendo este un error fácil de detectar por el operador y el cual se puede corregir volviendo a colocar la probeta.

6.2.2 Precisión en la posición de las articulaciones del manipulador ZYMARK.

6.2.2.1 Articulación Rotacional

La articulación rotacional realiza un movimiento de 240° en el eje rotacional como se indica en la Figura 69.

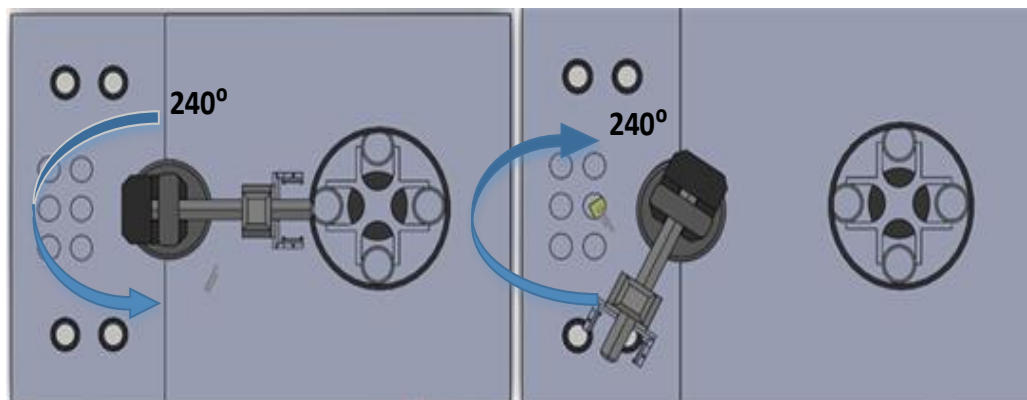


Figura 69. Movimiento de la articulación rotacional.

Por lo tanto debido al movimiento que se realiza en esta articulación y a las mediciones del sensor de posición se tiene la siguiente información relacionada a la precisión de esta articulación mostrada en la Tabla 16, en la cual se muestran parámetros que definen la precisión del movimiento de la articulación.

Tabla 16. Resolución del movimiento de la articulación rotacional

DETALLE	Valor
Rango de movimiento angular	0 - 240°
Rangos de voltaje	0.76 V – 4.51 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	155 – 922 unidades
Variación del voltaje del sensor	3.75 V
Variación de bits en el sensor	767 unidades
Resolución de la articulación	0.31 Grados de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

6.2.2.2 Articulación Prismática del eje Z.

La articulación prismática para el movimiento en el eje Z es decir el eje vertical realiza un desplazamiento de 38cm como se indica en la Figura 70.

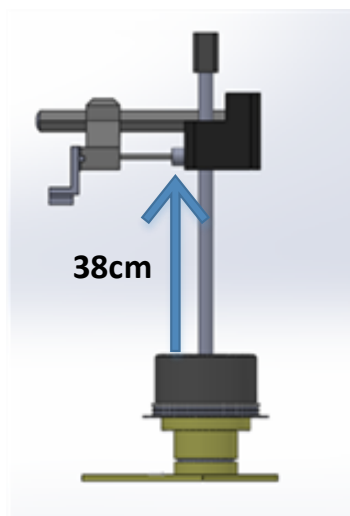


Figura 70. Movimiento de la articulación prismática del eje Z.

Por lo tanto debido al movimiento que se realiza en esta articulación y a las mediciones del sensor de posición se tiene la siguiente información relacionada a la precisión de esta articulación, mostrada en la Tabla 17.

Tabla 17. Resolución del movimiento de la articulación prismática del eje z

DETALLE	Valor
Rango de movimiento lineal	0 – 38cm
Rangos de voltaje	3.57 V – 2.03 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	730 – 415 unidades
Variación del voltaje del sensor	1.54 V
Variación de bits en el sensor	315 unidades
Resolución de la articulación	1.2mm de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

6.2.2.3 Articulación Prismática del eje Y.

La articulación prismática para el movimiento en el eje Y es decir la articulación que realiza el movimiento en el eje horizontal, es capaz de realizar un desplazamiento lineal de 13cm desde la base del manipulador ZYMARK. Esta articulación y el desplazamiento que la misma puede realizar se muestran en la Figura 71.

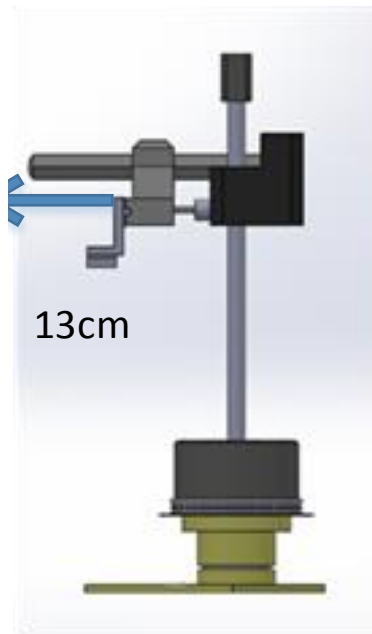


Figura 71. Movimiento de la articulación prismática del eje Y.

Por lo tanto debido al movimiento que se realiza en esta articulación y a las mediciones del sensor de posición se tiene en la Tabla 18 la información relacionada a la precisión de esta articulación.

Tabla 18. Resolución del movimiento de la articulación prismática del eje Y

DETALLE	Valor
Rango de movimiento lineal	0 – 13cm
Rangos de voltaje	1.00 V – 2.56 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	204 – 523 unidades
Variación del voltaje del sensor	1.56 V
Variación de bits en el sensor	319 unidades
Resolución de la articulación	0.4 mm de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

6.2.2.4 Elemento terminal o Gripper.

El elemento terminal cuyo trabajo es interactuar directamente con las probetas puede realizar un desplazamiento de 3.1cm es decir se puede cerrar en su totalidad y abrirse para tomar objetos de hasta 3.1cm de largo, esta característica del gripper se muestra en la Figura 72.

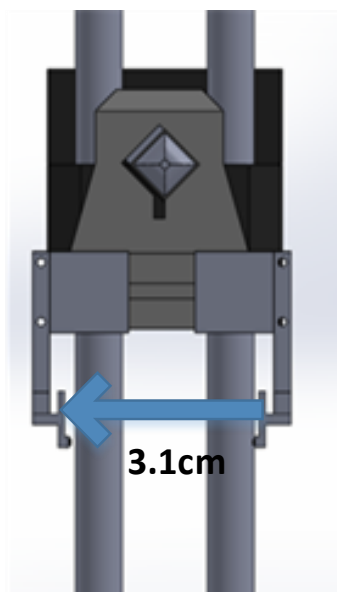


Figura 72. Movimiento del gripper.

Por lo tanto debido al movimiento que realiza el gripper y a las mediciones del sensor de posición se tiene en la Tabla 19 la siguiente información relacionada a la precisión del elemento terminal.

Tabla 19. Resolución del movimiento del gripper.

DETALLE	Valor
Rango de movimiento lineal	0 – 3.1cm
Rangos de voltaje	2.44 V – 4.57 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	499 – 935 unidades
Variación del voltaje del sensor	2.13 V
Variación de bits en el sensor	436 unidades
Resolución de la articulación	0.7 mm de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

6.2.3 Posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK en las zonas de trabajo.

6.2.3.1 Zona de entrada de materia prima

Cuando las dos probetas se han colocado en la zona de materia prima el proceso inicia y el manipulador ZYMARK las traslada una a una hacia los precalentadores en la zona de precalentamiento.

