



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRBAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE AUXILIARES Y
COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN
LABORATORIO TEXTIL**

AUTOR:

PABLO MARCELO MONTENEGRO CAICEDO

DIRECTOR:

Ing. CARLOS OBANDO

Ibarra – Ecuador

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer los textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100286613-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MONTENEGRO CAICEDO PABLO MARCELO		
DIRECCIÓN :	LUIS FELIPE BORJA Y MARCO NICOLALDE		
EMAIL :	pmmontenegro@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062640677	TELÉFONO MOVIL:	0988489148

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE AUXILIARES Y COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN LABORATORIO TEXTIL
AUTOR:	MONTENEGRO CAICEDO PABLO MARCELO
FECHA:	ABRIL 2016
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. CARLOS OBANDO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Pablo Marcelo Montenegro Caicedo, con cédula de identidad Nro. 100286613-3, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de Abril del 2016

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Pablo Marcelo Montenegro Caicedo". The signature is written in a cursive style and is enclosed within a faint, light blue oval shape.

Pablo Marcelo Montenegro Caicedo

100286613-3

Ibarra, Abril 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Pablo Marcelo Montenegro Caicedo, con cedula de identidad Nro. 100286613-3, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad intelectual del Ecuador, Articulos 4, 5 y 6 en calidad de autor de la obra de trabajo de grado denominado: "SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE AUXILIARES Y COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN LABORATORIO TEXTIL", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Pablo Montenegro Caicedo". The signature is stylized and written over a light blue horizontal line.

Pablo Marcelo Montenegro Caicedo

100286613-3

Ibarra, Abril 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado “SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE AUXILIARES Y COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN LABORATORIO TEXTIL”, presentado por el señor Pablo Marcelo Montenegro Caicedo, para optar por el título de Ingeniero en mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección

A handwritten signature in blue ink that reads "CARLOS OBANDO". The signature is stylized with a large, sweeping initial "C" and "O".

Ing. Carlos Obando
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN

Yo, Pablo Marcelo Montenegro Caicedo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mí autoría, no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Pablo Montenegro Caicedo". The signature is stylized and includes a horizontal line extending to the right.

Pablo Marcelo Montenegro Caicedo

100286613-3

Ibarra, Abril 2016

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fortaleza y sabiduría para continuar en este camino, a mis Padres y familia por su apoyo incondicional y su paciencia.

A la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, y a todo el personal docente quienes han contribuido extensamente a mi formación profesional y académica con sus conocimientos y experiencia.

De manera especial un reconocimiento a la Ing. Gabriela Verdezoto y al Ing. Carlos Obando por su apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo.

A todo el personal del laboratorio textil de la Fábrica Indutexma.

Pablo M.

DEDICATORIA

A Dios, quien es el centro de mi existencia, y me brinda la fe necesaria para vivir cada día.

A mi familia, en reconocimiento a todo su tiempo, esfuerzo y dedicación invertidos en mi desarrollo tanto moral como profesional.

Pablo M.

ÍNDICE GENERAL

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
CONSTANCIAS	iv
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	vi
DECLARACIÓN	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
CAPITULO I	1
1. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICO DE AUXILIARES Y COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN LABORATORIO TEXTIL.....	1
1.1. PROBLEMA:	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. ALCANCE	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.5. CONTEXTO	4
CAPITULO II	5
2. INTRODUCCIÓN A LA TINTORERÍA EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	5
2.1. PROCESO DE DESARROLLO DE COLOR EN LOS LABORATORIOS TEXTILES	6
2.1.1. INSUMOS NECESARIOS PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR.....	7
2.1.2. MÉTODOS PARA LA DE PREPARACIÓN DEL COLOR.....	10
2.1.3. DOSIFICACIÓN DE AUXILIARES Y COLORANTES EN LA PREPARACIÓN DEL COLOR.....	14
2.1.4. IMPORTANCIA DE LA CORRECTA DOSIFICACIÓN EN EL PROCESO DE DESARROLLO DEL COLOR	15

2.2.	PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN EL PROCESO DE DESARROLLO DE COLOR	16
2.2.1.	PREPARACIÓN DE LOS INSUMOS.....	16
2.2.2.	REPRODUCCIÓN DE COLORES.....	17
2.2.3.	ERRORES EN LA DOSIFICACIÓN.....	18
2.3.	DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	19
2.3.1.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA DOSIFICACIÓN EN UN LABORATORIO TEXTIL	20
2.3.1.1.	Clasificación de los instrumentos de laboratorio textil	20
2.3.1.2.	Instrumentos modernos:.....	27
2.3.2.	SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN	31
2.3.2.1.	Autolab TF de Datacolor.....	32
2.3.2.2.	Dosorama WS de Tecnorama	34
CAPITULO III		37
3.	DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	37
3.1.	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA:.....	37
3.2.	ESTRUCTURA DE SOPORTE	38
3.2.1.	PROPUESTA 1: ESTRUCTURA CIRCULAR.....	41
3.2.1.1.	Estructura de soporte principal.....	44
3.2.2.	PROPUESTA 2: ESTRUCTURA RECTANGULAR	55
3.2.2.1.	Estructura de soporte principal.....	57
3.3.	CORRECCIONES Y MEJORAS	67
3.3.1.	DISEÑO MECÁNICO	67
CAPITULO IV		69
4.	CONTROL ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	69
4.1.	ACTUADORES	70
4.1.1.	MODELO MATEMÁTICO	71
4.1.1.1.	Servomotor.....	71
4.1.1.2.	Motor a pasos (PaP).....	76
4.1.2.	MODELO MATEMÁTICO PRÁCTICO.....	79
4.1.2.1.	Motor para el movimiento en el eje x.....	80
4.1.2.2.	Motor Para el movimiento en el eje y	87

4.1.2.3.	Motor para el movimiento en el eje z.....	92
4.1.2.4.	Motor para el movimiento del dosificador.....	96
4.1.3.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE CONTROLADOR.....	101
4.1.3.1.	Análisis de controlador para el motor 1.....	104
4.1.3.2.	Análisis de controlador para el motor 2.....	114
4.1.3.3.	Análisis de controlador para el motor 3.....	119
4.1.3.4.	Análisis de controlador para el motor 4.....	124
4.2.	INTERFAZ DE CONTROL PARA EL USUARIO.....	129
4.3.	CIRCUITO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA.....	141
4.3.1.	ETAPA DE CONTROL.....	141
4.3.2.	ETAPA DE POTENCIA.....	142
4.3.2.1.	Driver A4988.....	142
4.3.2.2.	Driver ULN2003.....	144
4.3.2.3.	Encoder.....	146
CPITULO V.....		147
5.	PRUEBAS.....	147
5.1.	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	147
5.1.1.	PRECISIÓN DE DOSIFICACIÓN.....	148
5.1.1.1.	Comparación de patrones método de dosificación gravimétrica.....	148
5.1.1.2.	Evaluación de repetitividad de mediciones.....	157
5.1.2.	TIEMPO DE DOSIFICACIÓN.....	166
5.1.3.	ERGONOMÍA.....	168
CAPITULO VI.....		169
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	169
6.1.	CONCLUSIONES.....	169
6.2.	RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....		172
ANEXOS.....		174
ANEXO 1: Manual de operación del sistema de dosificación.....		175
ANEXO 2: Manual de mantenimiento del sistema de dosificación.....		190
ANEXO 3: Datos adquiridos para el modelamiento.....		197
ANEXO 4: Firmware para la comunicación con arduino.....		202

ANEXO 5: Planos eléctricos del sistema de dosificación	213
ANEXO 6: Planos mecánicos del sistema de dosificación	217
ANEXO 7: Hojas de datos y especificaciones técnicas de cada uno de los dispositivos electrónicos utilizados.....	229
ANEXO 8: Fotografías para validación del proyecto	251

INDICE DE FIGURAS, TABLAS, DIAGRAMAS Y ECUACIONES

FIGURAS

Figura 2.1 Dosificación de colorantes	7
Figura 2.2 Preparación de colorantes	12
Figura 2.3 Preparación de colorantes directos.....	13
Figura 2.4 Estructura general de una receta de color	14
Figura 2.5 Recipientes de preparación de 60 [ml].....	15
Figura 2.6 Selección y preparación de colorantes.....	17
Figura 2.7 Materiales de sostén	21
Figura 2.8 Frascos de reactivos	23
Figura 2.9 Clasificación del material volumétrico	24
Figura 2.10 Material Volumétrico Aproximado.....	24
Figura 2.11 Material Volumétrico Exacto.....	25
Figura 2.12 Pipetas graduadas	26
Figura 2.13 Pipeta aforada.....	27
Figura 2.14 Pipeteador de balón	28
Figura 2.15 Pipeteador de émbolo	29
Figura 2.16 Pipeteador electromecánico.....	30
Figura 2.17 Micropipeta.....	31
Figura 2.18 Autolab TF-128.....	32
Figura 2.19 Dosorama WS.....	35
Figura 3.1 Dimensiones de una pipeta.....	39
Figura 3.2 Dimensiones frasco Schott Duran.....	39
Figura 3.3 Estructura circular	42
Figura 3.4 Grados de libertad de estructura circular	42
Figura 3.5 Planos estructura circular.....	43
Figura 3.6 Estructura de soporte principal.....	44
Figura 3.7 Barra Superior de Soporte	46
Figura 3.8 Estructura rectangular	55
Figura 3.9 Grados de libertad de estructura rectangular	55
Figura 3.10 Esquema estructura rectangular	56
Figura 3.11 Estructura de soporte principal.....	57
Figura 3.12 Estructura de apoyo para dosificador.....	58
Figura 3.13 Estructura de apoyo para dosificador.....	62

Figura 3.14 Diseño mecánico final	67
Figura 4.1 Circuito eléctrico de un servomotor dc.	72
Figura 4.2 Motor a pasos de reluctancia variable.....	77
Figura 4.3 Motor a pasos de imán permanente.....	77
Figura 4.4 Rotor de un motor paso a paso híbrido.....	78
Figura 4.5 Modelos estimados para la planta: motor 1.....	80
Figura 4.6 Diagrama de Polos y Ceros de la función de transferencia del motor 1	82
Figura 4.7 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso	84
Figura 4.8 Gráfica de respuesta ante entrada impulso.....	85
Figura 4.9 Diagrama de bloques respuesta ante una escalón unitario.....	86
Figura 4.10 Gráfica de respuesta ante una escalón unitario	86
Figura 4.11 Modelos estimados para la planta: motor 2.....	87
Figura 4.12 Diagrama de polos y ceros de la función de transferencia del motor 2	88
.....	88
Figura 4.13 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso	89
Figura 4.14 Gráfica de respuesta ante entrada impulso.....	90
Figura 4.15 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada escalón unitario .	91
Figura 4.16 Gráfica de respuesta ante entrada escalón unitario.....	91
Figura 4.17 Modelos estimados para la planta: motor 3	92
Figura 4.18 Diagrama de polos y ceros.....	93
Figura 4.19 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso	94
Figura 4.20 Gráfica de respuesta ante entrada impulso.....	95
Figura 4.21 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada escalón unitario .	95
Figura 4.22 Gráfica de Respuesta ante entrada escalón unitario.....	96
Figura 4.23 Modelos estimados para la planta: motor 4.....	97
Figura 4.24 Diagrama de polos y ceros.....	98
Figura 4.25 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso	99
Figura 4.26 Gráfica de Respuesta ante entrada impulso	100
Figura 4.27 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada escalón unitario	100
Figura 4.28 Gráfica de respuesta ante entrada escalón unitario.....	101
Figura 4.29 Metodo de sintonizacion de Cohen-Coon	102
Figura 4.30 Parametros de la funion de tranferencia: metodo Cohen-Coon	103
Figura 4.31 Ingreso de parámetros para el controlador.	104
Figura 4.32 Análisis del sistema con control proporcional.....	105
Figura 4.33 Análisis del sistema con control proporcional derivativo	106
Figura 4.34 Análisis del controlador proporcional integrativo	107
Figura 4.35 Análisis del controlador proporcional integrativo y derivativo	108
Figura: 4.36 Diagrama de bloques del sistema de control	110
Figura 4.37 Diagrama de bloques del controlador en serie con la planta.....	110
Figura 4.38 Diagrama de bode de la planta	111
Figura 4.39 Respuesta de planta discretizada ante una entrada escalón unitario	112
.....	112
Figura 4.40 Respuesta de planta en serie con controlador en tiempo continuo y	113
en tiempo discreto.	113
Figura 4.41 Análisis de controlador para el motor 2	114
Figura: 4.42 Diagrama de bloques del sistema de control	115

Figura 4.43 Diagrama de bloques del controlador en serie con la planta.....	115
Figura 4.44 Diagrama de bode de la planta	116
Figura 4.45 Respuesta de una planta discretizada ante una entrada escalón unitaria	117
Figura 4.46 Respuesta de planta en serie con controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto.....	118
Figura 4.47 Análisis del controlador para el motor 3	119
Figura: 4.48 Diagrama de bloques del sistema de control	120
Figura 4.49 Diagrama de bloques del controlador en serie con la planta.....	120
Figura 4.50 Diagrama de bode de la planta	121
Figura 4.51 Respuesta de la Planta discretizada ante una entrada escalón unitario	122
Figura 4.52 Respuesta de la Planta en tiempo continuo y en tiempo discreto ...	123
Figura 4.53 Análisis de controlador para el motor 4	124
Figura: 4.54 Diagrama de bloques del sistema de control	125
Figura 4.55 Diagrama de bloques del controlador en serie con la planta.....	125
Figura 4.56 Diagrama de bode de la planta	126
Figura 4.57 Respuesta de planta discretizada ante una entrada escalón unitario	127
Figura 4.58 Respuesta de la planta en tiempo continuo y en tiempo discreto ...	128
Figura 4.59 Arduino mega 2560	131
Figura 4.60 Flujo grama del Programa de control en Labview	132
Figura 4.61 Interfaz de control para el usuario	134
Figura 4.62 Escritura de señal PWM para el control de motor PaP	137
Figura 4.63 Escritura en base de datos.....	138
Figura 4.64 Lectura de base de datos.....	139
Figura 4.65 Selección de datos de base de datos.....	140
Figura 4.66 Circuito electrónico de control del sistema.....	141
Figura 4.67 Driver A4988 de Pololu	143
Figura 4.68 Diagrama esquemático del driver A4988 de Pololu.....	143
Figura 4.69 Diagrama de conexiones del driver A4988.....	144
Figura 4.70 Driver ULN203.....	145
Figura 4.71 Diagrama de conexiones del driver ULN203.....	145
Figura 4.72 encoder HEDS-5500	146
Figura 5.1 Flujograma de evaluación por método de comparación por dosificación gravimétrica.....	150
Figura 5.2 dosificaciones realizadas con el sistema.....	152
Figura 5.3 Medición de masa de las muestras	152
Figura 5.4 Flujograma de evaluación por método de repetitividad en mediciones	158
Figura 5.5 obtención de muestras con el sistema	159
Figura 5.6 grafica de desviación estandar de conjunto de patrones medidos de 2.5 ml	162
Figura 5.7 grafica de desviación estandar de conjunto de patrones medidos de 5 ml	163

TABLAS

Tabla 2.1 Beneficios del agua en el proceso de tintorería	8
Tabla 2.2 Clasificación de auxiliares	9
Tabla 2.3 Tipos de colorantes según la fibra a tinturar	10
Tabla 2.4 Clasificación de los recipientes de laboratorio	22
Tabla 2.5 Ventajas y desventajas del sistema autolab TF	33
Tabla 2.6 Ventajas y desventajas del sistema Dosorama WS	35
Tabla 3.1 Dimensiones según capacidad de frascos Schott Duran	40
Tabla 3.2 Cuadro comparativo de los materiales a tomar en cuenta	41
Tabla 3.3 Ventajas y desventajas de la estructura circular	54
Tabla 3.4 Ventajas y desventajas de la estructura rectangular	66
Tabla 4.1 Características comparativas de los servomotores y los motores a pasos.	70
Tabla 4.2 Secuencia de activación de bobinas de un motor a pasos	78
Tabla 4.3 Características de los motores seleccionados para el sistema	79
Tabla 4.4 Parámetros de cada tipo de controlador según método Cohen-Coon	103
Tabla: 4.5 Características arduino mega 2560	130
Tabla 4.6 Secuencia de movimiento del motor con driver ULN203	145
Tabla 5.1 Patrones establecidos	151
Tabla 5.2 Patrones Medidos	153
Tabla 5.3 Porcentajes de error calculados de patrones medidos por el sistema	155
Tabla 5.4 Patrones medidos en un proceso manual	156
Tabla 5.5 Grupo No.1 Patrón único de 2,5 ml	160
Tabla 5.6 Grupo 2 Patrón único de 5 ml	161
Tabla 5.6 Grupo 3 Patrón único de 5 ml obtenido de forma manual	165
Tabla 5.7 datos de tiempo de preparación	167

DIAGRAMAS

Diagrama 3.1 Diagrama de Momentos y Cortes	48
Diagrama 3.2 Diagrama esfuerzos de von misses en barra de soporte.....	52
Diagrama 3.3 Diagrama de momentos y cortes	59
Diagrama 3.4 Diagrama de Esfuerzos de von misses para soporte de propuesta 2	61
Diagrama 3.5 Diagrama de momentos y cortes	63
Diagrama 3.6 Diagrama de esfuerzos de von misses en soporte de propuesta 2 .	65
Diagrama 4.1 Diagrama de bloques de un servomotor	74
Diagrama 4.2 Diagrama de bloques funcionamiento del sistema de control.....	142

ECUACIONES

Ecuación 2.1 Fórmula General para recetas para Poliéster.....	12
Ecuación 2.2 Fórmula General para la preparación de recetas para Algodón	13
Ecuación 3.1 Peso	46
Ecuación 3.2 Momento flector.....	47
Ecuación 3.3 Esfuerzo normal por flexión	49
Ecuación 3.4 Módulo de sección para una sección rectangular.....	49
Ecuación 3.5 Esfuerzo normal por torsión.....	50
Ecuación 3.6 Momento torsor.....	50
Ecuación 3.7 Momento de inercia respecto al eje neutro.....	50
Ecuación 3.8 Teorema de esfuerzo de Von Misses	51
Ecuación 3.9 Factor de seguridad.....	53
Ecuación 4.1 Modelo matemático de un motor dc.....	75
Ecuación 4.2 Parámetros de una función de segundo grado.....	81
Ecuación 4.3 Función de transferencia método Cohen-Coon	102
Ecuación 5.1 Cálculo de la densidad	151
Ecuación 5.2 Cálculo de masa en función de la densidad	151
Ecuación 5.3 Cálculo del porcentaje de precisión	154
Ecuación 5.4 Porcentaje de error	154
Ecuación 5.5 Cálculo del tiempo promedio de preparación por color.....	167

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICO DE AUXILIARES Y COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN LABORATORIO TEXTIL

Autor: Pablo Montenegro

Director: Ing. Carlos Obando

RESUMEN

El presente proyecto nace de una necesidad puntual: automatizar un proceso manual como es el de la preparación de colorantes en la industria textil a nivel de laboratorio. Cada día los procesos de laboratorio en el campo textil son más extensos, complicados y tediosos y a medida que la tecnología avanza las empresas se han visto obligadas a incluir la automatización como parte fundamental de sus procesos. Este proyecto se desarrolla sobre una necesidad específica en el laboratorio textil de la planta Indutexma que es la dosificación de colorantes, esta tarea la realizan los laboratoristas de manera manual y requiere de tiempo, concentración y destreza para poder garantizar la precisión de la dosificación. El sistema propuesto permite dosificar volúmenes pequeños optimizando el tiempo requerido para la tarea en un proceso automático mediante la distribución de colorantes en un solo espacio. El sistema permite ubicar cada uno de los colorantes y dosificar la cantidad deseada mediante un controlador para el dosificador desarrollado en el software Labview el cual ha permitido también desarrollar una interfaz fácilmente operable para el control del proceso, este sistema cuenta además con una base de datos la cual permite almacenar los valores correspondientes a las recetas que se pueden preparar en el sistema con el objetivo de agilizar el proceso de almacenamiento y búsqueda de datos correspondientes al desarrollo de colorantes. Con el fin de optimizar los costos se ha seleccionado utilizar una computadora como controlador gracias a las ventajas de programación y control que ofrece el programa Labview y como interfaz de máquina se ha seleccionado utilizar un Arduino como tarjeta de adquisición de datos por la ventaja que ofrece este dispositivo ya que posee un gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

DOSAGE VOLUME SYSTEM OF SUPORT AND COLORANTS FOR THE PREPARATION OF DYES COLOR IN A TEXTILE LABORATORY

Author: Pablo Montenegro

Tutor: Ing. Carlos Obando

SUMMARY

This project stems from a specific need: to automate a manual process such as the preparation of dyes in textiles in the laboratory. Every day laboratory processes in the textile field are more extensive, complicated and tedious and as technology advances, companies have been forced to include automation as an essential part of their processes. This project is a specific need in the textile laboratory in Indutexma plant that is the dosage of dyes, this task requires great precision as required to be dosed extremely small amounts, yet this process is still done manually. The proposed system allows to dose very small volumes at considerable speed in an automatic process through the distribution of colors in one space. System enables to locate each of the dyes and dispense the desired amount by a doser controller developed in Labview software which has also helped develop an easily operable to process control interface, this system also has a data base which can store data values corresponding to the recipes that can be prepared in the system in order to streamline the process of storing and searching for data for the development of dyes. To ptimize costs has chosen to use a computer as a controller thanks to the advantages of programming and control offered by the Labview program and how machine interface is selected using an Arduino as data acquisition card by the advantage of this device as it has a large number of inputs and analog and digital outputs.

CAPITULO I

1. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICO DE AUXILIARES Y COLORANTES PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR EN UN LABORATORIO TEXTIL.

1.1. PROBLEMA:

Las empresas textiles dedicadas a la tintorería se encuentran actualmente en fase de expansión debido a que la sociedad ecuatoriana demanda una mayor producción textil nacional. A su vez, poseen un alto volumen de recetas de color para su producción, estas son desarrolladas en laboratorios textiles y luego reproducidas en una planta de tintorería. La preparación de los productos en el desarrollo de recetas de color, representa la base de todo el proceso de producción de un laboratorio, y si esta fase no se realiza rápidamente se producen cuellos de botella. Los retrasos en esta fase se deben principalmente a errores humanos cometidos en el proceso.

Actualmente en los laboratorios textiles se realizan las pruebas en menor proporción para ahorrar tiempo y costos a los productores y así conseguir una mayor precisión en cuanto al color que se desea obtener. En dichos laboratorios, se realizan ensayos combinando varios colorantes hasta conseguir la tonalidad deseada, sin embargo aún no se ha logrado eficiencia ya que este proceso se realiza manualmente y por lo tanto para los laboratoristas resulta tedioso dosificar cantidades pequeñas, esta tarea requiere de mucha concentración y precisión. Un laboratorista invierte un 50% de su tiempo de trabajo en la preparación de colores, el 25% en corregir las recetas, lo cual a su vez genera poca disponibilidad de tiempo para las demás tareas que debe realizar un laboratorista.

Con la implementación de una máquina dosificadora automatizada se reducirán en gran porcentaje los errores de imprecisión humana incrementando la velocidad de

producción, Esta máquina no solo le permitirá al laboratorista aumentar su productividad y precisión en la elaboración de recetas sino que también le permitirá investigar sobre las dificultades que se tienen en la preparación de colores mejorando la productividad.

La automatización del proceso de preparación de colores para la tintorería textil significaría un gran avance en la industria textil ya que permitirá una menor intervención humana en los procesos de precisión y a su vez una mayor participación en los procesos de observación e investigación lo cual constituye un desarrollo tecnológico para la industria textilera automatizada.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

1. Mejorar la calidad de producción en la preparación de recetas de color a través de la automatización del proceso de dosificación en el laboratorio textil de la empresa Indutexma.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar el proceso de dosificación por volumen para la preparación de recetas de color en un laboratorio textil y todas las variables que influyan en el proceso.
2. Diseñar una máquina pipeteadora volumétrica que permita automatizar el proceso de dosificación de colores.
3. Construir la máquina diseñada para realizar el proceso de dosificación.
4. Implementar la máquina y un control eficiente del proceso de preparación de color en la industria textil de tal manera que reduzca el tiempo de preparación por receta.
5. Realizar pruebas de funcionamiento.

1.3. ALCANCE

Este proyecto pretende optimizar dos factores importantes en la preparación de colores para la industria textil que son tiempo y precisión en la dosificación, a través de la implementación de un sistema de dosificación automatizado que permita al laboratorista reducir el tiempo de preparación con un mayor grado de precisión que con un proceso manual. Este sistema se encuentra estructurado por las siguientes partes: primero el controlador que es el que permitirá ejecutar las instrucciones dadas por el laboratorista a través de una interfaz fácil de comprender para el mismo, en este caso será un dispositivo electrónico programable que permita al operador ingresar las variables correspondientes al volumen y color que se desea dosificar, el sistema contará con una base de datos que permita almacenar recetas por color, de este modo el almacenamiento de la información se realizará de manera digital para su posterior uso, una vez que se ingresen las variables al sistema, un actuador se encargará de realizar el proceso de dosificación a través de un inyector, para finalizar el ciclo el actuador deberá inyectar la cantidad dosificada de cada color en un envase de mezcla.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La industria textil en el Ecuador y específicamente en la región norte del país, la cual es una de las regiones de mayor producción textilera, se encuentra en fase de expansión por lo que cada día requiere de mayor precisión, eficiencia y calidad en cada uno de los procesos de producción. Recientemente las empresas textileras del Ecuador han comenzado a implementar la tecnología como parte fundamental de sus procesos productivos, sin embargo aún falta mucho por desarrollar en éste campo. Este proyecto contribuye precisamente a mejorar la calidad y precisión en producción del color en la industria textil a través de la tecnología, debido a que no solo se aumentará la productividad y la calidad del proceso de preparación del color, sino que además la implementación de este proyecto constituirá un gran avance tecnológico para la industria textil del Ecuador o al menos un pequeño inicio

del mismo, ya que no existen laboratorios textiles en el país que utilicen este tipo de tecnología.

Actualmente la tecnología diseñada para la industria textil ha tenido un gran desarrollo en países extranjeros que tienen una producción textil superior a la del Ecuador, sin embargo debido al crecimiento que está experimentando la industria textil en nuestro país se hace necesario también el desarrollo de la tecnología textil en el Ecuador.

1.5. CONTEXTO

No existen temas afines en la universidad.

CAPITULO II

2. INTRODUCCIÓN A LA TINTORERÍA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Dentro de los múltiples procesos que existen en la industria textil, uno de los más importantes es el de tintorería el cual consiste básicamente en dar un color determinado al tejido o fibra; este proceso tiene como fin agregar una identificación y característica visual única al producto. *En la industria de la moda textil se enfatiza mucho el tema del color y la calidad del mismo, ya que el gusto por una prenda se adquiere principalmente por los ojos, de tal modo que el consumidor puede escoger o rechazar un producto tan solo por su color; de ahí la importancia de la calidad en el proceso de tintorería.* (Lockuán Lavado, 2012)

Debido a la importancia de la tintorería y a las exigencias de la industria textil actual este proceso ha tenido que ser dividido en varias fases en las cuales se pueda garantizar la calidad del mismo. Dentro de las fases que constituyen el proceso de tintorería, la primera es la preparación de las recetas de color en laboratorio; de la precisión y calidad con que se lleve a cabo esta etapa dependerá el éxito de los procesos que vienen a continuación, por esta razón las empresas invierten tiempo y recursos en el proceso inicial de laboratorio ya que la calidad del producto final resulta directamente del correcto desarrollo de esta fase.

La industria textil Indutexma, lugar en donde se implementará el presente proyecto, es una compañía familiar con más de 40 años de experiencia en el sector textil y se dedica a la producción de tejido de punto y tejido plano en diferentes presentaciones y acabados. La fábrica Indutexma ubicada en el sector de Punyaro al sur de Otavalo cuenta con un complejo industrial de última tecnología con maquinaria moderna y todas las instalaciones necesarias para realizar diversos procesos textiles de confección y acabado tales como:

- Análisis y pruebas en laboratorio
- Tejeduría
- Tintorería
- Perchado
- Termofijado

Indutexma además cuenta con los recursos necesarios para realizar todas las fases de tintorería. El presente proyecto se desarrollará con el objetivo de aumentar la precisión en la etapa inicial del proceso de tinturado, por lo cual se implementará en el laboratorio de la fábrica Indutexma lugar en donde inicia el proceso de tintorería de toda la planta.

2.1. PROCESO DE DESARROLLO DE COLOR EN LOS LABORATORIOS TEXTILES

Un laboratorio textil cumple con múltiples funciones en el desarrollo de producto textil, una de ellas es la etapa inicial de tintorería; dentro del proceso de elaboración del color para la tintorería cumple básicamente con tres funciones:

- **Creación de un color:** consiste en formular un nuevo color el cual no tiene una receta previa de preparación.
- **Preparación de muestras:** consiste en seguir una receta previa para obtener una muestra del color que se propone, las muestras generalmente son sometidas a controles de calidad para su posterior aprobación.
- **Reproducción de un color:** consiste en la investigación de los materiales que componen un color ya existente para su posterior reproducción.

En los tres procesos mencionados se debe preparar los materiales y dosificar tanto los colorantes como los auxiliares que formaran el color final deseado. Este proyecto se centrará en la fase de dosificación, dicho tema se tratará más a detalle en los próximos capítulos. En la figura 2.1 se puede observar cómo se realiza el proceso de dosificación manual actualmente en un laboratorio textil.

Figura 2.1 Dosificación de colorantes



2.1.1. INSUMOS NECESARIOS PARA LA PREPARACIÓN DEL COLOR

Se conoce como insumos a los materiales que constituyen el color que se va a preparar. Los insumos que se utilizan para desarrollar un color son los siguientes:

a) Agua como auxiliar:

Conocida también como el disolvente universal, este es el medio principal en el cual se llevan varios procesos necesarios para la aplicación del color, actúa como disolvente para algunos colorantes y por estas razones se considera el principal auxiliar dentro del proceso de tintorería, por lo tanto su calidad y la dosificación correcta influyen de manera determinante en el desarrollo de un color. En la siguiente tabla se detallan algunos de los procesos más importantes a los que ayuda el agua:

Tabla 2.1 Beneficios del agua en el proceso de tintorería

PROCESO	EXPLICACIÓN
Intercambios químicos	El agua es el medio perfecto en el cual se pueden llevar intercambios químicos entre los colorantes y el producto a tinturar.
Transferencia de Calor	El calor es un factor importante en el momento en que se realiza la fijación del color, así que el agua es un perfecto conductor del calor en este proceso.
Transporte mecánico	Esta función se refiere a la capacidad que tiene el agua para filtrarse y penetrar en casi la mayoría de materiales de tal modo que puede transportar un colorante a través de cualquier fibra textil.
Disolución	Los colorantes, ya sea en estado líquido o sólido, vienen en cantidades muy concentradas por lo que es necesario un disolvente que ayude a disminuir la concentración del colorante a un nivel adecuado y expandirlo por todo el medio a tinturar. El agua cumple perfectamente con esta función.

Fuente: (Lockuán Lavado, 2012)

b) Productos químicos:

Existen varios productos químicos que se aplican con el fin de aumentar la capacidad del colorante para fijarse en la tela, solo se hará una breve mención a ellos ya que estos se dosifican en un proceso posterior al desarrollo del color en laboratorio en una escala mucho mayor por lo tanto no están incluidos en el presente proyecto. Los principales productos químicos que se utilizan son:

- Ácidos.
- Alcalis.
- Sales.
- Agentes oxidantes y reductores. (Lockuán Lavado, 2012)

c) Productos auxiliares:

El proceso de tinturado es técnicamente una reacción química que sucede entre el colorante y la fibra, los productos auxiliares son compuestos que poseen o no cargas eléctricas que ayudan a que se realice dicha reacción que permite la unión entre el colorante y el material a tinturar de una manera más rápida y efectiva. La mayoría de auxiliares se dosifican previamente en el agua que formara parte de la solución y su selección depende del tipo de fibra y colorantes que se van a utilizar; los tipos de auxiliares más utilizados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2.2 Clasificación de auxiliares

AUXILIAR	PROPIEDADES
Humectantes	<i>Son aquellos que reducen la tensión superficial ayudando a que el colorante pueda penetrar en la fibra, son de uso fundamental en tintorería.</i>
Emulsionantes	<i>En el momento que se realiza el proceso de fijación del color a altas temperaturas se forman sustratos, los auxiliares emulsionantes eliminan aceites y grasas evitando así que el colorante se pierda en el sustrato.</i>
Detergentes	<i>Ayudan a eliminar las suciedades en el sustrato.</i>
Dispersantes	<i>Se aplica en procesos en los que se necesita una fina dispersión de partículas lo cual permita mayor fijación del colorante.</i>
Igualadores	<i>Ayudan a la uniformidad del color evitando desigualdades de color.</i>
Secuestrantes	<i>Se utilizan para la tinte de fibras vegetales los cuales poseen metales pesados que contaminan el color.</i>
Antiespumantes	<i>Ya que las fibras, por su naturaleza retienen aire en su interior, se dificulta la penetración del colorante en las mismas, este aire retenido además es el causante de que se forme espuma en el colorante, los auxiliares antiespumantes facilitan la liberación del aire retenido en las fibras.</i>
Antiquiebres	<i>Brindan más flexibilidad al colorante reduciendo el efecto mecánico sobre el material.</i>
Antimigrantes	<i>Se usan en los procesos de teñido continuo.</i>
Buffers (tampones):	<i>Estos auxiliares aumentan la acidez o alcalinidad del medio según se requiera para que se facilite el proceso de tinte en fibras con un contenido irregular de pH.</i>
Mejoradores de la solidez	<i>Se utilizan en procesos posteriores para brindar uniformidad al color de la fibra después de que ha sido tinturada, estos auxiliares eliminan residuos de colorantes que no han logrado ser fijados en el producto para que no existan desigualdades de tono en diferentes regiones del mismo producto.</i>

Fuente: (Lockuán Lavado, 2012)

d) Colorantes:

Los colorantes son los compuestos que realizarán directamente la modificación del color en la fibra. Básicamente cumplen con la función de impregnarse en el producto dándole la tonalidad de color deseada, son el elemento principal de dosificación y por lo tanto el principal componente en el desarrollo del color, existen diversos tipos de colorantes y en varias presentaciones los cuales se aplican según el tipo de fibra que se quiere tinturar, (observe la tabla 2.3).

Tabla 2.3 Tipos de colorantes según la fibra a tinturar

Fibra	Colorante
<i>Celulósica (natural y artificial)</i>	<i>Directo, reactivo, al azufre, naftol</i>
<i>Poliéster</i>	<i>Disperso, básico</i>
<i>Poliamida</i>	<i>Disperso, ácido, premetalizado</i>
<i>Acetato</i>	<i>Disperso</i>
<i>Lana y seda</i>	<i>Ácido, premetalizado</i>
<i>Acrílico</i>	<i>Disperso, básico</i>

Fuente: (Lockuán Lavado, 2012)

En el desarrollo de color en laboratorio textil solo se ocupan colorantes y auxiliares ya que los demás materiales no son indispensables para la creación de muestras en laboratorio sino para los procesos de tinturado en maquinaria a gran escala. Por el tipo de producción que tiene la fábrica textil Indutexma la aplicación del presente proyecto se encuentra restringida solamente a dos tipos de fibras que son las más utilizadas en planta.

2.1.2. MÉTODOS PARA LA DE PREPARACIÓN DEL COLOR.

Los métodos para la preparación del color varían según el tipo de fibra que se desea tinturar y las diferencias entre cada método básicamente radican en los tipos de colorantes y auxiliares que se aplicarán y la forma en que se aplicarán; la fábrica textil Indutexma, trabaja en su mayoría con dos tipos de fibras que son: algodón y poliéster por lo tanto se abordará los métodos de preparación de colorante correspondientes a estos dos tipos de fibras:

- **Preparación de colorantes para poliéster:**

El poliéster es una fibra sintética cuyo compuesto principal ($C_{10}H_8O_4$) se deriva del petróleo. Por su estructura y composición química el poliéster tiene un método específico para poder ser tinturado.

Los tipos de colorantes que se utilizan para el poliéster son dispersos, este tipo de colorantes son compuestos finamente pulverizados que además contienen un material que actúa como agente dispersor. Ya que el poliéster presenta fibras mucho más pequeñas que otros materiales, es necesario que también el colorante tenga la capacidad de penetrar aún en la más diminuta fibra para que se produzca el cambio de color. Los colorantes dispersos son de dos tipos, la diferencia de estos dos tipos de colorantes es simplemente la presentación:

- a) **Microdispersos:** se presentan en un estado pastoso o en polvo.
- b) **Granulados:** el colorante pulverizado se presentan en pequeñas partículas que contienen el material compactado en forma de granos.

Ambos tipos de colorante requieren de una preparación previa. Primero se debe pesar la cantidad de colorante deseado (observe la figura 2.2) y luego disolverlo en agua a $40^{\circ}C$ bajo constante agitación.

Los auxiliares que se utilizan para el poliéster son dispersol y ácido, los dos actúan como agentes dispersantes que ayudan a que el colorante penetre totalmente en la fibra.

Una vez que se ha cumplido con estos procedimientos se realiza la dosificación de colorantes y agua. Para la preparación de recetas para poliéster se debe tener en cuenta la siguiente relación:

Ecuación 2.1 Fórmula General para recetas para Poliéster

$$\text{Vt. de la receta} = \text{Vt. de Colorantes} + (\text{Vt. de H}_2\text{O} - \text{Vt. de Auxiliares})$$

Fuente: (Indutexma textiles, s.f.)

En donde Vt es el volumen total.

Figura 2.2 Preparación de colorantes



- **Preparación de colorantes para algodón:**

El algodón es una de las fibras más comunes y usadas en la industria textil debido a las cualidades y beneficios que ofrece. La planta textil Indutexma también presenta un alto porcentaje en producción de tejidos en algodón, por lo cual la tintura de esta fibra es uno de los procesos más esenciales en dicha industria, y como tal el proceso de desarrollo de este tipo de colorantes en laboratorio está incluido en el presente proyecto.

Como se sabe el algodón es una fibra natural que contiene celulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$), sus fibras son más gruesas y absorbentes, permite una gran circulación de oxígeno, por lo tanto no presentan una resistencia muy alta a la fijación del colorante por esta razón se utilizan colorantes directos, también llamados reactivos. Debido a que al entrar en contacto con el algodón se produce una reacción química que modifica el color de la fibra, los colorantes reactivos vienen en varias presentaciones dependiendo del estado en el que se desee el colorante:

- **Estado sólido:** se presentan en polvo y granulados (necesitan ser disueltos en agua).
- **Estado líquido:** se comercializan en soluciones concentradas.

Se debe conocer que los colorantes en estado líquido tienen una alta concentración de colorante por lo que se hace necesario una mayor precisión en la dosificación de los mismos (Observe la figura 2.3). Los auxiliares que se utilizan para la tintura de algodón son varios y se dosifican previamente en el agua que se utilizará para la preparación de la solución al igual que los auxiliares para poliéster.

Se debe tomar en cuenta la siguiente relación para la preparación de recetas para fibras de algodón:

Ecuación 2.2 Fórmula General para la preparación de recetas para Algodón

$$V_t \text{ de la receta} = V_t \text{ de Colorantes} + V_t \text{ de H}_2\text{O} + V_t \text{ de Auxiliares}$$

Fuente: (Indutexma textiles, s.f.)

En donde V_t es Volumen total.

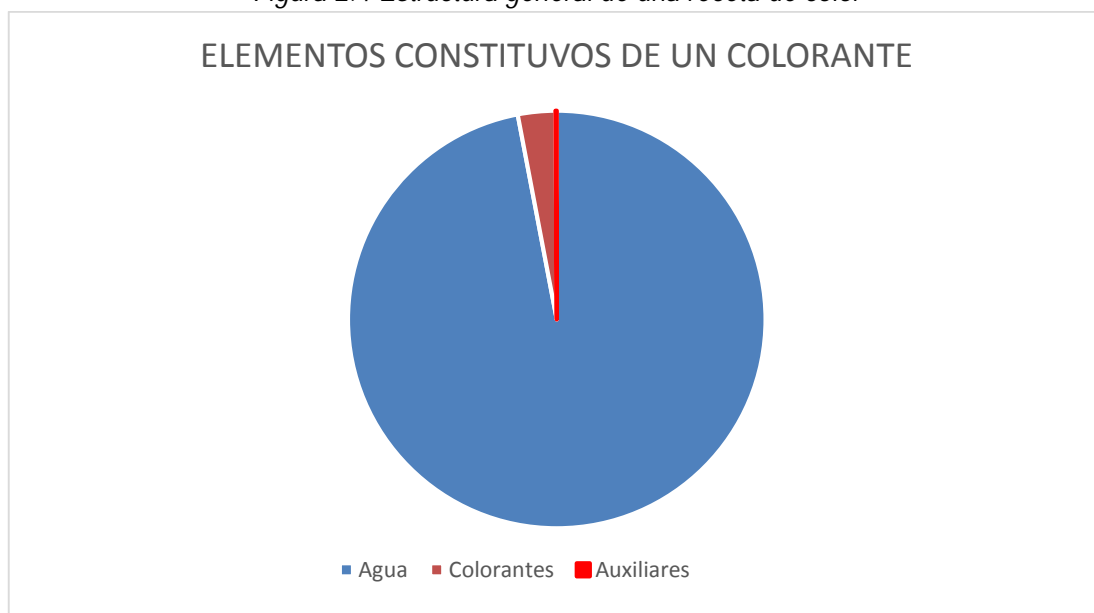
Figura 2.3 Preparación de colorantes directos



2.1.3. DOSIFICACIÓN DE AUXILIARES Y COLORANTES EN LA PREPARACIÓN DEL COLOR

Una receta de color contiene tres elementos esenciales que son agua, colorantes y auxiliares. Este proyecto se ocupará de la dosificación de colorantes y auxiliares. Una receta de color presenta generalmente la estructura ilustrada en la siguiente figura:

Figura 2.4 Estructura general de una receta de color



Fuente: (Indutexma textiles, s.f.)

La mayoría de las recetas tienen un volumen total de 60 [ml] ya que se preparan en envases de mezcla y teñido que admiten un máximo de 60 [ml] (observe la figura 2.5). De este volumen total aproximadamente 2 [ml] son colorantes y auxiliares, y el volumen restante es agua. Cada receta de color se compone de una mezcla de los tres colores primarios: amarillo, azul y rojo, cada uno de ellos tienen un rango de dosificación que puede ir desde los 0,01 [ml] hasta 10 [ml], de igual manera los auxiliares pueden ir desde los 0,01 [ml] hasta los 5 [ml]. Por lo tanto el sistema propuesto debe tener una precisión de hasta 0,01 [ml] en su capacidad de dosificación.

Figura 2.5 Recipientes de preparación de 60 [ml]



2.1.4. IMPORTANCIA DE LA CORRECTA DOSIFICACIÓN EN EL PROCESO DE DESARROLLO DEL COLOR

La dosificación de colorantes es parte fundamental y determinante para el proceso de tintorería durante todas sus etapas, especialmente en la fase inicial de laboratorio ya que es la que requiere de mayor precisión. El objetivo principal de esta fase es realizar una o varias pequeñas pruebas para analizar los resultados sin que se hayan desperdiciado mucho tiempo y recursos, así que un error en esta fase se prolongaría durante todas las etapas siguientes o como sucede en la mayoría de los casos: un error que tiene que ser corregido en la etapa inicial retrasa todos los procesos que vienen a continuación.