El punto de inicio del traslado de las probetas desde la zona de materia prima hacia los precalentadores realizado por el manipulador ZYMARK se muestra en la Figura 73.

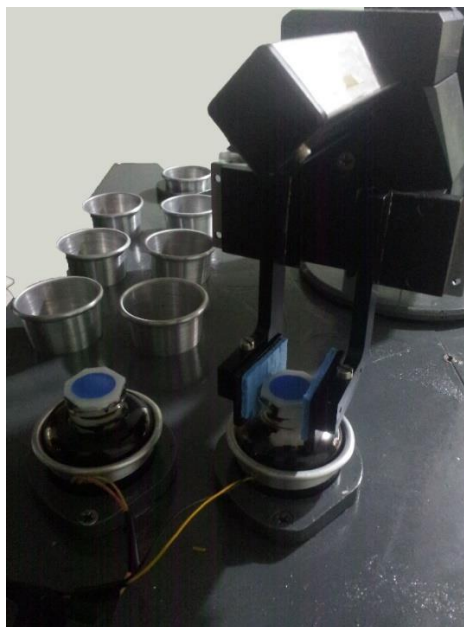


Figura 73. Traslado de la zona de materia prima a la zona de precalentamiento.

El movimiento del manipulador ZYMARK para tomar una probeta del porta-probeta ubicado en la zona de entrada de materia prima se ha realizado diez veces. Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran a continuación empezando por la articulación rotacional. En la Figura 74 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación rotacional.

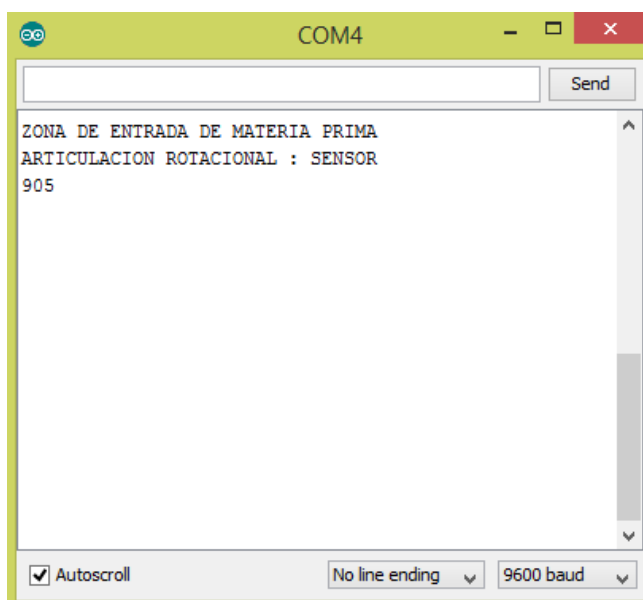


Figura 74. Zona de entrada de materia prima, valor del sensor articulación rotacional.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación rotacional se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Zona de materia prima, parámetros de posicionamiento, articulación rotacional

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
905	905	0	0
906	905	1	0.11
904	905	-1	-0.11
905	905	0	0
905	905	0	0
905	905	0	0
908	905	3	0.33
909	905	4	0.44
905	905	0	0
904	905	-1	-0.11
		Error absoluto medio: 0.6	Error Relativo medio: 0.06%

En la Figura 75 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación rotacional en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 20.

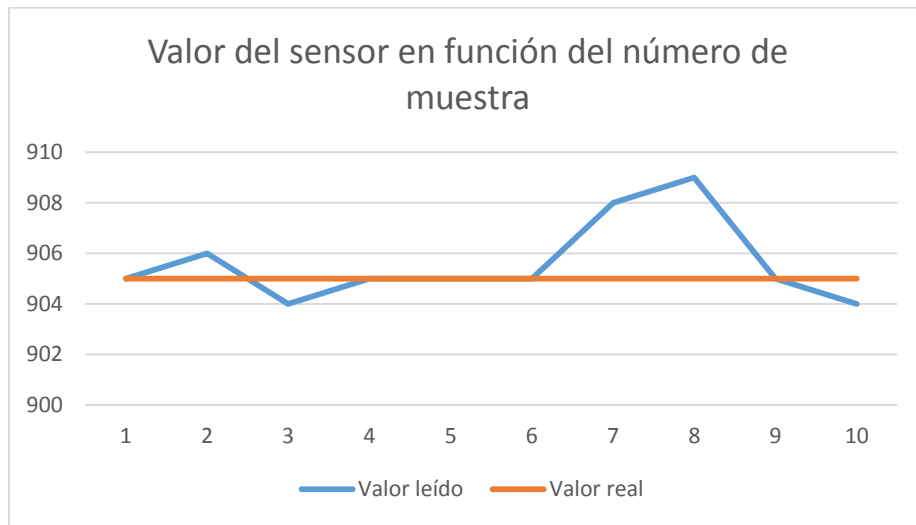


Figura 75. Zona de entrada de materia prima, valor sensor en articulación rotacional.

A continuación se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Z, en la Figura 76 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

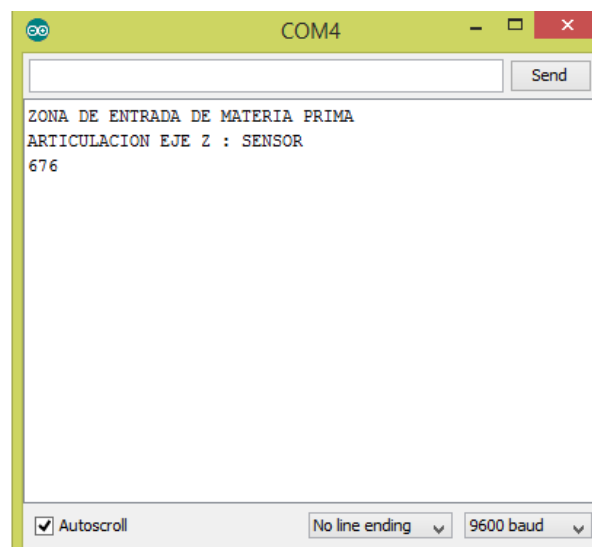


Figura 76. Zona de entrada de materia prima, valor del sensor articulación eje Z.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Z se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Zona de materia prima, parámetros de posicionamiento, articulación eje Z

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
675	674	1	0.15
676	674	2	0.30
674	674	0	0.00
674	674	0	0.00
674	674	0	0.00
670	674	-4	-0.59
678	674	4	0.59
674	674	0	0.00
675	674	1	0.15
674	674	0	0.00
		Error absoluto medio: 0.4	Error Relativo medio: 0.06%

En la Figura 77 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Z en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 21.

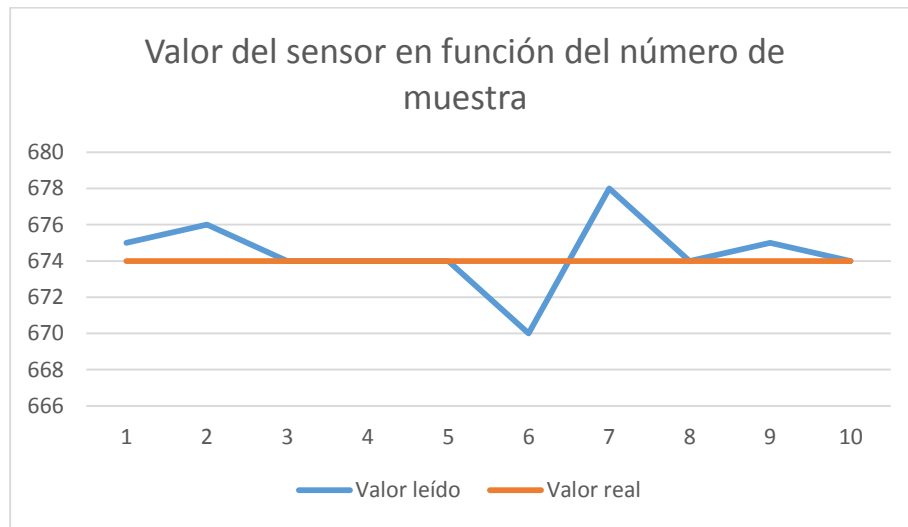


Figura 77. Zona de entrada de materia prima, valor sensor en articulación eje Z.

Finalmente se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Y, en la Figura 78 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

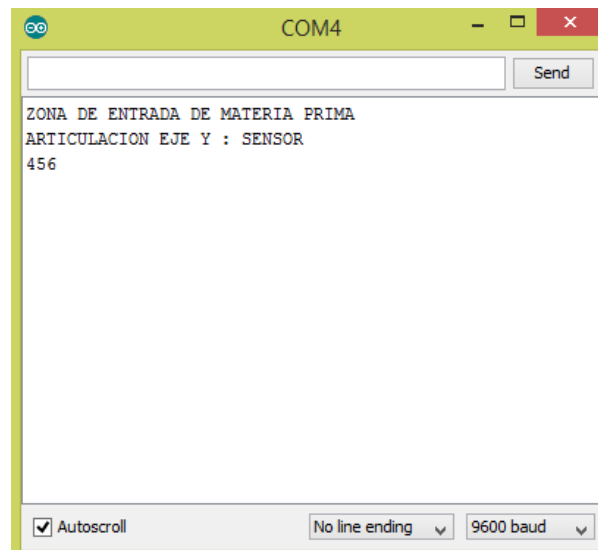


Figura 78. Zona de entrada de materia prima, valor del sensor articulación eje Y.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Y se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Zona de materia prima, parámetros de posicionamiento, articulación eje Y

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
457	455	2	0.44
456	455	1	0.22
455	455	0	0.00
455	455	0	0.00
455	455	0	0.00
459	455	4	0.88
450	455	-5	-1.10
454	455	-1	-0.22
456	455	1	0.22
457	455	2	0.44
		Error absoluto medio: 0.4	Error Relativo medio: 0.09%

En la Figura 79 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Y en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 22.

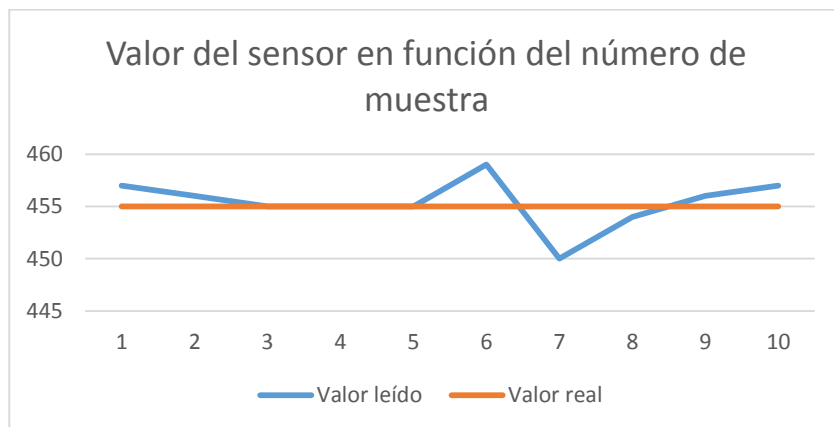


Figura 79. Zona de entrada de materia prima, valor sensor en articulación eje Y.

6.2.3.2 Zona de precalentamiento de crudo

El punto final del movimiento de traslación de las probetas desde la zona de materia prima hacia los precalentadores es decir colocar la probeta en el precalentador se presenta en la Figura 80.



Figura 80. Ubicación de probeta en la zona de precalentamiento.

El movimiento del manipulador ZYMARK para colocar la probeta en uno de los calentadores de la zona de precalentamiento se ha realizado diez veces. Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran a continuación empezando por la articulación rotacional. En la Figura 74 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación rotacional.

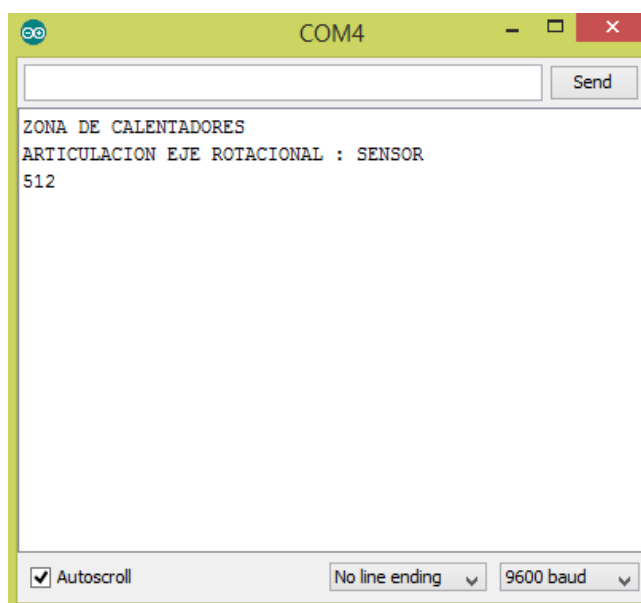


Figura 81. Zona de precalentamiento, valor del sensor articulación rotacional.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación rotacional se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 23. Zona de precalentamiento, parámetros de posicionamiento, articulación rotacional

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
512	510	2	0.39
509	510	-1	-0.20
510	510	0	0.00
510	510	0	0.00
510	510	0	0.00
506	510	-4	-0.78
509	510	-1	-0.20
511	510	1	0.20
512	510	2	0.39
510	510	0	0.00
		Error absoluto medio: -0.1	Error Relativo medio: -0.02%

En la Figura 75 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación rotacional en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 20.

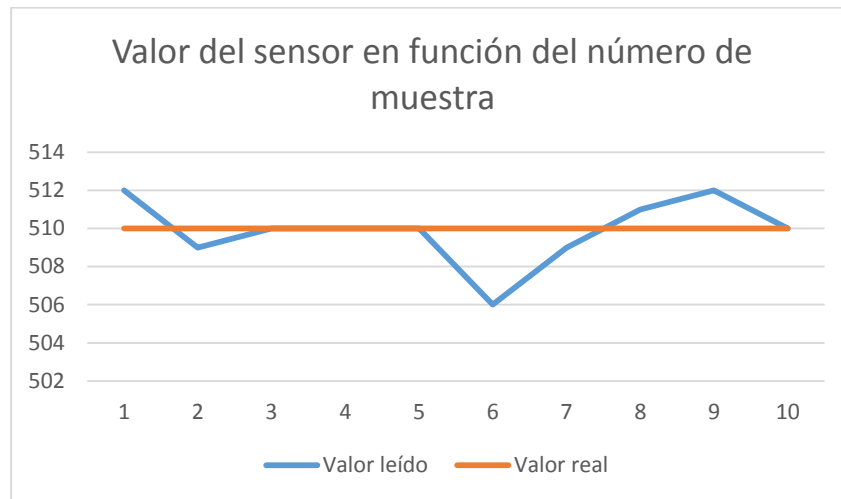


Figura 82. Zona de precalentamiento, valor sensor en articulación rotacional.