La mayoría de procesos fallidos especialmente en la reproducción de algún determinado color se debe a la falta de precisión en la dosificación ya que una mínima alteración en la medida de cada colorante puede producir una gran variación en el resultado final. Por esta razón el laboratorista debe tener suma concentración al momento de dosificar ya que es necesario gran precisión y destreza en el proceso de dosificación manual.

La receta de color que se formula en laboratorio es una base de lo que se necesitará para preparar grandes cantidades del mismo colorante obteniendo el mismo resultado que en el laboratorio. Una vez que la receta ha sido aprobada se calculan

las cantidades de colorante necesarias para tinturar grandes cantidades de tela, se puede decir que el proceso de preparación de colorante en laboratorio es un mapa a escala 1:100 del proceso final de tintura, por lo tanto un error cometido en esta fase por más insignificante que parezca afectará en el proceso final ya que se multiplicara por 100.

Por todas estas razones el proceso de tintura en laboratorio cumple un papel fundamental en el proceso de desarrollo de color, especialmente las fases de preparación y dosificación ya que de estas depende el 100% de la calidad del producto final.

2.2. PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN EL PROCESO DE DESARROLLO DE COLOR

El personal de un laboratorio textil debe estar previamente capacitado para realizar este tipo de tareas, sin embargo como en todo proceso manual se presentan problemas debido a un sinnúmero de factores que comprometen la calidad del proceso. Generalmente la mayor dificultad que tienen los laboratorios es reproducir un color en diferentes fibras con alto grado de paridad ya que los colorantes que se utilizan varían según el tipo de fibra, por lo tanto la dosificación también varía para un mismo tipo de color. A continuación veremos los problemas más frecuentes a lo largo de cada una de las fases estudiadas.

2.2.1. PREPARACIÓN DE LOS INSUMOS

Como se ha observado es necesario una preparación previa de los insumos antes de la preparación del color (observe la figura 2.6).

- **Errores de masa:** Frecuentemente se presentan dificultades y errores al momento de pesar los colorantes y auxiliares en estado sólido.
- **Errores de volumen:** En la preparación de las soluciones previas para el poliéster también se cometen errores en la dosificación de auxiliares aunque estos no influyen mucho en el acabado final.

Figura 2.6 Selección y preparación de colorantes



Estos errores se deben a diversos factores, principalmente a la descalibración de los equipos de medición y a la precisión que tenga cada persona al momento de realizar las tareas de preparación. Como se necesitan preparar cantidades muchas veces extremadamente pequeñas resulta una gran dificultad para los laboratoristas alcanzar estas medidas con porcentajes de error mínimos.

2.2.2. REPRODUCCIÓN DE COLORES

Uno de las más grandes dificultades que presentan los laboratorios es la de poder reproducir con un alto grado de exactitud un color existente fuera o incluso dentro de la planta, ya que debido al proceso de dosificación en forma manual es muy difícil conseguir un color exactamente igual a otro ya existente. Una misma persona con dificultad puede realizar dos mediciones exactamente iguales. Se conoce a la capacidad que posee un laboratorista para reproducir un color con precisión como "*factor de repetitividad*", en base a este parámetro se evaluarán algunas de las dificultades que se presentan en la reproducción de colorantes.

- a) **El Factor de repetitividad varía de persona a persona:** En un laboratorio textil varias personas trabajan dosificando, aquí es donde se presentan dificultades pues si una misma persona difícilmente puede realizar dos mediciones exactamente iguales, la diferencia será mayor cuando se realicen requieran hacer mediciones de un mismo valor entre dos personas

b) **El Factor de repetitividad varía según la fibra:** Las dificultades aumentan cuando se habla de reproducir un mismo color en diferentes tipos de fibras, para poder realizar dicho proceso se debe tomar tiempo investigando cuales son los colorantes y las concentraciones adecuadas que producirán un mismo color en diferentes tipos de fibras. Los colorantes y auxiliares que se utilizan en cada tipo de fibra son diferentes así como la manera de preparación de cada uno.

Algunas de las variables directamente dependientes de la fibra que afectan en la reproducción del color son las siguientes:

- a) El acabado de la tela,
- b) Los tratamientos previos que ha recibido la tela,
- c) Las condiciones del medio: humedad, temperatura, luminosidad, etc.

Cada uno de estos factores influye en la formación del color, algunos en manera determinante como la dosificación y otros en mínimos porcentajes casi imperceptibles como la humedad y luminosidad del ambiente.

Uno de los principales problemas que se presentan en un laboratorio textil, es que los laboratoristas deben invertir tiempo realizando diversas pruebas e investigaciones para poder desarrollar un colorante de calidad, sin embargo el tiempo es limitado ya que la mayoría del tiempo se pierde realizando procesos manuales que involucran la dosificación y la preparación de materiales para el desarrollo de colorantes.

2.2.3. ERRORES EN LA DOSIFICACIÓN

Quizás la etapa más crítica es la dosificación al momento de preparar la receta, ya que de una correcta dosificación dependerá el éxito de una solución correctamente preparada. A continuación se estudiarán los dos tipos de errores más comunes que se presentan en el desarrollo de este proceso.

- **Errores humanos:** Se consideran errores humanos a todos aquellos que dependen directamente de las capacidades de la persona que realiza la dosificación. Estos varían de persona a persona, y son los que más se presentan en el proceso de desarrollo de color.
- **Errores de mantenimiento:** El correcto mantenimiento de los instrumentos de laboratorio juega un papel vital para una correcta dosificación. Aunque los errores de mantenimiento son netamente errores humanos merecen un trato especial por la importancia que cumple el mantenimiento en el desarrollo de este proceso. La mayoría de instrumentos necesitan de mantenimiento para su correcto funcionamiento. Uno de los errores más comunes se presentan en el mantenimiento de pipetas; estas necesitan ser lavadas tras cada medida que se realice, muchas veces se omite esta tarea provocando así un fallo en las medidas que se realicen tras haber omitido este paso.
- **Errores mecánicos:** Son aquellos que dependen de los instrumentos que se utilizan específicamente de las pipetas y pipeteadores, ya que algunas de ellas pueden estar mal graduadas, presentar defectos de fábrica, o con el tiempo pueden haber sufrido algún desperfecto. Muchas veces existen variaciones entre dos pipetas del mismo tipo, más aun cuando se trata de realizar una misma medición en dos pipetas de diferente volumen siempre existe por lo menos un mínimo grado de error.

2.3. DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Como se vio en la sección anterior una de las tareas más dificultosas y también una de las que mayor tiempo de trabajo abarca es la dosificación. Existen varios métodos y procesos que se aplican al momento de realizar esta tarea. Existen también muchos instrumentos que facilitan en cierto grado la tarea de dosificación. En la actualidad se han desarrollado y comercializado en el mercado de la industria textil varios sistemas que realizan el proceso de dosificación en forma automática.

En este capítulo se analizará cada uno de los instrumentos, sistemas y métodos utilizados en la actualidad para desarrollar este proceso.

Cuando se habla de sistemas de dosificación por lo general se presentan dos alternativas en cuanto al tipo de dosificación: Volumétrico y Gravimétrico. Los sistemas volumétricos realizan una medición del producto en función de su volumen, a diferencia de los sistemas gravimétricos que trabajan en función del peso o masa del producto a dosificar, cada uno presenta sus ventajas y desventajas, se analizará los sistemas mencionados para la selección del método adecuado para este proyecto.

2.3.1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA DOSIFICACIÓN EN UN LABORATORIO TEXTIL

Se conoce como instrumento a cualquier artefacto o utensilio diseñado para realizar una tarea técnica específica. Los instrumentos ayudan en cierta forma a facilitar el trabajo manual, también permiten canalizar un esfuerzo físico o mecánico realizado por un ser humano, de manera que se aproveche toda esa energía y se realice un trabajo de manera más eficiente y precisa.

Existen instrumentos diseñados específicamente para facilitar las diversas tareas que se requieren hacer en un laboratorio textil, por lo general son casi los mismos instrumentos que se utilizan en cualquier laboratorio químico, los cuales se presentan a continuación a detalle ya que se hace necesario conocer el uso y funciones que permiten realizar cada uno de ellos para el desarrollo de este proyecto, se hará énfasis en aquellos que se utilizan específicamente en el proceso de dosificación.

2.3.1.1. Clasificación de los instrumentos de laboratorio textil

Los instrumentos de laboratorio se han categorizado en base a diversos parámetros como: elemento de fabricación, por su estructura y por su uso o aplicación. Para una mejor comprensión se utilizará la clasificación según el uso de cada instrumento.

2.3.1.1.1 Material de sostén:

Son todos aquellos que permiten sostener otros materiales, entre los más conocidos se tienen los siguientes:

- Soporte universal.
- Anillo de soporte.
- Tripie.
- Rejilla de alambre.
- Triángulo de porcelana.
- Gradillas y Pinzas. (David Guzmán Díaz, 2010)

Cada uno de estos materiales ofrece funciones básicas de apoyo necesarias para otro tipo de instrumentos (observe Fig. 2.7), brindan mayor comodidad al laboratorista para operar con los instrumentos a los cuales sostienen y permiten organizar los instrumentos de una manera más versátil. Son fabricados generalmente en acero inoxidable y su función no afecta directamente el proceso de dosificación, ya que cumplen con un aspecto más bien de carácter estético.

Uno de los materiales más utilizados para el proceso de desarrollo de color en laboratorio textil es la gradilla. Se utiliza para colocar varias muestras y analizarlas.

Figura 2.7 Materiales de sostén



Fuente: (David Guzmán Díaz, 2010)

2.3.1.1.2 Material recipiente:

Se considera instrumentos recipientes a todos aquellos que tengan la capacidad de contener sustancias en su interior. Se fabrican de acuerdo a la sustancia que se desea contener en ellos en: metal, vidrio, plástico, etc. (observe Fig. 2.8).

Aunque aparentemente estos instrumentos realizan una función bastante sencilla sus aplicaciones pueden ser bastantes amplias ya que permiten no solo contener una sustancia sino también mezclar varias de ellas, analizar compuestos, dosificar soluciones, proteger materiales sensibles a la luz o el calor; en fin existen un sinnúmero de aplicaciones para este tipo de instrumentos.

En el proceso de dosificación y preparación de colorantes se utilizan específicamente dos funciones de estos instrumentos: la primera es la de contener los colorantes y la otra es la de contener la mezcla de colorantes.

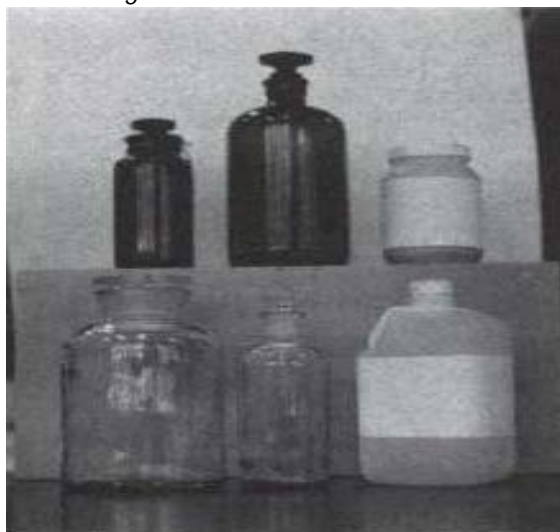
Se clasifican los materiales recipientes por la función que cada uno brinda de la siguiente manera:

Tabla 2.4 Clasificación de los recipientes de laboratorio

Tipo de recipiente	Función
<i>Frasco de Reactivo Ámbar</i>	<i>Contener sustancias que se descomponen por acción de la luz</i>
<i>Frasco de Reactivo Transparente</i>	<i>Contener sustancias</i>
<i>Frasco de reactivo de polietileno</i>	<i>Contener sustancias q atacan al vidrio (ácido fluorhídrico)</i>
<i>Matraz balón fondo plano o redondo</i>	<i>Contener sustancias temporalmente</i>

Fuente: (David Guzmán Díaz, 2010)

Figura 2.8 Frascos de reactivos



Fuente: (David Guzmán Díaz, 2010)

2.3.1.1.3 Material volumétrico

Sin duda una de las mayores tareas que tiene todo tipo de laboratorio es la dosificación ya que esta involucrada casi en todos los procesos comunes que realiza un laboratorio: la preparación de soluciones, el análisis de compuestos, controles de calidad y muchos más son procesos que requieren de esta tarea fundamental. Por esto se han desarrollado una gran cantidad de instrumentos que faciliten el desarrollo de esta tarea.

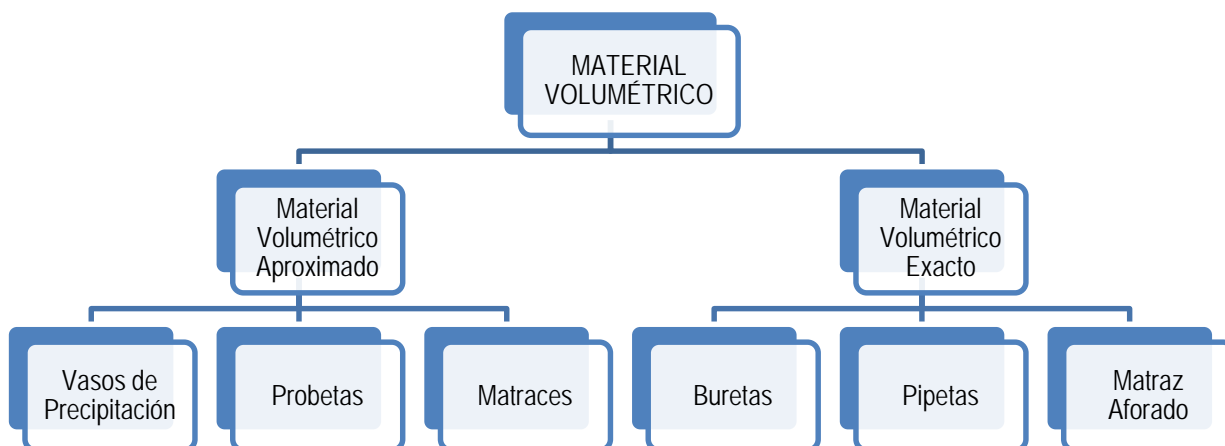
Todo aquel instrumento que permita realizar una medición de volumen de un material o compuesto determinado se conoce en laboratorio como material volumétrico, existe material volumétrico de diversos tipos, diseñados para cada función y necesidad del laboratorista. La mayoría de material volumétrico estándar se comercializa construido en vidrio.

Cada uno de ellos permiten realizar mediciones de volúmenes con un porcentaje de error bastante bajo, este error varía dependiendo del tipo de instrumento y material que se quiere medir. Es necesario tomar en cuenta además, que cada instrumento trabaja en un rango de temperatura específico, generalmente entre 20°C y 25°C, si se sobrepasa este rango la medida pierde precisión debido a que

todo material que experimenta un cambio de temperatura también sufre una ligera variación.

Los instrumentos volumétricos se clasifican según la aplicación y precisión que presentan. A continuación se presenta una clasificación general de este tipo de instrumentos:

Figura 2.9 Clasificación del material volumétrico

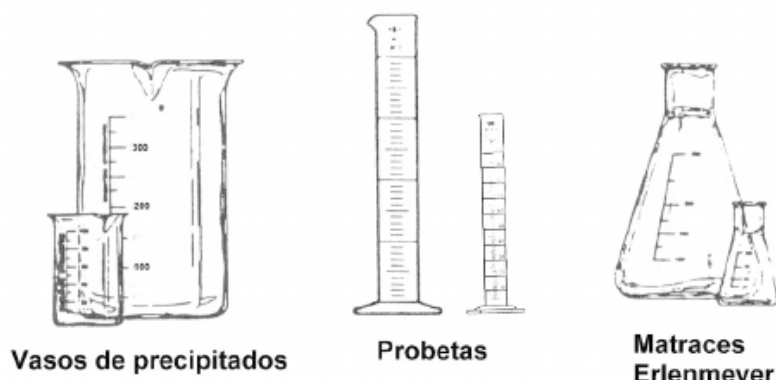


Fuente: (David Guzmán Díaz, 2010)

- **Material volumétrico aproximado:** Utilizado para medir volúmenes aproximados. (Ma. Luisa Marín García, 2004)

Este tipo de instrumentos permiten realizar una medición del volumen de un material que se encuentra contenido en ellos. Es decir, se realiza la dosificación por contención, por esto también se los puede considerar material recipiente.

Figura 2.10 Material Volumétrico Aproximado

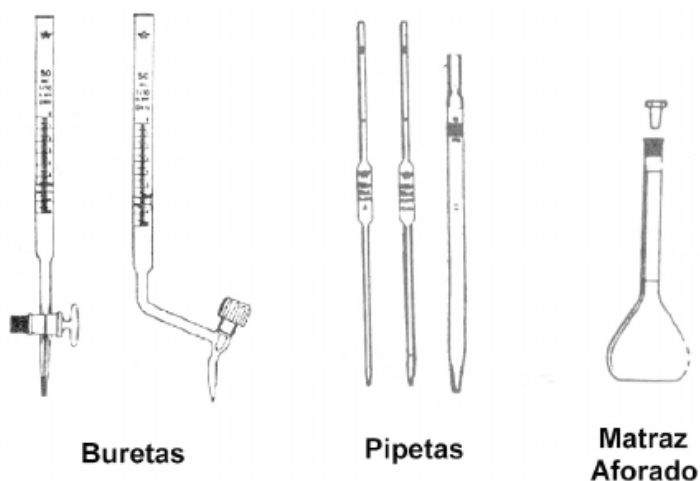


Fuente: (Ma. Luisa Marín García, 2004)

En los laboratorios textiles se utiliza mayormente las probetas en el proceso de desarrollo de color, generalmente se dosifica el agua para la preparación de colorantes y soluciones en las probetas, ya que ofrece mayor precisión que otro tipo de instrumentos volumétricos aproximados. (observe Fig. 2.10).

- **Material volumétrico exacto:** se utiliza para medir volúmenes con un margen mínimo de error este margen de error por lo general se presenta en cada instrumento y varía entre ± 0.001 y ± 0 . (observe Fig. 2.11). (Ma. Luisa Marín García, 2004)

Figura 2.11 Material Volumétrico Exacto



Fuente: (Ma. Luisa Marín García, 2004)

En este capítulo se hablará de las pipetas y matraz ya que las buretas no tienen utilidad en los laboratorios textiles:

a) Pipetas

Son el instrumento principal para realizar cualquier tarea de dosificación de líquidos con un alto grado de precisión. Las pipetas son instrumentos en forma de tubo contruidos en vidrio, tienen agujeros en sus dos extremos tanto superior como inferior. Al interior del tubo se encuentra un espacio correspondiente al volumen del líquido a dosificar. La dosificación del material solo se logra al verterlo a través de este instrumento. Existen varios tipos de pipetas y diversas aplicaciones para las mismas:

- **Pipetas graduadas:** Las pipetas graduadas tienen la forma de un tubo recto con una terminación cónica, tienen a lo largo de ellas una escala graduada en la cual se puede observar la medida que se ha vertido, las pipetas graduadas se pueden clasificar en dos:

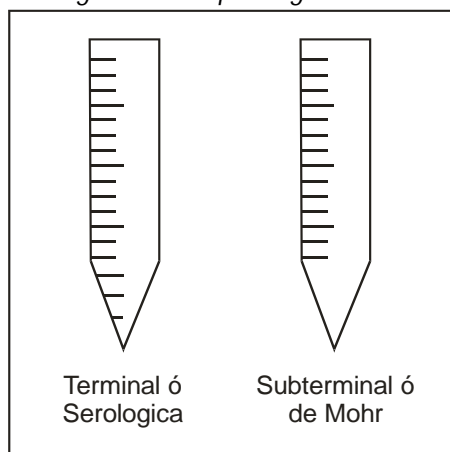
Pipetas terminales o serológicas: su graduación llega hasta la punta.

Pipetas subterminales o de Mohr: su graduación termina antes de la punta.

(The Science Learning Center of University of Michigan-Dearborn, 2012)

La graduación que presenta este tipo de pipetas es una escala en [ml]. Esta escala a su vez se encuentra dividida en décimos de [ml] (observe Fig. 2.12)

Figura 2.12 Pipetas graduadas



Fuente: (The Science Learning Center of University of Michigan-Dearborn, 2012)

- **Pipetas aforadas o volumétricas:** Este tipo de pipetas tienen la forma de un tubo con un aforo o ensachamiento en la mitad hasta el cual se deberá ingresar el líquido que se quiere dosificar (observe Fig. 2.13). Están diseñadas para medir un solo volumen fijo por lo que se consideran de mayor precisión, sin embargo una desventaja que presentan frente a otro tipo de pipetas es que solo se pueden utilizar para medir un único valor.

Figura 2.13 Pipeta aforada



Fuente: (Wacol, 2013)

Estas herramientas desarrolladas hace aproximadamente dos siglos atrás han facilitado en gran manera la tarea de dosificación y han ido evolucionando poco a poco conforme a las necesidades de cada tiempo. Por esta razón se conoce a todo este grupo de instrumentos como tradicionales, sin embargo, a medida que avanza el tiempo y la tecnología, cada uno de los procesos que involucra la utilización de estos instrumentos ha impuesto estándares de calidad más elevados, lo cual obliga al personal de los laboratorios a buscar métodos y herramientas que permitan un mayor grado de precisión en la dosificación. A continuación se presentarán varias herramientas que han sido desarrolladas con el propósito de ayudar a conseguir una mayor precisión.

2.3.1.2. Instrumentos modernos:

Algunos de ellos han sido desarrollados como material de apoyo para las herramientas tradicionales, es decir para mejorar su precisión, otros han sido desarrollados con el concepto de evolución, es decir que pretenden reemplazar a los instrumentos tradicionales. Sin embargo, aunque muchos de ellos han brindado adelantos muy significativos aún no se ha logrado reemplazar por completo a los instrumentos tradicionales.

a) Pipeteador: La pipetas fueron diseñadas desde su origen como un instrumento para dosificar con la boca ejerciendo una succión de líquido a través de la misma, sin embargo este método con el tiempo ha pasado a ser inapropiado, ya que al entrar los químicos en contacto con la boca, existen claros riesgos para la salud del laboratorista.

Un pipeteador es un instrumento de apoyo que se utilizan con las pipetas para poder ejercer una succión sin tener que utilizar la boca. Existen de dos tipos y su función consiste básicamente en crear un vacío través de la pipeta mediante una fuerza física, la cual permita que el líquido se dosifique en la pipeta.

- **Pipeteador de balón**

Figura 2.14 Pipeteador de balón



Fuente: (Pelaeus, 2011)

El pipeteador de balón consiste en una esfera hueca de caucho que actúa como un diafragma, este permite crear un vacío al presionarla. En el inferior de la misma posee un orificio con una prolongación en forma de tubo por donde ingresa y sale el aire, en este se ingresa la pipeta a presión. Al relajar el balón se crea en la pipeta un vacío lo cual permite que el líquido ingrese en la misma por la presión diferencial, de manera que podemos controlar el volumen que ingresa en la misma al relajar o presionar el balón.

- **Pipeteador de émbolo**

Figura 2.15 Pipeteador de émbolo



Fuente: (Profillite, 2014)

Este pipeteador posee un mecanismo mucho más preciso mediante el cual se puede controlar el volumen que ingresa en la pipeta. Está constituido por: un émbolo con una cremallera incorporada, este es el componente que se encarga de generar el vacío en la pipeta, en la parte superior posee una rueda la cual mediante un engranaje permite regular manualmente la carrera y el retroceso del émbolo controlando así el volumen que ingresa en la pipeta.

Se han diseñado pipeteadores de émbolo para cada tipo de pipeta, de manera que cada uno tenga regulado en su interior el volumen exacto que contendrá la pipeta. En la figura 2.15 el pipeteador azul está regulado para una pipeta de 2 [ml], el verde para 10 [ml]. Y el rojo para 25 [ml].

- **Pipeteadores mecánicos:**

Figura 2.16 Pipeteador electromecánico



Fuente: (Integra, 2014)

Los pipeteadores mecánicos se consideran equipos semiautomáticos, ya que por una parte la función de dosificación se realiza a través de un actuador electromecánico que se encarga de generar un vacío controlado. Algunos de estos dispositivos permiten incluso controlar la velocidad de ingreso y salida del líquido en la pipeta, sin embargo aún es necesario de varias destrezas humanas para poder realizar el control de este dispositivo como son: la visión, este sentido es indispensable ya que es el laboratorista es quien observa el valor en la pipeta y ordena manualmente que el dispositivo se detenga. Además de la visión otra de las destrezas humanas que son necesarias es el pulso, pues el laboratorista debe presionar o relajar los botones que ejecutan la función de llenado de la pipeta.

Existen varios modelos de pipeteadores mecánicos, de tipo eléctrico y electrónico. Los de tipo eléctrico utilizan un control simple mediante un actuador electromecánico, que puede ser un motor a pasos o un motor DC. Los de tipo electrónico poseen un controlador integrado que permite variar la velocidad del actuador que regula el llenado de la pipeta.

b) Micropipetas:*Figura 2.17 Micropipeta*

Fuente: (Galiza Analítica, 2014)

Las micropipetas han sido diseñadas para poder dosificar volúmenes extremadamente pequeños que pueden variar desde los 0.1 [μL] hasta 1000 [μL]. Su principio de funcionamiento es el mismo que los pipeteadores de embolo, generar vacío a través de una cavidad extremadamente minúscula que contiene un volumen igual al que se quiere dosificar. Este tipo de instrumentos no se utiliza con las pipetas tradicionales, en su lugar posee una punta de plástico en la cual se dosifica el líquido, esta punta es desechable y solo permite realizar una dosificación luego de la cual debe ser reemplazada.

Su aplicación se encuentra más restringida a laboratorios de biología molecular y microbiología en donde se necesita trabajar con volúmenes y concentraciones extremadamente pequeños y se requiere de mayor precisión.

2.3.2. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN

Ya que se ha observado la importancia de la dosificación en los laboratorios y sobre todo en la industria textil, se han desarrollado varios sistemas con el propósito de automatizar dicho proceso. En el mercado de la industria textil existen varios

sistemas comerciales desarrollados para agilizar varias funciones y ganar tiempo y precisión garantizando la calidad del proceso.

Se mencionarán algunos de los sistemas que se utilizan en laboratorios textiles y las funciones que realizan para tener una idea general del proyecto y lo que se pretende alcanzar mediante el mismo.

2.3.2.1. Autolab TF de Datacolor

Datacolor es una reconocida empresa líder en el desarrollo, producción y comercialización de maquinaria para laboratorios textiles. Se ha dedicado exclusivamente al desarrollo de sistemas con aplicación en el campo de investigación, desarrollo y control de calidad de color en laboratorios textiles.

Dentro de las diferentes gamas de productos que posee Datacolor, se ha desarrollado la serie de productos Autolab la cual produce sistemas enfocados en la dosificación y preparación de colorantes. Se hará mención del último sistema desarrollado con este propósito para conocer sus características generales.

Figura 2.18 Autolab TF-128



Fuente: (Datacolor, 2014)

El laboratorio de color donde la precisión y la repetitividad de velocidad son el enfoque principal.

Características

- *Tubo libre de diseño (no sedimentación); ninguna limpieza necesaria*
- *Dispensación gravimétrica: todos los productos pesados, dando completa trazabilidad*
- *No hay necesidad de calibrar los inyectores de soluciones de tinte, mecanismo robótico XYZ: rápido, funcionamiento fiable y preciso*
- *Agitación durante la dispensación para garantizar la estabilidad continua de soluciones*
- *Puede dispensar una amplia gama de líquidos de diferente viscosidad, para una amplia gama de aplicaciones de escape y teñido continuo, impresión textil, revestimiento de suelos, etc.*
- *Dispensación de agua y productos químicos en más de un recipiente simultáneamente*

(Datacolor, 2014)

Tabla 2.5 Ventajas y desventajas del sistema autolab TF

VENTAJAS	DESVANTAJAS
Es una estación de trabajo completamente automatizada, desplaza totalmente las tareas manuales.	Su sistema de trabajo y preparación es diferente al sistema convencional utilizado en las industrias Nacionales.
Alta precisión de dosificación, el sistema posee un rango de precisión ± 0.01 [ml].	Su costo oscila entre los 75.000 y 100.000 USD (no se justifica un costo demasiado alto para la producción nacional)
Preparación completa de recetas de color, el sistema selecciona, dosifica y mezcla colorantes de forma automática.	Solo se puede utilizar con colorantes en estado líquido.
El sistema posee un inyector por cada botella para evitar la mezcla entre colorantes en cada dosificación	Posee un número determinado de botellas que se adquieren como parte del sistema. No se puede aumentar ni disminuir las botellas, ni tampoco utilizar otras botellas que no hayan sido suministradas con el sistema.
Posee un dispositivo dispensador robótico.	Necesita un suministro de aire comprimido (compresor) e instalaciones neumáticas
No necesita mantenimiento.	El sistema tiene un consumo elevado de potencia eléctrica.

Posee un dispensador automático de agua y agitadores por cada botella para evitar la sedimentación de materiales.	Únicamente personal especializado (generalmente técnicos extranjeros) pueden realizar operaciones de mantenimiento y reparación lo cual representa mayores gastos.
Software de control: interfaz gráfica de fácil comprensión	En pocas ocasiones el software presenta inconsistencias o errores que pueden alterar totalmente el desarrollo del proceso.

Fuente: (Datacolor, 2014)

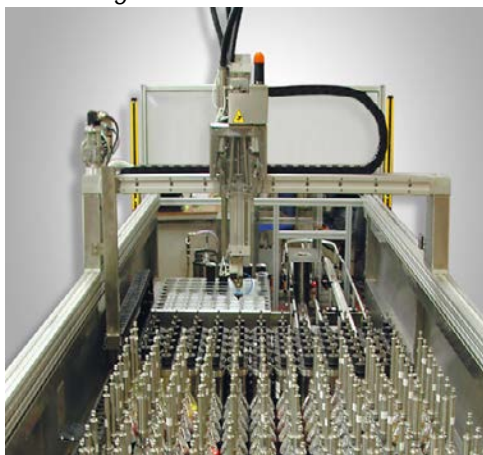
Autolab TF es una estación de trabajo completo, versátil y dinámica que tiene la capacidad de preparar recetas automáticamente, puede realizar dosificaciones de volúmenes bastante precisas, además puede seleccionar y mezclar los colorantes según se le ordene de manera que desplaza totalmente el trabajo manual, y el laboratorista pasa a cumplir un rol netamente operativo.

2.3.2.2. Dosorama WS de Tecnorama

Tecnorama desarrolla y produce máquinas automáticas para la disolución y dispensación de materias colorantes líquidos / sólidos y productos químicos para el laboratorio y la producción a granel. (Tecnorama, 2014)

Tecnorama es una empresa que se ha dedicado exclusivamente al proceso de dosificación en el desarrollo de color para la industria textil. A lo largo de su trayectoria como empresa ha desarrollado múltiples equipos para el desarrollo de esta tarea. Se revisará la última serie producida de este tipo de sistemas para evaluar sus beneficios y sus desventajas.

Figura 2.19 Dosorama WS



Fuente: (Tecnorama, 2014)

Este sistema es capaz de dispensar tanto el polvo como colorantes líquidos y productos químicos con una precisión de $\pm 0,002$ [g].

DOSORAMA WS es capaz de preparar automáticamente las soluciones de los productos líquidos y sólidos que esperan en la mesa de la máquina. Las botellas con tintes o productos químicos caducados o soluciones utilizadas son reemplazadas automáticamente con nuevas soluciones sin la intervención del operador manual. Un dispositivo opcional disponible es una estación de disolución que disuelve colorantes y productos químicos con la entrega automática de estas soluciones a las máquinas de teñido u otros usuarios donde se requiere micro-dispensación con una alta precisión en la fórmula. (Tecnorama, 2014)

Tabla 2.6 Ventajas y desventajas del sistema Dosorama WS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es una estación bastante grande y versátil totalmente automatizada.	El tamaño del sistema es demasiado grande para los laboratorios existentes en las industrias nacionales y no justifica la producción.
Posee una gran velocidad de trabajo, puede preparar hasta 10 muestras simultáneamente.	Su costo es aún mucho más alto que otros sistemas oscila entre los 100.000 y 150.000 USD (no se justifica su compra para la producción en las industrias nacionales).
Realiza el proceso completo de preparación de recetas de colores desde la preparación de los insumos hasta la mezcla de colorantes para la solución de color final.	Tiene un alto consumo de energía eléctrica

Puede trabajar con colorantes tanto en estado sólido como en estado líquido.	Debido a que el sistema trabaja con materiales en estado disperso se pueden generar taponamientos en los conductos y sedimentación de materiales.
Alta precisión de dosificación; tiene una precisión de hasta $\pm 0,002$ [g].	Es indispensable un suministro de aire comprimido e instalaciones neumáticas para su correcto funcionamiento.
Puede realizar procesos de preparación en los que se requiere de temperaturas elevadas sin que la expansión volumétrica de los materiales debida al aumento de temperatura afecte en el proceso de dosificación.	En caso de que se presente algún fallo, requiere de tareas de mantenimiento especializado que solo pueden ser realizadas por personal capacitado.
Dispensación automática de agua	El sistema solo puede ser operado por personal capacitado.
Posee un dispositivo dispensador robótico	Sus repuestos tienen un costo elevado y necesitan ser importados
El sistema reemplaza automáticamente los productos caducados o dañados	Su campo de trabajo no se encuentra aislado a diferencia de otros sistemas, por lo cual puede ser afectado por el polvo y partículas presentes en el aire
Incluye un inyector de alta precisión por cada botella	Su sistema de trabajo es diferente al sistema empleado en las industrias nacionales.
Las tareas de mantenimiento son mínimas	Se requiere de un gran espacio físico diseñado exclusivamente para la instalación del sistema

Actualmente ningún laboratorio textil en el país cuenta con un sistema de este tipo para el proceso de desarrollo de color, sin embargo con el continuo crecimiento de la industria nacional, cada vez son más las necesidades y dificultades que se presentan en el desarrollo del proceso y por ende también cada vez aumentan más los estándares de calidad y precisión con los que se debe cumplir.

CAPITULO III

3. DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

La necesidad de automatizar el proceso de dosificación nace hace mucho tiempo atrás. Como ya se ha observado en los capítulos anteriores, existen ya en el mercado sistemas desarrollados con ese propósito, sin embargo pese a la versatilidad que ofrecen estos equipos aún no existe en el mercado un sistema que se ajuste a las necesidades de la industria textil nacional y cuyo valor de compra justifique el volumen de producción de la misma. En el presente capítulo se ha propuesto el diseño y construcción de un sistema de dosificación que se ajuste tanto a los requerimientos técnicos de producción, como a la economía de las empresas textiles nacionales.

La fábrica textil Indutexma trabaja en su mayoría con fibras de algodón y poliéster, por lo cual el sistema propuesto se diseñará exclusivamente para trabajar con estos dos tipos de fibras. Cabe resaltar también que las restricciones y límites que se aplicarán en el mismo estarán dadas por el sistema de producción y las necesidades requeridas exclusivamente este lugar

3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA:

El sistema propuesto en este proyecto tiene como finalidad agilizar el proceso de reproducción de muestras de colorantes en el laboratorio textil de la fábrica Indutexma. Una vez que se han observado con detenimiento las necesidades y complicaciones que se presentan en el desarrollo de este proceso, se han establecido los parámetros con los que el sistema propuesto deberá cumplir. A continuación se enumeran cada una de las características que deberá tener presente el sistema propuesto:

- Precisión de dosificación de 90%
- Dispensación automática.
- Contar con la cantidad de botellas igual al mínimo de colorantes requeridos para la preparación de recetas para muestras de algodón y poliéster (15 mínimo para poliéster y 20 mínimo para algodón).

- Optimizar el tiempo de preparación de muestras.
- Ergonomía para el operador.

A continuación se presenta paso a paso el diseño mecánico desarrollado para la estructura de la máquina.

Para un mejor entendimiento del diseño mecánico se ha dividido en sistema propuesto en tres partes:

- Estructura de Soporte
- Mecanismo de Transmisión para el Movimiento del Dosificador
- Dosificador

3.2. ESTRUCTURA DE SOPORTE

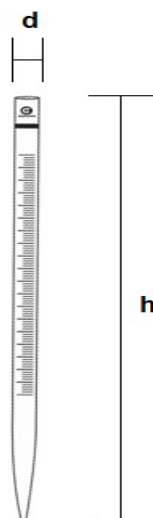
La estructura de soporte comprende el armazón principal de la máquina y cumplirá con la función de brindar apoyo al dosificador, tanto como a los mecanismos de transmisión para el dosificador.

Para el diseño de la estructura se tomarán en cuenta las dimensiones de las botellas para colorantes y de las pipetas, ya que estas herramientas estarán incorporadas en el sistema, de manera que el diseño propuesto deberá tener la capacidad de trabajar conjuntamente con las mismas sin que se presente ninguna inconsistencia.

- **Dimensiones de la pipeta**

Se utilizará como referencia los valores correspondientes a las dimensiones máximas de una pipeta:

Figura 3.1 Dimensiones de una pipeta



$d = 10 \text{ mm}$

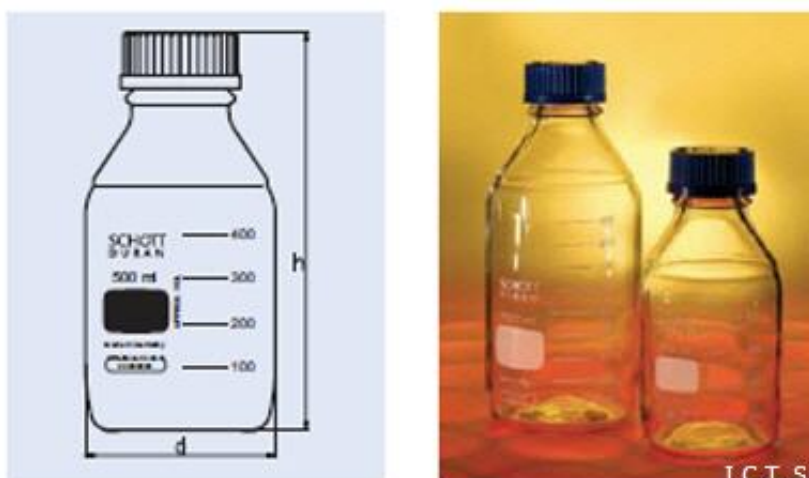
$h = 350 \text{ mm}$

- **Dimensiones de los frascos para colorantes**

Los frascos que se utilizan en el laboratorio de la fábrica textil Indutexma para almacenar soluciones son los siguientes:

Frascos para laboratorio con rosca DIN, ISO 4796, vidrio SCHOTT DURAN Con tapa roscada y anillo de vertido de PP (azul).

Figura 3.2 Dimensiones frasco Schott Duran



Fuente: (ICTSL, 2014)

Tabla 3.1 Dimensiones según capacidad de frascos Schott Duran

Capacidad [mL]	Rosca GL	Diámetro [mm]	Altura [mm]
100 *	45	56	105
250 *	45	70	143
1 000 *	45	101	230

Fuente: (ICTSL, 2014)

Para optimizar el espacio en el diseño se han seleccionado los frascos de 100 ml para almacenar los colorantes y auxiliares.

Una vez que se han dado conocer estas dimensiones (Tabla 3.1), se han desarrollado dos propuestas para el diseño de la estructura a continuación se exponen las ventajas y desventajas de cada una de ellas para su posterior selección.

- **Selección del material de construcción**

Para seleccionar el material de construcción de la estructura de soporte es necesario considerar todas las necesidades y requerimientos del sistema y evaluar todas las ventajas y desventajas propias de cada material a considerar; entre los requerimientos importantes del sistema se debe considerar la rigidez, peso, resistencia a la corrosión, y el costo del material.

Rigidez: La estructura de soporte de la máquina estará sometida a fuerzas dinámicas producidas por el movimiento de cada motor, tomando en cuenta que cada motor tiene una fuerza máxima de 700 g-cm (0,06864655 N-m) se requiere un material y un ensamble que no se deforme y se mantenga estable ante la aplicación de estas fuerzas.

Peso: La estructura de la máquina necesita ser liviana para su movilidad y su estabilidad.

Resistencia a la corrosión: Esta una de las principales características a tomar en cuenta ya que muchos de los productos que se usarán en la dosificación son

altamente corrosivos por lo cual se requiere que la estructura mecánica del sistema brinde una resistencia a la corrosión.

Costo: Uno de los objetivos principales del proyecto es desarrollar un sistema que permita automatizar la tarea de dosificación al menor costo posible.

A continuación se muestra una tabla comparativa en donde se muestran algunas propiedades de materiales a considerar como material de construcción.

Tabla 3.2 Cuadro comparativo de los materiales a tomar en cuenta

Material	Resistencia a la fluencia	Dureza	Resistencia a la Corrosión	Maquinabilidad	Peso	Costo
Acero	300 Mpa a 600 Mpa dependiendo del tipo	250 HB	Alta sobre todo en aceros inoxidable	se requiere herramienta y procesos especializados para su maquinabilidad	7858 kg/m ³	Alto
Aluminio	27.5 a Mpa a 100 Mpa	20 HB	Alta	fácil de maquinar	2710 kg/m³	Bajo
Latón	117 Mpa a 340Mpa	120 HB	baja	fácil de maquinar	8500 kg/m ³	Bajo
Polímeros (Plásticos)	7Mpa a 150 Mpa	10 HB	Media y alta dependiendo del tipo de polímero	fácil de maquinar	1190 kg/m ³	Medio

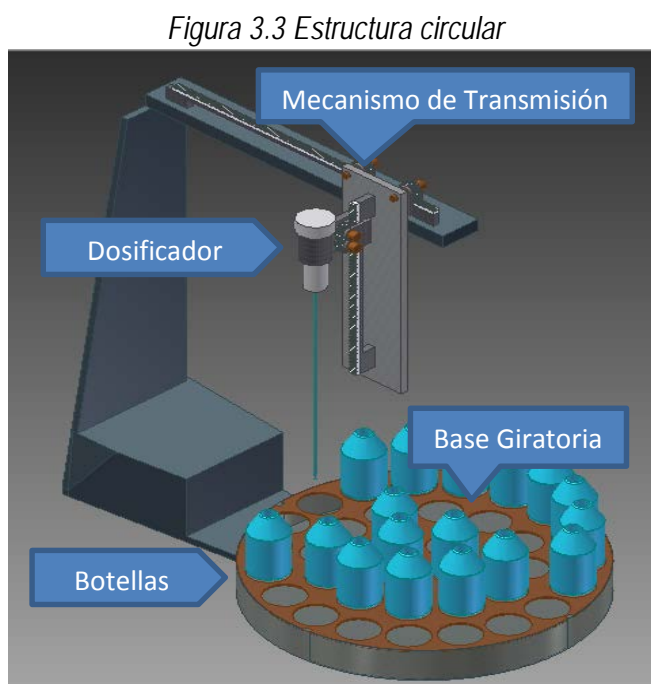
Fuente: (Mott, 2000)

Una vez analizados las características de los materiales considerados en base a las necesidades requeridas por el sistema se puede considerar dos materiales como los más adecuados para el desarrollo del diseño mecánico del sistema estos dos materiales son el aluminio y el polímero. Considerando que los polímeros resistentes a la corrosión son costosos se optará por seleccionar el aluminio como material de construcción.