A continuación se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Z, en la Figura 76 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

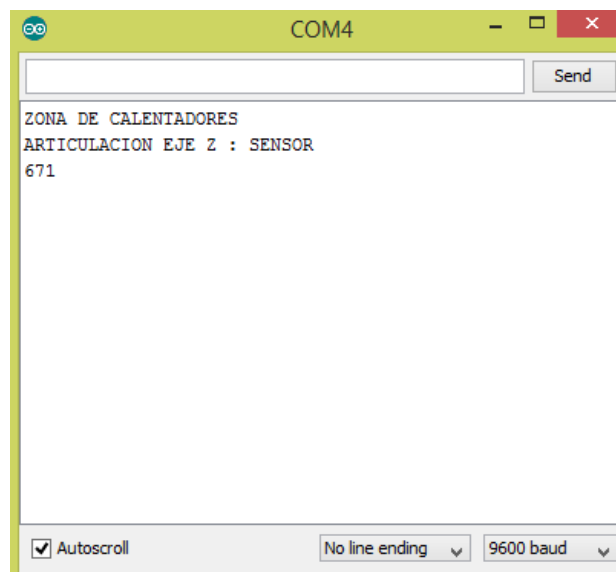


Figura 83. Zona de precalentamiento, valor del sensor articulación eje Z.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Z se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 24. Zona de precalentamiento, parámetros de posicionamiento, articulación eje Z

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
671	674	-3	-0.45
676	674	2	0.30
675	674	1	0.15
675	674	1	0.15
674	674	0	0.00
672	674	-2	-0.30
678	674	4	0.59
676	674	2	0.30
675	674	1	0.15
675	674	1	0.15
		Error absoluto medio: 0.7	Error Relativo medio: 0.1%

En la Figura 77 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Z en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 21.

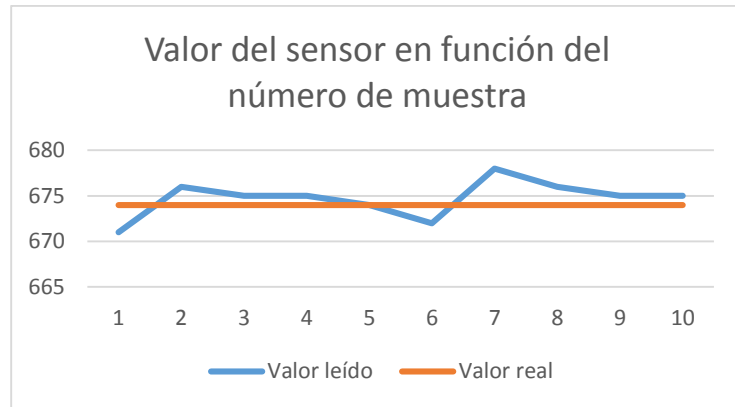


Figura 84. Zona de precalentamiento, valor sensor en articulación eje Z.

Finalmente se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Y, en la Figura 78 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

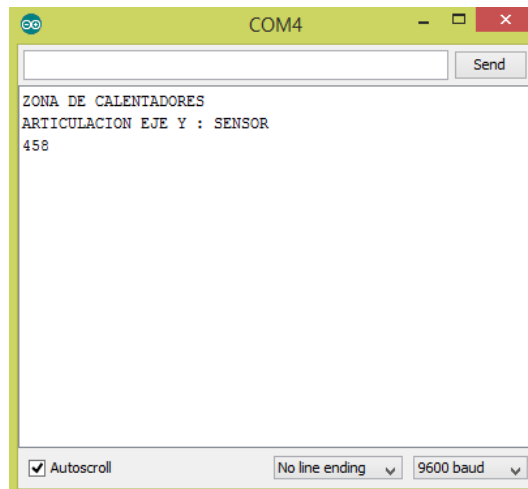


Figura 85. Zona de precalentamiento, valor del sensor articulación eje Y.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Y se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 25. Zona de precalentamiento, parámetros de posicionamiento, articulación eje Y

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
458	460	-2	-0.43
458	460	-2	-0.43
460	460	0	0.00
459	460	-1	-0.22
461	460	1	0.22
462	460	2	0.43
460	460	0	0.00
460	460	0	0.00
460	460	0	0.00
459	460	-1	-0.22
		Error absoluto medio: -0.3	Error Relativo medio: -0.07%

En la Figura 79 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Y en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 22.

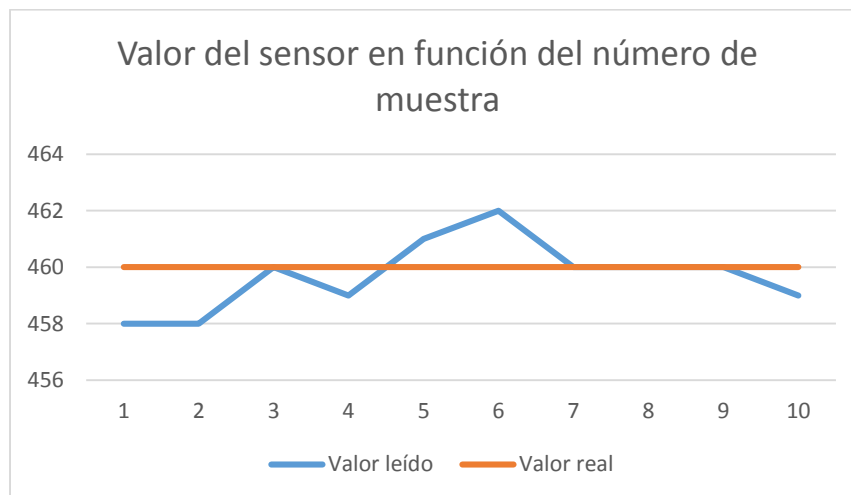


Figura 86. Zona de precalentamiento, valor sensor en articulación eje Y.

6.2.3.3 Zona de centrifugación

Al terminar el proceso de precalentamiento las probetas deberán ser llevadas a la centrífuga para su posterior centrifugación.

La centrífuga se posiciona mediante el sensor de color que le permite saber en que porta-probeta se colocará la probeta en movimiento y posteriormente recuperar la probeta para llevarla a la zona de entrega. El posicionamiento de las probetas en la centrífuga a través del manipulador ZYMARK se muestra en la Figura 87.

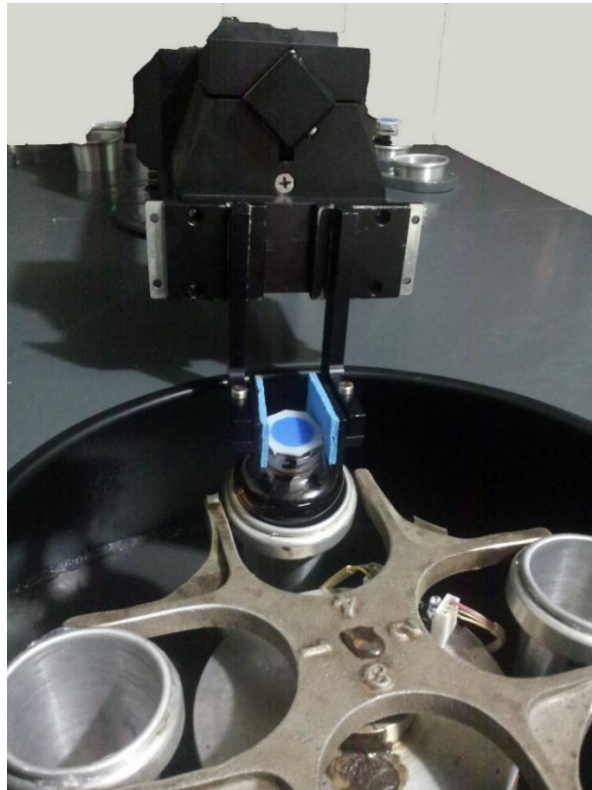


Figura 87. Posicionamiento de probetas en la centrífuga.

El movimiento del manipulador ZYMARK para colocar la probeta en la centrífuga de la zona de centrifugación se ha realizado diez veces.

Los resultados obtenidos para cada articulación se muestran a continuación empezando por la articulación rotacional. En la Figura 74 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación rotacional.

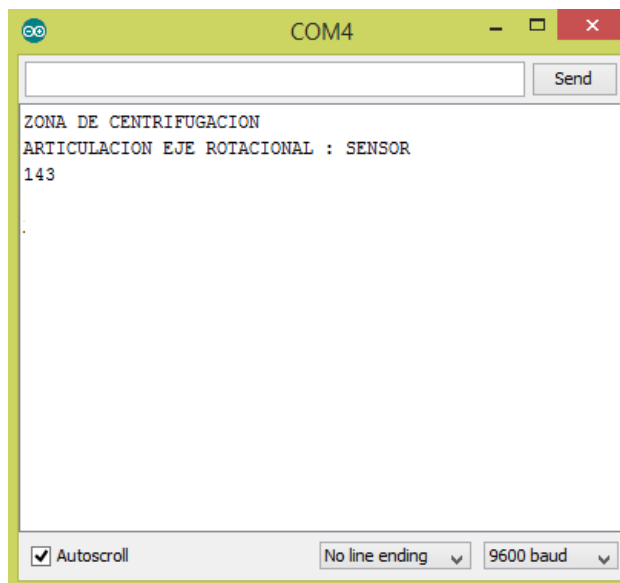


Figura 88. Zona de centrifugación, valor del sensor articulación rotacional.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación rotacional se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 26. Zona de centrifugación, parámetros de posicionamiento, articulación rotacional

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
143	145	-2	-1.38
142	145	-3	-2.07
145	145	0	0.00
146	145	1	0.69
145	145	0	0.00
CONTINÚA →			

145	145	0	0.00
145	145	0	0.00
143	145	-2	-1.38
144	145	-1	-0.69
144	145	-1	-0.69
		Error absoluto medio: -0.8	Error Relativo medio: -0.55%

En la Figura 75 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación rotacional en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 20.

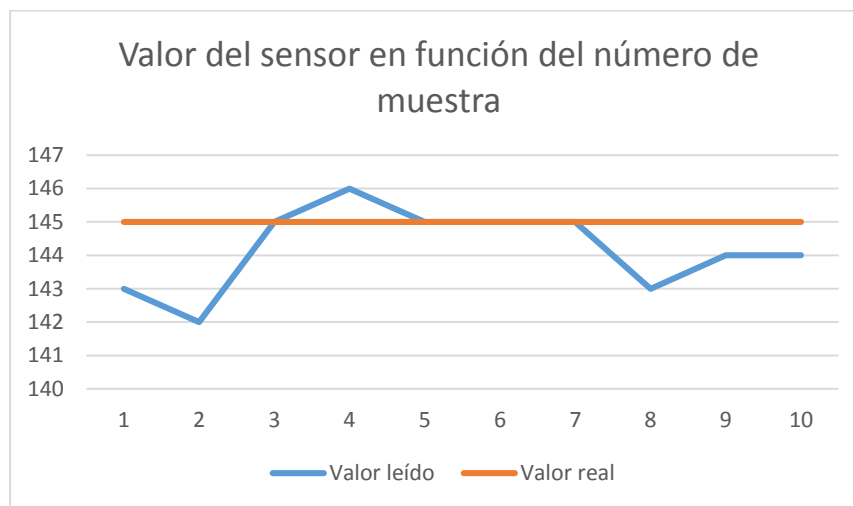


Figura 89. Zona de centrifugación, valor sensor en articulación rotacional.

A continuación se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Z, en la Figura 76 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

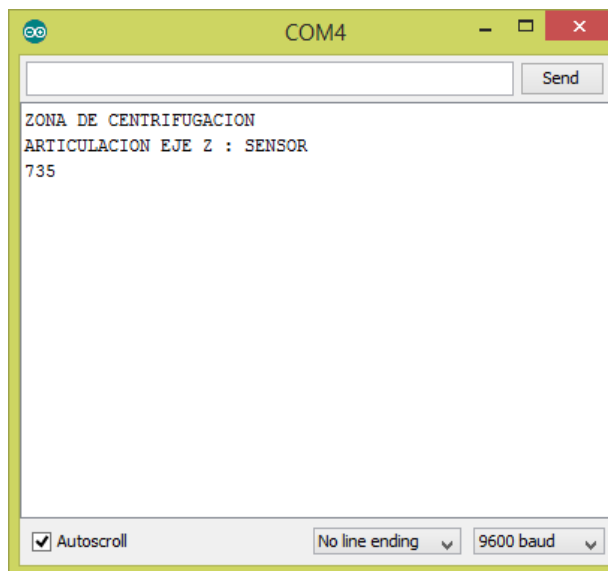


Figura 90. Zona de centrifugación, valor del sensor articulación eje Z.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Z se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 27. Zona de centrifugación, parámetros de posicionamiento, articulación eje Z

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
735	736	-1	-0.14
735	736	-1	-0.14
734	736	-2	-0.27
734	736	-2	-0.27
736	736	0	0.00
CONTINÚA →			

736	736	0	0.00
736	736	0	0.00
735	736	-1	-0.14
736	736	0	0.00
736	736	0	0.00
		Error absoluto medio: -0.7	Error Relativo medio: -0.1%

En la Figura 77 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Z en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 21.

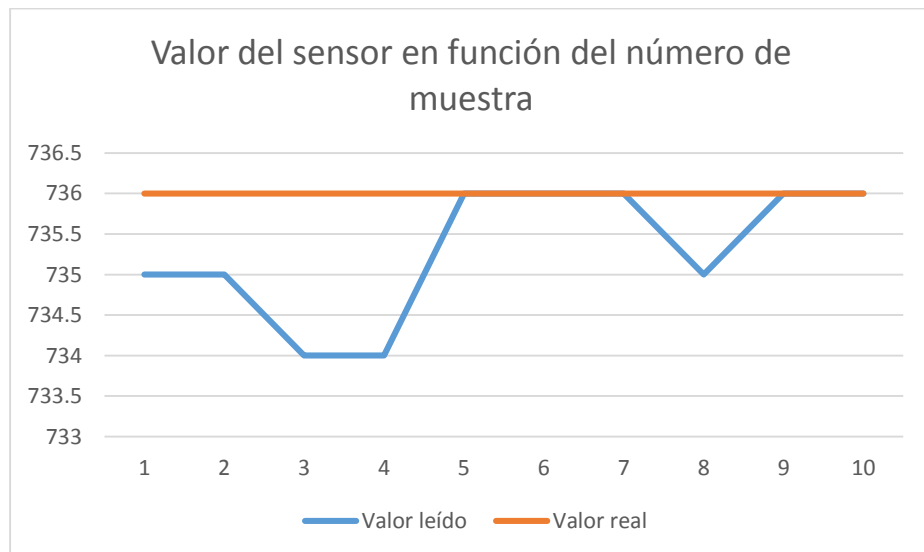


Figura 91. Zona de centrifugación, valor sensor en articulación eje Z.