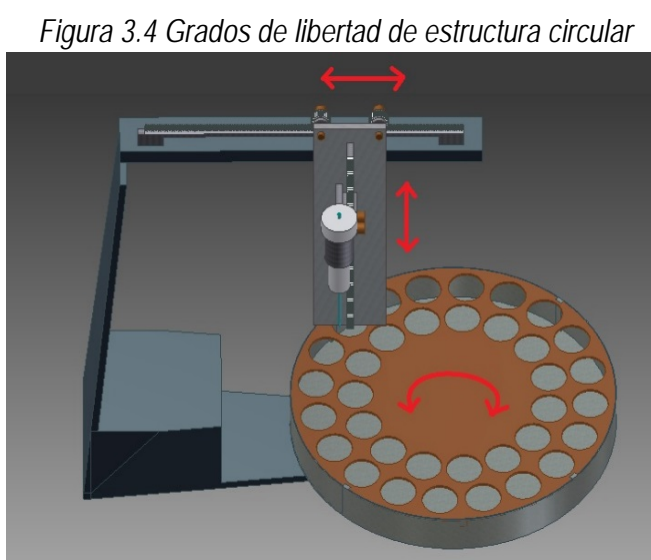
3.2.1. PROPUESTA 1: ESTRUCTURA CIRCULAR

El diseño de estructura circular presenta una base circular giratoria en donde se colocan todas las botellas que contendrán las soluciones de colorantes y auxiliares, sobre la misma se encuentra el dosificador y todo el sistema de transmisión (tal

como se muestra en la figura 3.3) que proporciona movimiento al mismo, este sistema de transmisión cuenta con dos grados de libertad de movimiento.



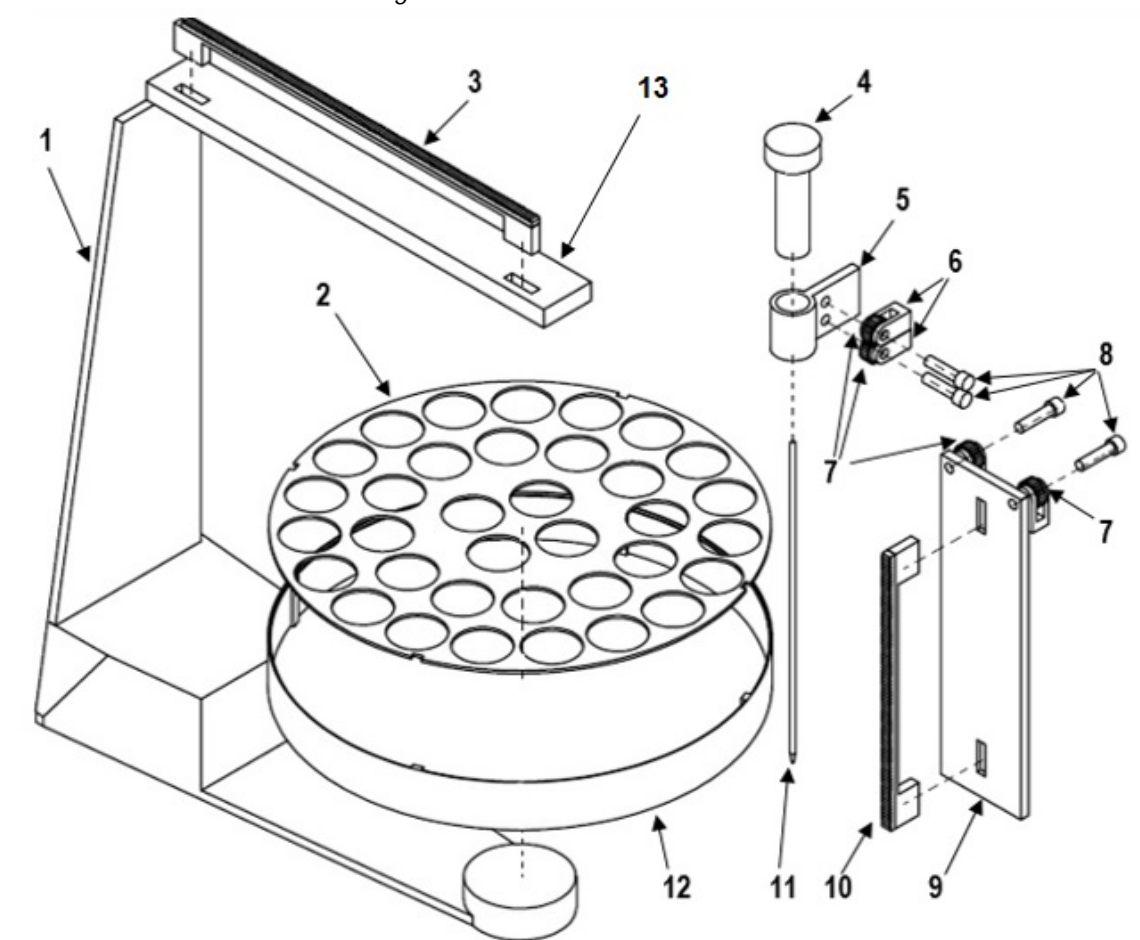
En la siguiente figura se ilustran los grados de libertad de movimiento con los que cuenta el diseño propuesto.



A continuación se muestran los planos, las dimensiones y los análisis respectivos al diseño mecánico de la estructura propuesta.

- Esquema estructura circular

Figura 3.5 Planos estructura circular

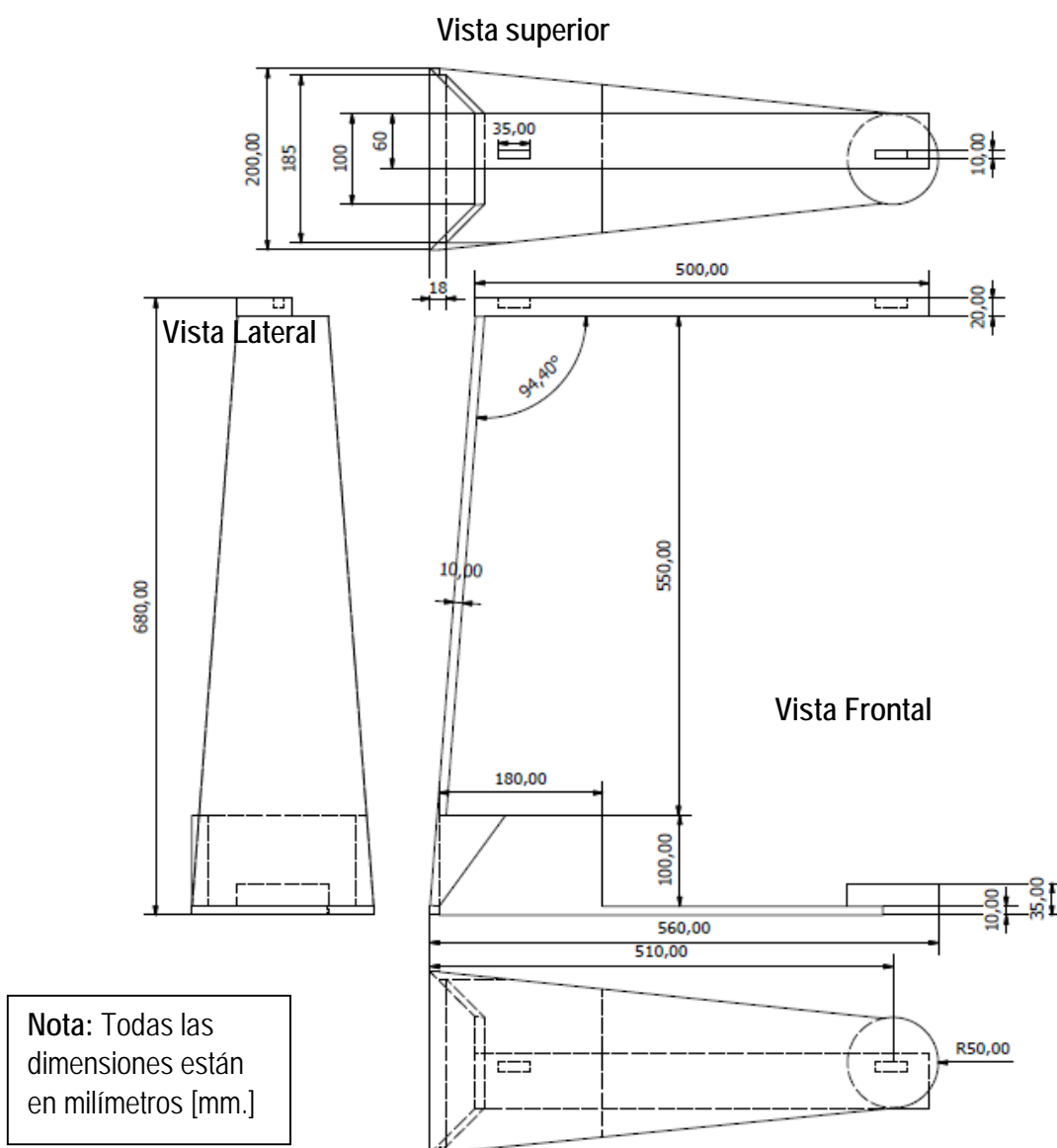


Referencia en el Plano	Elemento
1	Estructura de soporte principal
2	Tapa de la base para colorantes
3	Cremallera para el desplazamiento horizontal del dosificador
4	Dosificador
5	Soporte para el dosificador
6	Soportes para piñones de desplazamiento
7	Piñones de desplazamiento
8	Ejes para piñones de desplazamiento
9	Placa de soporte para el dosificador.
10	Cremallera para el desplazamiento vertical del dosificador
11	Pipeta
12	Base para colorantes
13	Barra superior de soporte

Es necesario determinar los elementos críticos que son aquellos que soportan cargas considerables, para realizar un estudio de los esfuerzos que se producen en los mismos, se ha considerado como elemento crítico al siguiente elemento:

3.2.1.1. Estructura de soporte principal

Figura 3.6 Estructura de soporte principal



Mediante el proceso de selección demostrado en la tabla 3.2 se ha considerado el aluminio como material de construcción para este diseño por las ventajas que ofrece tales como:

- a) Resistente a la corrosión: ya que el sistema estará en contacto agua y productos químicos como: cloruro de sodio e hidróxido de sodio los cuales son altamente corrosivos, es necesario que el material de construcción sea resistente a la corrosión.
- b) Material ligero: puede brindar un peso más ligero al sistema.
- c) Fácil de maquinar: existen en el mercado diversas formas y presentaciones de aluminio por lo cual resulta sencillo la construcción de una estructura utilizando este metal.
- d) Material económico: a diferencia de otros materiales algunas presentaciones y tipos de aluminio tienen un costo bajo.

Las propiedades físicas del aluminio que se tomarán en cuenta para el análisis de esfuerzos son las siguientes:

Aleación de aluminio forjado 1100:

- *Resistencia a la fluencia: 34 [MPa.]*
- *Densidad absoluta 2700 [Kg/m³]*

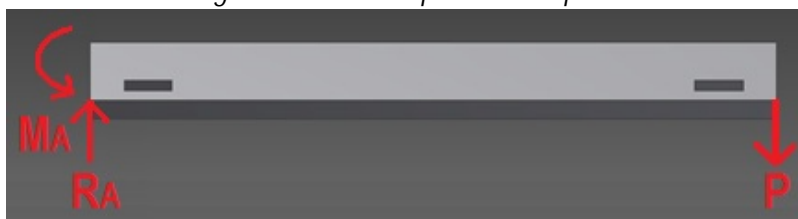
Fuente: (Mott, 2000)

A continuación se realizará un análisis de los esfuerzos soportados en la barra superior ya que la misma soporta la mayor carga del sistema.

3.2.1.1.1 Barra superior:

Esta estructura cumple con la función de brindar apoyo para el dosificador de modo que la única carga que soporta es el peso del dosificador y toda la estructura de apoyo para el mismo, esta barra tiene un solo punto de apoyo en la junta con la barra lateral, a lo largo de esta barra se desplaza el dosificador, por lo cual se realizará el análisis cuando la carga se encuentra aplicada en el punto más lejano al punto de apoyo como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 3.7 Barra Superior de Soporte



En donde F es la fuerza que ejerce el peso del dosificador y la estructura de apoyo para dosificador sobre la barra, R_A es la reacción que se ejerce en la junta y MA es el momento contrario que se produce en la junta A.

a) Análisis de carga:

Tomando en cuenta que la placa de apoyo para el dosificador tiene un volumen de $0,00035 \text{ [m}^3\text{]}$ y está construida en aluminio, se procede a calcular el peso de la misma haciendo uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.1 Peso

$$P = d \times V$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: d = densidad en kilogramos por metro cubico $[\text{kg/m}^3]$

V = Volumen en metros cúbicos $[\text{m}^3]$.

P = Peso en kilogramos $[\text{Kg}]$.

Los datos para el diseño son los siguientes:

$$d_{Al} = 2700 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$V_p = 0,0006 \text{ [m}^3\text{]}$$

Aplicando la ecuación 3.1 se tiene:

$$P = 2700 \times 0.0006$$

$$P = 1.62 \text{ [kg]}$$

A este peso se sumará el peso del dosificador y todos los elementos que constituyen la estructura de apoyo para el dosificador por lo tanto se estimará un peso de 2.5 [Kgf] equivalente a 24,5 [N] como la carga total que soporta la barra superior.

b) Cálculo de reacciones y momentos

Aplicando sumatoria de fuerzas en cada eje de referencia y se tiene:

$$\begin{aligned}\sum Fy &= 0 \\ R_A - 24.5 &= 0 \\ R_A &= 24.5 \text{ [N]}\end{aligned}$$

En donde: R_A = Reacción en el punto A en Newtons. [N].

Para obtener el momento flector aplicamos la siguiente ecuación:

Ecuación 3.2 Momento flector

$$M = F \times d$$

En donde: F = Fuerza aplicada en Newtons [N].

d = Distancia desde el punto de aplicación de la fuerza al apoyo en metros [m].

M = Momento flector en Newton-metros [Nm].

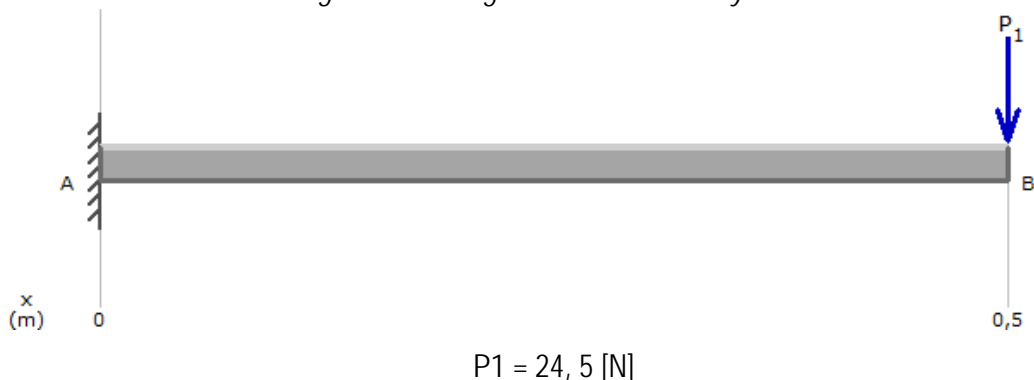
Aplicando la ecuación 3.2 se tiene:

$$\begin{aligned}M &= 24.5 \times 0.5 \\ M &= 12.25 \text{ [Nm]}\end{aligned}$$

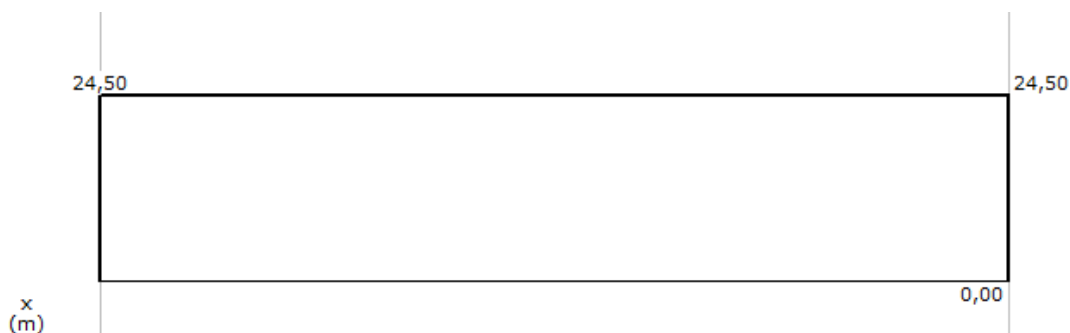
A continuación se observa el diagrama de cuerpo libre de la distribución de las cargas y reacciones en la barra:

c) Diagrama de cargas

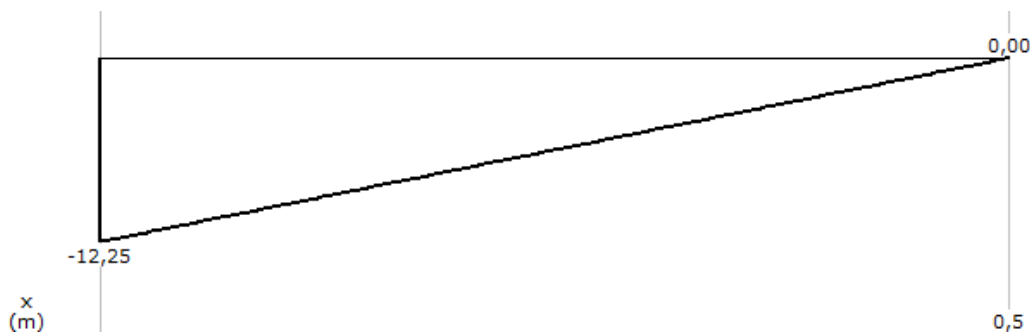
Diagrama 3.1 Diagrama de Momentos y Cortes



d) Diagrama de cortes



e) Diagrama de momentos



Se observa en los diagramas que el punto crítico es el punto de apoyo A, por lo tanto se realizarán los análisis de esfuerzos con respecto a dicho punto.

f) Análisis de esfuerzos

Se debe tener en cuenta que la carga aplicada en el extremo de la barra está produciendo un momento flector con respecto al apoyo A, además como la carga está aplicada en una de las esquinas de la barra produce un también un momento torsor.

g) Esfuerzo por flexión

Ecuación 3.3 Esfuerzo normal por flexión

$$T_x = \frac{M_A}{s}$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: M_A = Momento flector con respecto al punto de apoyo A en [Nm].

s = Modulo de sección en metros cúbicos [m³].

T_x = Esfuerzo normal por flexión en Pascales [Pa].

Ahora se procede a calcular el parámetro s , módulo de sección para la barra seleccionada haciendo uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.4 Módulo de sección para una sección rectangular.

$$s = \frac{b \times h^2}{6}$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: b = longitud de la base de la sección rectangular de la barra de soporte en metros [m].

h = longitud de altura de la sección rectangular de la barra de soporte en metros [m].

Los datos para la barra seleccionada son los siguientes:

$$b = 0.06 \text{ [m].}$$

$$h = 0.02 \text{ [m].}$$

Aplicando la ecuación 3.4 se tiene:

$$s = (0.06 \times 0.02^2) / 6$$

$$s = 0.000004 \text{ [m}^3\text{].}$$

Una vez obtenidos estos datos procedemos a calcular el esfuerzo normal por flexión utilizando la ecuación 3.3:

$$T = 12.25 / 0.000004$$

$$T = 3.063 \times 10^6 \text{ [Pa].}$$

h) Esfuerzos por torsión.

Para calcular los esfuerzos por torsión se hará uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.5 Esfuerzo normal por torsión.

$$Z = \frac{T \times r}{J}$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: T = Momento torsor en Newton-metro [Nm].

r = Distancia desde el centro de gravedad de la barra en metros [m].

J= Momento de Inercia respecto al eje neutro [m⁴].

Z = Esfuerzo normal por flexión en Pascales [Pa].

Se procede al cálculo de T mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3.6 Momento torsor.

$$T = F \times r$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: T = Momento torsor en newton-metro [Nm].

F= Fuerza aplicada en Nétwtons [N]

r = Distancia desde el centro de gravedad de la barra en metros [m].

Para la propuesta del diseño el valor de r es: 0.03[m].

Aplicando la ecuación 3.6 se tiene:

$$T=24.5 \times 0.03$$

$$T= 0.735[\text{Nm}].$$

Para calcular el momento de inercia respecto al eje neutro se hará uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.7 Momento de inercia respecto al eje neutro

$$J = \frac{b \times h^3}{12}$$

Fuente: (Mott, 2000)

Aplicando la ecuación 3.7 se tiene:

$$J=(0.06 \times 0.02^3)/12$$

$$J=4 \times 10^{-8}[\text{m}^4]$$

Una vez obtenidos todos estos datos se procede a calcular el esfuerzo normal por torsión utilizando la fórmula 3.5:

$$Z=(0.735 \times 0.03) / 4 \times 10^{-8}$$

$$Z=5.513 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

i) Factor de seguridad

Una vez que se han determinado los esfuerzos en los puntos críticos se procederá al cálculo del factor de seguridad, para lo cual se aplicará el teorema de Von Misses o de energía de distorsión, ya que el material de construcción aluminio es un material dúctil. El teorema de Von Misses expresa lo siguiente:

Ecuación 3.8 Teorema de esfuerzo de Von Misses

$$T' = (T_x^2 - T_x * T_y + 3 \times Z_{xy})^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: T' = Esfuerzo de Von Misses en pascales [Pa]

T_x = Esfuerzo normal por flexión en el eje x en pascales [Pa]

T_y = Esfuerzo normal por flexión en el eje y en pascales [Pa].

Z_{xy} = Esfuerzo cortante por torsión en el plano xy en pascales [Pa].

Aplicando los esfuerzos calculados al teorema de Von Misses tenemos:

$$T_x = 3.063 \times 10^6 \text{ [Pa].}$$

$$Z_{xy} = 5.513 \times 10^5 \text{ [Pa].}$$

$$T_y = 0 \text{ [Pa].}$$

$$T' = ((3.063 \times 10^6)^2 + 3 \times (5.513 \times 10^5)^2)^{1/2}$$

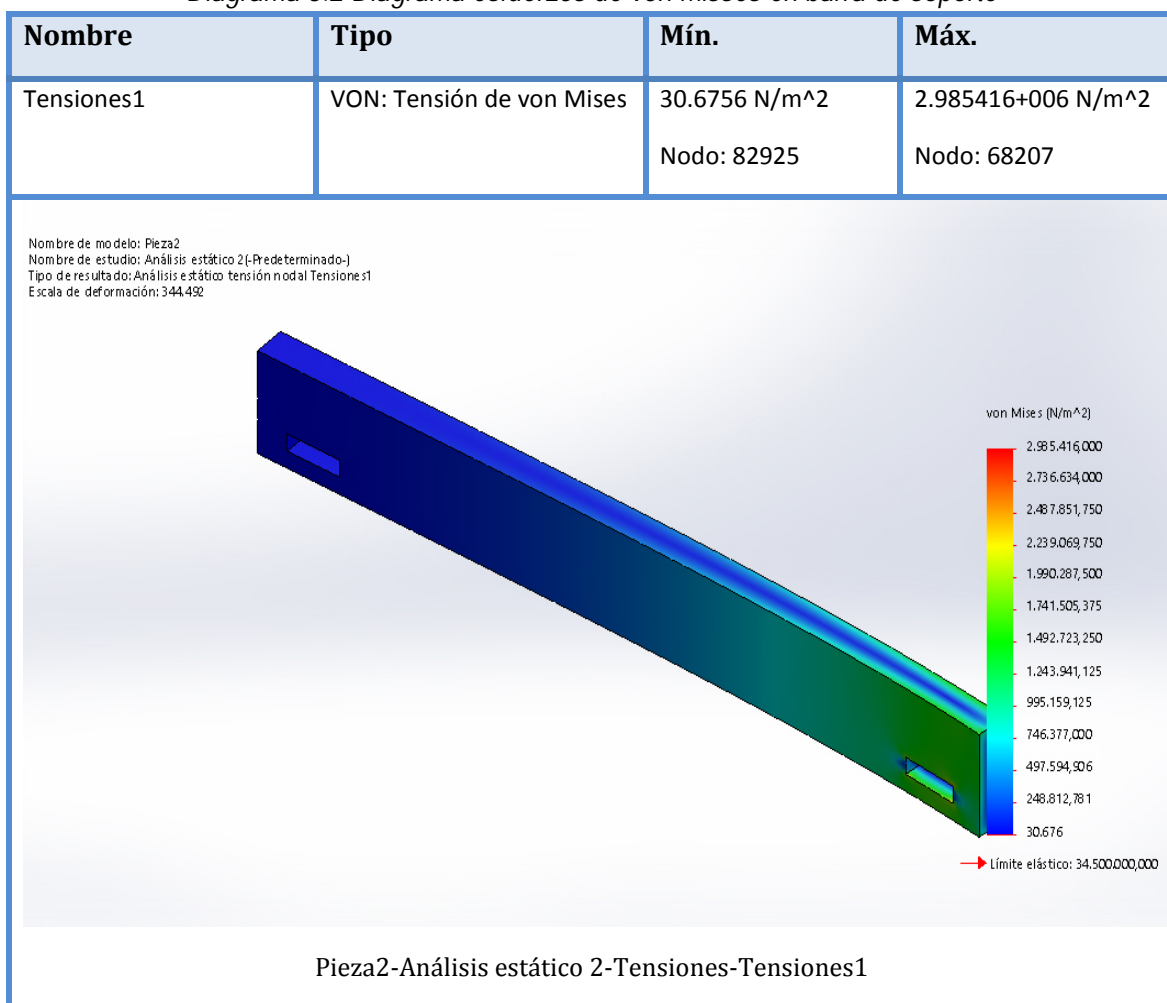
$$T' = 3.208 \times 10^6 \text{ [Pa].}$$

A continuación se muestra un informe del análisis de elementos finitos de la pieza realizado en el software SolidWorks para validar los resultados obtenidos teóricamente:

j) Análisis de Von Mises por elementos finitos en SolidWorks

Este software nos permite realizar una simulación y análisis detallado de cómo reaccionará el diseño mecánico propuesto ante la aplicación de las fuerzas que deberá soportar el sistema, a continuación se detallan los parámetros que se obtuvieron en la simulación realizada:

Diagrama 3.2 Diagrama esfuerzos de von mises en barra de soporte



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 160	0.145192 mm Nodo: 1836

Se observa que el máximo esfuerzo de von Mises obtenido mediante simulación en Solid Woks es de 2.985 [Mpa] lo cual se aproxima bastante al valor obtenido

teóricamente 3.2 [Mpa] se debe tomar en cuenta que este valor obtenido mediante simulación incrementa también dependiendo de la finura de la malla.

Una vez validados estos datos se procede a calcular el factor de seguridad de la estructura de soporte del diseño.

El cálculo del factor de seguridad según el teorema de Von Misses está dado por la siguiente fórmula:

Ecuación 3.9 Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{T'}$$

Fuente: (Mott, 2000)

En donde: n = Factor de seguridad.

S_y = Resistencia a la fluencia en pascales [Pa].

T' = Esfuerzo de Von Misses en pascales [Pa]

A continuación se procede a calcular el factor de seguridad correspondiente al diseño propuesto. Se deberá tomar en cuenta que el material de construcción es aluminio forjado 1100 cuya resistencia a la fluencia es: $S_y = 34$ [Mpa].

$$n = 34 \times 10^6 / 3.208 \times 10^6$$

$$n = 10.599$$

Finalmente se obtiene el factor de seguridad equivalente 10,6 para la barra de soporte superior.

Una vez que se ha obtenido este resultado se puede concluir lo siguiente:

- El diseño es lo suficientemente seguro. Sin embargo, a juzgar por el elevado valor del factor de seguridad obtenido, se estaría recurriendo a un desperdicio de material.
- El material de construcción tiene una resistencia a la fluencia lo suficientemente alta como para considerar un replanteamiento del diseño que no incurra en un desperdicio de material.

- Se podría considerar un cambio del material de construcción por un material con una menor resistencia a la fluencia.

En la siguiente tabla se presentan las ventajas y desventajas más notables de este diseño:

Tabla 3.3 Ventajas y desventajas de la estructura circular

Ventajas	Desventajas
El sistema cuenta con 3 grados de libertad: Movimiento lineal: x, y, Rotación.	Las piezas presentan un diseño complejo lo cual implica mayores gastos de fabricación.
Se requiere menos tiempo para el posicionamiento debido a que los espacios son más reducidos.	El movimiento de la base giratoria implica el uso de un motor de alta potencia para que se pueda movilizar todo el peso de los colorantes, lo cual también implica un mayor desgaste de la base por la fuerza de rozamiento.
Se optimiza la distribución del espacio.	El uso de un motor de alta potencia también requiere un alto consumo de energía
	La base de colorantes soporta un gran peso y está ubicada en único punto de apoyo lo cual implica un mayor desgaste de las piezas que se encuentran en el punto de rotación.
	La estructura de soporte está diseñada en una sola pieza para lo cual se requiere que el material de fabricación sea lo suficientemente resistente, de igual manera el proceso de fabricación de la misma se dificulta y resulta más costoso.

3.2.2. PROPUESTA 2: ESTRUCTURA RECTANGULAR

Este diseño concentra toda la movilidad en el dosificador brindándole tres grados de libertad (véase la figura 3.8). Posee una base para botellas de colorantes estática, a diferencia del anterior diseño, esta base tiene una geometría rectangular tal como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 3.8 Estructura rectangular

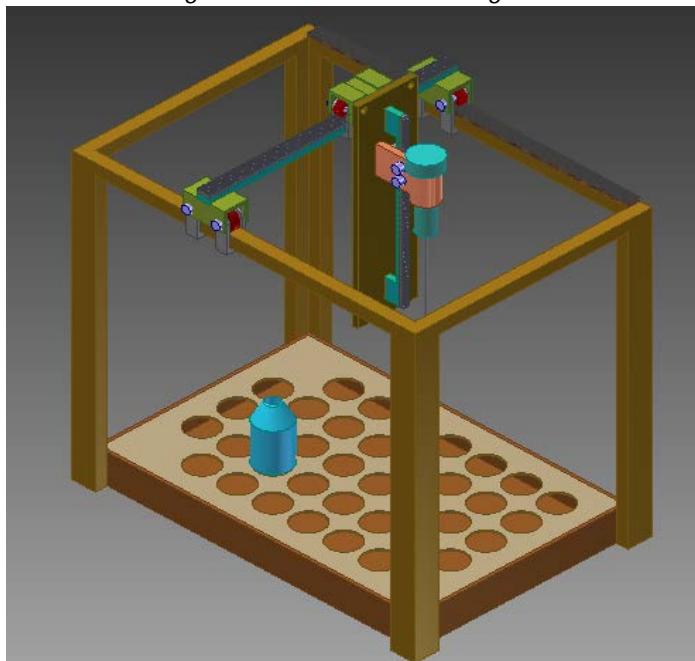
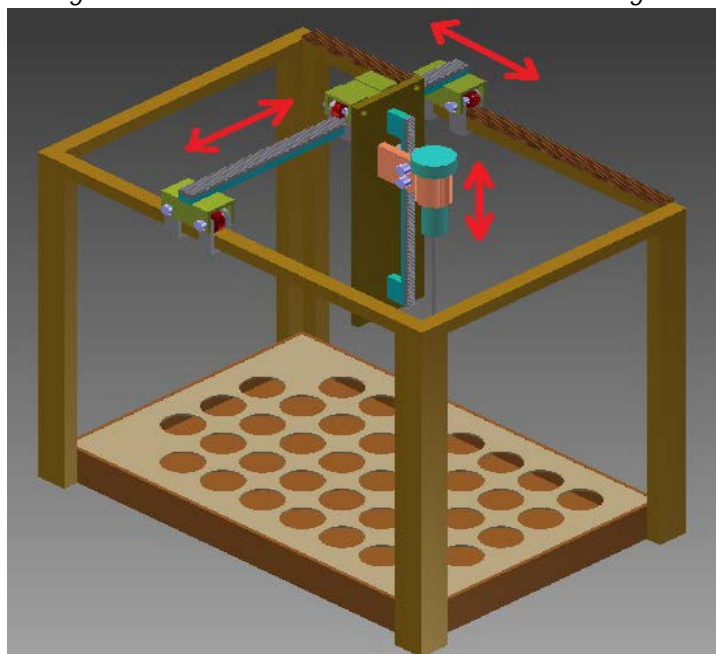


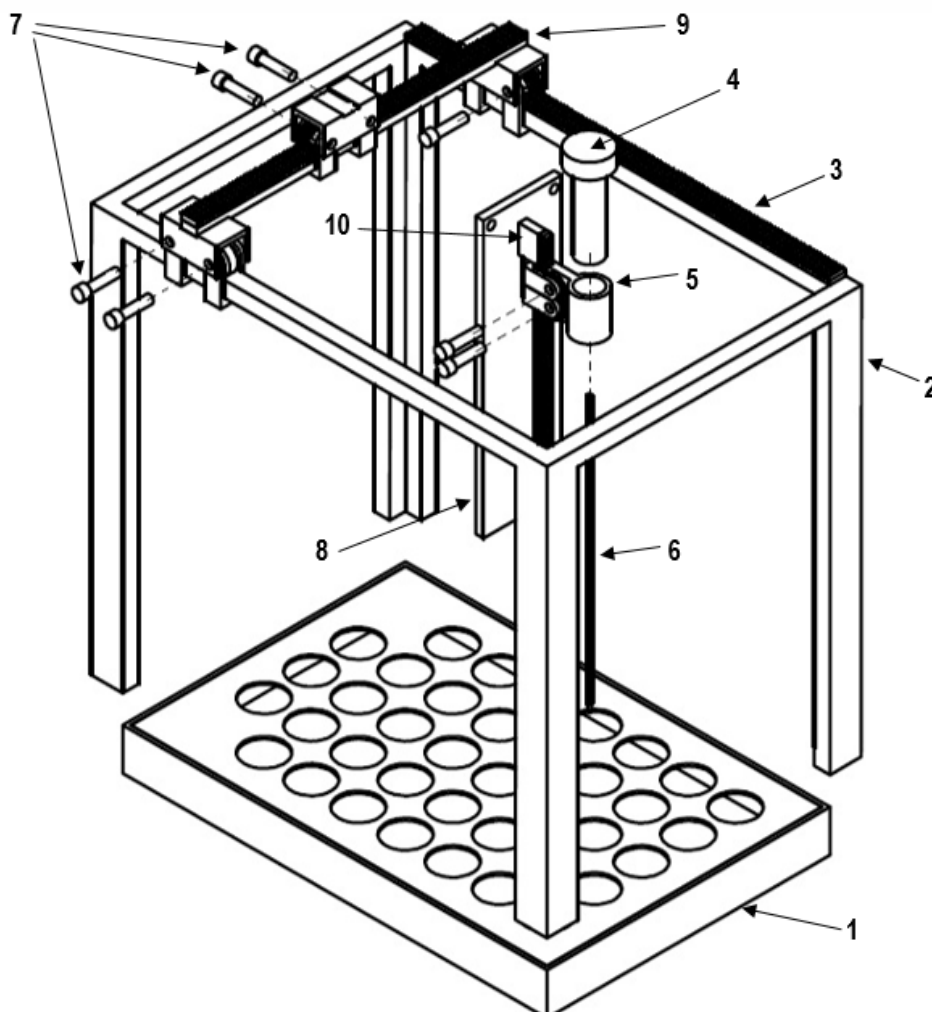
Figura 3.9 Grados de libertad de estructura rectangular



De igual manera se determinarán los cálculos de esfuerzos para los elementos críticos de este diseño, a continuación se muestran los planos de la estructura:

a) Esquema estructura rectangular

Figura 3.10 Esquema estructura rectangular

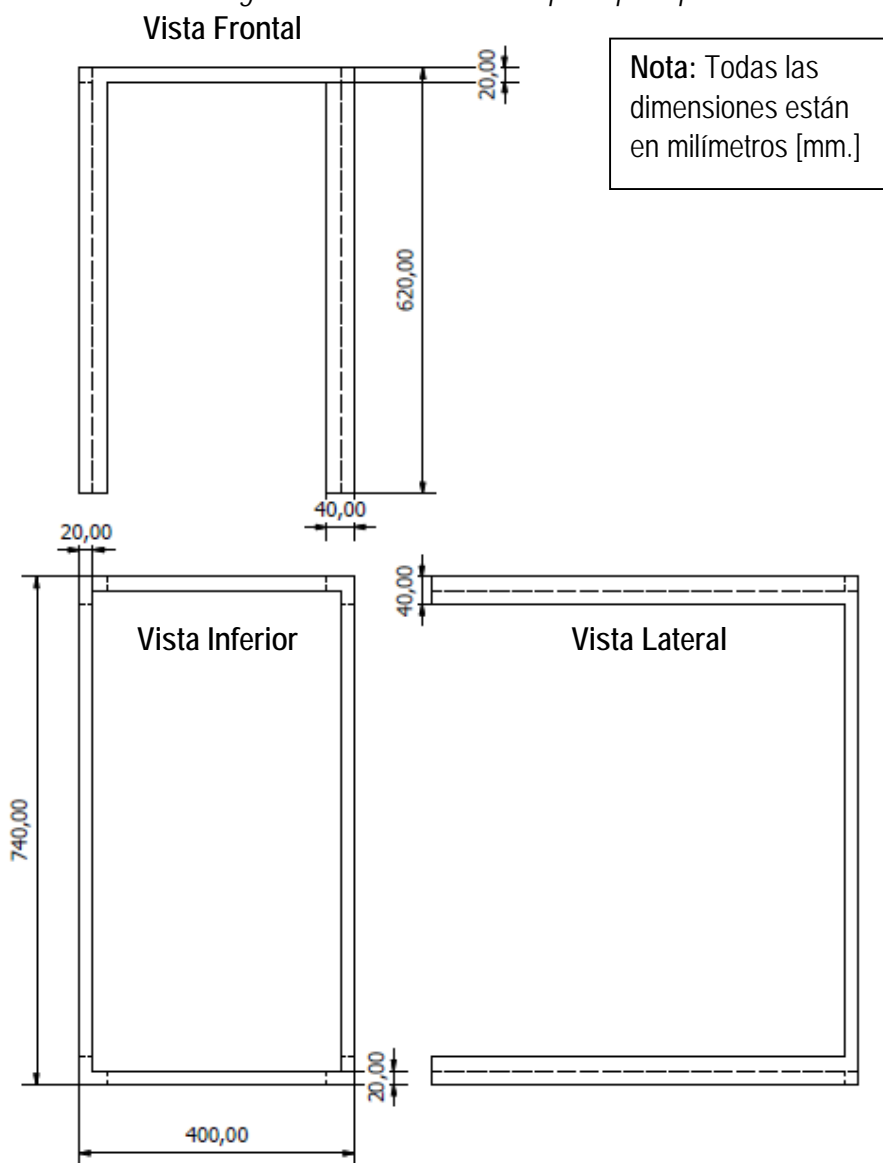


Referencia en el Plano	Elemento
1	Base para colorantes.
2	Estructura de soporte principal.
3	Mecanismo de transmisión para el desplazamiento en el eje z.
4	Dosificador.
5	Soporte para dosificador.
6	Pipeta.
7	Ejes para mecanismo de transmisión.
8	Placa de soporte para dosificador
9	Mecanismo de transmisión para desplazamiento en el eje x.
10	Mecanismo de transmisión para desplazamiento en el eje y.

Al igual que en la propuesta anterior es necesario determinar los elementos críticos para proceder a realizar el análisis de esfuerzos; en este diseño las cargas se concentran en la estructura principal específicamente en los ejes de movimiento X y Z, por lo tanto se procede a realizar el análisis de esfuerzos que se producen en las barras correspondientes a estos dos ejes de movimiento.

3.2.2.1. Estructura de soporte principal

Figura 3.11 Estructura de soporte principal



Al igual que en la propuesta anterior se ha definido al aluminio como material de construcción por las propiedades ya mencionadas.

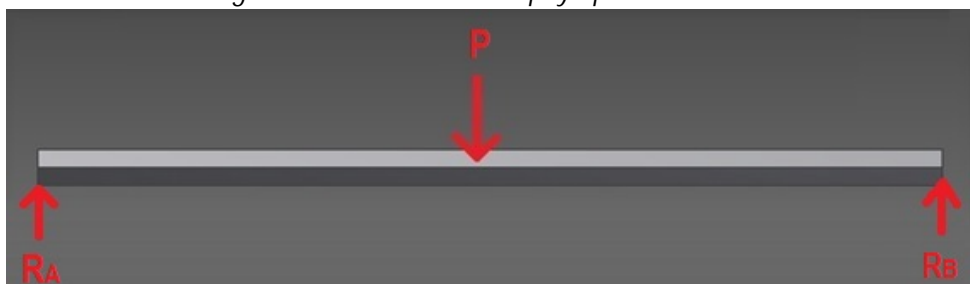
a. *Barra de soporte longitudinal*

La barra de soporte longitudinal es la barra de 740 [mm], que soporta el peso de la barra transversal para el movimiento y del dosificador y su estructura, tiene dos puntos de apoyo en sus extremos.

a) Análisis de carga:

Para el análisis de la carga se ha tomado en cuenta el peso del dosificador y de la estructura de apoyo para el dosificador al igual que en la anterior propuesta, dando como resultado una carga de 2.5 [Kgf] equivalente a 24,5 [N], que se encuentra aplicada como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 3.12 Estructura de apoyo para dosificador



En donde $P = 24,5$ [N], es la fuerza que ejerce el peso de la estructura de soporte para el dosificador sobre la barra, R_A y R_B son las reacciones que se ejercen en el punto inicial y final de apoyo respectivamente.

b) Cálculo de reacciones y momentos

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = 24.5$$

$$R_A = 12.25 \text{ [N]}$$

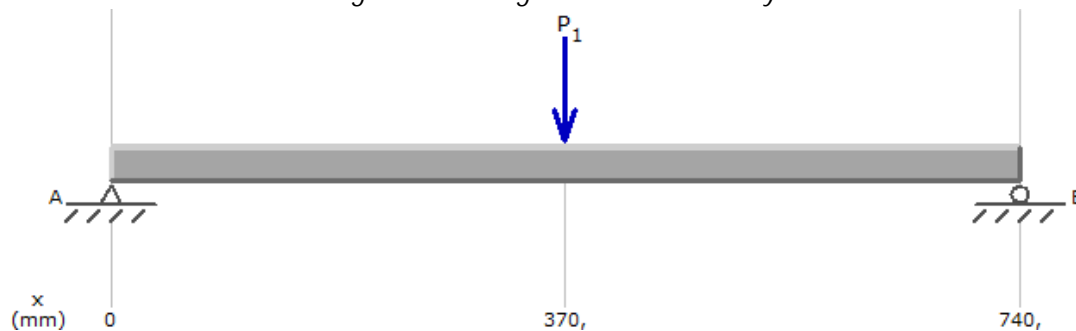
$$\sum M_A = 0$$

$$R_B = (24.5 \times 0.37) / 0.74$$

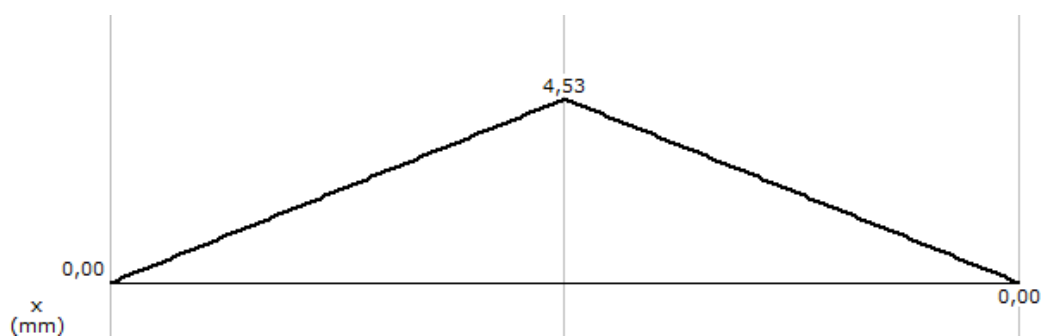
$$R_B = 12.25$$

c) Diagrama de cargas

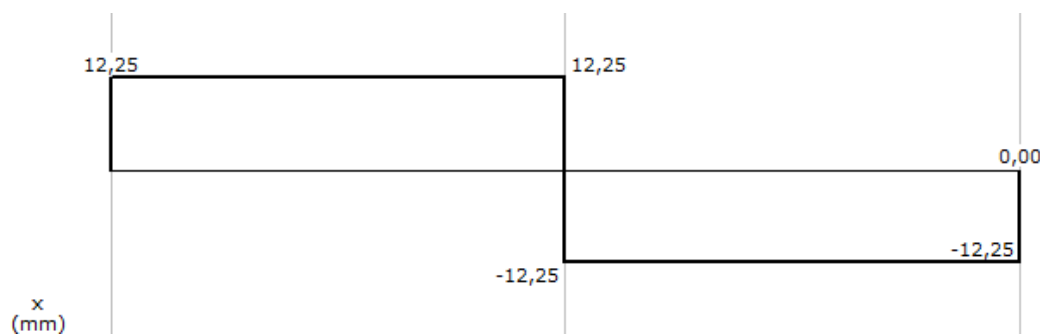
Diagrama 3.3 Diagrama de momentos y cortes



d) Diagrama de momentos



e) Diagrama de cortes



Se puede observar en el diagrama de Momentos que el punto crítico es aquel en donde se aplica la carga exactamente en la mitad de la barra, en donde se produce un momento de 4,53 [Nm]. A continuación se realizará el análisis de esfuerzos que se producen en este punto.

f) Análisis de esfuerzos

La carga de 24.5 [N] está produciendo un momento flector en la barra de manera que solo se produce un esfuerzo por flexión en la misma.

g) Esfuerzos por flexión

Dados los siguientes datos se procede a calcular el módulo de sección aplicando la ecuación 3.4:

$$M= 4.53[\text{Nm}]$$

$$b= 0.02[\text{m}].$$

$$h= 0.02[\text{m}]$$

$$s=0.02 \times 0.02^2/6$$

$$s= 1.3 \times 10^{-6} [\text{m}^3]$$

Ahora se procede a calcular el esfuerzo normal por flexión aplicando la ecuación 3.3:

$$T_x=4.53/0.00000133$$

$$T_x=3.397 \times 10^6 [\text{Pa}]$$

h) Factor de seguridad

Al no producirse ningún otro esfuerzo se procede a calcular el factor de seguridad aplicando el teorema de Von Misses (véase ecuación 3.9).