Finalmente se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Y, en la Figura 78 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

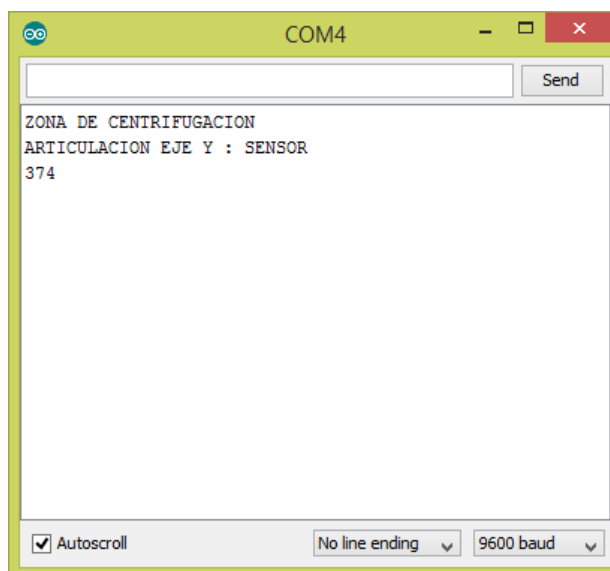


Figura 92. Zona de centrifugación, valor del sensor articulación eje Y.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Y se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 28. Zona de centrifugación, parámetros de posicionamiento, articulación eje Y

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
374	374	0	0.00
CONTINÚA →			

374	374	0	0.00
375	374	1	0.27
373	374	-1	-0.27
375	374	1	0.27
374	374	0	0.00
372	374	-2	-0.53
375	374	1	0.27
374	374	0	0.00
372	374	-2	-0.53
		Error absoluto medio: -0.2	Error Relativo medio: -0.05%

En la Figura 79 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Y en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 22.

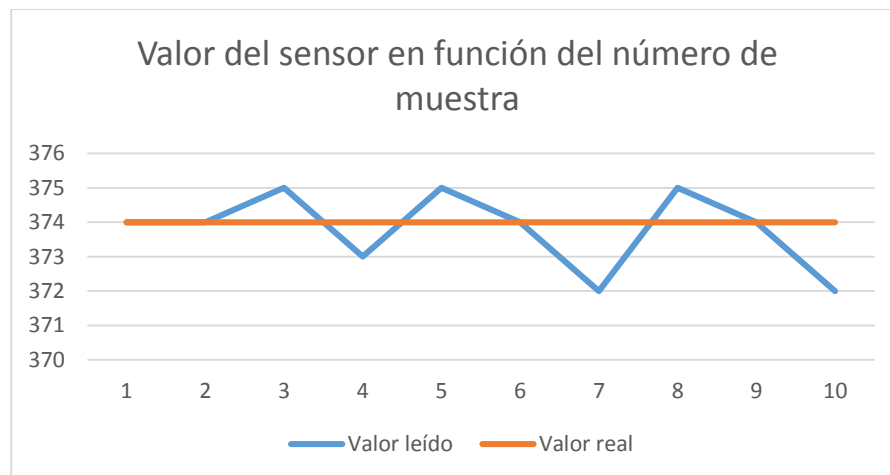


Figura 93. Zona de centrifugación, valor sensor en articulación eje Y.

6.2.3.4 Zona de entrega de componentes centrifugados

Una vez que las probetas con crudo han sido centrifugadas, las mismas se encuentran listas para ser llevadas a la zona de entrega de componentes centrifugados. El manipulador ZYMARK es el encargado de trasladar 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 94 se presenta el mencionado proceso.



Figura 94. Ubicación de probetas en la zona de entrega.

El movimiento del manipulador ZYMARK para colocar la probeta en la zona de entrega de componentes se ha realizado diez veces. Los resultados obtenidos

para cada articulación se muestran a continuación empezando por la articulación rotacional. En la Figura 74 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación rotacional.

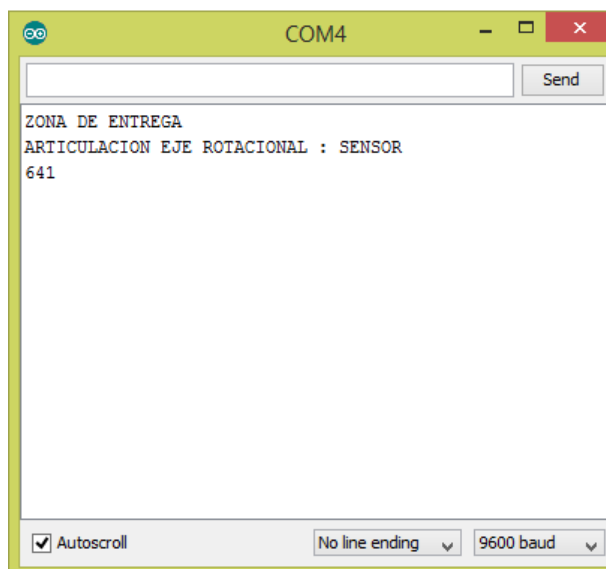


Figura 95. Zona de entrega, valor del sensor articulación rotacional.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación rotacional se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 29. Zona de entrega, parámetros de posicionamiento, articulación rotacional

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
640	641	-1	-0.16
CONTINÚA →			

641	641	0	0.00
641	641	0	0.00
641	641	0	0.00
638	641	-3	-0.47
639	641	-2	-0.31
641	641	0	0.00
640	641	-1	-0.16
641	641	0	0.00
641	641	0	0.00
		Error absoluto medio: -0.7	Error Relativo medio: -0.11%

En la Figura 75 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación rotacional en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 20.

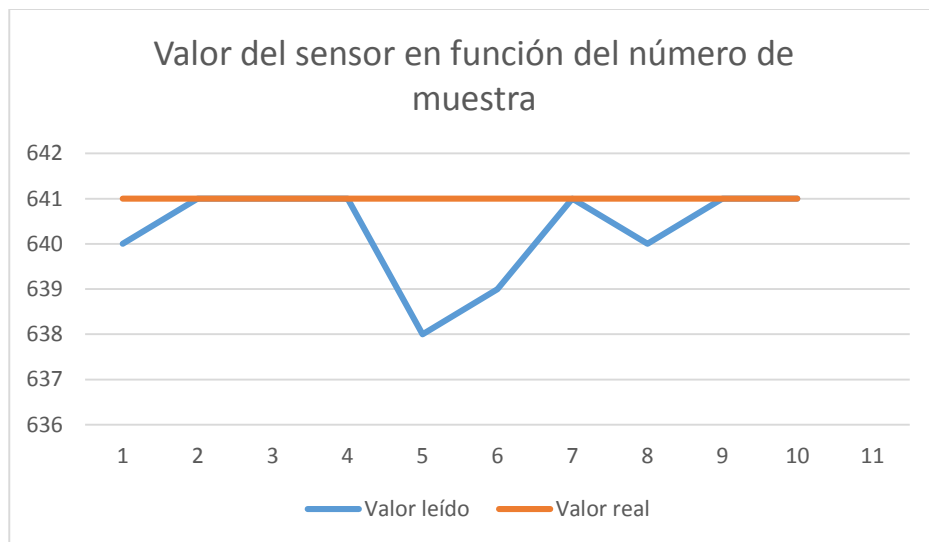


Figura 96. Zona de entrega, valor sensor en articulación rotacional.

A continuación se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Z, en la Figura 76 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

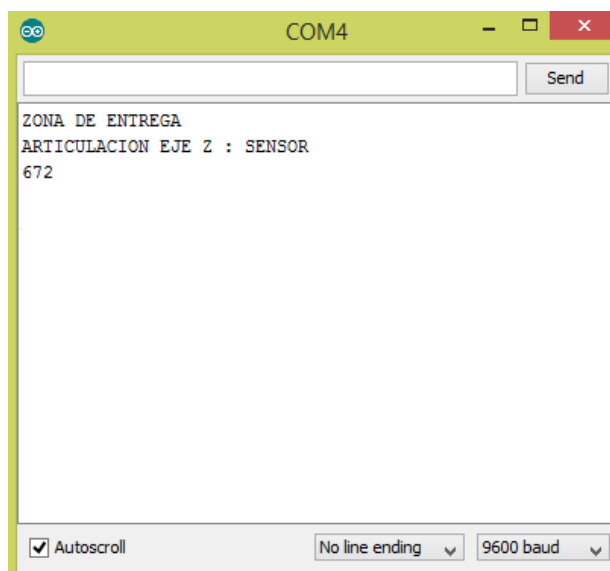


Figura 97. Zona de entrega, valor del sensor articulación eje Z.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Z se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 30. Zona de entrega, parámetros de posicionamiento, articulación eje Z

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
672	672	0	0.00
CONTINÚA →			

673	672	1	0.15
674	672	2	0.30
672	672	0	0.00
672	672	0	0.00
670	672	-2	-0.30
670	672	-2	-0.30
672	672	0	0.00
672	672	0	0.00
671	672	-1	-0.15
		Error absoluto medio: -0.2	Error Relativo medio: -0.03%

En la Figura 77 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Z en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 21.

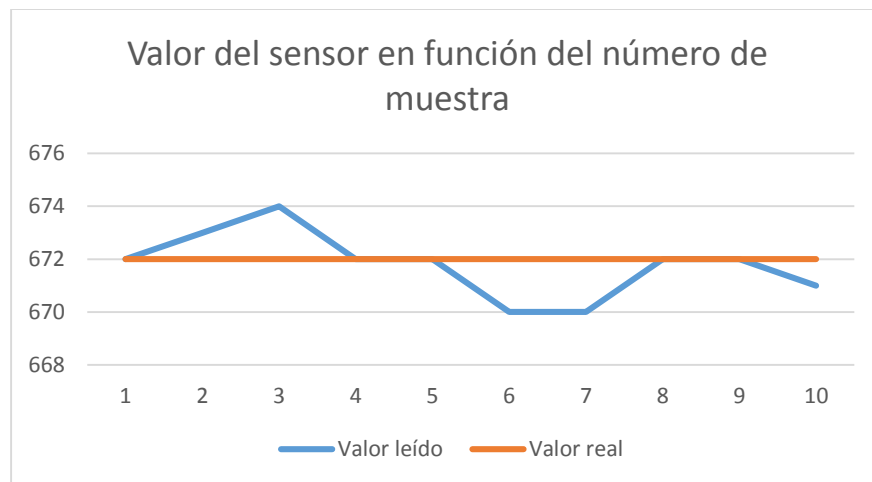


Figura 98. Zona de entrega, valor sensor en articulación eje Z.

Finalmente se indicarán los resultados obtenidos para la articulación prismática correspondiente al eje Y, en la Figura 78 se muestra la lectura en el ordenador del valor del sensor para la articulación mencionada.

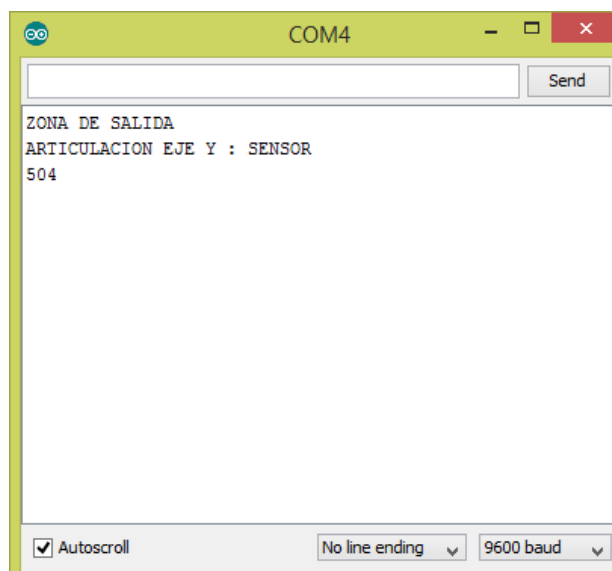


Figura 99. Zona de entrega, valor del sensor articulación eje Y.

Después de haber tomado el conjunto de diez valores referentes a la articulación prismática del eje Y se tienen los siguientes valores en lo referente al error de posicionamiento de la mencionada articulación, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 31. Zona de entrega, parámetros de posicionamiento, articulación eje Y

Valores leído [adimensional]	Valor ideal [adimensional]	Error absoluto [adimensional]	Error relativo [Porcentual]
504	504	0	0.00
CONTINÚA →			

504	504	0	0.00
502	504	-2	-0.40
503	504	-1	-0.20
503	504	-1	-0.20
502	504	-2	-0.40
504	504	0	0.00
504	504	0	0.00
504	504	0	0.00
502	504	-2	-0.40
		Error absoluto medio: -0.8	Error Relativo medio: -0.16%

En la Figura 79 se muestra la relación entre la posición ideal a alcanzar y la posición real alcanzada por la articulación prismática del eje Y en función de la lectura del sensor de posición y los valores de la Tabla 22.

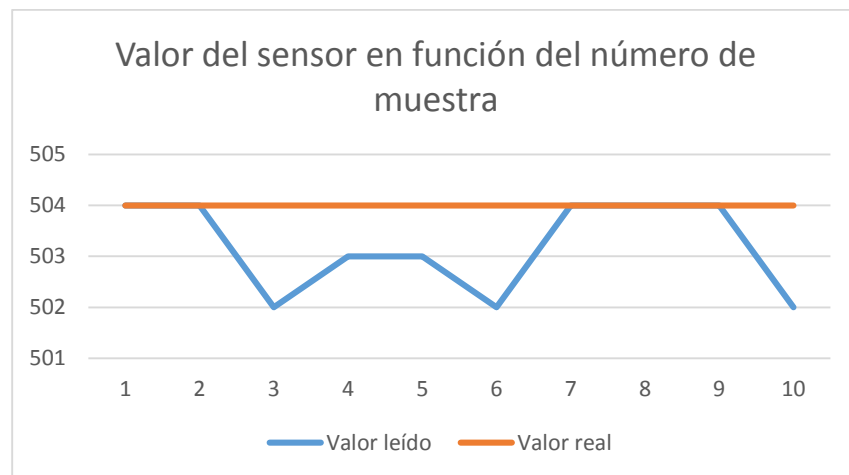


Figura 100. Zona de entrega, valor sensor en articulación eje Y.