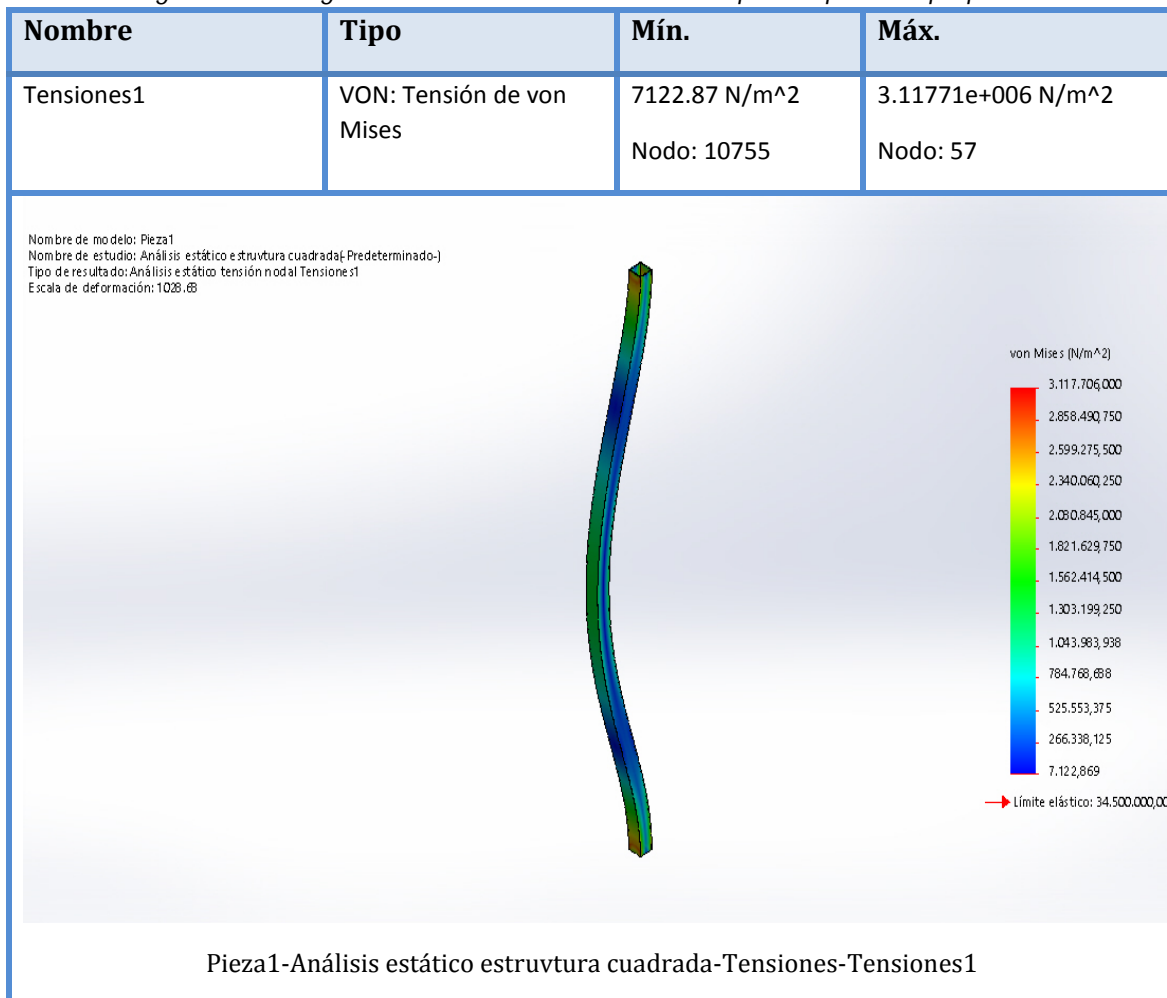
Como el único esfuerzo que se produce es T_x el cálculo del esfuerzo de Von Misses adquiere el mismo valor de T_x . Entonces se tiene que:

$$T'=3.398 \times 10^6 [\text{Pa}].$$

A continuación se muestra un informe del análisis de elementos finitos de la pieza realizado en el software Solid Works para validar los resultados obtenidos teóricamente:

i) Análisis de Von Mises por elementos finitos en SolidWorks

Diagrama 3.4 Diagrama de Esfuerzos de von mises para soporte de propuesta 2



Se puede observar que el máximo valor de esfuerzo de von Mises es de 3.11 [Mpa] el cual se aproxima al valor obtenido teóricamente [3.39 Mpa].

A continuación se calcula el factor de seguridad para la barra analizada tomando en cuenta la resistencia a la fluencia del aluminio, $S_y = 34$ [MPa.]

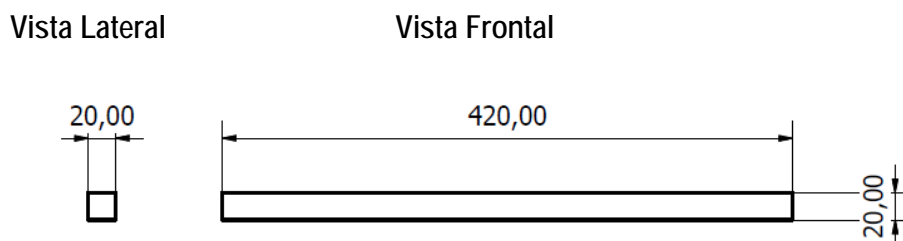
$$T' = 3.398 \times 10^6 [\text{Pa}].$$

$$S_y = 34000000 [\text{Pa}].$$

$$n = 34000000 / 3.398 \times 10^6$$

$$n = 10.007$$

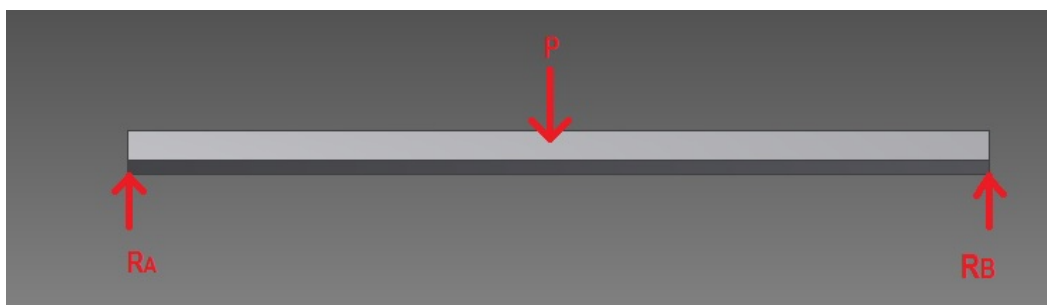
b. Barra de soporte transversal



Esta barra también se ha considerado dentro de los elementos críticos del diseño. Tiene una longitud de 420 [mm] y tiene dos puntos de apoyo, la carga que soporta es el peso del dosificador que equivale a una fuerza de 24,5 [N]. En la siguiente figura se ilustra la distribución de cargas y reacciones:

- **Análisis de cargas:**

Figura 3.13 Estructura de apoyo para dosificador



En donde P es el peso que ejerce el dosificador y toda la estructura de soporte del mismo sobre la barra, ($P = 24,5$ [N]) R_A y R_B son las reacciones que se ejercen en los puntos de apoyo inicial y final respectivamente.

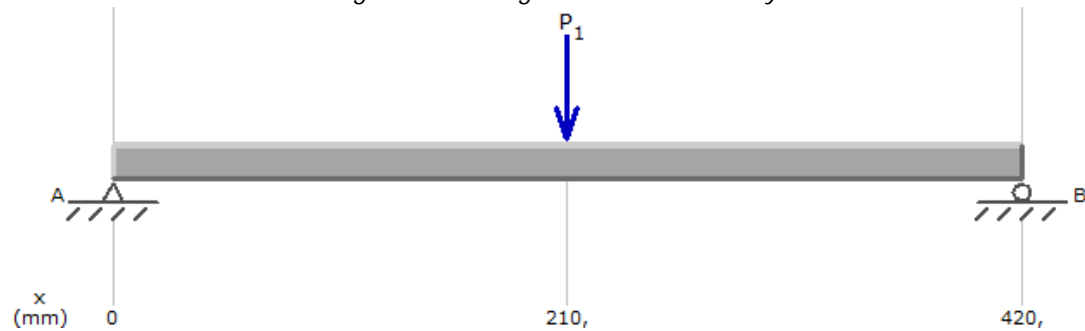
- **Cálculo de reacciones y momentos**

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ R_A + R_B &= 24.5 \\ R_A &= 12.25 \text{ [N]}\end{aligned}$$

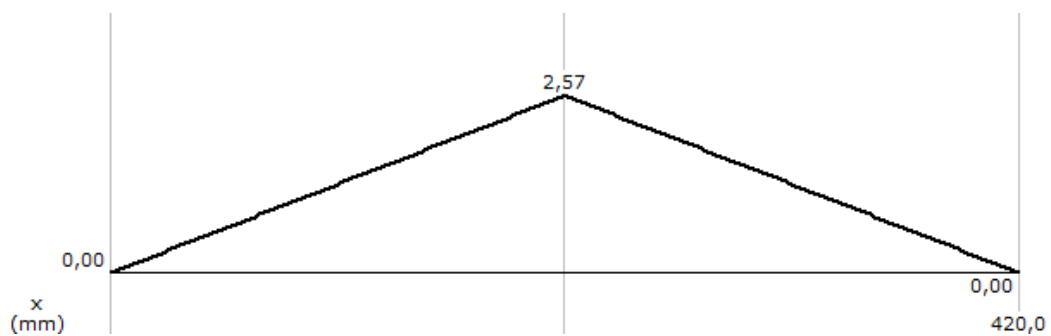
$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ R_B &= (24.5 \times 0.21) / 0.42 \\ R_B &= 12.25\end{aligned}$$

- Diagrama de cargas

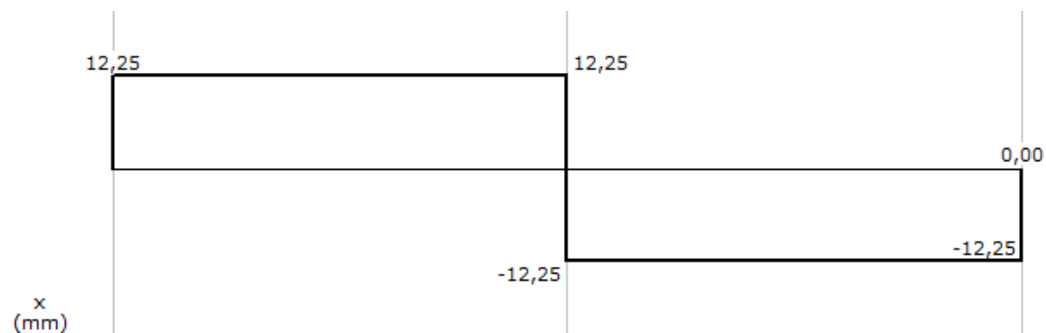
Diagrama 3.5 Diagrama de momentos y cortes



- Diagrama de momentos



- Diagrama de cortes



Observando en el diagrama de momentos se puede concluir que el punto crítico es la parte media de la barra en donde se produce el máximo momento, de magnitud 2,57 [N]. A continuación se realizarán los análisis de esfuerzos con respecto a ese punto.

- **Análisis de esfuerzos**

Al igual que en la anterior barra, la carga aplicada sobre la estructura solamente produce un momento flector, por lo cual solo se produce un esfuerzo por flexión en este punto:

- **Esfuerzos por flexión**

$$M= 2.573[\text{Nm}]$$

$$b= 0.02[\text{m}].$$

$$h= 0.02[\text{m}]$$

$$s=0.02 \times 0.02^2/6$$

$$s= 1.3 \times 10^{-6} [\text{m}^3]$$

Se procede a calcular el esfuerzo normal por flexión aplicando la ecuación 3.3:

$$T_x=2.573/0.00000133$$

$$T_x=1.93 \times 10^6 [\text{Pa}]$$

- **Factor de Seguridad**

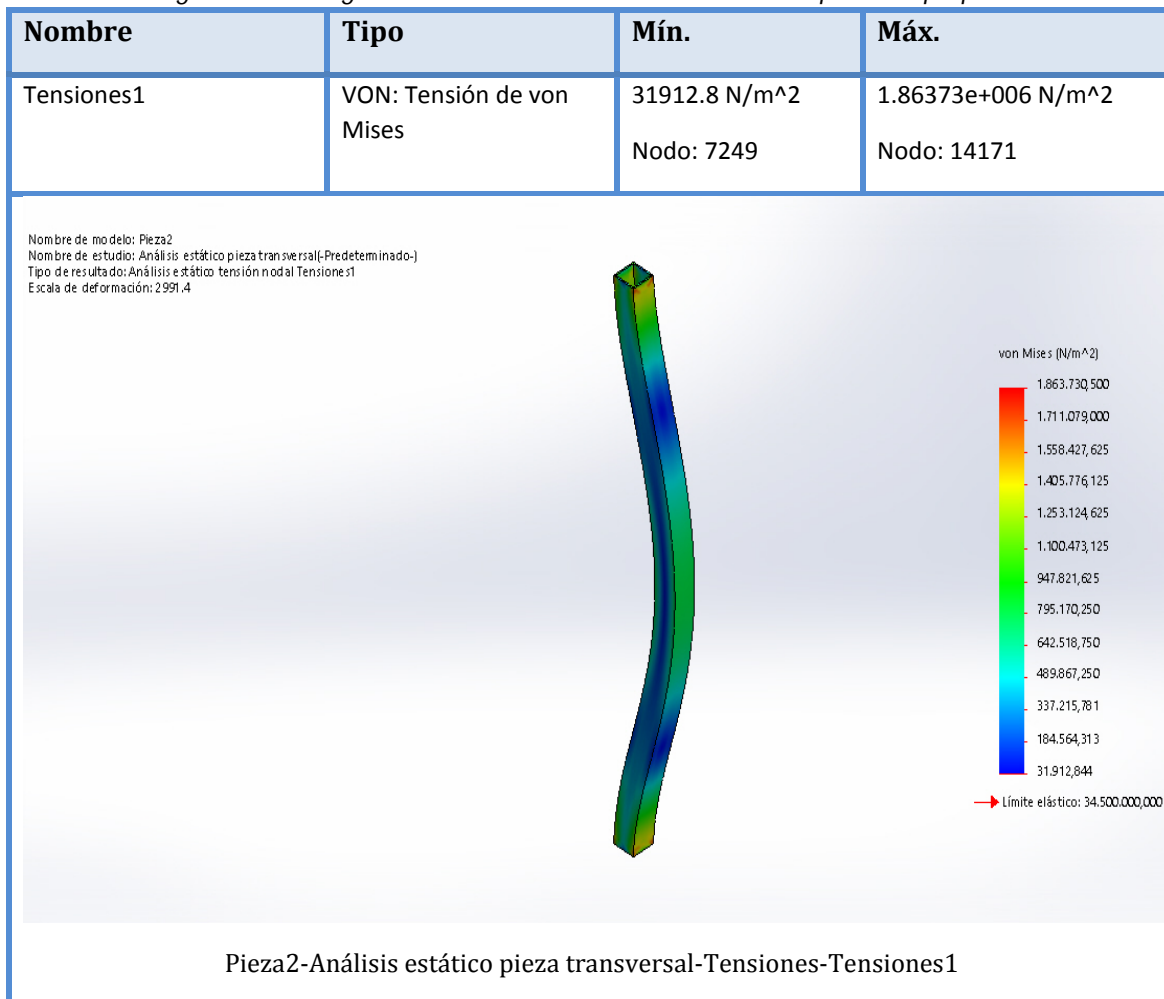
Aplicando el teorema de Von Mises (ver ecuación 3.9) se tiene que el esfuerzo de Von Mises es igual al esfuerzo por flexión T_x , ya que no se produce ningún otro esfuerzo en la barra. Entonces se tiene que:

$$T' = T_x = 1.93 \times 10^6 [\text{Pa}]$$

A continuación se muestra un informe del análisis de elementos finitos de la pieza realizado en el software Solid Works para validar los resultados obtenidos teóricamente:

- **Análisis de Von Mises por elementos finitos en Solid Work**

Diagrama 3.6 Diagrama de esfuerzos de von misses en soporte de propuesta 2



Se puede observar que el máximo valor de tensión de von misses obtenido mediante simulación es de [1.86] valor que se aproxima al teórico 1.93 [Mpa] por lo cual se validan los resultados obtenidos teóricamente.

Una vez validados estos resultados se procede a calcular el factor de seguridad aplicando el teorema de Von missses:

$$S_y = 34000000 \text{ [Pa].}$$

$$n = 34000000 / 1.93 \times 10^6$$

$$n = 17$$

Una vez que se han realizado todos estos cálculos, se puede concluir sobre el diseño lo siguiente:

- Los factores de seguridad de 10 y 17 indican que el diseño es lo suficientemente seguro como para resistir el peso de los elementos del ensamble.

En la siguiente tabla se analizan las ventajas y desventajas más notables del diseño presentado en la propuesta 2:

Tabla 3.4 Ventajas y desventajas de la estructura rectangular

Ventajas	Desventajas
El sistema cuenta con 3 grados de libertad: Movimiento lineal: x, y, z	El diseño ocupa mayor espacio
Todo el movimiento se concentra en el dosificador lo cual aumenta la precisión del sistema en cuanto a posicionamiento.	Se requieren más mecanismos de transmisión para lograr el movimiento lineal del dosificador en sus tres ejes.
Como el peso del dosificador no representa una fuerza demasiado grande se puede optimizar el movimiento del mismo sin utilizar actuadores de alta potencia.	
El diseño es más versátil y al no utilizar actuadores de alta potencia también reduce el consumo de energía del sistema.	
Se optimiza el material de construcción.	
Debido a la sencillez del diseño no se requieren altos gastos de fabricación.	

Después de realizar los análisis respectivos a las dos propuestas de diseño y tomando en cuenta los parámetros con los cuales el sistema debe cumplir, se ha escogido la segunda propuesta como diseño definitivo para el sistema propuesto ya que ofrece mayor ventaja y se adapta mejor al sistema que se desea implementar.

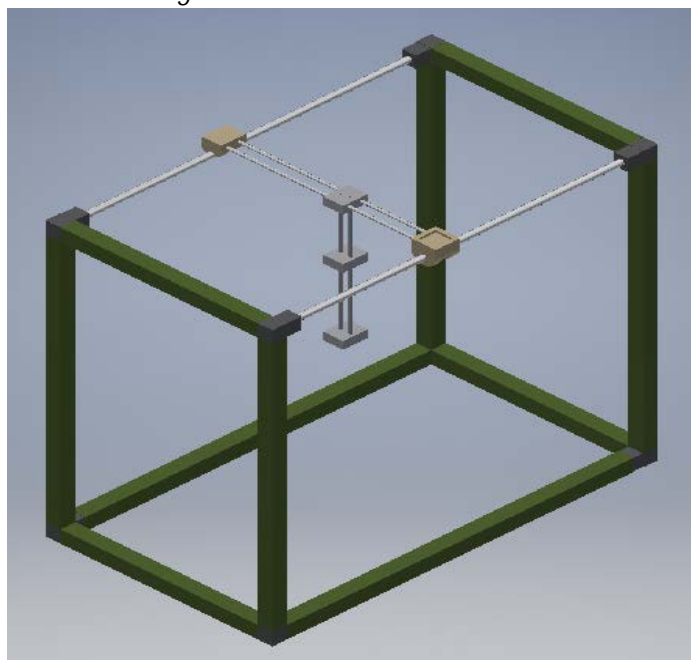
3.3. CORRECCIONES Y MEJORAS

Una vez realizadas varias pruebas se observó la necesidad de cambiar el diseño mecánico del sistema de manera que se pueda reducir la potencia necesaria para el movimiento de cada eje ya que se pudo observar que los motores se recalentaron debido a la fuerza requerida por cada uno para el movimiento de cada eje.

A continuación se detalla el nuevo diseño mecánico propuesto para el sistema y su respectivo análisis:

3.3.1. DISEÑO MECÁNICO

Figura 3.14 Diseño mecánico final



Como se puede observar en la figura 3.14 se cambiaron los ejes de deslizamiento por varillas circulares con el objetivo de disminuir el rozamiento entre la pieza deslizante y el eje, además este cambio también permite reducir en un pequeño porcentaje el peso del conjunto deslizante lo cual disminuirá la potencia requerida por los motores para el movimiento de los ejes.

En el primer análisis se utilizó como material para los ejes sometidos a fuerzas el aluminio en este caso el material es acero forjado el cual aumentará considerablemente la resistencia de los ejes. Dado que en el análisis de esfuerzos anteriormente realizado se obtuvieron factores altos de seguridad se asume que con un material más resistente el factor de seguridad incrementará por lo cual no se requiere de un mayor análisis.

CAPÍTULO IV

4. CONTROL ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

En este capítulo se revisará todo lo referente al circuito de control electrónico del sistema propuesto y para tener una idea más clara del circuito de control, se hará un análisis y selección de cada uno de los elementos que formarán parte del sistema. A continuación se describen de manera general cada uno de ellos:

- **Actuadores:** Indispensablemente se requiere de un actuador para realizar el movimiento de la pipeta y del dosificador tomando en cuenta los distintos tipos de movimientos que se necesita realizar, se analizará la posibilidad de utilizar motores a pasos o servomotores.
- **Controlador o driver:** en cualquiera de las dos opciones posibles se requerirá de un controlador que permita al usuario del sistema controlar los actuadores de acuerdo a la necesidad del sistema.
- **Interfaz de control:** Este sistema requiere de una interfaz que permita al ingresar los datos de los colorantes y las cantidades de colorante que se requieren dosificar que traducido al sistema eléctrico serían las posiciones que se desean de los actuadores.

A continuación se realiza un análisis más profundo y en base al mismo se procederá a la selección del dispositivo más adecuado para cada uno de los elementos mencionados:

4.1. ACTUADORES

El sistema propuesto como se menciona en capítulos anteriores, cuenta con 3 grados de libertad para el movimiento del dosificador. Deberá tener la posibilidad de realizar un movimiento lineal en los tres ejes de referencia x, y, z. Para esto se hará uso de tres motores, además se requiere también de otro motor para el movimiento del dosificador el cual también funciona mediante un movimiento lineal.

En el análisis del diseño mecánico se mencionó que la máxima carga que soportaría el sistema y la cual se desea movilizar es de 2.5 [Kgf]. Equivalentes a 24.5 [N]. De acuerdo a esta carga y tomando en cuenta que se desea realizar un control de posición lineal bastante preciso, con estos actuadores existen dos posibilidades de motores a usar: servomotores o motores paso a paso.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de las características de cada uno de estos dos tipos de motores:

Tabla 4.1 Características comparativas de los servomotores y los motores a pasos.

	Motor PaP	Servomotor
Circuito driver.	Simple: de fácil implementación.	Su diseño es más complicado ya que el motor y driver están soldados en el mismo conjunto.
Ruido y vibración	Notable.	Muy pequeño.
Velocidad.	1000 a 2000 rpm, máximo.	3000 a 5000 rpm máximo.
Condición fuera de paso.	Posible.	No es posible.
Método de control	Lazo abierto.	Lazo cerrado.
Costo de motor y driver.	Existen variedad de drivers y motores a bajos costos.	Tienen un costo más elevado.
Ángulo de paso sencillo.	2 fases modelo PM: 7.5° (48 rpp) 2 fases modelo HB: 1.8° (200 rpp) o 0.9° (400 rpp) 5 fases modelo HB: 0.72° (500 rpp) o 0.36° (1000 rpp).	0.36° (1000 rpp) a 0.036° (10000 rpp).

Fuente: (Pachón, 2009)

4.1.1. MODELO MATEMÁTICO

Para poder controlar de manera eficiente cualquier tipo de actuador es necesario conocer el modelo matemático del mismo. *Un modelo matemático es el conjunto de ecuaciones matemáticas que describen el funcionamiento de un objeto o fenómeno que existan en el mundo real.* (Sloep, 1992)

A continuación se describen los modelos matemáticos teóricos de cada uno de los dos tipos de motores:

4.1.1.1. Servomotor

Un servomotor es un motor eléctrico que incluye un circuito de control, tiene la capacidad de ser controlado en velocidad, torque y posición. Para este caso analizaremos todo lo referente al control de posición del servomotor.

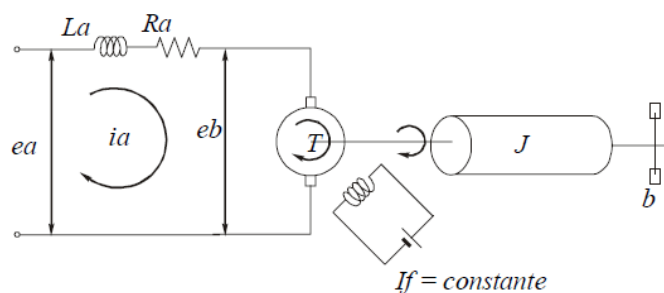
El servomotor es controlado por una señal o pulso de una amplitud que se encuentre dentro de los rangos de funcionamiento del servomotor, la posición o desplazamiento que realice el mismo dependerá del tiempo de amplitud de la señal.

Las variables que se utilizan para modelar teóricamente un servomotor corresponden al valor de cada uno de los elementos que forman parte del servomotor.

Un servomotor dc es una máquina eléctrica que convierte energía eléctrica dc en movimiento circular. Un servomotor dc está compuesto de un rotor el cual posee uno o varios bobinados y un estator, el cual se encuentra conformado por un imán permanente. Al circular corriente por las bobinas del rotor se produce un campo magnético opuesto al del imán permanente lo cual produce el giro del rotor, esta corriente se conoce como corriente de armadura. El esquema del modelo matemático se desarrolla en base a la corriente de armadura.

En la siguiente figura se ilustran cada uno de los parámetros que forman el circuito eléctrico de un servomotor dc:

Figura 4.1 Circuito eléctrico de un servomotor dc.



Fuente: (Katsuhiko, 1993)

En donde:

R_a = resistencia de la armadura, en ohmios $[\Omega]$.

L_a = inductancia de la armadura, en henrios $[H]$.

i_a = corriente de la armadura, en amperios, $[A]$.

I_f = corriente del campo $[A]$.

e_a = tensión aplicada en la armadura, en voltios $[V]$.

e_b = fuerza contra-electromotriz $[V]$.

Θ = desplazamiento angular del eje del motor, en radianes $[rad]$.

T = par desarrollado por el motor, en Newton-metro $[Nm]$.

J = momento de inercia del motor y carga con referencia al eje del motor, en $[kg \cdot m^2]$.

b = coeficiente de viscosidad del motor, con carga referida al eje del motor, en $[N \cdot m / rad / seg]$. (Katsuhiko, 1993).

A continuación se describen las ecuaciones características que describen el funcionamiento del circuito mostrado:

El torque generado por el servomotor es directamente proporcional:

$$T = K_f \times i_f \times K_l \times i_a$$

Cuando la corriente de campo es constante, el flujo también es constante, de modo que:

$$T = K * i_a$$

Donde K es una constante del par motriz.

Para un flujo constante, la tensión inducida e es directamente proporcional a la velocidad angular $d\theta/dt$, dicho de otro modo:

$$e_b = K_b \times \frac{d\theta}{dt}$$

Donde K_b es la constante de fuerza contra electromotriz.

La velocidad de un servomotor de cd controlado por armadura, se controla mediante la tensión de la armadura. Es decir:

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a \times i_a + e_b = e_a$$

La corriente de la armadura produce un torque que se aplica a la inercia y la fricción:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{d\theta}{dt} = T = K \times i_a$$

Ahora aplicando la transformada de Laplace a las tres ecuaciones anteriores se obtendrá:

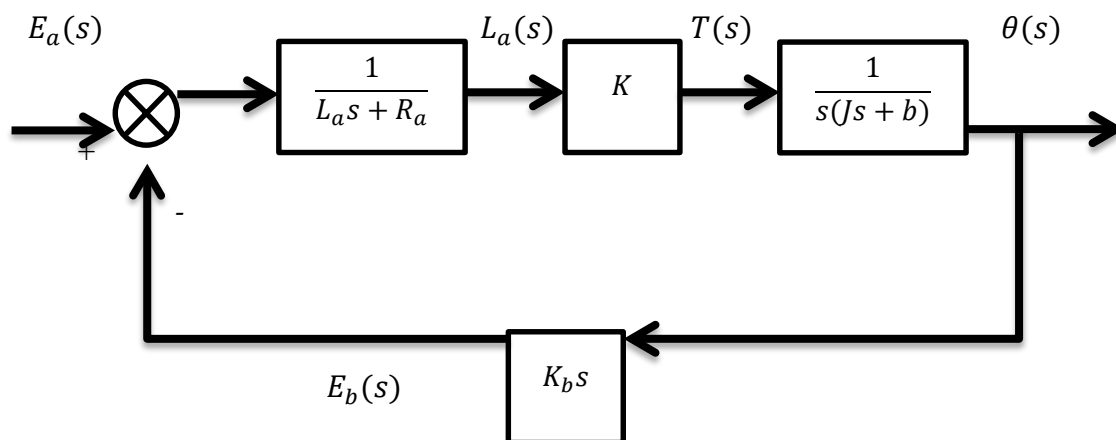
$$K_b s \Theta(s) = E_b(s)$$

$$(L_a s + R_a) I_a(s) + E_b(s) = E_a(s)$$

$$(J s^2 + b s) \Theta(s) = T(s) = K I(s)$$

Si se considera $E_a(s)$ como la entrada del sistema y $\Theta(s)$ en un diagrama de bloques se tendrá:

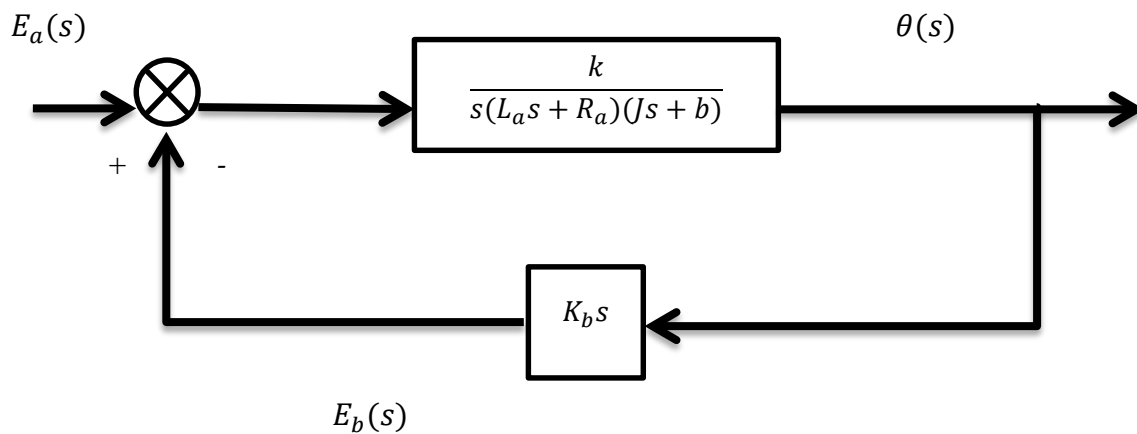
Diagrama 4.1 Diagrama de bloques de un servomotor



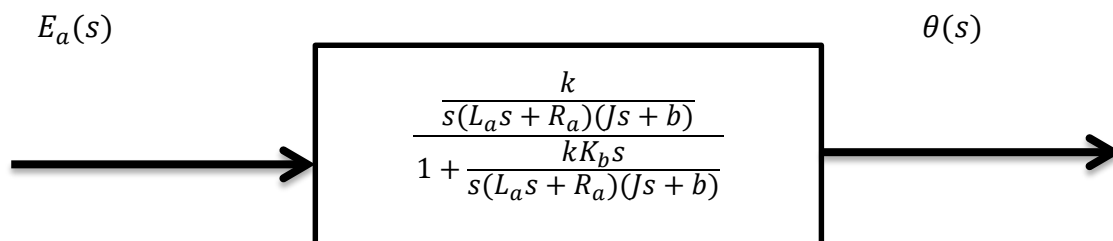
Fuente: (Katsuhiko, 1993)

Simplificando el diagrama se tiene que:

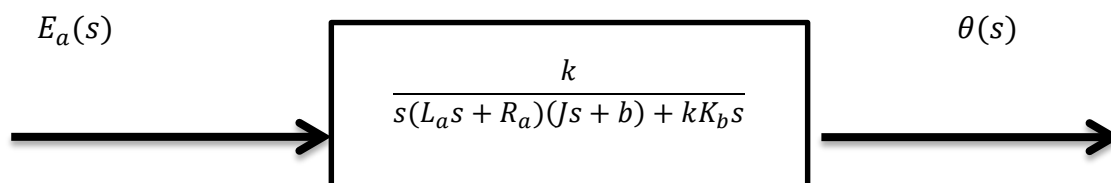
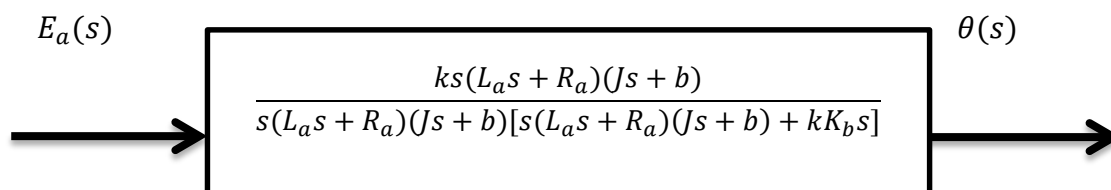
Bloques en serie



Realimentación negativa



Simplificando:



De modo que la función de transferencia obtenida se reduce a:

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{L_a J s^3 + (L_a b + R_a J) s^2 + (R_a b + b) s}$$

La inductancia del circuito de la armadura generalmente se desprecia, por lo que la función de transferencia se reduciría a los siguientes:

Ecuación 4.1 Modelo matemático de un motor dc.

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

Fuente: (Katsuhiko, 1993)

En donde: $K_m = K/(R_a b + K K_a) =$ constante de ganancia del motor.

$T_m = R_a J / (R_a b + K K_b) =$ constante de tiempo del motor.

(Katsuhiko, 1993)

De este resultado se puede comprobar claramente que el desplazamiento de un motor dc dependerá del tiempo de amplitud de la corriente de armadura.

4.1.1.2. Motor a pasos (PaP)

Los motores paso a paso son dispositivos electromecánicos que se caracterizan principalmente por su capacidad de rotar en segmentos exactos o pasos, están conformados al igual que cualquier motor por un rotor y un estator a diferencia de que estos poseen varias bobinas. Únicamente en el estator, cada bobina recibe un pulso el cual induce un campo magnético en el rotor y lo obliga a rotar un ángulo exacto, por lo cual este tipo de motores se controlan mediante dispositivos que generan un tren de pulsos sincronizado para cada bobina del estator.

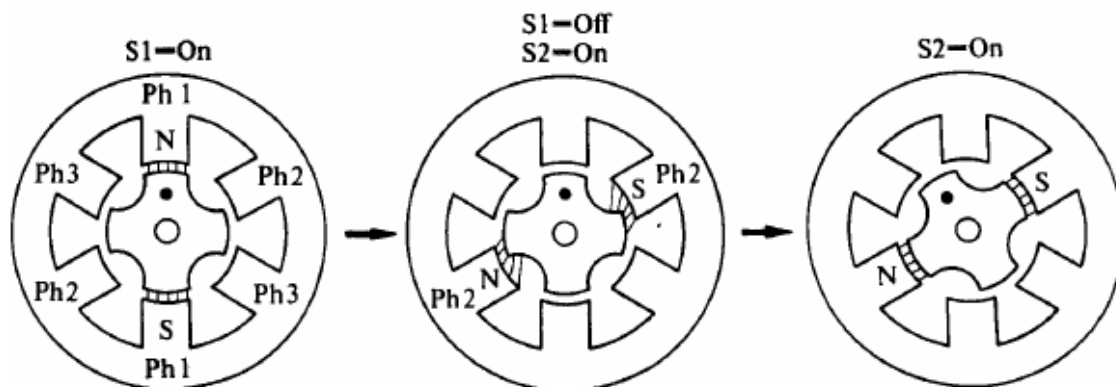
Debido a su capacidad de girar en segmentos, estos motores ofrecen una gran ventaja en sistemas de posicionamiento, además fácilmente pueden ser controlados mediante un control en lazo abierto, lo cual también implica bajos costos de implementación del control.

Los motores a pasos se clasifican según la construcción del rotor que puede ser:

- ***Motores a paso de reluctancia variable:***

El rotor no posee un imán permanente, está construido como un bloque dentado, de esta manera el campo magnético de las bobinas actúa sobre la zona de menor reluctancia que son los dientes como se ilustra en la siguiente figura: (Lara, 2007)

Figura 4.2 Motor a pasos de reluctancia variable

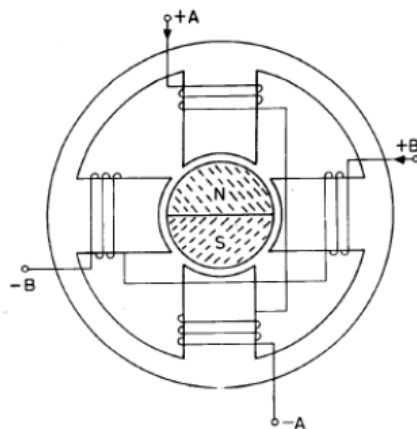


Fuente: (Lara, 2007)

- **Motor a Pasos de Imán Permanente**

En este caso el rotor del motor es un imán permanente de varios polos, los cuales se alinean con los devanados dependiendo del campo magnético producido por las bobinas del estator, en la figura a continuación se puede apreciar la estructura de este tipo de motores: (Lara, 2007)

Figura 4.3 Motor a pasos de imán permanente

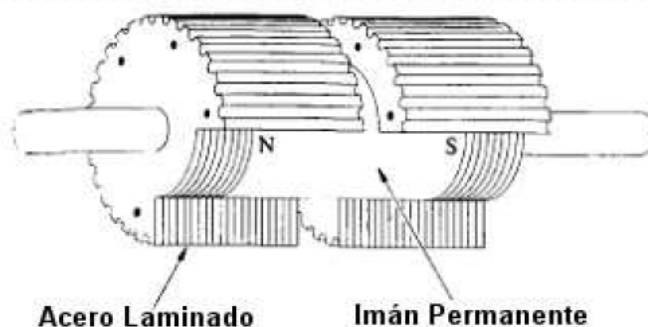


Fuente: (Lara, 2007)

- **Motor paso a paso híbrido**

El motor a pasos híbrido combina las características de los dos modelos anteriores. Posee un rotor de acero laminado dentado con un imán permanente como núcleo como se observa en la siguiente figura. (Lara, 2007).

Figura 4.4 Rotor de un motor paso a paso híbrido



Fuente: (Lara, 2007)

Independientemente de cual sea el tipo de motor el funcionamiento es básicamente el mismo, para los 3 tipos su control se efectúa a través de un tren de pulsos sincronizado el cual activa las bobinas de manera secuencial y ordenada para provocar el giro del rotor, en la siguiente figura se ilustra la secuencia de giro del rotor de un motor a paso:

Tabla 4.2 Secuencia de activación de bobinas de un motor a pasos

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	Imagen
1	On	Off	Off	Off	
2	Off	On	Off	Off	
3	Off	Off	On	Off	
4	Off	Off	Off	On	

Fuente: (Quintero, 2008)

Para establecer el modelo matemático teórico del motor a pasos se debe considerar que tanto el motor a pasos como el servomotor son máquinas eléctricas de corriente directa, que funcionan mediante la inducción de un campo magnético en el rotor. De manera que se establecerá el mismo modelo anteriormente explicado para el motor a pasos:

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

Fuente: (Katsuhiko, 1993)

Una vez que se ha realizado el proceso de selección analizando las ventajas en la tabla comparativa 4.1 y después de realizar el modelo matemático de cada uno de los dos tipos de actuadores propuestos, se ha procedido a seleccionar los motores a pasos debido a la precisión que proporcionan en cuanto a posicionamiento, además de que permiten implementar un control sencillo y de bajo costo. A continuación se describe el modelamiento matemático práctico para cada uno de los motores seleccionados:

4.1.2. MODELO MATEMÁTICO PRÁCTICO

A continuación se describe el tipo de motor que se ha seleccionado para cada movimiento del sistema:

Tabla 4.3 Características de los motores seleccionados para el sistema

Movimiento del Sistema	Motor	Tipo de Motor	Tensión de alimentación	Angulo de paso	Torque
Movimiento eje x	KP35FM2-044	Bipolar	24 Vdc	1,8°	700 g-cm
Movimiento eje y	KP35FM2-044	Bipolar	24 Vdc	1,8°	700 g-cm
Movimiento eje z	M42SP-5	Bipolar	24 Vdc	7,5°	107 g-cm
Movimiento dosificador	28BYJ-48	Unipolar	5 Vdc	0,088°	300 g-cm

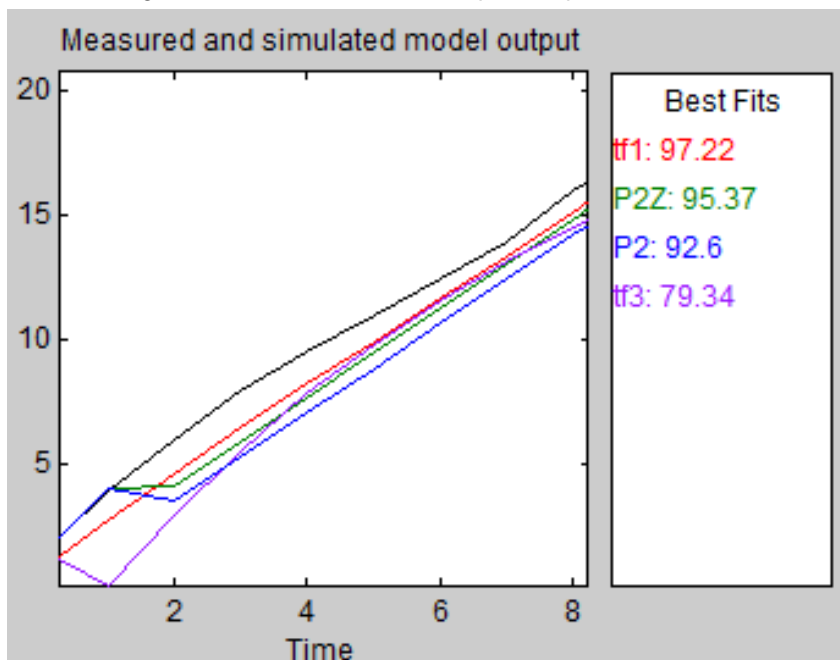
Para mayor información sobre los motores seleccionados revisar los anexos referentes a las hojas de datos de cada motor.

Para realizar el modelamiento práctico de cada motor se utilizará la herramienta ident de matlab, el proceso para obtener la función de transferencia de cada motor en la herramienta ident se describe en los anexos, así como también los datos que se obtuvieron por cada motor. A continuación se describen cada una de las curvas y funciones de transferencia de cada uno de los motores seleccionados:

4.1.2.1. Motor para el movimiento en el eje x

En esta sección se determinará la función de transferencia correspondiente a cada planta. En este caso la planta es el motor seleccionado, una vez que se han recopilado los datos respectivos a la posición angular del motor (variable de salida) en función del número de pasos suministrados (variable de entrada), se han estimado varios modelos matemáticos haciendo uso de la herramienta ident, para poder seleccionar el más adecuado; en la siguiente gráfica se ilustran los datos obtenidos en contraste con los modelos estimados para la planta propuesta. Para una mejor apreciación se ha seleccionado una porción de la gráfica:

Figura 4.5 Modelos estimados para la planta: motor 1



Como se observa en la gráfica, el modelo más aproximado es el que se representa con la curva en color rojo con un porcentaje de aproximación del 97,22% al cual le corresponde la siguiente función de transferencia:

$$\frac{U1}{Y1} = \frac{0,7401}{s^2 + 2,441 \times 10^{-8}s + 0,4105}$$

Como se puede observar, se ha obtenido un sistema de segundo orden con dos polos, tal y como se ilustra en la función de transferencia teórica. A continuación se realizará el análisis de la respuesta temporal de la misma:

- **Análisis de la respuesta temporal**

Primeramente se obtendrán los parámetros de la función de transferencia anteriormente obtenida utilizando la estructura general de una función de transferencia de segundo grado:

Ecuación 4.2 Parámetros de una función de segundo grado

$$\frac{Kwn^2}{s^2 + 2\varepsilon wns + wn^2}$$

Fuente: (Kuo, 1996)

En donde: K= ganancia estática del sistema

wn = Frecuencia natural no amortiguada

ε = Coeficiente de amortiguamiento

De manera que para la función obtenida los parámetros calculados son:

$$Kwn^2 = 0,7401$$

$$2\varepsilon wn = 2,441 \times 10^{-8}$$

$$wn^2 = 0,4105$$

$$wn = 0,6407$$

$$\varepsilon = 1,905 \times 10^{-8}$$

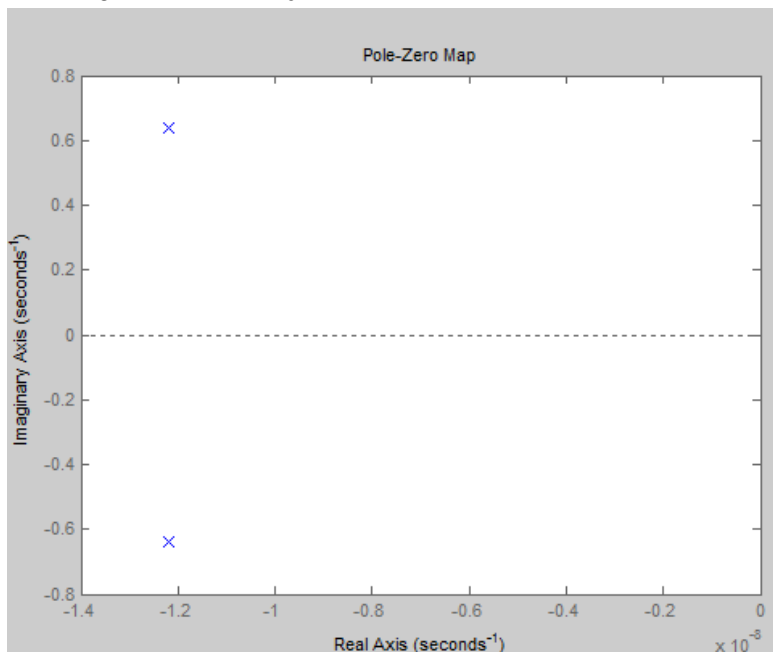
$$K = 1,8$$

Ya que: $0 < \varepsilon < 1$, se puede concluir que la respuesta natural del sistema es una respuesta subamortiguada.

Cabe mencionar que el resultado más aproximado no precisamente es la función que se ha escogido, ya que en los modelos estimados se obtiene un mayor porcentaje de aproximación con una función que tenga dos polos y un cero; sin embargo se ha descartado seleccionar un sistema con una función de transferencia de este tipo, ya que un cero en el sistema implicará picos altos de corriente lo cual podría sobrecalentar el motor y quemarlo.

En la etapa siguiente se analizará el diagrama de polos y ceros de la función de transferencia para verificar que el sistema es estable:

Figura 4.6 Diagrama de Polos y Ceros de la función de transferencia del motor 1



Como se observa en el diagrama, se tiene dos polos en el semiplano izquierdo bastante alejados del eje de estabilidad marginal lo cual determina que el sistema es estable.

- **Análisis de estabilidad mediante el criterio de routh.**

El criterio de Routh en sistemas de control se utiliza para determinar si el sistema es estable, además de que mediante este método también se puede determinar los márgenes de ganancia para la estabilidad del sistema. A continuación se utilizará

el criterio de Routh para verificar que el modelo propuesto para el motor 1 es estable:

$$\begin{array}{c|cc} s^2 & 1 & 0,4105 \\ s^1 & 2,44 \times 10^{-8} & \\ s^0 & a = 0,4105 & \end{array}$$

Cálculo del coeficiente a:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0,4105 \\ 2,44 \times 10^{-8} & 0 \end{vmatrix}}{2,44 \times 10^{-8}} = \frac{(2,44 \times 10^{-8} \times 0,4105) - (1 \times 0)}{2,44 \times 10^{-8}} = 0,4105$$

Se puede comprobar una vez más que el sistema es estable, ya que *según el criterio de Routh para que una función de transferencia sea estable, se deben cumplir las siguientes condiciones:*

Todos los coeficientes de las dos primeras filas deben tener el mismo signo.

Todos los coeficientes de la primera columna deben tener el mismo signo y en lo posible ser positivos. (Kuo, 1996)

Como se observa la función de transferencia cumple con las dos condiciones de estabilidad del criterio de Routh.

- **Cálculo del error en estado estable del sistema**

Se define matemáticamente al error en estado estable ante una entrada escalón como:

$$e_{ss} = \frac{A}{1 + K_p}$$

En donde: e_{ss} = error en estado estable.

A = amplitud de la entrada escalón unitario.

K_p se define como: $\lim_{s \rightarrow 0} G(s)$

Siendo $G(s)$ la función de transferencia del sistema (Kuo, 1996)

Se considerará para el análisis del error en estado estable una entrada escalón de amplitud 1 de manera que se tiene:

$$Kp = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0,7401}{s^2 + 2,441 \times 10^{-8}s + 0,4105}$$

$$Kp = 1,8$$

Entonces:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + 1,8}$$

$$e_{ss} = 0,357$$

$$e_{ss} = 35,7\%$$

A continuación se realizará el análisis en matlab de la respuesta temporal del sistema, seleccionado ante una entrada impulso y escalón unitario.

- **Respuesta ante una entrada impulso:**

Figura 4.7 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso

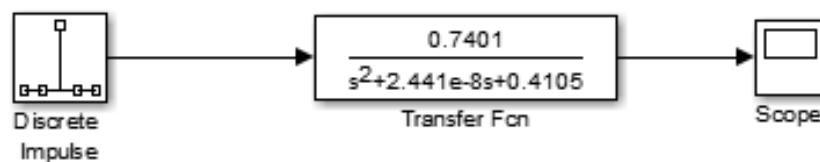
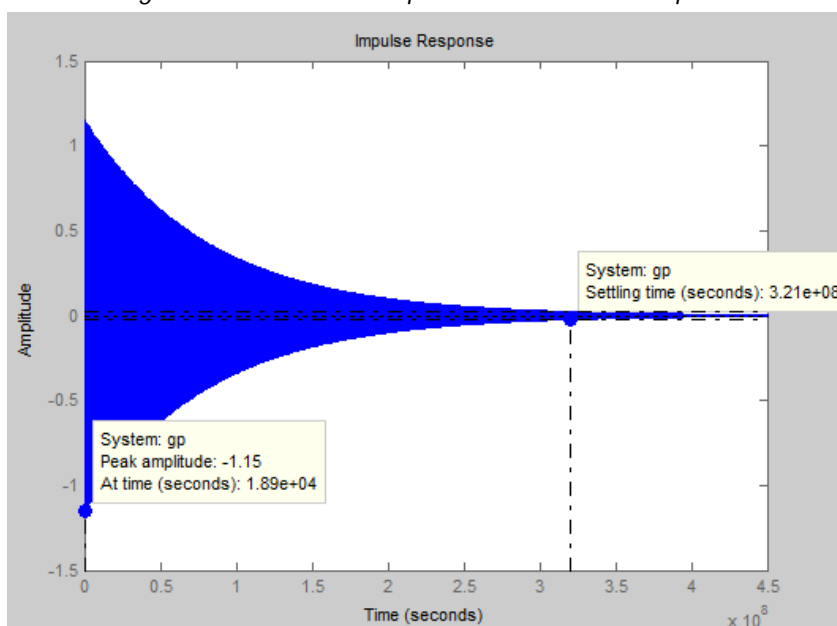


Figura 4.8 Gráfica de respuesta ante entrada impulso



De la gráfica se puede obtener los siguientes datos relevantes:

- Máximo pico: -1.15
- Tiempo de máximo pico: 1.89×10^4
- Tiempo de estabilización: 3.21×10^8

Con esta información se concluye lo siguiente:

- Aunque el sistema es estable a largo plazo, el tiempo de estabilización es demasiado grande, el controlador a diseñar deberá poder estabilizar el sistema en un tiempo menor a 1 segundo. Se debe tomar en cuenta estos datos para el cálculo de la ganancia del controlador.
- Ante una entrada impulso el sistema produce una respuesta transitoria con muchos picos lo cual podría afectar la funcionalidad del motor.
- **Respuesta ante una entrada escalón unitario**

Figura 4.9 Diagrama de bloques respuesta ante una escalón unitario

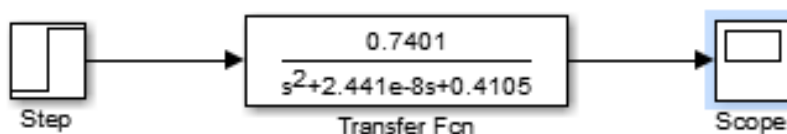
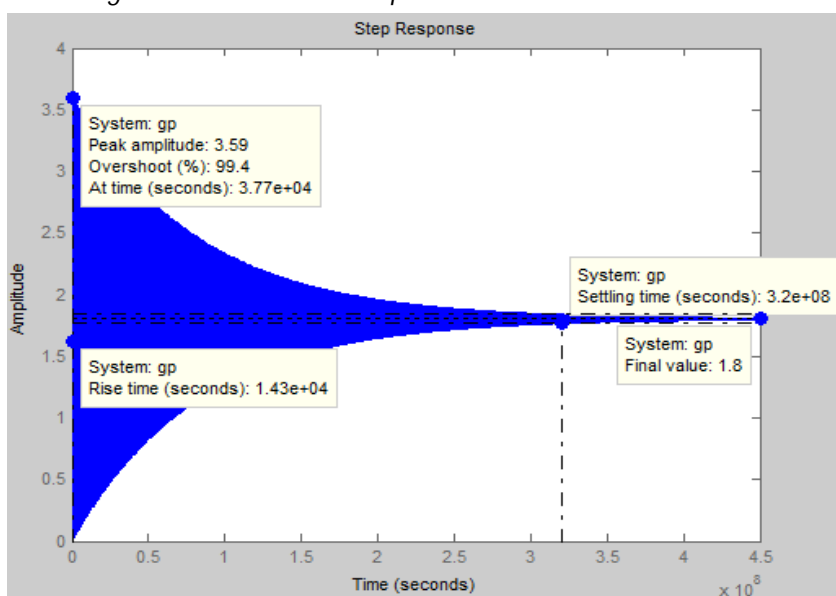


Figura 4.10 Gráfica de respuesta ante una escalón unitario



De la gráfica anterior se puede obtener:

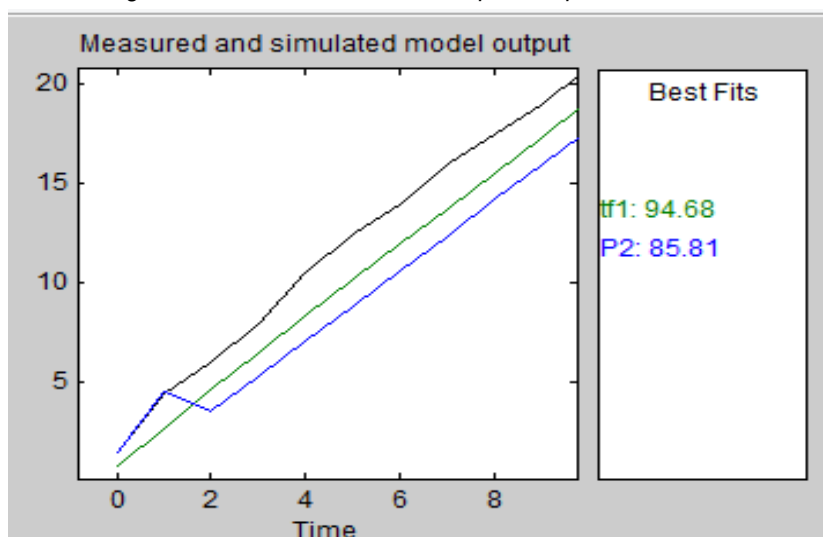
- Máximo Sobreimpulso: 99.4 %
- Tiempo de subida: 1.43×10^4
- Tiempo de estabilización: 3.2×10^8

Con esta información se concluye lo siguiente:

- Al igual que ante la entrada anterior el tiempo de estabilización es demasiado grande, el controlador a diseñar deberá poder estabilizar el sistema en un tiempo menor a 1 segundo ante una entrada escalón.
- La gráfica indica una respuesta transitoria con demasiados picos además de ser elevados, esto repercutirá directamente en el motor produciendo daños en el mismo.

4.1.2.2. Motor Para el movimiento en el eje y

Figura 4.11 Modelos estimados para la planta: motor 2



Al igual que para el motor anterior, se tomará de los modelos estimados el modelo con mayor aproximación que contenga 0 ceros y dos polos por las razones explicadas anteriormente. Se observa en la gráfica que la función que más se aproxima con un porcentaje del 94,68 % es la siguiente:

$$\frac{U1}{Y1} = \frac{0,8603}{s^2 + 2,982 \times 10^{-11}s + 0,4681}$$

- **Análisis de la respuesta temporal**

$$\frac{Kwn^2}{s^2 + 2\varepsilon wns + wn^2}$$

En donde: K= ganancia estática del sistema

wn = Frecuencia natural no amortiguada

ε = Coeficiente de amortiguamiento

De manera que para la función obtenida se tiene que:

$$K\omega n^2 = 0,8603$$

$$2\varepsilon\omega n = 2,982 \times 10^{-11}$$

$$\omega n^2 = 0,4681$$

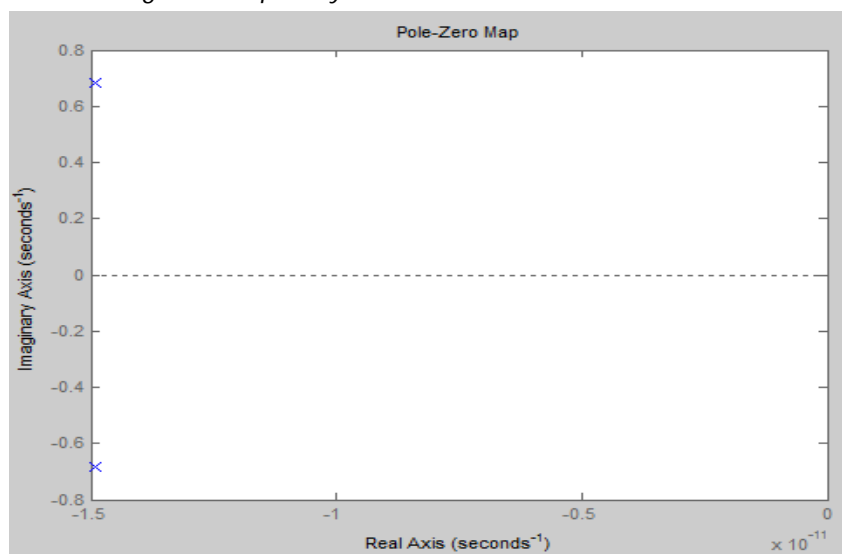
$$\omega n = 0,6841$$

$$\varepsilon = 2,179 \times 10^{-11}$$

$$K = 1,84$$

Al igual que el anterior caso, se obtiene una respuesta subamortiguada dado que: $0 < \varepsilon < 1$ además se observa la ganancia natural K del sistema es similar al del anterior, debido a que los dos motores son del mismo tipo. A continuación se presenta el diagrama de polos y ceros para el análisis de estabilidad del sistema:

Figura 4.12 Diagrama de polos y ceros de la función de transferencia del motor 2



- **Análisis de estabilidad mediante el criterio de routh.**

$$\begin{array}{l|ll} s^2 & 1 & 0,4681 \\ s^1 & 2,982 \times 10^{-11} & \\ s^0 & a = 0,4681 & \end{array}$$

Cálculo del coeficiente a:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0,4681 \\ 2,982 \times 10^{-11} & 0 \end{vmatrix}}{2,982 \times 10^{-11}} = \frac{(2982 \times 10^{-11} \times 0,4681) - (1 \times 0)}{2,982 \times 10^{-11}} = 0,4681$$

Se puede observar que se cumplen las condiciones para estabilidad según el criterio de Routh, por lo cual se considerará al sistema matemáticamente estable.

- **Cálculo del error en estado estable del sistema**

Se considerará para el análisis del error en estado estable una entrada escalón de amplitud 1 de manera que se tiene:

$$Kp = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0,8603}{s^2 + 2,982 \times 10^{-11}s + 0,4681}$$

$$Kp = 1,84$$

Entonces:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + 1,84}$$

$$e_{ss} = 0,352$$

$$e_{ss} = 35,2\%$$

A continuación se realiza el análisis en matlab de la respuesta temporal del sistema seleccionado ante una entrada impulso y escalón unitario.

- **Respuesta ante una entrada impulso:**

Figura 4.13 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso

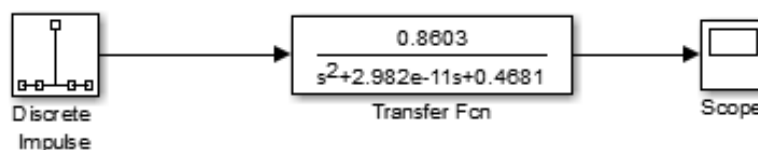
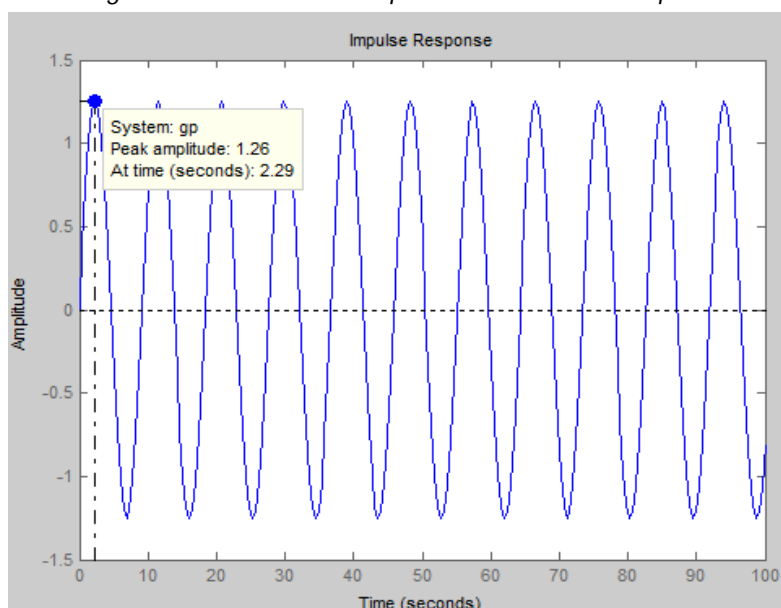


Figura 4.14 Gráfica de respuesta ante entrada impulso



De la gráfica se puede obtener los siguientes datos relevantes:

- Máximo pico: 1.26
- Tiempo de máximo pico: 2.3
- Tiempo de estabilización: infinito.

Con esta información se concluye lo siguiente:

- El sistema presenta una señal oscilatoria permanente dentro de una amplitud fija, lo que equivale a decir que el sistema da una respuesta críticamente amortiguada ante una entrada impulso.
- Dichas oscilaciones se traducen como pequeñas vibraciones en el motor, por lo cual no es conveniente que se produzcan. Además, el elevado número de picos produciría un sobrecalentamiento del motor.
- **Respuesta ante una entrada escalón unitario:**

Figura 4.15 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada escalón unitario

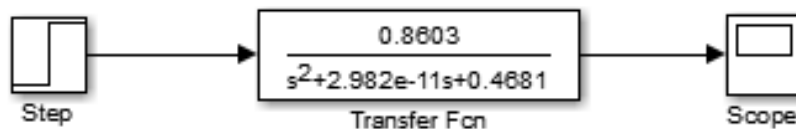
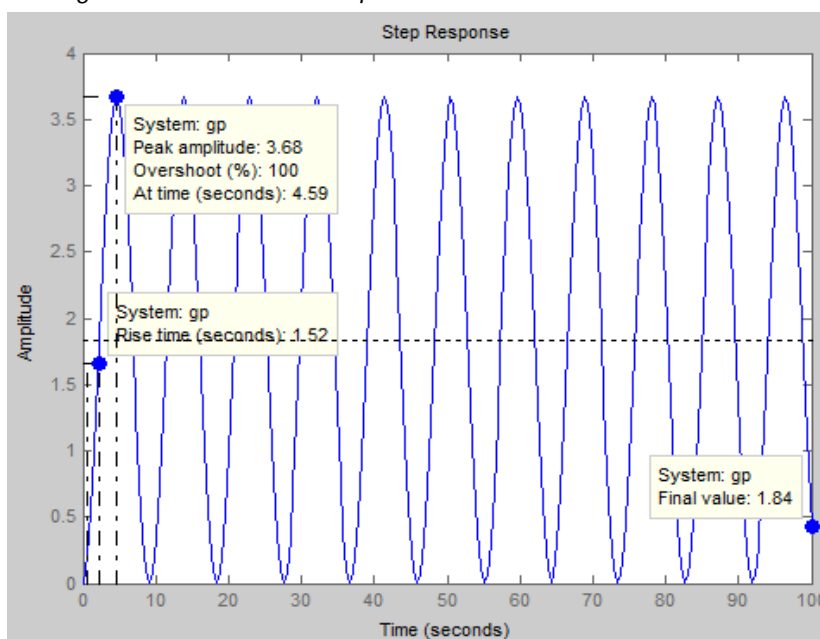


Figura 4.16 Gráfica de respuesta ante entrada escalón unitario



De las dos gráficas podemos obtener los siguientes datos relevantes:

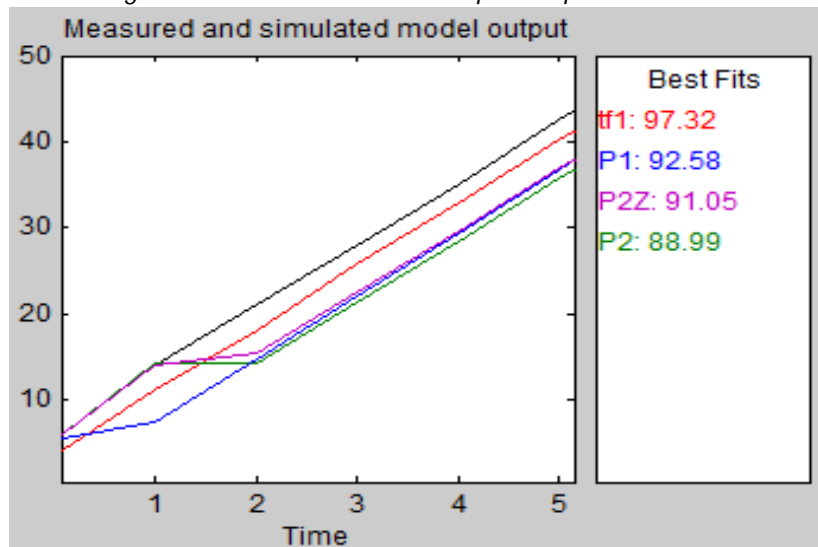
- Máximo Sobreimpulso: 100 %
- Tiempo de subida: 1.52 s

Con esta información se concluye lo siguiente:

- De igual manera el sistema da una respuesta estable críticamente amortiguada aunque presenta picos demasiado grandes que podrían ocasionar daños en el motor.

4.1.2.3. Motor para el movimiento en el eje z

Figura 4.17 Modelos estimados para la planta: motor 3



Mediante la herramienta ident de Matlab y en base a los parámetros establecidos anteriormente, se ha escogido el modelo más aproximado con un porcentaje del 97.32% y cuya función de transferencia está dada por:

$$\frac{U1}{Y1} = \frac{44,49}{s^2 + 1,926 \times 10^{-11}s + 6,086}$$

- **Análisis de la respuesta temporal**

$$\frac{Kwn^2}{s^2 + 2\varepsilon wns + wn^2}$$

En donde: K= ganancia estática del sistema

wn = Frecuencia natural no amortiguada

ε = Coeficiente de amortiguamiento

De manera que para la función obtenida se tiene que:

$$Kwn^2 = 44,49$$

$$2\varepsilon wn = 1,926 \times 10^{-11}$$

$$wn^2 = 6,086$$

$$wn = 2,467$$

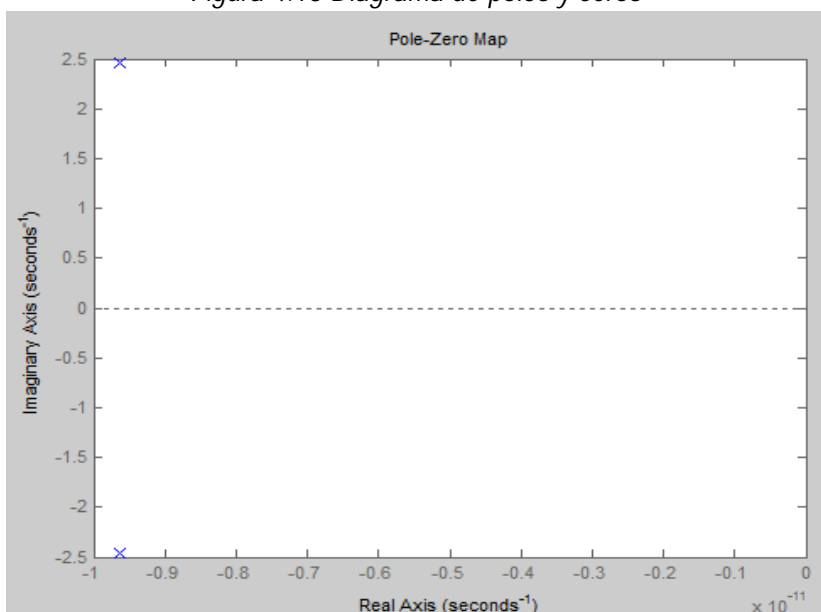
$$\varepsilon = 3,9 \times 10^{-12}$$

$$K = 7,31$$

Del parámetro ε se puede concluir que el sistema genera una respuesta subamortiguada dado que: $0 < \varepsilon < 1$ se puede observar también una mayor ganancia natural del sistema, esto debido a que el motor tiene un mayor ángulo de paso que los anteriores, por lo tanto necesita mayor corriente para efectuar cada paso.

A continuación se presenta el diagrama de polos y ceros para el análisis de estabilidad del sistema:

Figura 4.18 Diagrama de polos y ceros



- **Análisis de estabilidad mediante el criterio de routh.**

$$\begin{array}{r|ll}
 s^2 & 1 & 6,086 \\
 s^1 & 1,926 \times 10^{-11} & \\
 s^0 & a = 6,086 &
 \end{array}$$

Cálculo del coeficiente a:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 6,086 \\ 1,926 \times 10^{-11} & 0 \end{vmatrix}}{1,926 \times 10^{-11}} = \frac{(1,926 \times 10^{-11} \times 6,086) - (1 \times 0)}{1,926 \times 10^{-11}} = 6,086$$

Se puede observar que se cumplen las condiciones para estabilidad según el criterio de Routh, por lo cual se considerará al sistema matemáticamente estable.

- **Cálculo del error en estado estable del sistema**

Se considerará para el análisis del error en estado estable una entrada escalón de amplitud 1, de manera que se tiene:

$$Kp = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{44,49}{s^2 + 1,926 \times 10^{-11}s + 6,086}$$

$$Kp = 7,31$$

Entonces:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + 7,31}$$

$$e_{ss} = 0,12$$

$$e_{ss} = 12\%$$

A continuación se realiza el análisis en matlab de la respuesta temporal del sistema seleccionado ante una entrada impulso y escalón unitario.

- **Respuesta ante una entrada impulso:**

Figura 4.19 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso

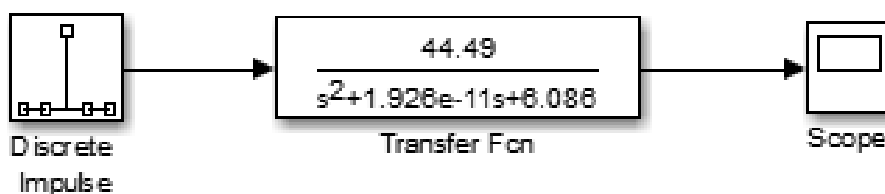
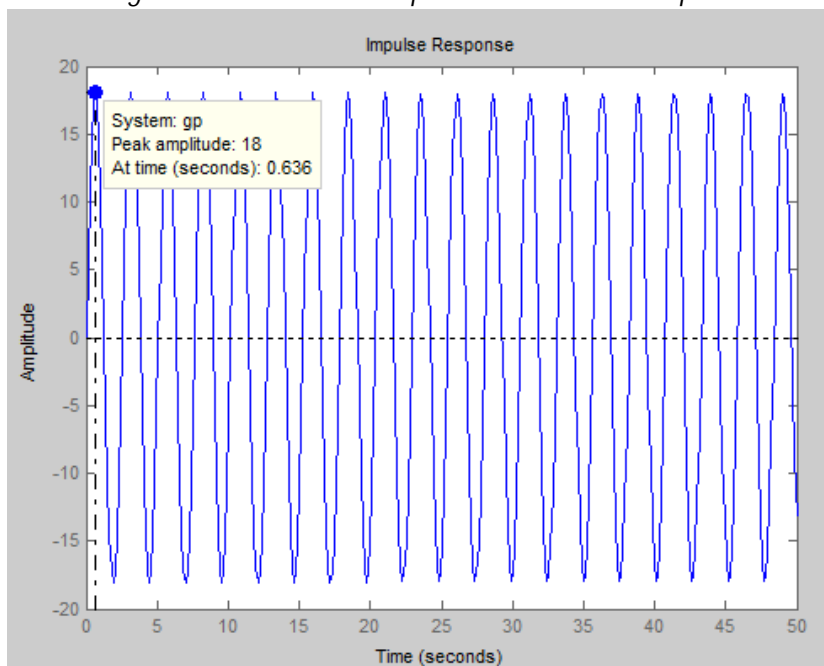


Figura 4.20 Gráfica de respuesta ante entrada impulso



De la gráfica se puede obtener los siguientes datos relevantes:

- Máximo pico: 18
- Tiempo de máximo pico: 0.637
- Tiempo de estabilización: infinito.

Con esta información se concluye lo siguiente:

- El sistema presenta una señal oscilatoria permanente dentro de una amplitud fija, lo que equivale a decir que el sistema da una respuesta críticamente amortiguada ante una entrada impulso.
- El sistema produce picos altos de corriente en intervalos de 0,6 segundos, estos picos se generan de manera permanente lo cual generara vibraciones en el motor.

▪ **Respuesta ante una entrada escalón unitario:**

Figura 4.21 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada escalón unitario

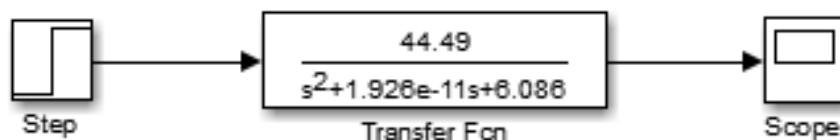
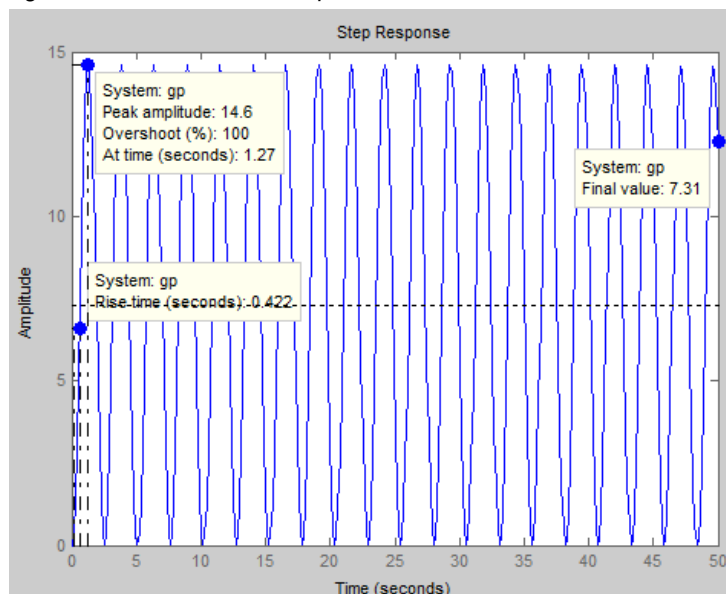


Figura 4.22 Gráfica de Respuesta ante entrada escalón unitario



De las dos gráficas podemos obtener los siguientes datos relevantes:

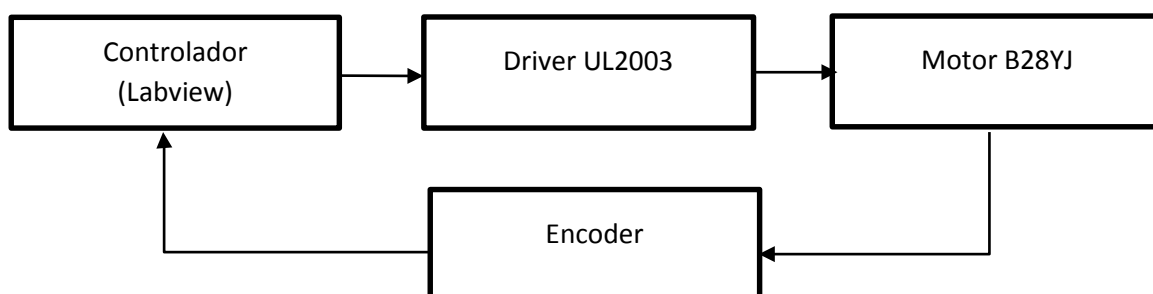
- Máximo Sobreimpulso: 100 %
- Tiempo de subida: 0.422 s

Con esta información se concluye lo siguiente:

- El sistema genera una respuesta estable críticamente amortiguada ante una entrada escalón unitario aunque presenta picos demasiado grandes que podrían ocasionar daños en el motor.

4.1.2.4. Motor para el movimiento del dosificador

Para este caso en particular se ha añadido un encoder para obtener la señal de error de posición del motor ya que el motor del dosificador requiere de mayor precisión que los demás pues es la parte central del proyecto para los demás casos la señal de realimentación se toma directamente desde el driver de cada motor. A continuación se muestra un diagrama de bloques indicando como se realiza el módelo matemático para este motor:



Cabe recalcar que el control del sistema esta enfocado a controlar la posición del dosificador y de esta manera se puede controlar la cantidad liquido por lo cual aunque se utilze un control en lazo cerrado para el control del dosificador, el control de la variable de volumen esta en lazo abierto como se explica en la siguiente ilustración

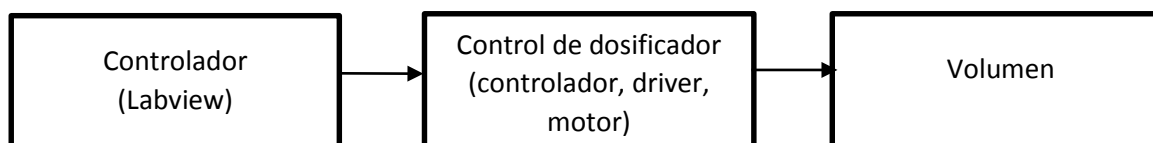
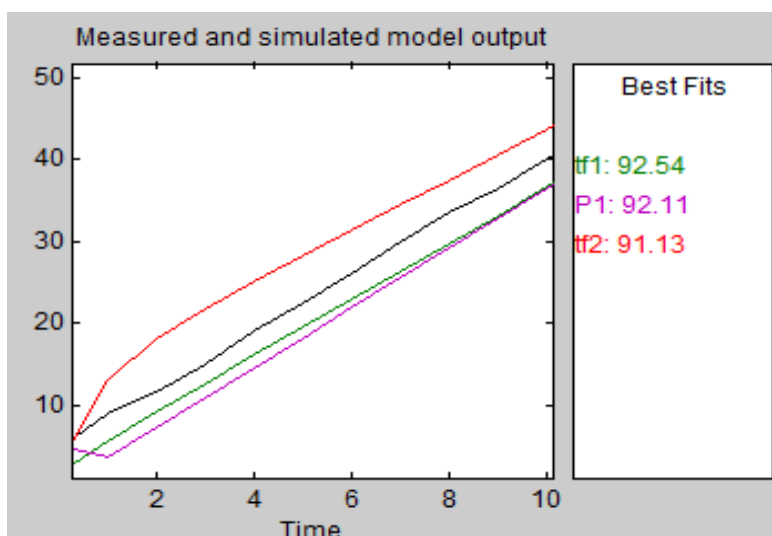


Figura 4.23 Modelos estimados para la planta: motor 4



Una vez más mediante la herramienta ident de matlab se ha escogido el modelo de mayor aproximación para la planta, el cual corresponde a la siguiente función de transferencia con un porcentaje de aproximación del 92,54%

$$\frac{U1}{Y1} = \frac{0,03556}{s^2 + 2,725 \times 10^{-12}s + 0,202}$$

- **Análisis de la respuesta temporal**

$$\frac{Kwn^2}{s^2 + 2\varepsilon wns + wn^2}$$

En donde: K= ganancia estática del sistema

Wn = Frecuencia natural no amortiguada

ε = Coeficiente de amortiguamiento

De manera que para la función obtenida se tiene que:

$$K\omega_n^2 = 0,03556$$

$$2\varepsilon\omega_n = 2,725 \times 10^{-12}$$

$$\omega_n^2 = 0,202$$

$$\omega_n = 0,449$$

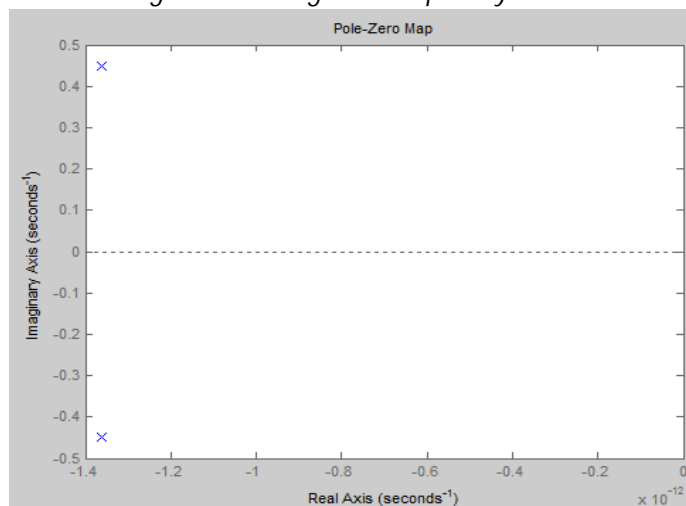
$$\varepsilon = 3,03 \times 10^{-12}$$

$$K = 0,176$$

Al observar el parámetro ε se puede concluir que el sistema genera una respuesta subamortiguada dado que: $0 < \varepsilon < 1$ también se puede observar que la ganancia del sistema es mínima, ya que el motor necesita una corriente pequeña para su funcionamiento.

A continuación se presenta el diagrama de polos y ceros para el análisis de estabilidad del sistema:

Figura 4.24 Diagrama de polos y ceros



- **Análisis de estabilidad mediante el criterio de routh.**

$$\begin{array}{l|ll} s^2 & 1 & 0,202 \\ s^1 & 2,725 \times 10^{-12} & \\ s^0 & a = 0,202 & \end{array}$$

Cálculo del coeficiente a:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0,202 \\ 2,725 \times 10^{-12} & 0 \end{vmatrix}}{2,725 \times 10^{-12}} = \frac{(2,725 \times 10^{-12} \times 0,202) - (1 \times 0)}{2,725 \times 10^{-12}} = 0,202$$

Se puede observar que se cumplen las condiciones para estabilidad según el criterio de Routh, por lo cual se considerará al sistema matemáticamente estable.

- **Cálculo del error en estado estable del sistema**

Se considerará para el análisis del error en estado estable una entrada escalón de amplitud 1, de manera que se tiene:

$$Kp = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0,03556}{s^2 + 2,725 \times 10^{-12}s + 0,202}$$

$$Kp = 7,31$$

Entonces:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + 0,176}$$

$$e_{ss} = 0,85$$

$$e_{ss} = 85\%$$

A continuación se realiza el análisis en matlab de la respuesta temporal del sistema seleccionado ante una entrada impulso y escalón unitario.

- **Respuesta ante una entrada impulso:**

Figura 4.25 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada impulso

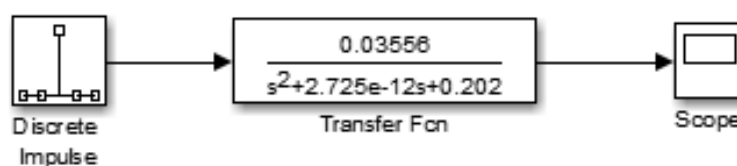
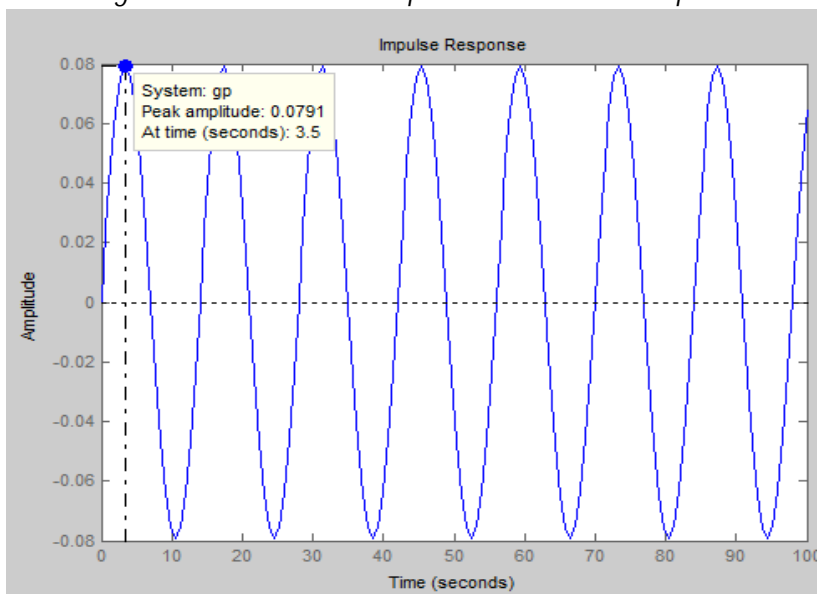


Figura 4.26 Gráfica de Respuesta ante entrada impulso



De la gráfica se puede obtener los siguientes datos relevantes:

- Máximo pico: 0,0791
- Tiempo de máximo pico: 3,49
- Tiempo de estabilización: infinito.

Con esta información se concluye lo siguiente:

- El sistema presenta una señal oscilatoria permanente dentro de una amplitud fija lo que equivale a decir que el sistema da una respuesta críticamente amortiguada ante una entrada impulso.
- El sistema genera una respuesta con picos de 0,079 en tiempos de 3.49 es decir una respuesta lenta con oscilaciones o vibraciones permanentes.

▪ **Respuesta ante una entrada escalón unitario:**

Figura 4.27 Diagrama de bloques respuesta ante una entrada escalón unitario

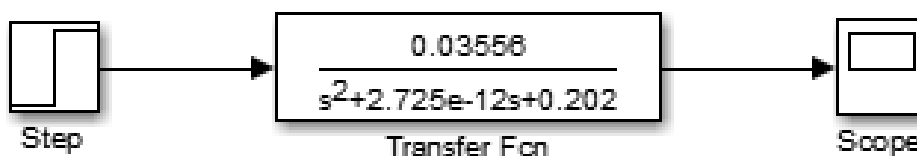
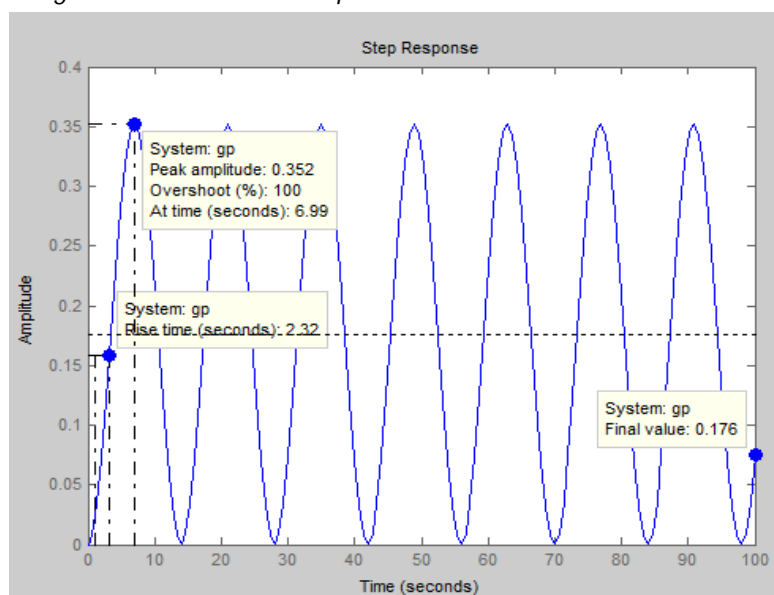


Figura 4.28 Gráfica de respuesta ante entrada escalón unitario



De las dos gráficas podemos obtener los siguientes datos relevantes:

- Máximo Sobreimpulso: 100 %
- Tiempo de subida: 2,32 s

Con esta información se concluye lo siguiente:

- El sistema genera una respuesta estable críticamente amortiguada ante una entrada escalón unitario.

4.1.3. ANÁLISIS Y DISEÑO DE CONTROLADOR

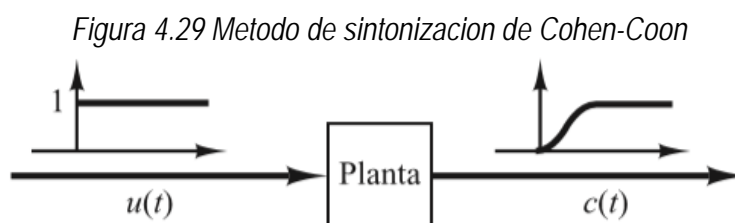
Para realizar el diseño del controlador se utilizará una herramienta desarrollada por Danilo Bastidas, estudiante de ingeniería Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte. Dicha herramienta permite mediante una interfaz gráfica diseñar el controlador más adecuado para un sistema de control mediante la función de transferencia del mismo.

La herramienta permite escoger entre cuatro tipos básicos de controladores: Proporcional, Proporcional derivativo, Proporcional Integrador o Proporcional integrador y derivativo.

Esta herramienta permite seleccionar el controlador más para la planta ingresada adecuado mediante el método de sintonización de Cohen Coon el cual se explica más a detalle a continuación:

- **Método de sintonización de Cohen-Coon :**

En este método se obtiene experimentalmente la respuesta de la planta al aplicar un escalón unitario, como se muestra en la siguiente figura. Si la planta no incluye integrador(es) o polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta al escalón unitario puede tener el aspecto de una curva en forma de S, como se observa en dicha figura, en el caso en que la curva no presente esta forma, no se puede aplicar el método.



Fuente: (Ogata, 2010)

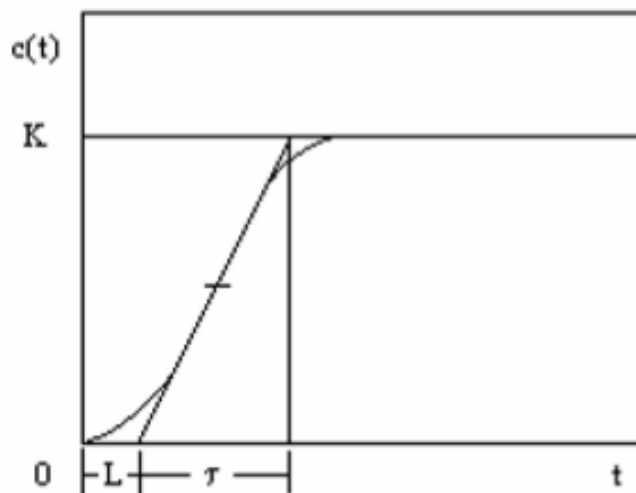
La curva en forma en S se puede caracterizar con dos parámetros, el tiempo del atraso L y la constante de tiempo τ . El tiempo de atraso y la constante de tiempo se determinan trazando una línea tangente a la curva en la forma de S en el punto de inflexión y se determinan las intersecciones de esta línea tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t) = K$, como se muestra en la figura 4.29. Entonces la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se puede aproximar por un sistema de primer orden con atraso de transporte. (Ogata, 2010)

Ecuación 4.3 Función de transferencia método Cohen-Coon

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K \cdot e^{-L \cdot s}}{\tau \cdot s + 1}$$

Fuente: (Ogata, 2010)

Figura 4.30 Parámetros de la función de transferencia: método Cohen-Coon



Fuente: (Ogata, 2010)

Una vez identificado los parámetros del proceso, se obtienen los parámetros del controlador utilizando la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Parámetros de cada tipo de controlador según método Cohen-Coon

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: (Ogata, 2010)

En base a este método a continuación se procede a realizar el análisis y selección del controlador más adecuado para los motores.

Como se tiene básicamente el mismo tipo de función de transferencia para los cuatro motores seleccionados, se analizarán los cuatro tipos de controladores para el primer motor. En base a estos análisis, se seleccionará el más adecuado y se establecerán el mismo tipo de controladores con los demás motores.

4.1.3.1. Análisis de controlador para el motor 1

La herramienta a utilizar permite ingresar la función de transferencia y algunos parámetros como requisitos, luego se debe seleccionar el tipo de controlador. Se iniciará realizando el análisis para un control proporcional.

Figura 4.31 Ingreso de parámetros para el controlador.

The screenshot shows a software interface for configuring a controller. It is divided into several sections:

- Ingrese G(s):** A section for entering the transfer function. It contains two input fields: "Num:" with the value "0.7401" and "Den:" with the value "1.2.441e-8 0.4105".
- Requisitos:** A section for entering performance requirements. It contains three input fields: "Mp (%):" with the value "20", "ts:" with the value "-", and "ess:" with the value "-".
- Buttons:** Three icons (home, info, close) and a large "INGRESAR" button.
- Elija el Controlador a implementar:** A section with four radio button options: "Control P" (selected), "Control PI", "Control PD", and "Control PID".
- Diagram:** A circuit diagram of an inverting amplifier. It shows an input terminal v_i connected to a resistor R_1 , which is connected to the inverting input (-) of an operational amplifier. The non-inverting input (+) is connected to ground. The feedback path consists of a resistor R_2 connected between the output v_o and the inverting input.
- Información:** A text box containing the following bullet points:
 - * El tiempo de elevación experimenta una pequeña reducción.
 - * El máximo pico de sobreimpulso se incrementa.
 - * El amortiguamiento se reduce.
 - * El tiempo de asentamiento cambia en pequeña proporción.
 - * El error de estado estable disminuye con incrementos de ganancia.
 - * El tipo de sistema permanece igual.
- Método de Sintonización:** A dropdown menu currently set to "Cohen - Coon".
- Control Analógico:** A label at the bottom left of the interface.

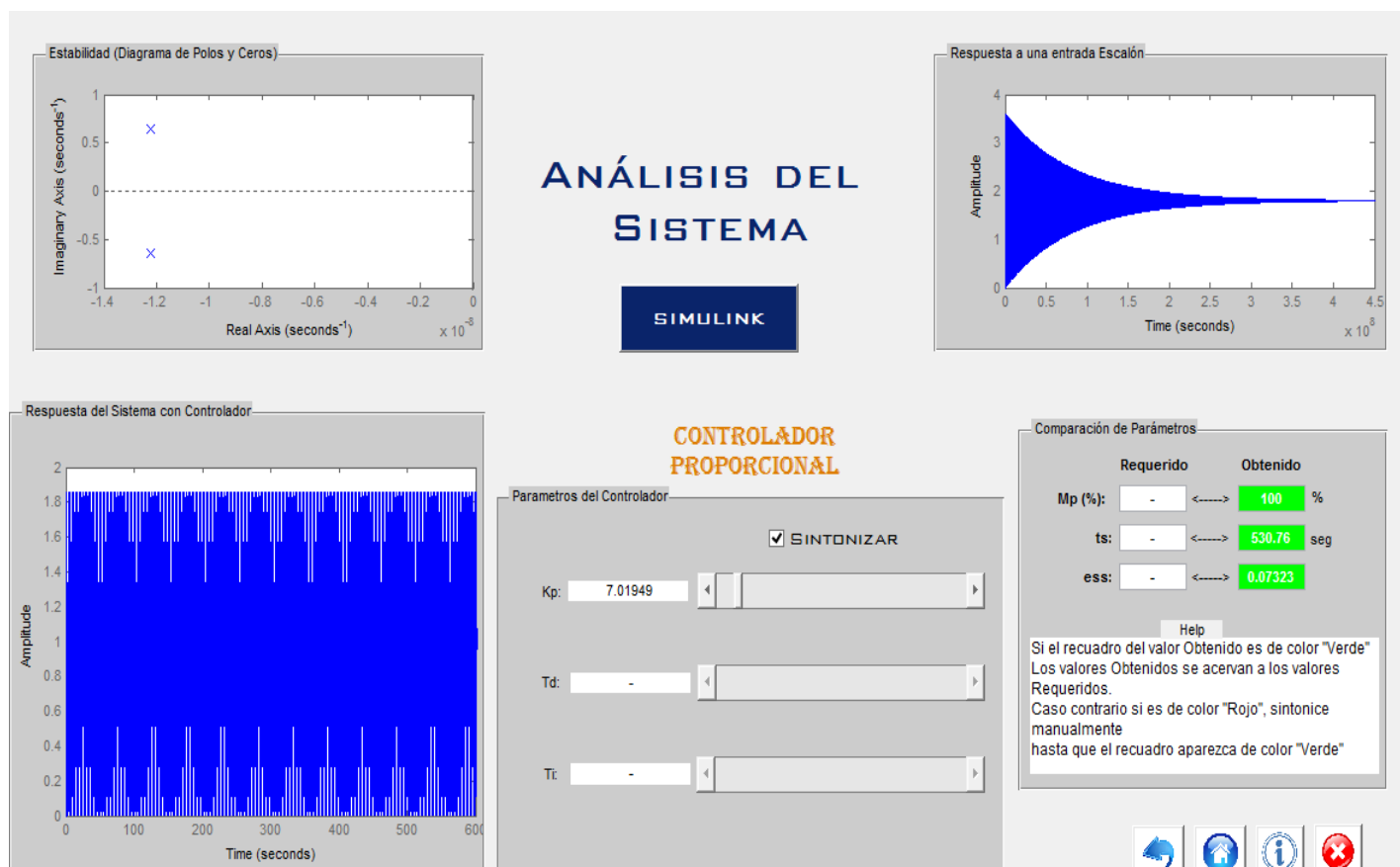
Fuente: (Bastidas, 2015)

Se ha seleccionado como parámetro un máximo sobreimpulso del 20%, ya que un valor mayor podría generar picos excesivos de corriente que dañen el motor, además para determinar la eficiencia del controlador se requerirá que genere un error en estado estable menor al 0,1% y un tiempo de estabilización menor a 1 segundo.

A continuación se generan los datos para sintonizar el controlador de manera que se pueda conseguir la ganancia más adecuada. A continuación se ilustran los resultados después de haber sintonizado el valor de K_p más adecuado para el controlador.

- **Control proporcional**

Figura 4.32 Análisis del sistema con control proporcional



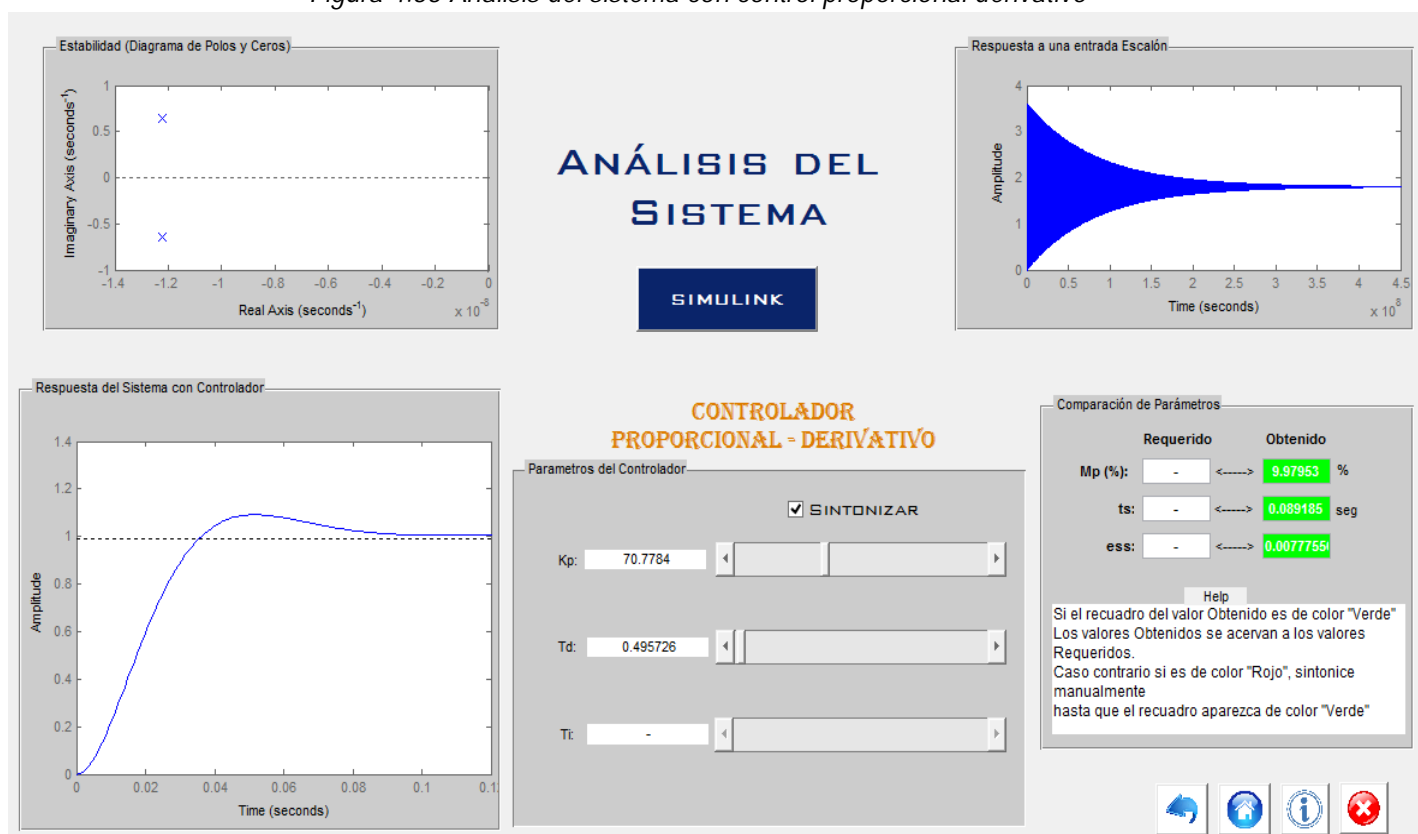
Fuente: (Bastidas, 2015)

Como se puede observar, un controlador proporcional genera una respuesta oscilatoria críticamente amortiguada. Para que dicho controlador genere una respuesta estable con un bajo error se requiere de una ganancia K_p mínima de 7. Sin embargo, el sistema aún sigue generando un sobreimpulso máximo del 100% además de que el tiempo de estabilización es demasiado grande debido a las oscilaciones.

A continuación se realizará el análisis para un controlador proporcional y derivativo.

- **Control proporcional derivativo**

Figura 4.33 Análisis del sistema con control proporcional derivativo



Fuente: (Bastidas, 2015)

Con este controlador se puede obtener una señal mucho más adecuada, como se observa en la figura el sistema genera una respuesta con un sobreimpulso de 9%, y un error en estado estable muy inferior a 0.1 además un tiempo de estabilización de 0,089 segundos.

Los parámetros sintonizados son:

- $K_p = 70.77$
- $T_d = 0.495$

A continuación se realizará el análisis para un controlador tipo proporcional integrativo.

- **Control proporcional integrativo**

Figura 4.34 Análisis del controlador proporcional integrativo



Fuente: (Bastidas, 2015)

Luego de sintonizar varios valores para este tipo de controlador no se encontr  valores que permitan estabilizar el sistema, como se observa en la figura la respuesta tiende a desestabilizarse a largo plazo por lo cual se descarta la opción de utilizar un controlador integrativo.

A continuación se realizará el análisis con un controlador proporcional integrativo y derivativo.

- **Control proporcional integrativo derivativo**

Figura 4.35 Análisis del controlador proporcional integrativo y derivativo



Fuente: (Bastidas, 2015)

Se puede observar que el controlador genera una respuesta adecuada con un máximo sobreimpulso de 7,7%, un tiempo de estabilización de 0,07 y un error en estado estable de magnitud 0.

Los parámetros sintonizados para este controlador son:

- $K_p = 6.03$
- $T_d = 13.8$
- $T_i = 22.52$

Una vez analizados los 4 tipos de controladores se puede concluir que solo dos tipos de controladores generan una respuesta adecuada para el tipo de sistema propuesto, el control proporcional derivativo, y el proporcional derivativo integrativo.

Estimando costos y teniendo cuenta las ventajas de cada uno de las dos opciones posibles de controladores se ha establecido un control PD como el más adecuado para todos los motores del sistema.

Por tanto se establece un controlador proporcional derivativo con los siguientes parámetros para el motor 1:

- $K_p = 70.77$
- $T_d = 0.495$

Para establecer la función de transferencia del controlador se utilizará la ecuación general de un controlador proporcional derivativo:

$$PD = (K_p + K_D s)$$

$$PD = (K_p + K_p \times_d s)$$

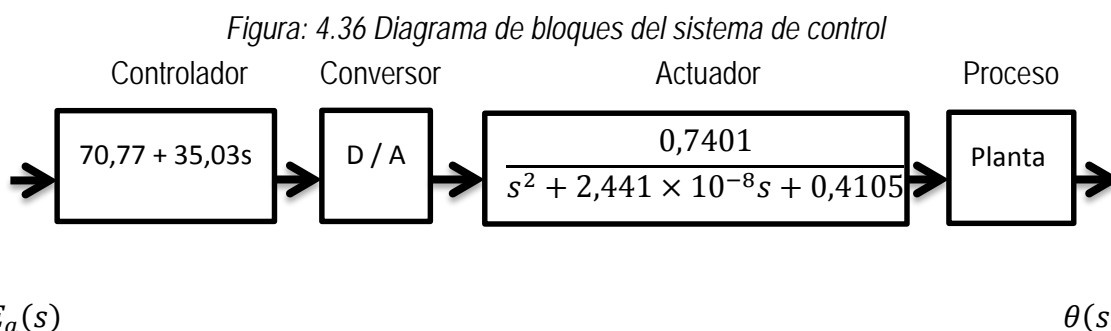
Por lo tanto para el control propuesto se tiene que:

$$PD = (70.77 + 70.77 \times 0.495s)$$

$$PD = (70.77 + 35.03s)$$

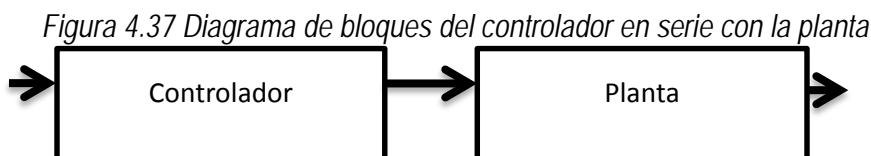
- **Discretización de la función de transferencia de la planta para el motor 1**

Una vez que se han establecido los parámetros tanto del motor como del controlador y se ha definido la planta del sistema se procede a transformar el sistema de tiempo continuo a discreto a continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema de control en tiempo continuo:



El proceso de discretización de la planta implica transformar valores analógicos a digitales, para ello se hará uso de la transformada z, ya que este método permite transformar funciones en el dominio del tiempo a funciones en el dominio de la frecuencia.

Antes de proceder a transformar al dominio de la frecuencia es necesario determinar el tiempo de muestreo, para esto se hará uso de la herramienta matlab para obtener el diagrama de bode de la planta y de esta manera determinar el tiempo de muestreo de la planta. A continuación se observa la función de transferencia del controlador en serie con la planta:

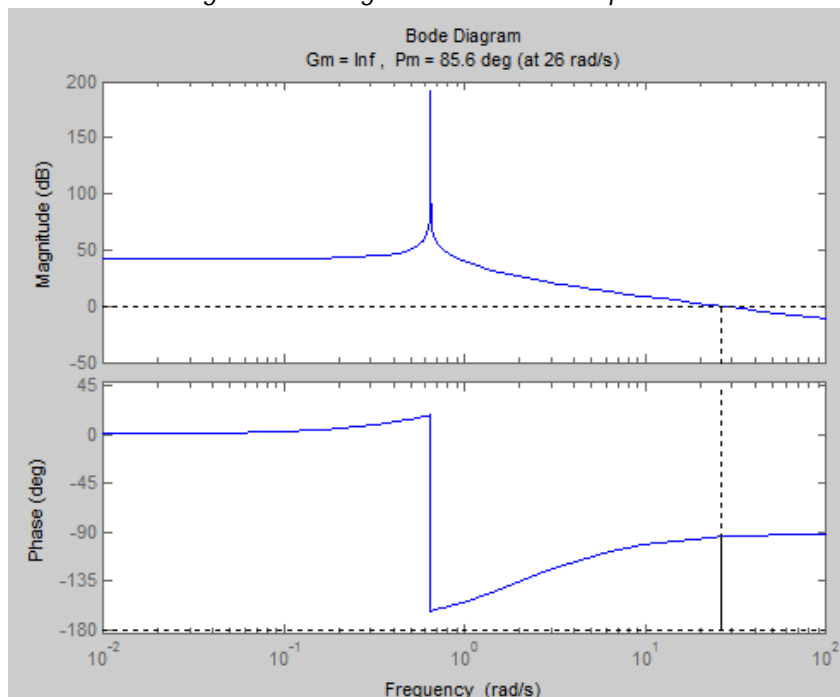


De esta operación se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$\frac{25.93 s + 52.38}{s^2 + 2.441e \times 10^{-8} s + 0.4105}$$

A continuación se presenta el diagrama de bode del controlador en serie con la planta:

Figura 4.38 Diagrama de bode de la planta



El diagrama de bode proporciona información sobre la frecuencia de muestreo de la planta, como se puede observar para la planta del motor 1 esta frecuencia tiene un valor de 26[rad/s]. A continuación se establecerá el tiempo de muestreo con el siguiente criterio:

$$T = \frac{0,5}{Wc}$$

De modo que para el valor de $Wc = 26$ [rad/s] se obtiene que:

$$T = \frac{0,5}{26}$$

$$T = 0,0192$$

Una vez que se ha obtenido este parámetro, se procede a realizar la discretización del sistema utilizando la herramienta matlab para transformar el sistema al dominio de la frecuencia. Se utilizará el método de aproximación lineal ya que matlab no permite aplicar el método de bloqueador de orden cero cuando se tiene una función de transferencia con mayor número de ceros que polos.

Una vez que se ha transformado la planta a una función en tiempo discreto tenemos que:

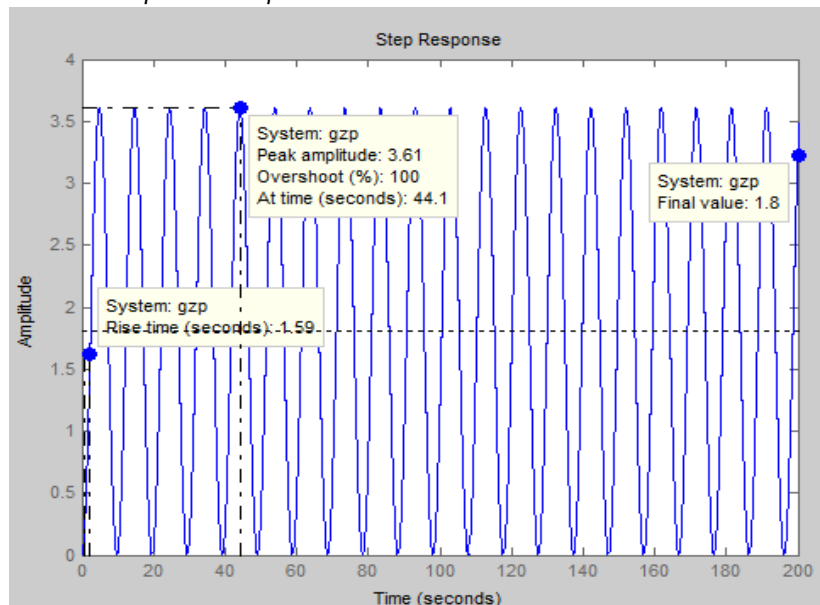
$$G_{(z)p} = \frac{6.821 \times 10^{-5} z^2 + 0.0001364 z + 6.821 \times 10^{-5}}{z^2 - 2z + 1}$$

De igual manera se procede para obtener la función en tiempo discreto del controlador, de modo que la función en tiempo discreto del controlador es:

$$G_{(z)c} = \frac{3720 z - 3578}{z + 1}$$

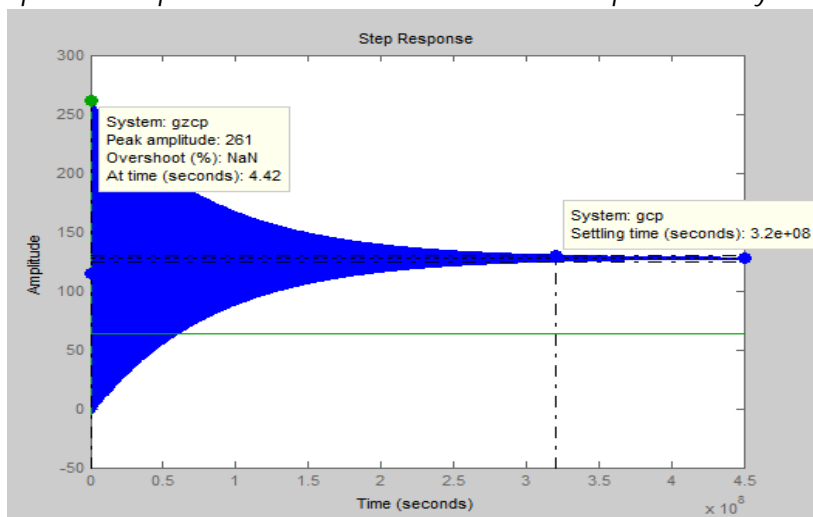
A continuación se realizará el análisis de la respuesta temporal de la planta discretizada ante una entrada escalón unitario:

Figura 4.39 Respuesta de planta discretizada ante una entrada escalón unitario



Una vez más se obtiene una respuesta críticamente amortiguada. A continuación se analizará la respuesta temporal de la planta en serie con el controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto:

Figura 4.40 Respuesta de planta en serie con controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto.



Una vez que se han realizado cada uno de estos análisis se procede a establecer el algoritmo de control con los parámetros obtenidos de la planta:

$$G_{(z)c} = \frac{3720z - 3578}{z + 1}$$

$$\frac{Y_{(z)}}{E_{(z)}} = \frac{3720z - 3578}{z + 1}$$

$$Y_{(z)}(z + 1) = E_{(z)}(3720z - 3578)$$

$$Y_{(z)}z + Y_{(z)} = 3720E_{(z)}z - E_{(z)}3578$$

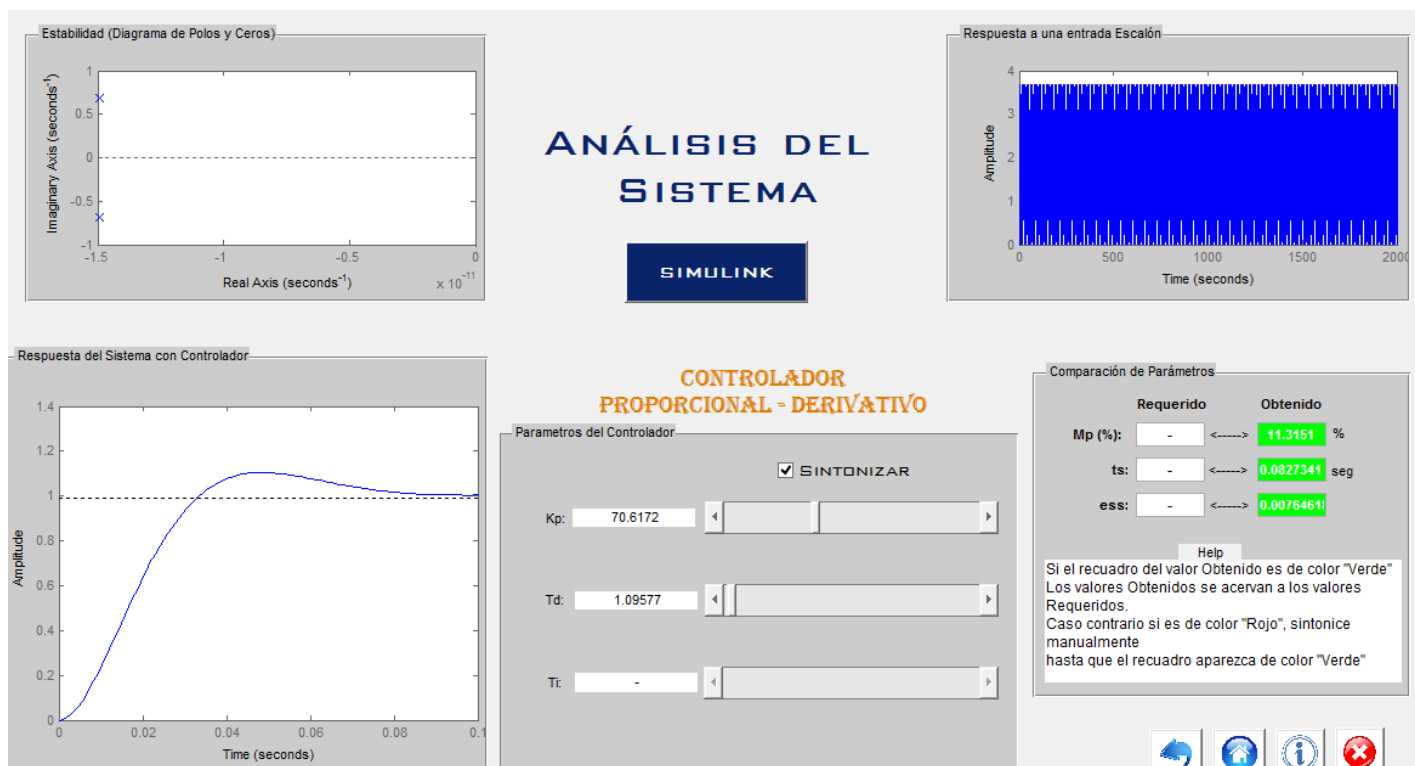
$$Y_{(z)}z = E_{(z)}3720z - 3578E_{(z)} - Y_{(z)}$$

$$Y_{(z)} = 3720E_{(z)} - 3578E_{(z)}z^{-1} - Y_{(z)}z^{-1}$$

$$Y_{(z)} = 3720E_{(z)} - 3578E_{(z)}(z - 1) - Y_{(z-1)}$$

4.1.3.2. Análisis de controlador para el motor 2

Figura 4.41 Análisis de controlador para el motor 2



Fuente: (Bastidas, 2015)

El motor dos genera una respuesta transitoria estable con el controlador PD, la cual presenta los siguientes parámetros:

- Máximo sobreimpulso = 11.31%
- Tiempo de Estabilización = 0.082 s
- Error en estado Estable = 0.0076

Los parámetros sintonizados para el controlador son los siguientes:

- $K_p = 70.6$
- $T_d = 1.09$

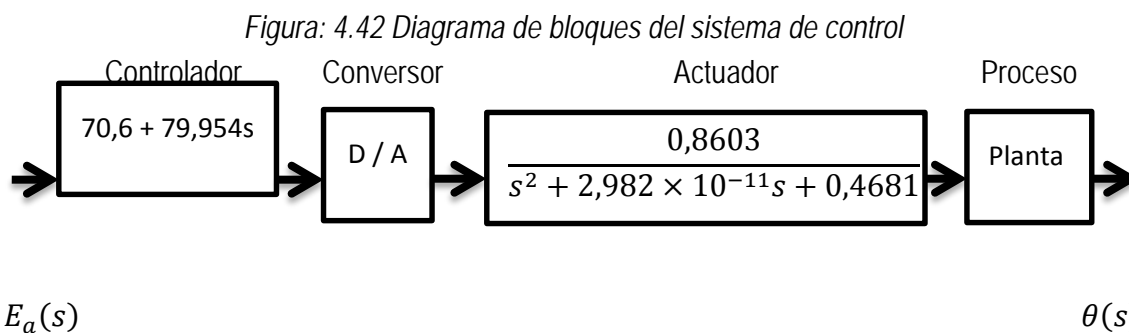
Por lo tanto utilizando la ecuación general de un control PD para el control propuesto se tiene que:

$$PD = (70.6 + 70.6 \times 1.09s)$$

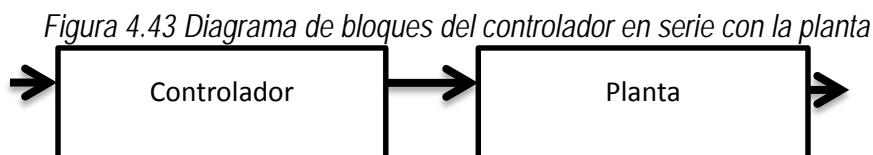
$$PD = (70.6 + 79.954s)$$

- **Discretización de la función de transferencia de la planta para el motor 2**

En el siguiente paso se transformará la función de transferencia, tanto del controlador como de la planta de tiempo continuo a tiempo discreto:



Antes de proceder a transformar al dominio de la frecuencia es necesario determinar el tiempo de muestreo. Para esto se hará uso de la herramienta matlab para obtener el diagrama de bode de la planta y de esta manera determinar el tiempo de muestreo de la planta. A continuación se observa la función de transferencia del controlador en serie con la planta:

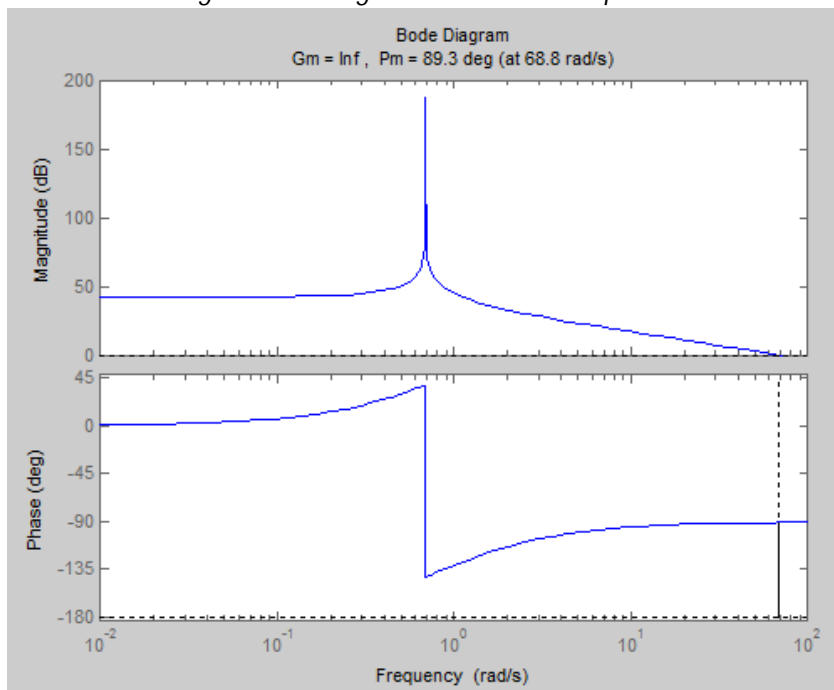


De esta operación se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$\frac{60.74 s + 68.78}{s^2 + 2.982 \times 10^{-11} s + 0.4681}$$

A continuación se presenta el diagrama de bode del controlador en serie con la planta:

Figura 4.44 Diagrama de bode de la planta



El diagrama de bode proporciona información sobre la frecuencia de muestreo de la planta. Como se puede observar para la planta del motor 2 esta frecuencia tiene un valor de 68.8 [rad/s]. A continuación se establecerá el tiempo de muestreo con el siguiente criterio:

$$T = \frac{0,5}{W_c}$$

De modo que para el valor de $W_c = 26$ [rad/s] se obtiene que:

$$T = \frac{0,5}{68.8}$$

$$T = 0,0073$$

Una vez que se ha obtenido este parámetro se procede a realizar la discretización del sistema utilizando la herramienta matlab. Para transformar el sistema al dominio de la frecuencia se utilizará el método de aproximación lineal.

Una vez que se ha transformado la planta a una función en tiempo discreto tenemos que:

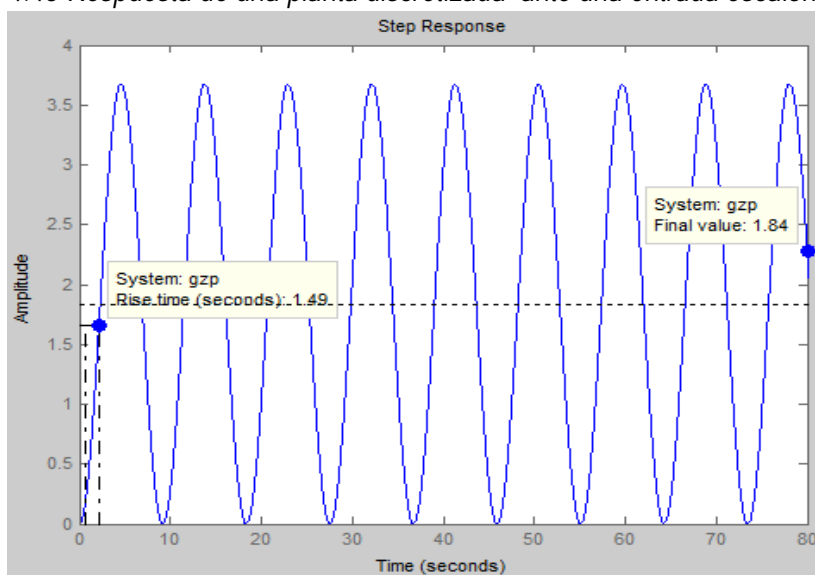
$$G_{(z)p} = \frac{1.146 \times 10^{-05} z^2 + 2.292 \times 10^{-5} z + 1.146 \times 10^{-5}}{z^2 - 2z + 1}$$

De igual manera se procede para obtener la función en tiempo discreto del controlador, de modo que la función en tiempo discreto del controlador es:

$$G_{(z)c} = \frac{2.198 \times 10^4 z - 2.183 \times 10^4}{z + 1}$$

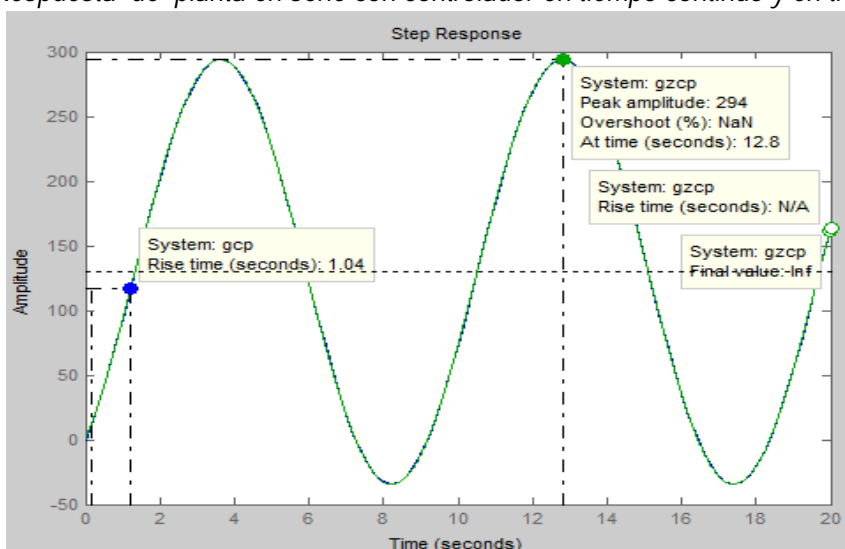
A continuación se realizará el análisis de la respuesta temporal de la planta discretizada ante una entrada escalón unitario.

Figura 4.45 Respuesta de una planta discretizada ante una entrada escalón unitaria



La respuesta obtenida es una respuesta críticamente amortiguada. A continuación se analizará la respuesta temporal de la planta en serie con el controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto.

Figura 4.46 Respuesta de planta en serie con controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto.



Una vez que se han realizado cada uno de estos análisis se procede a establecer el algoritmo de control con los parámetros obtenidos de la planta:

$$G_{(z)c} = \frac{2.198 \times 10^4 z - 2.183 \times 10^4}{z + 1}$$

$$\frac{Y_{(z)}}{E_{(z)}} = \frac{2.198 \times 10^4 z - 2.183 \times 10^4}{z + 1}$$

$$Y_{(z)}(z + 1) = E_{(z)}(2.198 \times 10^4 z - 2.183 \times 10^4)$$

$$Y_{(z)}z + Y_{(z)} = 2.198 \times 10^4 E_{(z)} z - E_{(z)} 2.183 \times 10^4$$

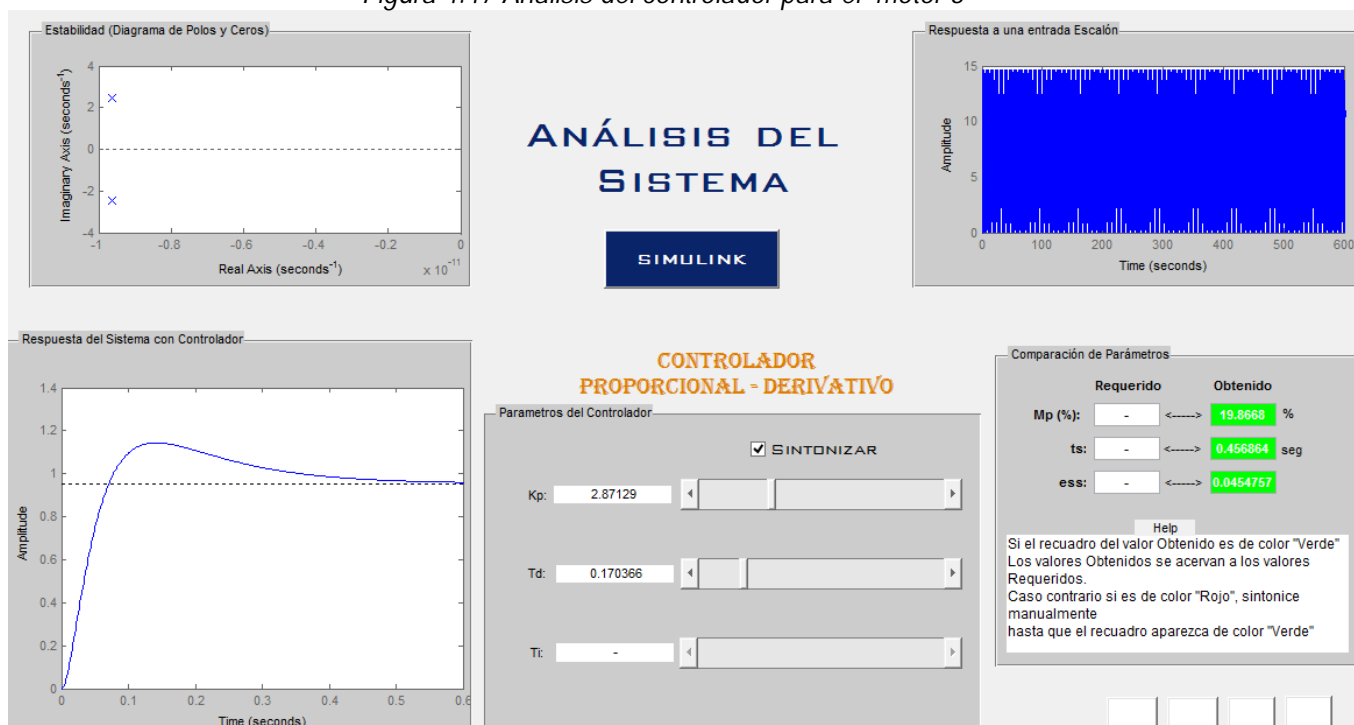
$$Y_{(z)}z = E_{(z)} 2.198 \times 10^4 z - 2.183 \times 10^4 E_{(z)} - Y_{(z)}$$

$$Y_{(z)} = 2.198 \times 10^4 E_{(z)} - 2.183 \times 10^4 E_{(z)} z^{-1} - Y_{(z)} z^{-1}$$

$$Y_{(z)} = 2.198 \times 10^4 E_{(z)} - 2.183 \times 10^4 E_{(z)}(z - 1) - Y_{(z - 1)}$$

4.1.3.3. Análisis de controlador para el motor 3

Figura 4.47 Análisis del controlador para el motor 3



Fuente: (Bastidas, 2015)

El motor tres genera una respuesta transitoria estable con el controlador PD, los parámetros de mayor estabilidad que se pudieron conseguir con este controlador son:

- Máximo sobreimpulso = 19.86%
- Tiempo de Estabilización = 0.45 s
- Error en estado Estable = 0.045

Los parámetros sintonizados para el controlador son los siguientes:

- $K_p = 2.87$
- $T_d = 0.170$

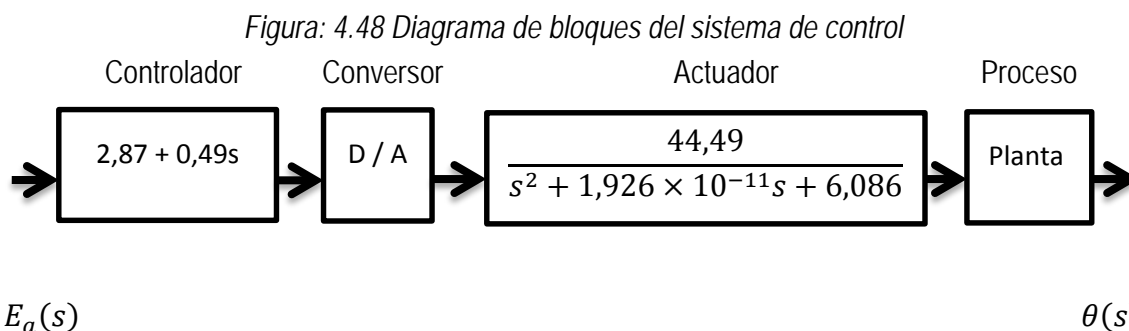
Por lo tanto utilizando la ecuación general de un control PD para el control propuesto se tiene que:

$$PD = (2.87 + 2.87 \times 0.170s)$$

$$PD = (2.87 + 0.49s)$$

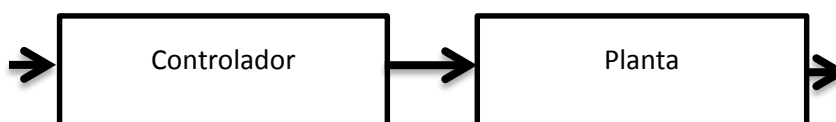
- **Discretización de la función de transferencia de la planta para el motor 3**

En el siguiente paso se transformará la función de transferencia, tanto del controlador como de la planta de tiempo continuo a tiempo discreto:



Antes de proceder a transformar al dominio de la frecuencia es necesario determinar el tiempo de muestreo, para esto se hará uso de la herramienta matlab para obtener el diagrama de bode de la planta y de esta manera determinar el tiempo de muestreo de la planta. A continuación se observa la función de transferencia del controlador en serie con la planta:

Figura 4.49 Diagrama de bloques del controlador en serie con la planta

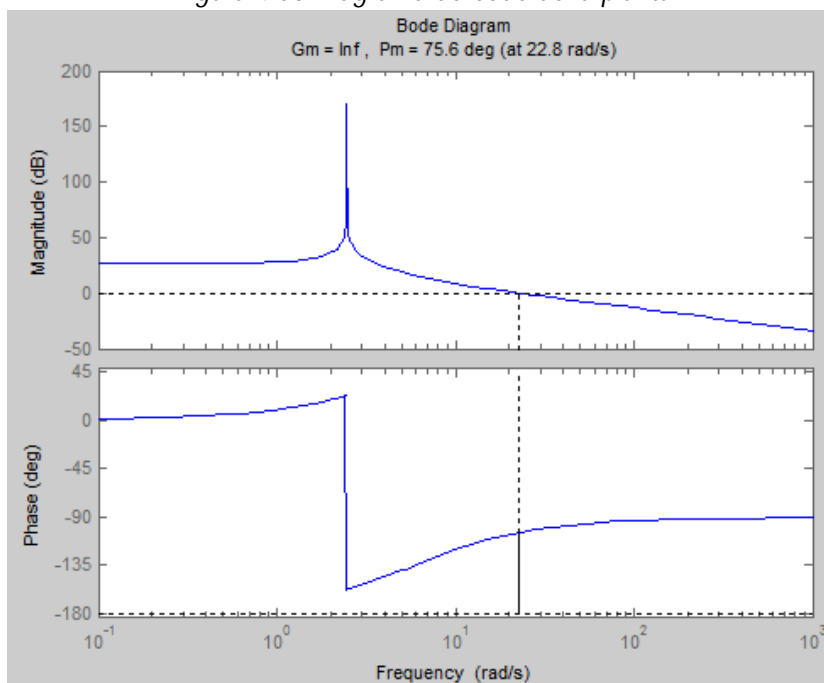


De esta operación se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$\frac{21.8 s + 127.7}{s^2 + 1.926 \times 10^{-11} s + 6.086}$$

A continuación se presenta el diagrama de bode del controlador en serie con la planta:

Figura 4.50 Diagrama de bode de la planta



El diagrama de bode proporciona información sobre la frecuencia de muestreo de la planta, como se puede observar para la planta del motor 3 esta frecuencia tiene un valor de 22.8 [rad/s]. a continuación se establecerá el tiempo de muestreo con el siguiente criterio:

$$T = \frac{0,5}{Wc}$$

De modo que para el valor de $Wc = 26$ [rad/s] se obtiene que:

$$T = \frac{0,5}{22.8}$$

$$T = 0,022$$

Una vez que se ha obtenido este parámetro se procede a realizar la discretización del sistema utilizando la herramienta matlab. Para transformar el sistema al dominio de la frecuencia se utilizará el método de aproximación lineal.

Una vez que se ha transformado la planta a una función en tiempo discreto tenemos que:

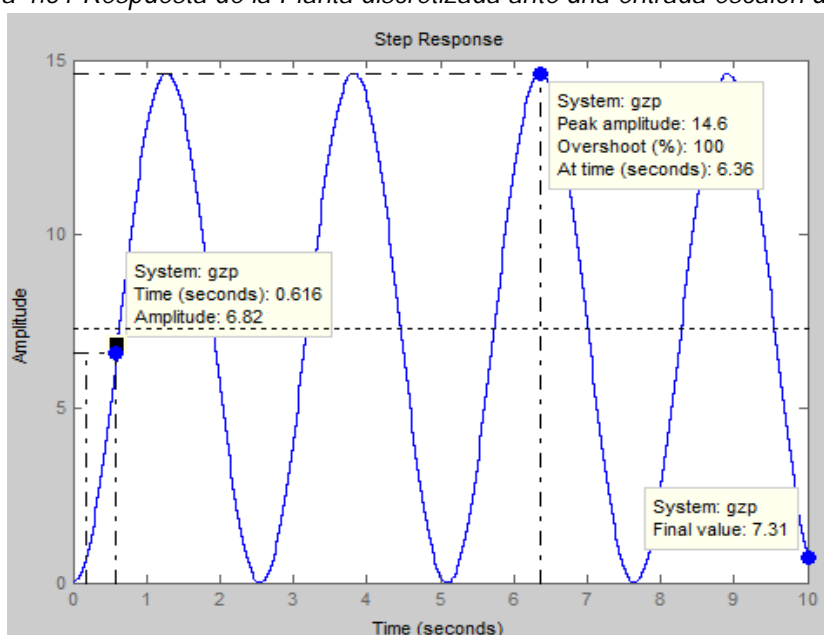
$$G_{(z)p} = \frac{0.005379 z^2 + 0.01076 z + 0.005379}{z^2 - 1.997 z + 1}$$

De igual manera se procede para obtener la función en tiempo discreto del controlador de modo que la función en tiempo discreto del controlador es:

$$G_{(z)c} = \frac{47.42 z - 41.68}{z + 1}$$

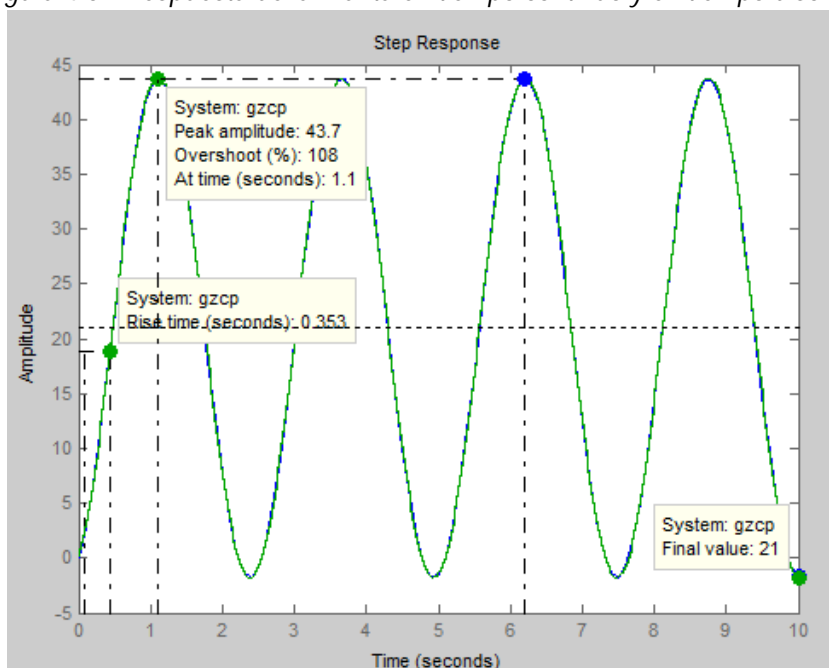
A continuación se realizará el análisis de la respuesta temporal de la planta discretizada ante una entrada escalón unitario:

Figura 4.51 Respuesta de la Planta discretizada ante una entrada escalón unitario



La respuesta obtenida es una respuesta críticamente amortiguada. A continuación se analizará la respuesta temporal de la planta en serie con el controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto:

Figura 4.52 Respuesta de la Planta en tiempo continuo y en tiempo discreto



Una vez que se han realizado cada uno de estos análisis se procede a establecer el algoritmo de control con los parámetros obtenidos de la planta:

$$G_{(z)c} = \frac{47.42 z - 41.68}{z + 1}$$

$$\frac{Y_{(z)}}{E_{(z)}} = \frac{47.42 z - 41.68}{z + 1}$$

$$Y_{(z)}(z + 1) = E_{(z)}(47.42 z - 41.68)$$

$$Y_{(z)}z + Y_{(z)} = 47.42E_{(z)}z - E_{(z)}41.68$$

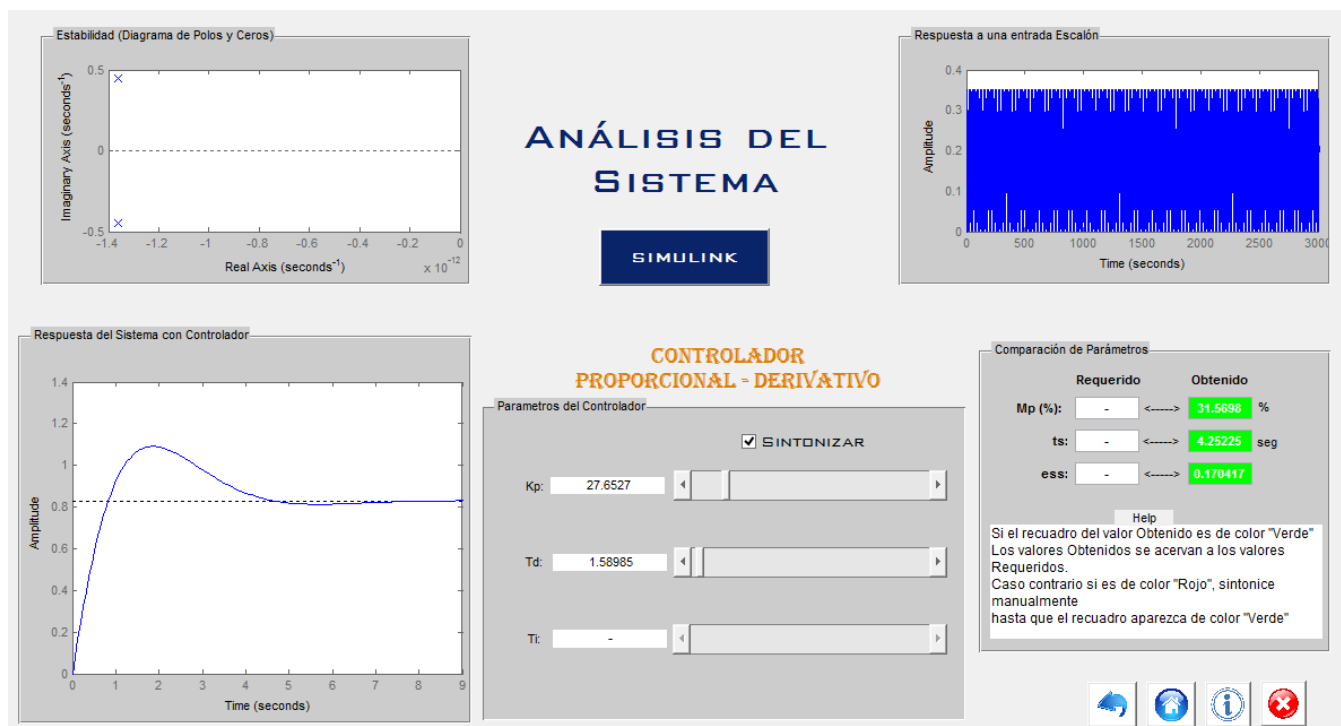
$$Y_{(z)}z = 47.42E_{(z)}z - 41.68E_{(z)} - Y_{(z)}$$

$$Y_{(z)} = 47.42E_{(z)} - 41.68E_{(z)}z^{-1} - Y_{(z)}z^{-1}$$

$$Y_{(z)} = 47.42E_{(z)} - 41.68E_{(z)}(z - 1) - Y_{(z - 1)}$$

4.1.3.4. Análisis de controlador para el motor 4

Figura 4.53 Análisis de controlador para el motor 4



Fuente: (Bastidas, 2015)

El motor cuatro genera una respuesta transitoria estable con el controlador PD, los parámetros de mayor estabilidad que se pudieron conseguir con este controlador son:

- Máximo sobreimpulso = 31.5%
- Tiempo de Estabilización = 4.25 s
- Error en estado Estable = 0.17

Los parámetros sintonizados para el controlador son los siguientes:

- $K_p = 27.6$
- $T_d = 1.58$

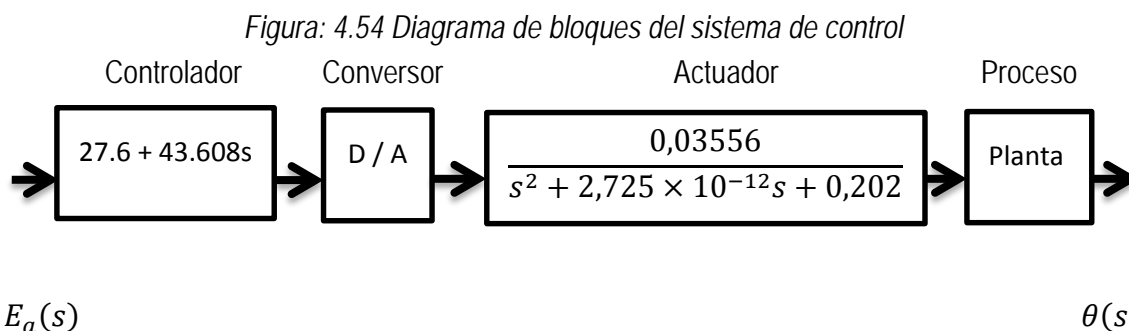
Por lo tanto utilizando la ecuación general de un control PD para el control propuesto se tiene que:

$$PD = (27.6 + 27.6 \times 1.58s)$$

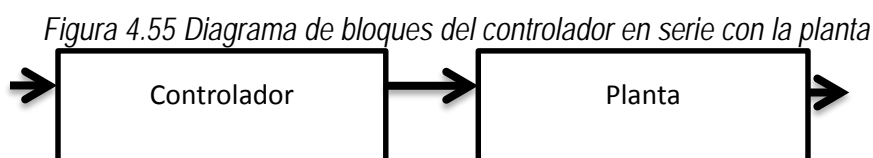
$$PD = (27.6 + 43.608s)$$

▪ **Discretización de la función de transferencia de la planta para el motor 4**

En el siguiente paso se transformará la función de transferencia, tanto del controlador como de la planta de tiempo continuo a tiempo discreto:



Antes de proceder a transformar al dominio de la frecuencia es necesario determinar el tiempo de muestreo, para esto se hará uso de la herramienta matlab para obtener el diagrama de bode de la planta y de esta manera determinar el tiempo de muestreo de la planta. A continuación se observa la función de transferencia del controlador en serie con la planta:

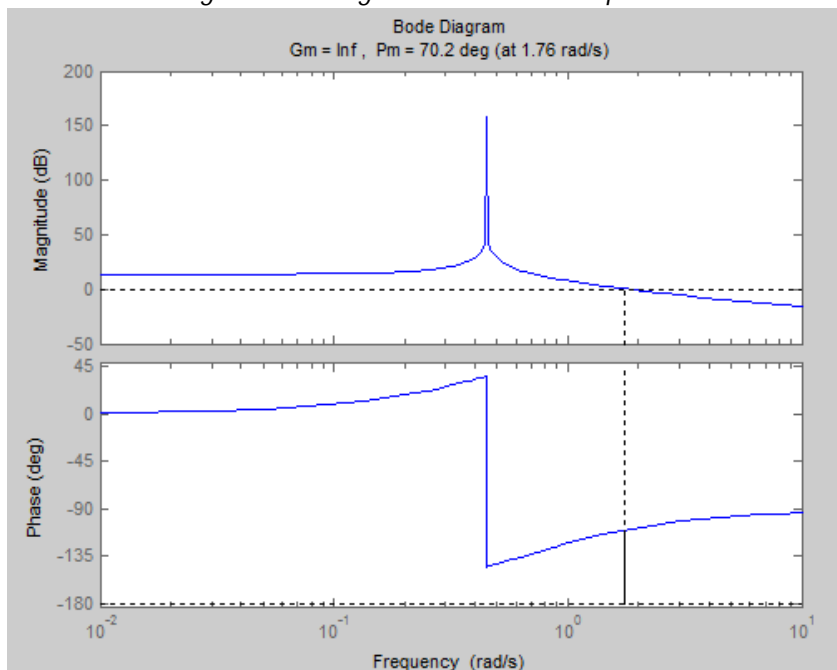


De esta operación se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$\frac{1.551 s + 0.9815}{s^2 + 2.725 \times 10^{-12} s + 0.202}$$

A continuación se presenta el diagrama de bode del controlador en serie con la planta:

Figura 4.56 Diagrama de bode de la planta



El diagrama de bode proporciona información sobre la frecuencia de muestreo de la planta, como se puede observar para la planta del motor 4 esta frecuencia tiene un valor de 1.76 [rad/s]. A continuación se establecerá el tiempo de muestreo con el siguiente criterio:

$$T = \frac{0,5}{Wc}$$

De modo que para el valor de $Wc = 26$ [rad/s] se obtiene que:

$$T = \frac{0,5}{1.76}$$

$$T = 0,285$$

Una vez que se ha obtenido este parámetro se procede a realizar la discretización del sistema utilizando la herramienta matlab para transformar el sistema al dominio de la frecuencia se utilizará el método de aproximación lineal. Una vez que se ha transformado la planta a una función en tiempo discreto tenemos que:

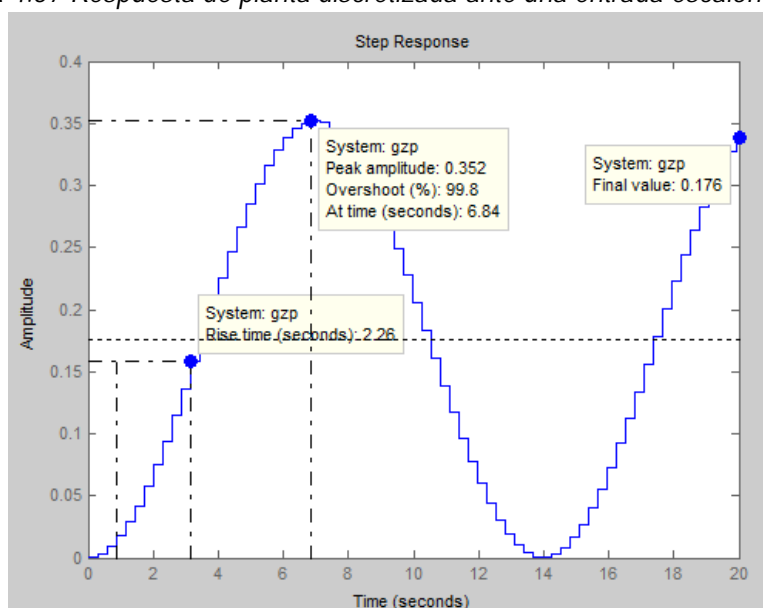
$$G_{(z)p} = \frac{0.0007191 z^2 + 0.001438 z + 0.0007191}{z^2 - 1.984 z + 1}$$

De igual manera se procede para obtener la función en tiempo discreto del controlador de modo que la función en tiempo discreto del controlador es:

$$G_{(z)c} = \frac{333.6 z - 278.4}{z + 1}$$

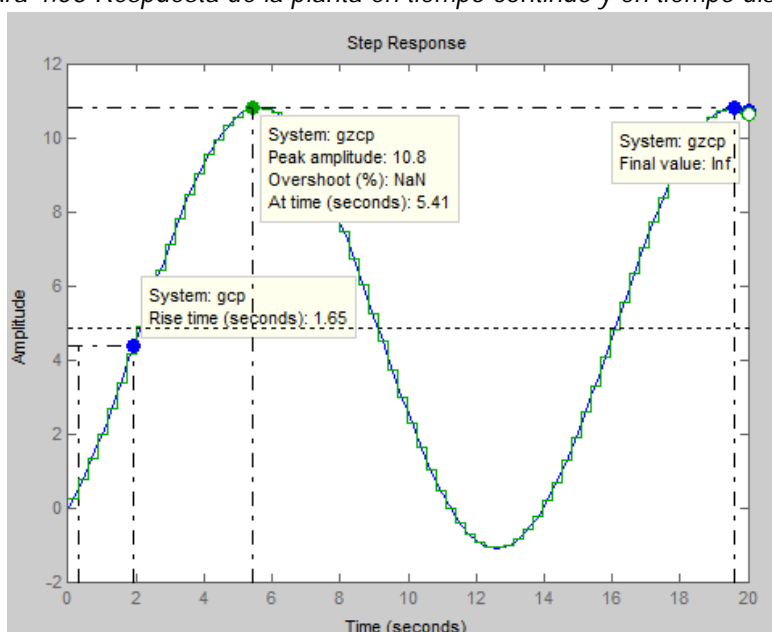
A continuación se realizará el análisis de la respuesta temporal de la planta discretizada ante una entrada escalón unitario:

Figura 4.57 Respuesta de planta discretizada ante una entrada escalón unitario



La respuesta obtenida es una respuesta críticamente amortiguada. A continuación se analizará la respuesta temporal de la planta en serie con el controlador en tiempo continuo y en tiempo discreto:

Figura 4.58 Respuesta de la planta en tiempo continuo y en tiempo discreto



Una vez que se han realizado cada uno de estos análisis se procede a establecer el algoritmo de control con los parámetros obtenidos de la planta:

$$G_{(z)c} = \frac{333.6z - 278.4}{z + 1}$$

$$\frac{Y_{(z)}}{E_{(z)}} = \frac{333.6z - 278.4}{z + 1}$$

$$Y_{(z)}(z + 1) = E_{(z)}(333.6z - 278.4)$$

$$Y_{(z)}z + Y_{(z)} = 333.6E_{(z)}z - E_{(z)}278.4$$

$$Y_{(z)}z = 333.6E_{(z)}z - 278.4E_{(z)} - Y_{(z)}$$

$$Y_{(z)} = 333.6E_{(z)} - 278.4E_{(z)}z^{-1} - Y_{(z)}z^{-1}$$

$$Y_{(z)} = 333.6E_{(z)} - 4278.4E_{(z)}(z - 1) - Y_{(z)}(z - 1)$$

4.2. INTERFAZ DE CONTROL PARA EL USUARIO

La interfaz de usuario es la herramienta que permitirá al usuario ingresar los datos correspondientes a los valores de dosificación de la receta. Esta interfaz deberá permitir guardar y leer dichos datos en una base de datos para poder llevar un registro de las recetas preparadas y poder usarlas posteriormente.

Se ha escogido el entorno Labview para desarrollar la interfaz de usuario, ya que brinda un entorno de programación gráfico, fácil de utilizar y entender. A continuación se presentan algunas ventajas del programa Labview por las cuales se escogió este programa para desarrollar la interfaz.

Ventajas del software Labview

1. Fácil de aprender y usar:

- *Programación gráfica intuitiva para un desarrollo más rápido*
- *Optimizado para los ingenieros y los científicos*
- *La visualización de datos para el diseño de control*

2. Funcionalidad completa:

- *Miles de funciones de análisis integradas*
- *Más de 200 funciones de procesamiento de señal y matemáticas*
- *Lenguaje de programación completo*

3. Capacidades de entradas / salidas Integrado:

- *Brinda una conexión transparente con los dispositivos de adquisición de datos para USB, Ethernet, PCI, PCI Express y PXI / CompactPCI*
- *Miles de controladores de instrumentos para más de 250 vendedores*
- *Totalmente integrado para hardware comercial de national instruments.*
- *Compatible con varios controladores fuera de national instruments.*

(National Instruments, 2014)

Para poder realizar la comunicación entre Labview y los controladores para los motores se ha utilizado la interfaz: Labview Interface For Arduino (LIFA), que permite vincular todas las funciones de Labview con los puertos de entradas y salidas que ofrece la tarjeta Arduino.

Para mayor información sobre esta interfaz consultar los anexos.

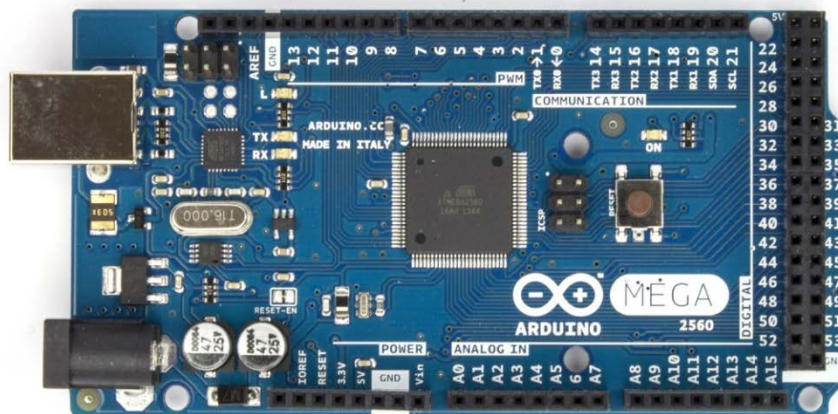
Ya que se utilizará la tarjeta Arduino para realizar la interfaz entre Labview y los controladores para los motores, se hace necesario conocer las características básicas de la tarjeta, se ha seleccionado el modelo Mega 2560 ya que este tiene mayor número de entradas y salidas. A continuación se detalla las características de esta tarjeta:

Tabla: 4.5 Características arduino mega 2560

<i>Microcontrolador Base</i>	<i>Atmega2560</i>
<i>Tensión de funcionamiento</i>	<i>5V</i>
<i>Voltaje de entrada (recomendado)</i>	<i>7-12V</i>
<i>Voltaje de entrada (límites)</i>	<i>6-20V</i>
<i>Digital pines I / O</i>	<i>54 (de las cuales 15 proporcionan salida PWM)</i>
<i>Pines de entrada analógica</i>	<i>16</i>
<i>Corriente DC por Pin I / O</i>	<i>40 mA</i>
<i>Corriente DC de 3.3V Pin</i>	<i>50 mA</i>
<i>Memoria Flash</i>	<i>256 KB de los cuales 8 KB utilizado por el gestor de arranque</i>
<i>SRAM</i>	<i>8 KB</i>
<i>EEPROM</i>	<i>4 KB</i>
<i>Velocidad del reloj</i>	<i>16 MHz</i>

Fuente: (Arduino, 2015)

Figura 4.59 Arduino mega 2560



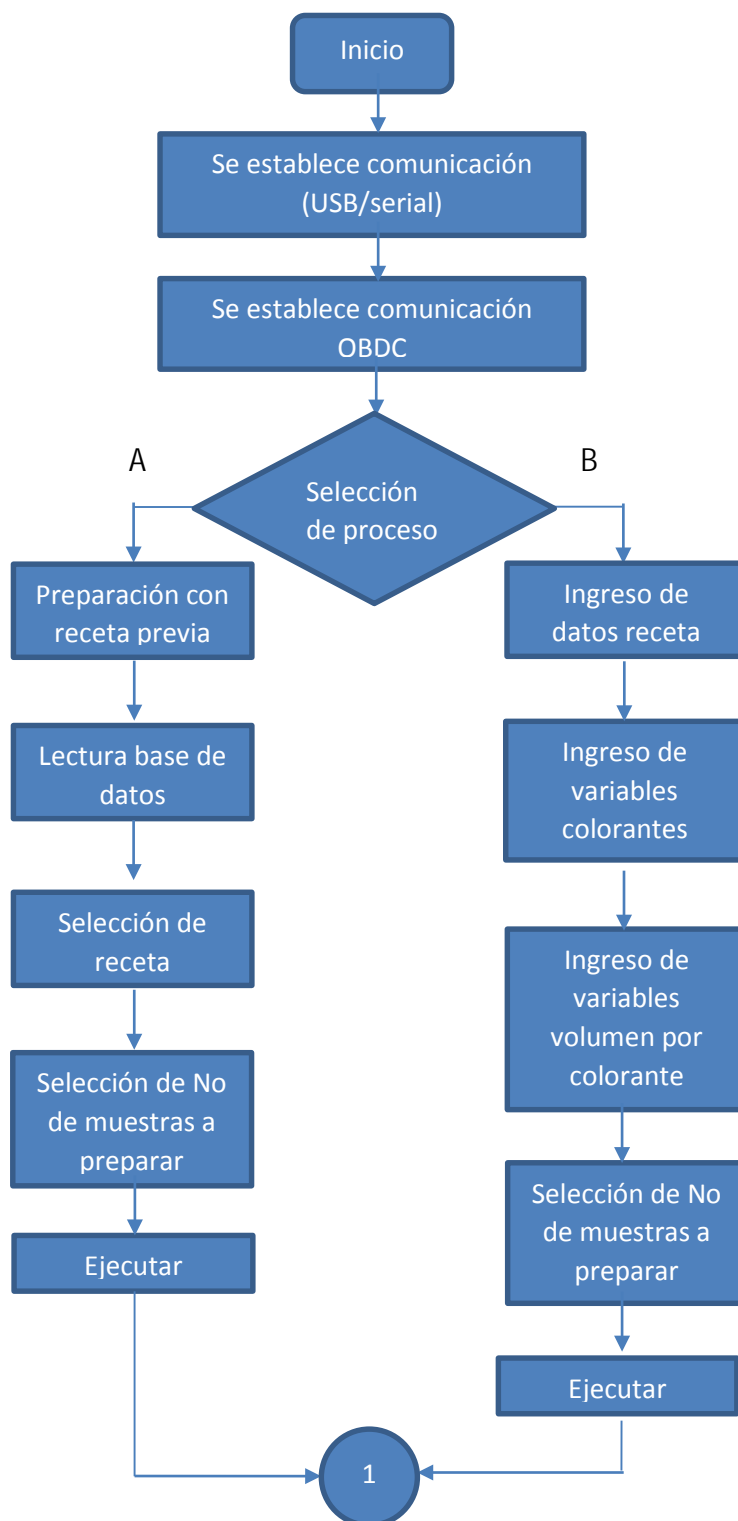
Fuente: (Arduino, 2015)

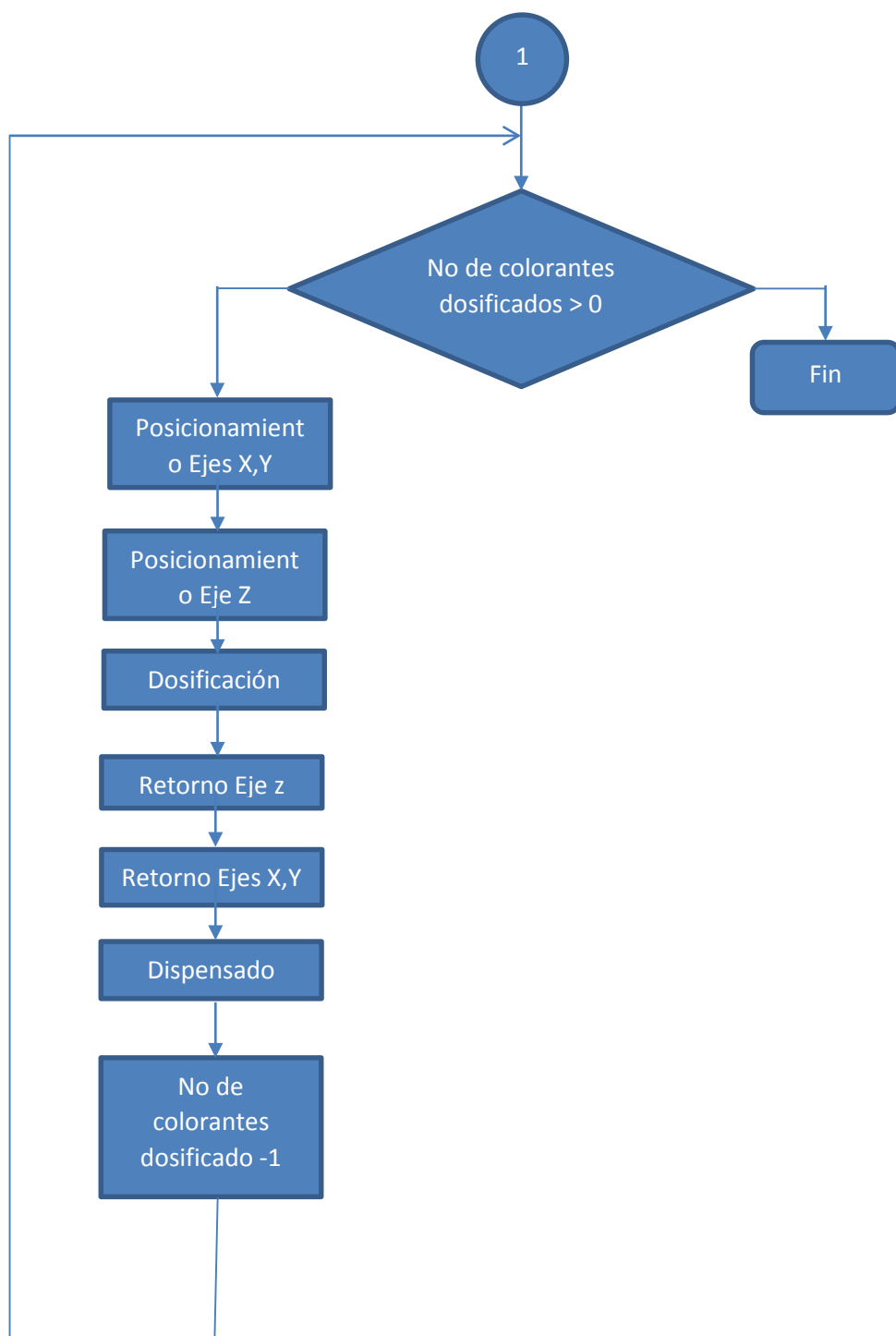
El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un 16 MHz del oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA o la batería a CC para empezar. Arduino Mega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para Arduino. (Arduino, 2015)

La interfaz de Usuario primeramente debe establecer la comunicación mediante el puerto usb del computador con la tarjeta Arduino, el tipo de comunicación que utiliza la tarjeta es del tipo RS232 luego de establecida la comunicación se procede al ingreso de datos y una vez que el operador termine de ingresar los datos, un botón iniciará la secuencia de dosificación de cada colorante especificado en la receta.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la interfaz de control:

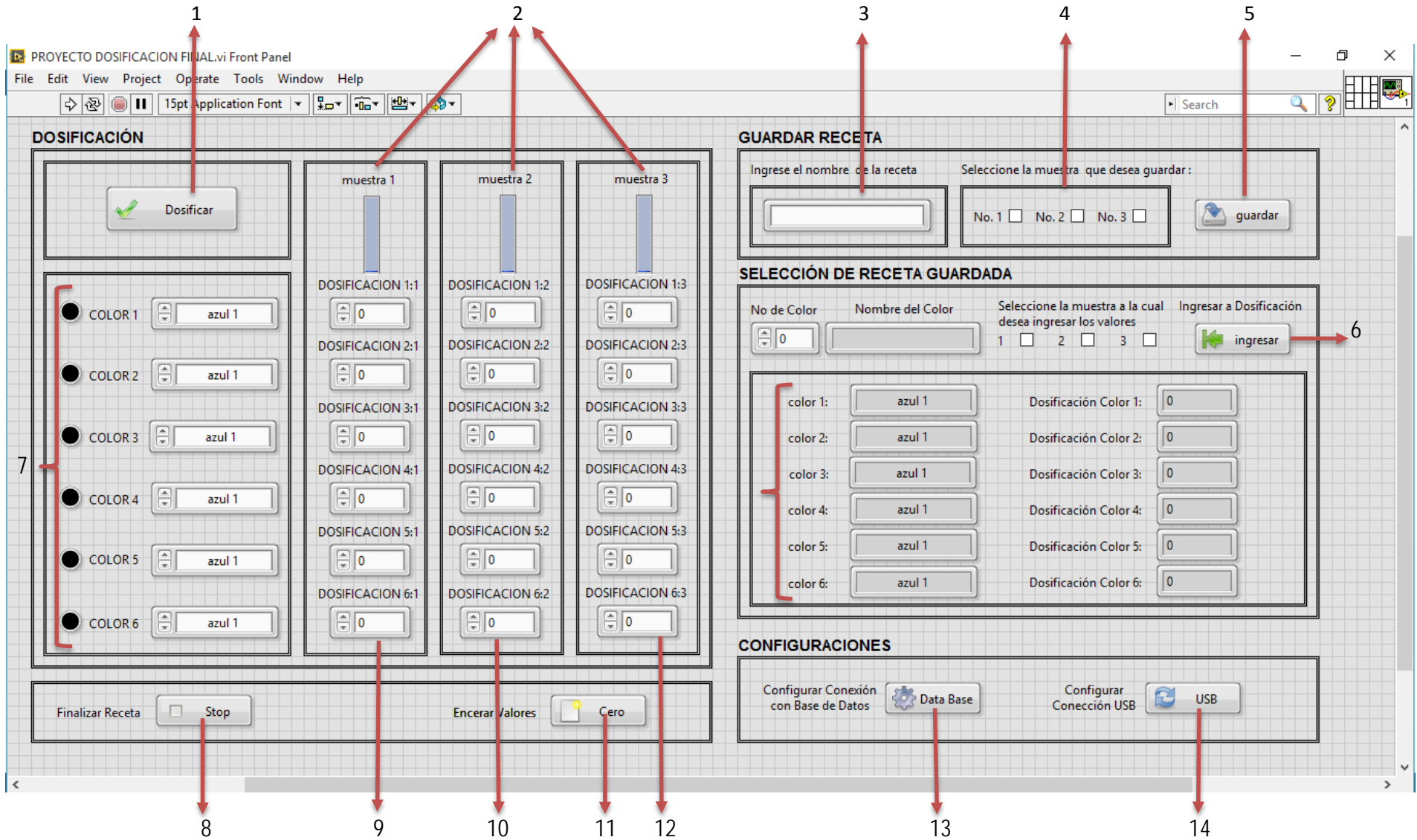
Figura 4.60 Flujo grama del Programa de control en Labview





A continuación se muestra el programa desarrollado en Labview para el sistema de dosificación:

Figura 4.61 Interfaz de control para el usuario



1	Botón de dosificación
2	Indicadores de llenado
3	Cuadro de ingreso de nombre de receta
4	Selección de receta a guardar
5	Botón de guardado de receta
6	Botón de ingreso de receta
7	Selectores de producto para dosificación
8	Botón stop para proceso de dosificación
9	Cuadros de ingreso de valores de dosificación para muestra 1
10	Cuadros de ingreso de valores de dosificación para muestra 2
11	Botón para encerrar valores
12	Cuadros de ingreso de valores de dosificación para muestra 3
13	Botón de configuración de base de datos
14	Botón de configuración de conexión USB

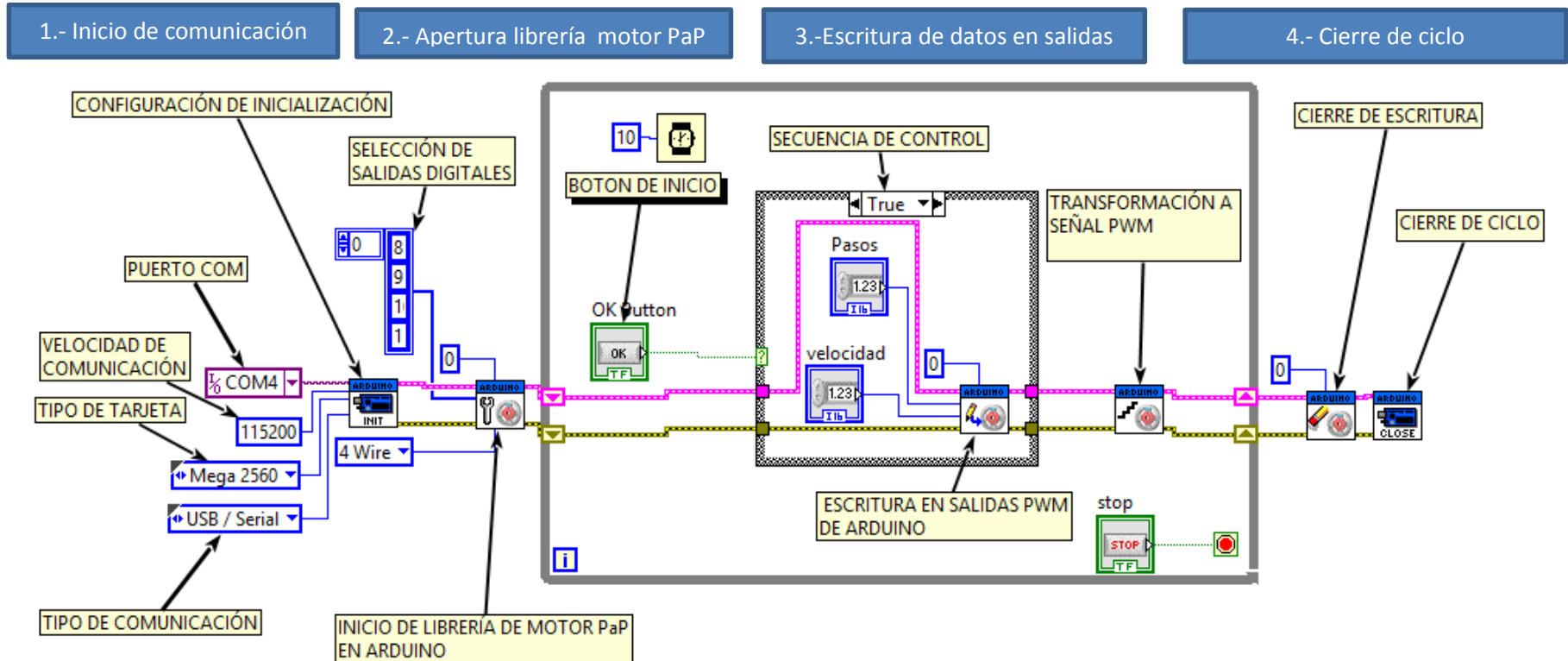
La interfaz de Usuario permite al operador ingresar varios parámetros para el funcionamiento del programa, como se puede observar la interfaz está dividida en cuatro secciones las cuales se detallan a continuación:

- **Dosificación:** En el cuadro de dosificación existen 24 variables que el operador puede ingresar, variables de tipo selector que permiten escoger entre los diferentes colores que tiene el sistema, cada variable de tipo selector tiene 3 variables de tipo numérico en las cuales se ingresa el valor de dosificación para cada muestra que se preparará. El botón de dosificar permite iniciar el proceso de dosificación, el botón finalizar receta permite parar el proceso una vez finalizado una muestra y el botón encerrar valores ingresa cero en cada uno de las variables de tipo numérico. Además también se observan 3 indicadores de tipo nivel que simulan el desarrollo de la dosificación de cada muestra.
- **Guardar receta:** En este cuadro se establece una comunicación con la base de datos del sistema para guardar los datos que el operador seleccione permitiéndole al operador seleccionar una de las muestras ingresadas además existe un cuadro de texto en el cual se puede asignar un nombre a la receta que se guardará, el botón de guardar permite ingresar todas estas variables en la base de datos.

- **Selección de receta guardado:** En esta sección el operador puede seleccionar una de las recetas guardadas para ingresarla en la sección de dosificación en el selector: No. De color el operador puede variar los datos mientras se muestran los nombres de los colores, los valores de dosificación de cada color y el nombre de la receta, además se muestran 3 botones en los pertenecientes a cada una de las muestras una vez seleccionado la muestra en la cual se desea ingresar los valores el botón ingresar permite desplazar los datos mostrados en la muestra seleccionada.
- **Configuraciones:** En el cuadro de configuraciones se puede configurar los parámetros de comunicación con la base de datos para evitar daños en la comunicación esta sección se ha protegido con una contraseña, el botón de configuración de conexión USB le permite al usuario visualizar los puertos disponibles y en cual puerto se ha conectado la tarjeta de interfaz de máquina.

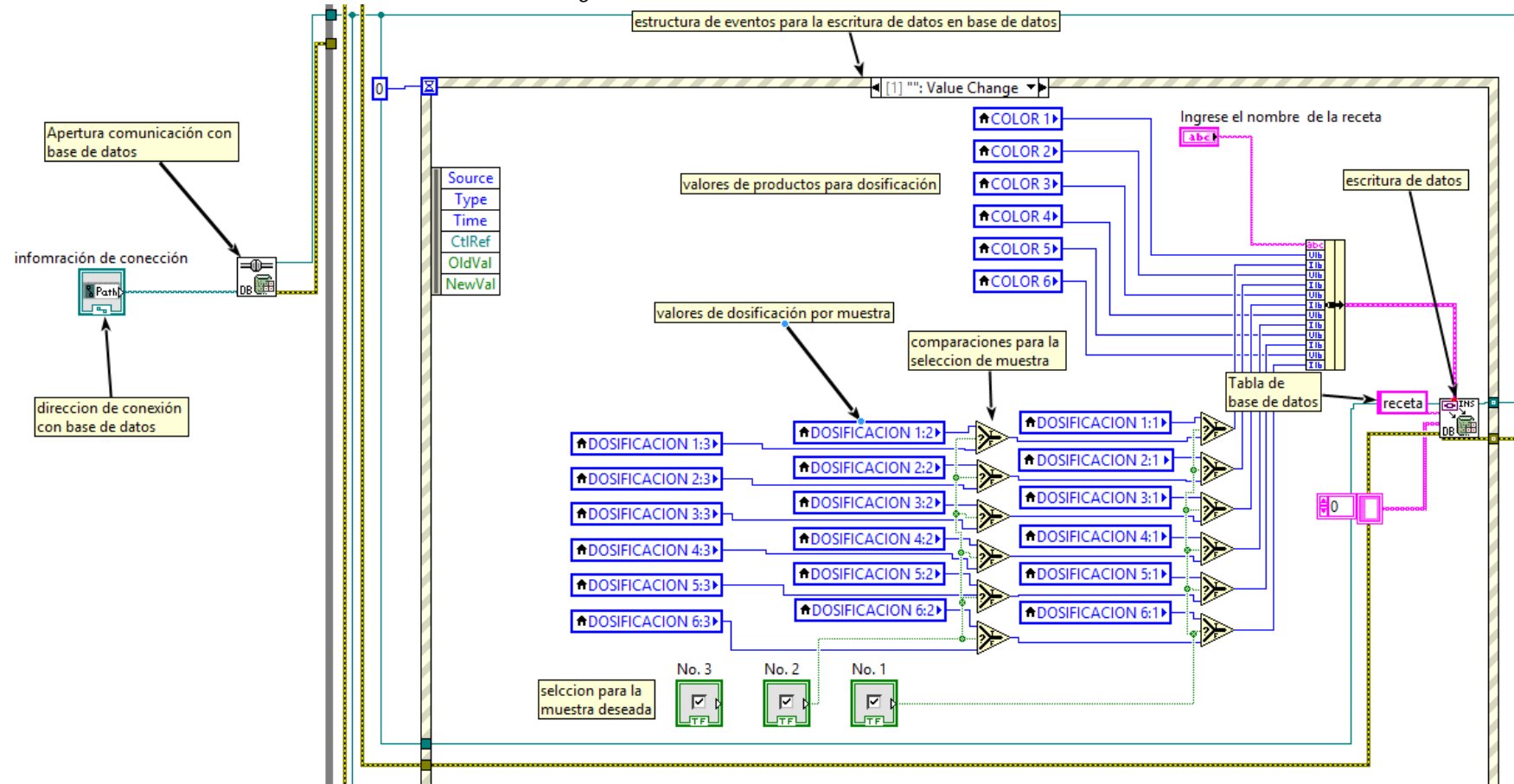
A continuación se muestra la programación del sistema desarrollado en Labview, dado que el programa es muy extenso se muestra el programa dividido por secciones:

Figura 4.62 Escritura de señal PWM para el control de motor PaP



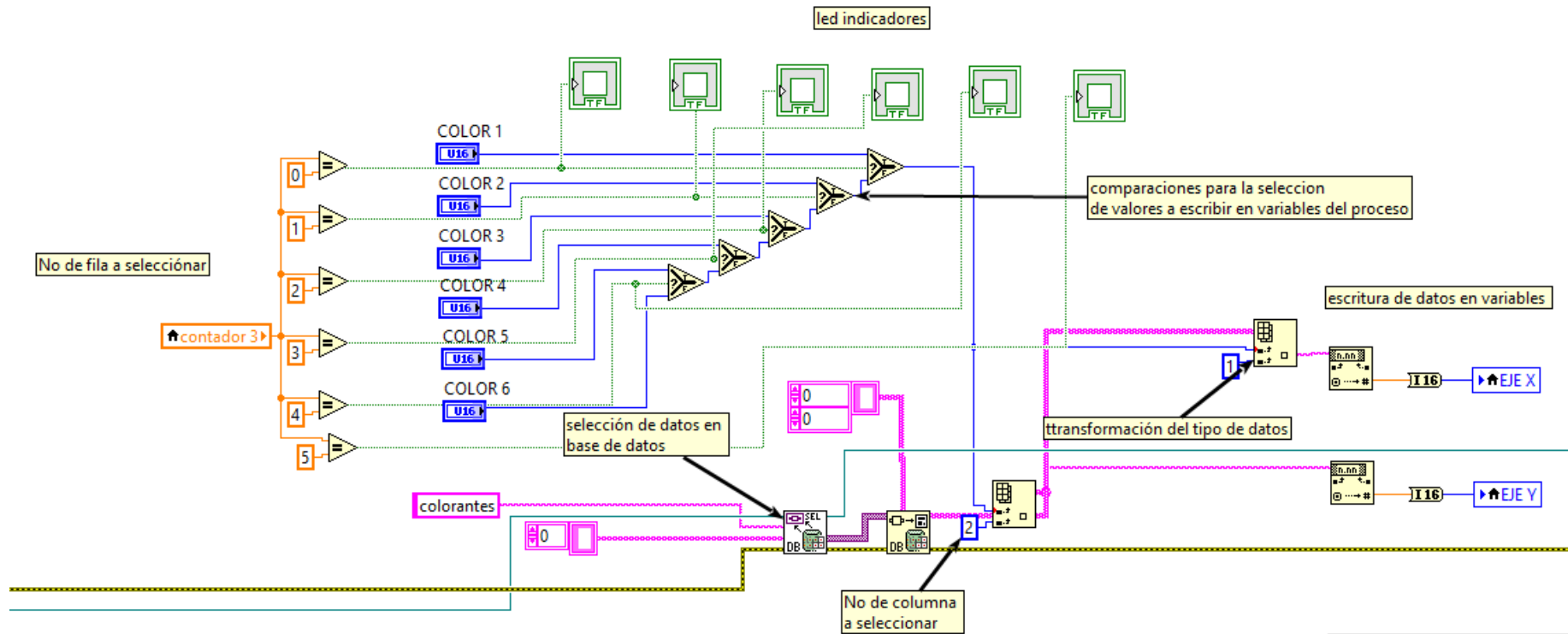
Esta es la estructura básica que permite el control del motor paso a paso mediante una señal PWM este control se repite para cada motor, dependiendo del tipo de driver se seleccionan dos o cuatro salidas digitales las cuales enviarán una señal de pasos (step) y dirección (dir) en el caso del driver A4988 y en el caso del driver ULN2003A se utilizan cuatro salidas para enviar un conjunto de pulsos secuenciales los cuales serán interpretados por el driver para ejecutar los pasos que debe moverse el motor.

Figura 4.63 Escritura en base de datos



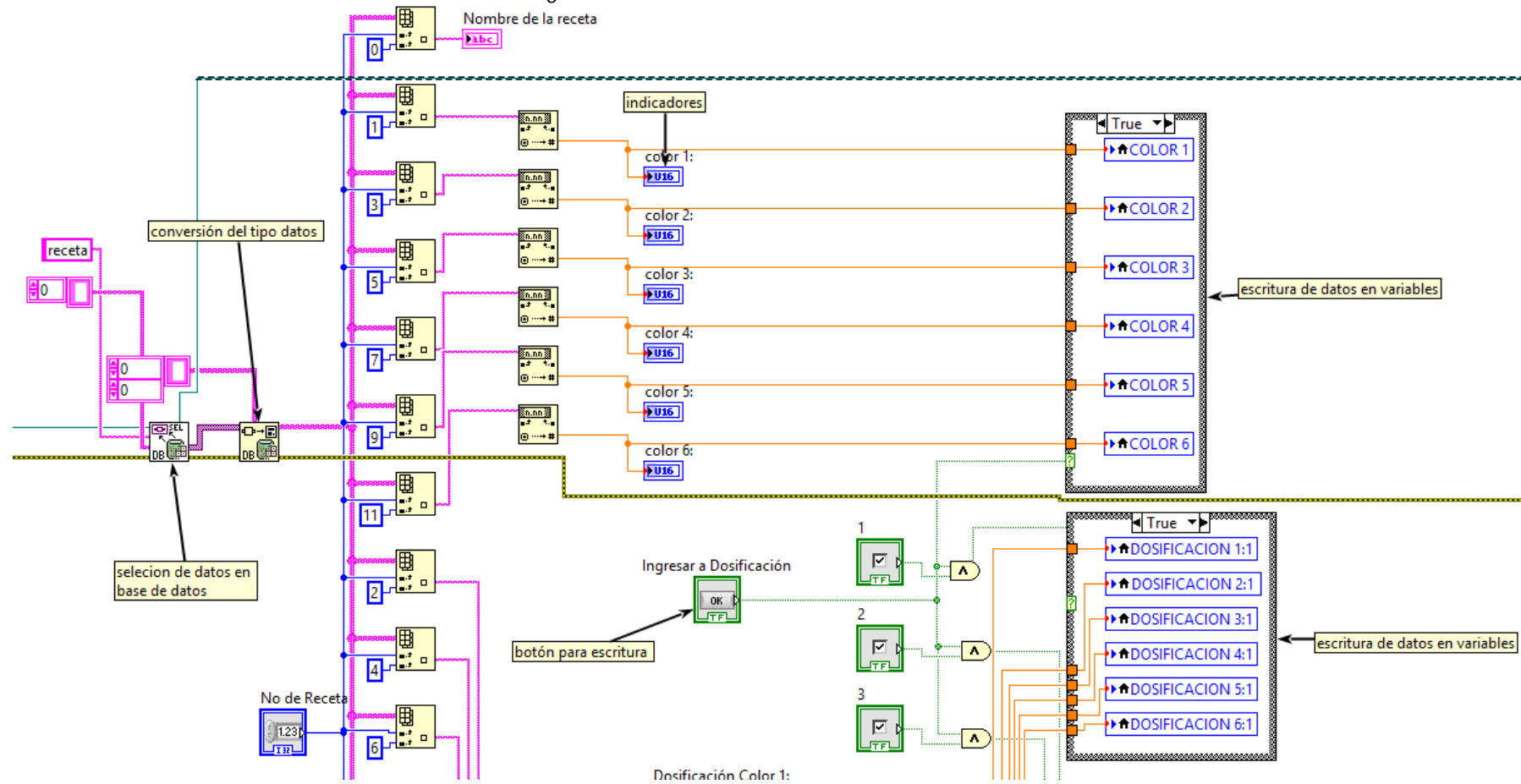
Este bloque permite establecer una conexión con la base de datos desarrollada y escribir los datos correspondientes a una receta ingresada en el sistema para almacenarlos. En este caso se ha realizado un ciclo de condiciones para poder seleccionar los datos de la muestra deseada

Figura 4.64 Lectura de base de datos



De la misma manera este bloque permite leer los datos almacenados en la base de datos en este caso la estructura mostrada en la figura anterior permite leer los datos correspondientes a la posición de los productos en la maquina el programa trabaja por medio de contadores de manera que a cada ciclo se le ha asignado un valor numérico ese valor se compara en esta sección para determinar cuál de todos productos se deben dosificar, luego se leen los valores y se escriben en una variable para poder ejecutar el movimiento del motor.

Figura 4.65 Selección de datos de base de datos

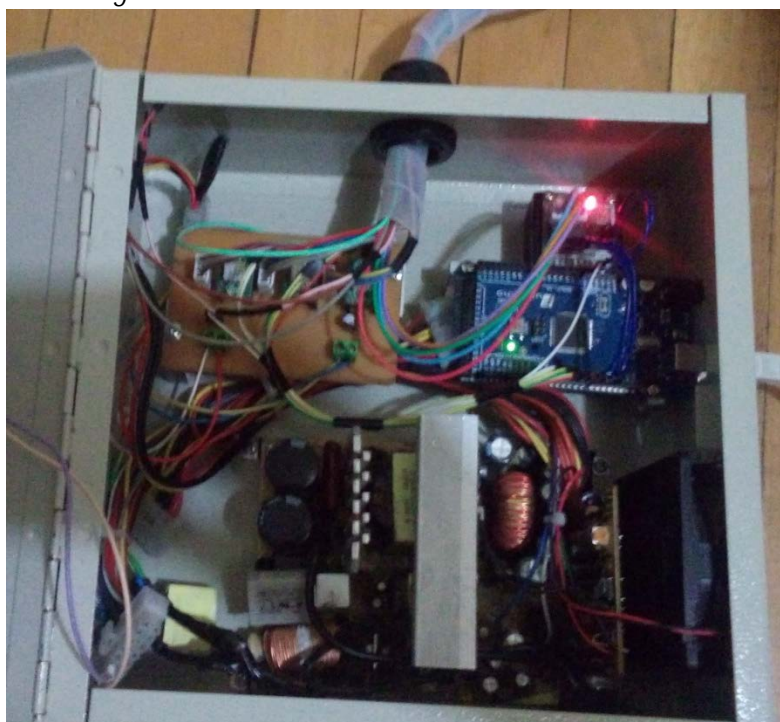


En esta sección se leen los datos de una receta previamente guardada para que se puede realizar la escritura de estos datos en las variables de dosificación.

4.3. CIRCUITO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA

En esta sección se explicará cómo se ha implementado el circuito de control y cómo funciona el mismo. De igual manera se ha dividido al circuito en la etapa inicial de control y en la etapa de potencia. A continuación se describen cada una de estas etapas:

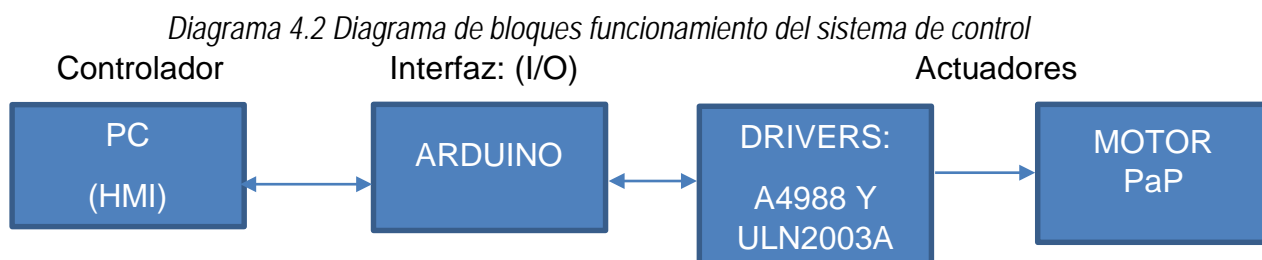
Figura 4.66 Circuito electrónico de control del sistema



4.3.1. ETAPA DE CONTROL

La etapa de control comprende básicamente la interfaz entre la CPU (controlador) y la planta como se había ya mencionado. Quien realiza la interfaz en este caso es la tarjeta arduino. Una de las ventajas de la tarjeta arduino mega es su capacidad para leer y escribir datos de manera digital y analógica, por lo tanto para el sistema propuesto se adapta perfectamente. Los recursos de la tarjeta arduino que se utilizarán en la etapa de control, son el puerto serial y el puerto de salidas PWM desde el pin 3 en adelante. Para explicar el circuito primeramente es necesario conocer los demás elementos que forman parte del circuito, los cuales están considerados dentro de la etapa de potencia.

A continuación se presenta un diagrama de bloques en el cual se esquematiza el funcionamiento del circuito de control implementado:



4.3.2. ETAPA DE POTENCIA

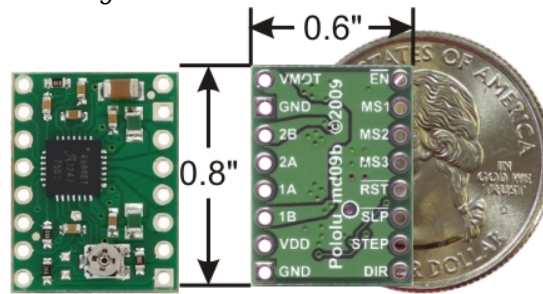
Esta etapa comprende la alimentación de los motores juntamente con cada uno de los drivers que se han utilizado para cada motor. Se ha considerado a los drivers dentro de esta etapa ya que estos también cumplen con la función de generar la ganancia de corriente necesaria para el funcionamiento de cada motor. A continuación se describen cada uno de los drivers utilizados:

4.3.2.1. Driver A4988

El driver A4988 es un circuito integrado fabricado en base al Chip A4988, que permite generar en base a dos parámetros de ingreso: pulso y dirección, una señal PWM controlado y sincronizada para cada bobina del motor a pasos, únicamente se puede utilizar con motores a pasos bipolares y ofrece una ganancia de corriente de hasta 2[A] y además soporta una tensión de alimentación de motor de 8 a 35 [V] ideal para el control de motores a pasos de baja tensión.

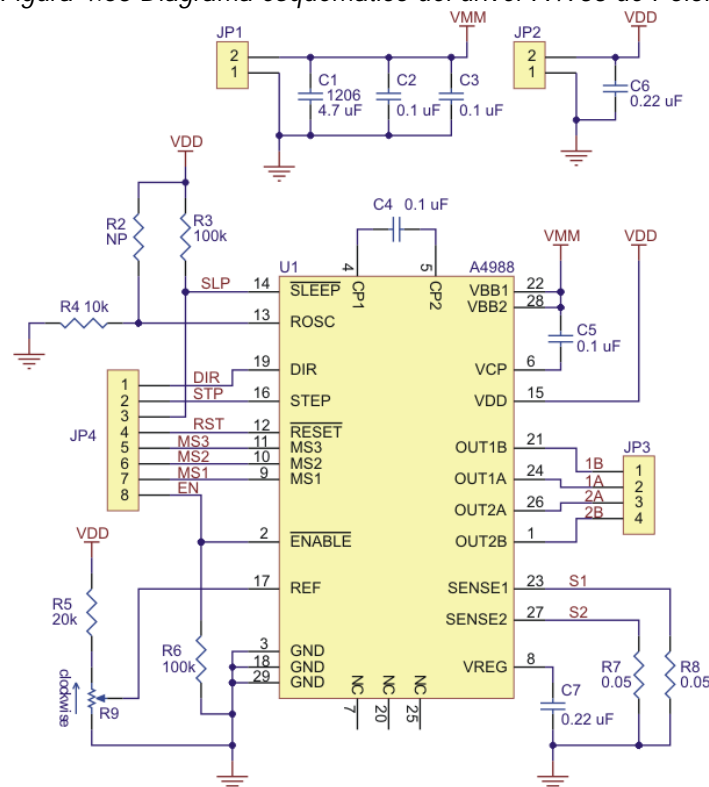
Pololu ha desarrollado un driver en base a este chip con la finalidad de simplificar en una pequeña tarjeta electrónica todas las bondades que ofrece el chip a4988, esta tarjeta además de ser muy compacta incorpora el diseño adecuado para disipación de calor, ya que los drivers de motores a pasos tienden a calentarse después de un largo periodo de funcionamiento. A continuación se ilustran el driver y el diagrama esquemático de la tarjeta:

Figura 4.67 Driver A4988 de Pololu



Fuente: (Pololu, 2015)

Figura 4.68 Diagrama esquemático del driver A4988 de Pololu



Fuente: (Pololu, 2015)

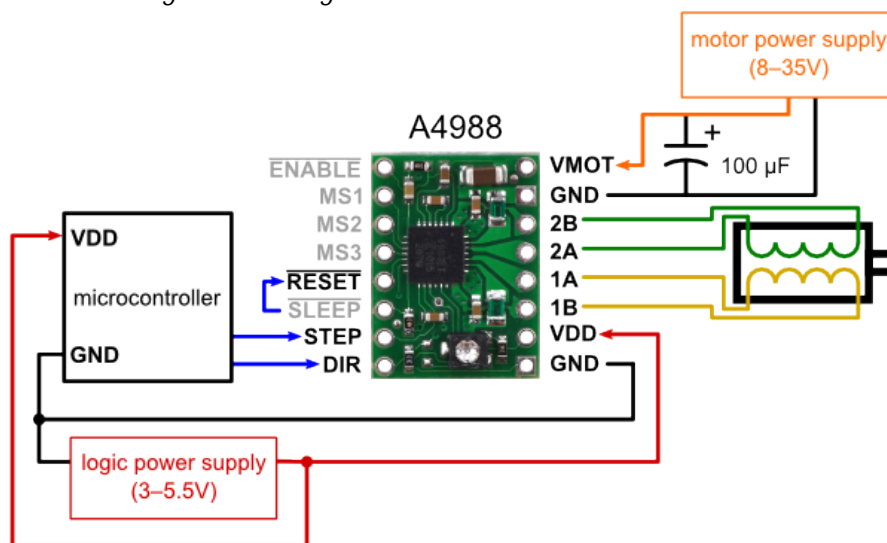
El driver A4988 cumple con dos funciones vitales en el circuito del sistema:

- Es el puente que permite comunicar la etapa de control con la etapa de potencia en los pines Step. y Dir. El driver recibe los datos que se han generado desde la tarjeta Arduino básicamente en formato digital en el pin de step se recibirá una señal pwm con un número de pulsos equivalentes al número de pasos que se pretende hacer girar al motor y en el pin de dirección se recibirá un bit positivo si se requiere que el giro del motor a pasos sea en sentido horario y un bit negativo si el sentido de giro es anti horario.

- Amplifica la señal recibida desde la tarjeta arduino y la envía a las bobinas del motor, el driver A4988 una vez que ha recibido los datos de la tarjeta arduino se encarga de amplificar la señal brindándole una ganancia de voltaje y suministrando la corriente necesaria para la alimentación del motor.

A continuación se describe el esquema de conexiones del driver al motor, a la fuente y al microcontrolador. Básicamente este esquema representa toda la etapa de potencia del circuito:

Figura 4.69 Diagrama de conexiones del driver A4988



Fuente: (Pololu, 2015)

En el diagrama se puede considerar a toda la parte que se encuentra en el lado derecho como la etapa de potencia, ya que en esta área es donde se encuentra la alimentación del motor los cuales necesitan una alimentación de 12 a 24 [V].

4.3.2.2. Driver ULN2003

El driver ULN2003 construido en base al circuito integrado de la misma denominación permite el control de motores a pasos unipolares de baja tensión, se utilizará para el caso del motor para el dosificador ya que este es un motor bipolar de 5 [V].

Este driver permite el control sincronizado de las bobinas del motor a pasos mediante cuatro variables de entrada las cuales corresponden a la señal PWM

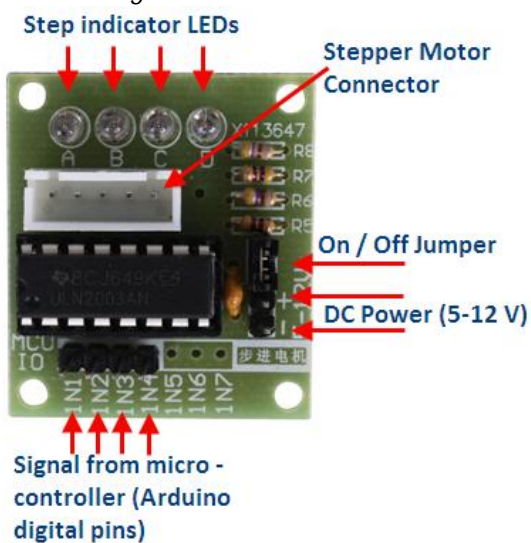
generada por arduino para cada una de las bobinas del motor. Una vez que el driver ha recibido la señal de control de cada bobina el circuito se encarga de sincronizar esta señal y enviarla a las bobinas del motor de manera que se produzca una secuencia de activación de bobinas en paso doble como se describen la tabla 4.6. A continuación se describe el driver y el diagrama de conexiones del driver y el motor:

Tabla 4.6 Secuencia de movimiento del motor con driver ULN203

No de bobina	Dirección (1-2 fases)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Bobina 1	-	-						
Bobina 2		-	-	-				
Bobina 3				-	-	-		
Bobina 4						-	-	-

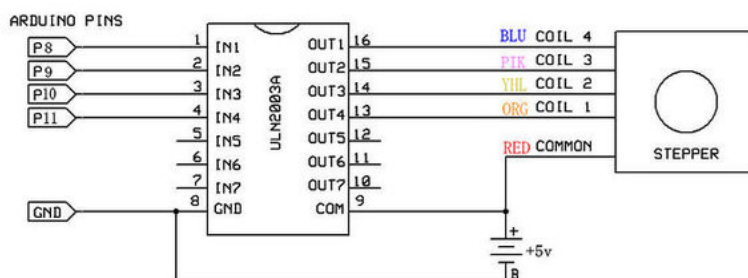
Fuente: (42Bots, 2013)

Figura 4.70 Driver ULN203



Fuente: (42Bots, 2013)

Figura 4.71 Diagrama de conexiones del driver ULN203



Fuente: (42Bots, 2013)

4.3.2.3. Encoder

El encoder que se usa específicamente en el caso del motor del dosificador envía una señal de error más precisa que la que proporciona el driver del motor permitiéndole así al dosificador una mayor precisión, este encoder consiste en un disco con varias ranuras las cuales son detectadas por un sensor foto eléctrico mediante el movimiento del motor, este envía un tren de pulsos al controlador cada pulso representa el avance de posición que realiza el motor de ese modo permite al sistema obtener una señal de realimentación más real que la que proporciona el driver.

- Salida doble onda cuadrada. Canal con índice opcional pulso
- Rápido y fácil de ensamblar
- No se requiere un ajuste de la señal
- Orejas de montaje externos disponibles
- Bajo costo
- Resoluciones de hasta 1024 pulsos por revolución
- Pequeño
- -40 Grados C a 100 grados C Temperatura de funcionamiento
- TTL Compatible
- Individual 5 V Corriente de suministro

Figura 4.72 encoder HEDS-5500



(Avago, 2015)

CAPITULO V

5. PRUEBAS

Una vez culminada la etapa de construcción es necesario realizar varias pruebas que validen el correcto funcionamiento del sistema propuesto, en esta sección se analizarán los resultados obtenidos por el sistema construido y se compararán con patrones establecidos en laboratorios textiles para verificar si el sistema presenta una mejora en el proceso de desarrollo de color en laboratorio textil. En el capítulo 2 del presente proyecto se encuentran definidos cuales son los parámetros que se quieren mejorar a continuación se hará el análisis de cada uno de ellos y se justificará como el sistema propuesto mejora el rendimiento de cada uno de estos parámetros en comparación con el proceso manual

5.1. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Los parámetros establecidos en capítulos anteriores como metas en este capítulo se convierten en los parámetros que se evaluarán para medir el rendimiento del sistema diseñado, estos parámetros son:

- Precisión de dosificación
- Tiempo de Preparación
- Ergonomía para el operador.

Una vez establecidos los parámetros de evaluación para el sistema se proceden a realizar varias pruebas que certifiquen la mejoría del sistema en comparación con el proceso manual a continuación se detallan como se evaluaron cada uno de los parámetros establecidos.

5.1.1. PRECISIÓN DE DOSIFICACIÓN

La precisión en la dosificación es el principal parámetro de evaluación se podría decir en base a todo lo propuesto en los capítulos anteriores que la razón principal para diseñar este sistema es precisamente el poder ganar una mayor precisión en la dosificación, la precisión es el parámetro que certifica que el volumen deseado es exactamente el volumen que se ha dosificado, siempre se presentan errores en el proceso manual aún incluso las máquinas presentan un porcentaje mínimo de error sin embargo se pretende reducir este porcentaje mediante el sistema implementado.

La precisión de dosificación es un parámetro cuantificable por lo tanto puede ser evaluado con mayor facilidad, para poder cuantificar este parámetro se realizarán dos métodos de evaluación que son aplicados en laboratorios textiles para medir el rendimiento y precisión que tienen los laboratoristas en la dosificación, los métodos de evaluación que se aplicaran son:

- Comparación de patrones con el método gravimétrico.
- Evaluación de repetitividad de mediciones.

5.1.1.1. Comparación de patrones con el método de dosificación gravimétrica

Se dice que el método más preciso de dosificación a nivel industrial es el método gravimétrico ya que este método consiste en evaluar una medida en base al peso de la sustancia a dosificar evitando de esta manera factores que pueden producir un error de medida sin embargo pese a ser un método bastante eficiente es uno de los métodos más costosos a la hora de implementarlo a nivel industrial ya que para su construcción requieren de celdas de carga de alta precisión las cuales tienen costos muy altos.

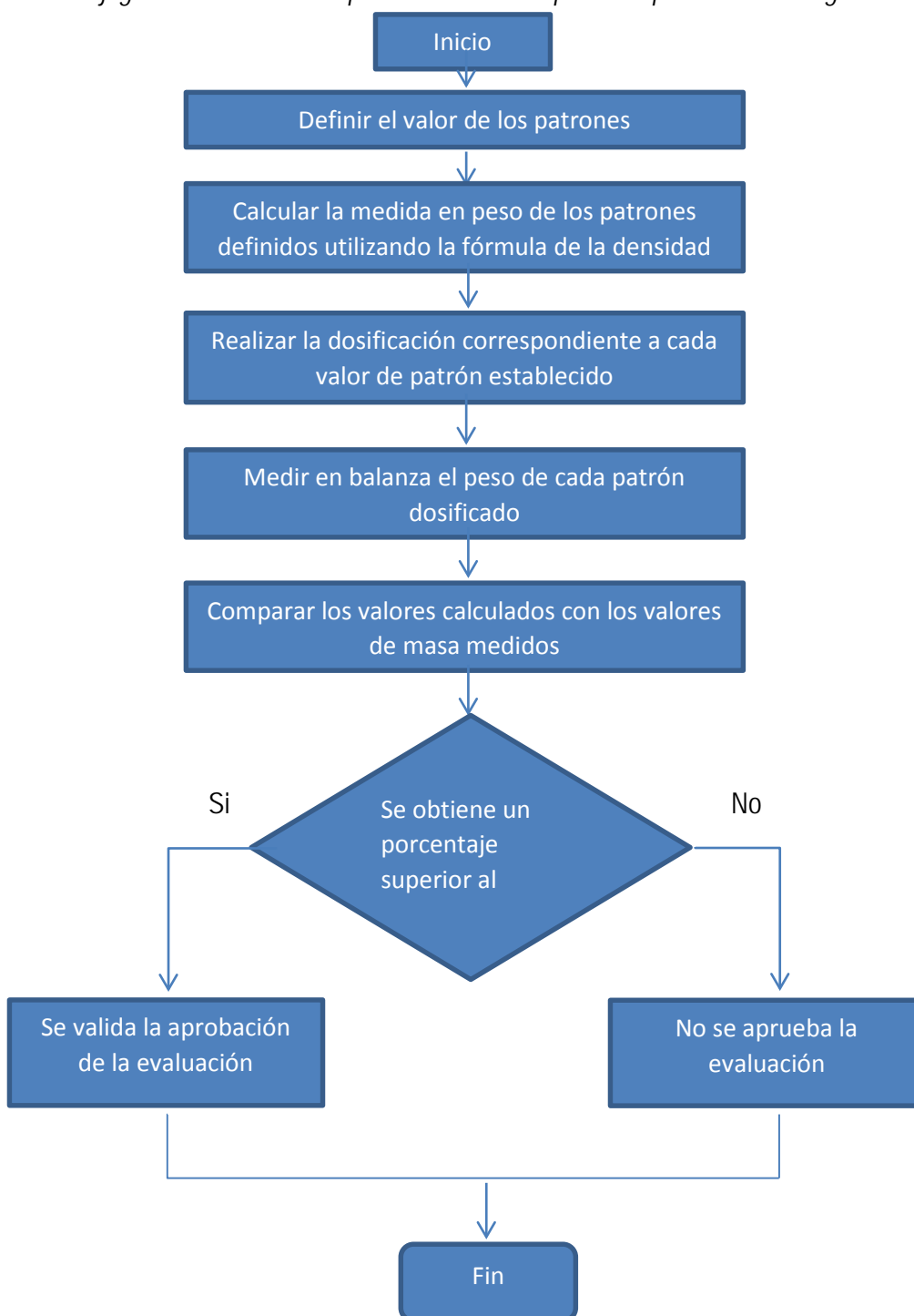
Para propósitos de evaluación del sistema implementado, en esta sección se utilizará este método para obtener varios patrones de dosificación y al comparar con las dosificaciones realizadas por el sistema desarrollado estas deberán ser similares.

A continuación se detalla el procedimiento de evaluación mediante este método

- Definir los patrones a dosificar en unidades de volumen.
- Establecer las relaciones correspondientes a cada patrón en unidades de peso.
- Realizar las dosificaciones correspondientes a los patrones establecidos utilizando el sistema a evaluar.
- Realizar las mediciones correspondientes al peso de las dosificaciones realizadas por el sistema.
- Comparar los valores obtenidos en unidades de peso.

En la siguiente figura se establece un diagrama de flujo para el procedimiento de evaluación mediante el método de comparación de patrones por medición gravimétrica.

Figura 5.1 Flujo de evaluación por método de comparación por dosificación gravimétrica



Siguiendo el proceso establecido se procede a realizar este método de evaluación:

- **Patrones de dosificación establecidos**

Los patrones son magnitudes estándares que se utilizaran como guías para compararlas con otras. Se han definido los siguientes patrones tomando en cuenta los rangos de dosificación establecidos para el sistema. El producto que se utilizará para la dosificación de estos patrones es el agua:

0.01 [ml], 0.1 [ml], 1 [ml], 2.5 [ml], 5 ml, 8[ml].

- **Relaciones de equivalencia de los patrones en unidades de peso**

Una vez que se han establecido los patrones de dosificación se procede a establecer la equivalencia de los mismos en unidades de peso para lo cual se utilizará la ecuación de la densidad de la materia.

Ecuación 5.1 Cálculo de la densidad

$$d = m/V$$

Tomando en cuenta que el mayor porcentaje de los colorantes está constituido por agua se establecerá que la densidad de los colorantes es igual a la del agua. $d = 999,97 \text{ [kg/m}^3\text{]} = 0,9997 \text{ [g/ml]}$.

Por lo tanto despejando la masa de la ecuación de la densidad se puede fácilmente calcular la masa de los patrones establecidos

Ecuación 5.2 Cálculo de masa en función de la densidad

$$m = d * V$$

De modo que para los patrones establecidos se tienen los siguientes datos:

Tabla 5.1 Patrones establecidos

No de patrón	Volumen [ml]	Masa [g]
1	0,01	0,01
2	0,1	0,1