6.2.3.5 Error de posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK

Al haber realizado el análisis del posicionamiento logrado por el manipulador ZYMARK en cada una de las zonas de trabajo de la estación, es importante resumir los errores cometidos por las articulaciones en las tareas de posicionamiento y de esta manera obtener un error general cometido por cada articulación, en la Tabla 32 se detallan los errores globales de las articulaciones del manipulador ZYMARK en el proceso de posicionamiento.

Tabla 32. Errores globales de posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK

Zona de trabajo	Articulación Rotacional		Articulación Prismática eje Z		Articulación Prismática eje Y	
	Error Absoluto medio [adimensional]	Error Relativo medio [%]	Error Absoluto medio [adimensional]	Error Relativo medio [%]	Error Absoluto medio [adimensional]	Error Relativo medio [%]
Zona de entrada de materia prima	0.6	0.06	0.4	0.06	0.4	0.09
Zona de precalentadores	-0.1	-0.02	0.7	0.1	-0.3	-0.07
Zona de centrifugación	-0.8	-0.55	-0.7	-0.1	-0.2	-0.05
Zona de entrega de componentes	-0.7	-0.11	-0.2	-0.03	-0.8	-0.16
Error global por articulación (valor medio)	-0.25	-0.16	0.05	0.01	-0.23	-0.05

Después de analizar la Tabla 32 se puede obtener el error en unidades reales realizadas al posicionar las articulaciones del manipulador ZYMARK en las

diferentes áreas del proceso. Este error se obtendrá en función de la resolución de cada articulación analizada en la sección **6.2.2 128** **Precisión en la posición de las articulaciones del manipulador ZYMARK.**, y en función del error porcentual global de cada articulación detallado en la Tabla 32.

En la Tabla 33 se muestran los resultados del error en unidades reales para cada articulación del manipulador ZYMARK, en donde UA es la abreviatura de unidad adimensional.

Tabla 33. Error en unidades físicas de posicionamiento de cada articulación.

Articulación	Error absoluto global [UA]	Resolución de la articulación	Error en unidades físicas
Rotacional	-0.25	0.31 [°/UA]	-0.08 [°]
Prismática eje Z	0.05	1.2 [mm/UA]	0.06 [mm]
Prismática eje Y	-0.23	0.4 [mm/UA]	-0.9 [mm]

CAPÍTULO 7.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 CONCLUSIONES

Se logró cumplir con el diseño y la implementación de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo en base al estándar ASTM D4007.

Se rehabilitó satisfactoriamente el manipulador robótico ZYMARK tanto en su estructura mecánica como eléctrica, siendo en su mayoría los componentes defectuosos reemplazados por nuevos.

La etapa de potencia para activación de los motores DC del sistema se implementó a partir de componentes de hardware existentes en el mercado a fin de brindar una mayor robustez al sistema.

Se aprovechó de las nuevas tecnologías en el campo de control basadas en sistemas microcontrolados para la implementación del sistema de control global del sistema utilizando una tarjeta ARDUINO MEGA 2560, la cual provee al sistema de una gran flexibilidad al ser fácil de programar y de esta manera poder cambiar las condiciones de trabajo de la estación a conveniencia del programador.

Se logró automatizar el proceso de medición del grado BS&W del petróleo con la integración del manipulador ZYMARK, haciendo más rápido, eficiente y preciso el mencionado proceso.

El proceso de diseño mecánico de la estación permitió desarrollar destrezas ajenas al campo de la electrónica como por ejemplo el diseño mecánico, utilizando en este campo software especializado como es el caso de SOLID WORKS, expandiendo de esta manera los conocimientos que un ingeniero en electrónica debe poseer.

Al realizar pruebas de desempeño sobre la estación implementada, los parámetros obtenidos fueron satisfactorios al comprobar mediante los mismos

que la estación trabaja conforme al diseño, constatando de esta manera las ventajas de utilizar un manipulador robótico cilíndrico en un proceso industrial con tareas de tomar y posicionar elementos.

La elaboración de la documentación mecánica y eléctrica de la estación y el manipulador ZYMARK tiene como propósito ayudar a futuros proyectos que se realicen sobre la estación y que tomen como punto de partida el presente trabajo.

7.2 RECOMENDACIONES

Para la elaboración de futuros proyectos se vuelve importante la implementación en hardware de un sistema que permita el monitoreo del valor exacto de la temperatura en los precalentadores para que se pueda realizar un control adecuado de los mismos.

Uno de los principales inconvenientes al trabajar con centrífugas de crudo es el arranque inicial brusco que presentan las mismas, haciendo que las probetas de centrifugación en ocasiones terminen dañadas o incluso rotas, razón por la cual se sugiere como trabajo futuro realizar en control de velocidad de la centrífuga.

La estación de medición del grado BS&W del presente proyecto tiene como objetivo trabajar en los laboratorios móviles de las unidades MTU (MOVIL TEST

UNIT) de crudo, motivo por el cual se sugiere como trabajo futuro la TELE – OPERACIÓN de la estación a fin de que la misma pueda ser operada por el usuario sin necesidad de que el mismo este en el área de perforación.

A fin de que el proyecto tenga un alcance comercial se sugiere como proyecto futuro la implementación de un interfaz humano máquina HMI a fin de que la estación pueda ser manejada por un operario no especializado o con un conocimiento no muy profundo de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- (ASTM), A. S. (2014). *Prueba ASTM D4007*. Obtenido de <http://www.astm.org/ABOUT/overview.html>
- ARDUINO. (2013). *Arduino CC*. Obtenido de Arduino CC: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- BRITO, W. R. (2005). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UN PROTOTIPO DE CORTE EN EL PLANO HORIZONTAL CON MOTORES DE PASOS, CONTROLADOS POR PC. *Tesis de Ing. Electromecánica, Escuela Politécnica del Ejército*, (págs. 09-22). Latacunga.
- CALDAS, I. T. (2004). *Automatización y Robótica educativa*. Obtenido de <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/GUIAS%20ROBOTICA%202.pdf>
- Calkiní, I. T. (2009). *Instituto Tecnológico Superior de Calkiní*. Obtenido de Instituto Tecnológico Superior de Calkiní: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r48942.PDF>
- CHINT. (2013). *CHINT componentes eléctricos*. Obtenido de <http://www.chint.net/>
- electronics, B. (Febrero de 2014). <http://www.alliedelec.com/>. Obtenido de <http://www.alliedelec.com/search/productdetail.aspx?SKU=70153723>
- Harper, G. E. (2003). *El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas, páginas 320-330*. México: Limusa.
- José Luis Lopez Segovia, M. A. (2007). Robot cartesiano: seguimiento de trayectorias irregulares arbitrarias mediante computadora. *Tesis Ing Electrónica en Telecomunicaciones, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo*, (págs. 35-60). Pachuca de Soto.
- PITTMAN. (2013). *pittman-motors*. Obtenido de pittman-motors: <http://www.pittman-motors.com/>
- Rafael Iñigo Madrigal, E. V. (2002). *Robots industriales manipuladores, pag 135-140*. Catalunya: España.
- Robinson, M. c. (2013). *robinsonmfgcoinc, centrifuga 820A*. Obtenido de robinsonmfgcoinc: <http://www.robinsonmfgcoinc.com/>
- Systems, D. (s.f.). *Solid Works*. Obtenido de <http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/solidworks-premium.htm>

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, 1 DE ABRIL de 2014

ELABORADO POR:



MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE

171429800-5

AUTORIDAD



Ing. Luis Orozco MSc.



DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL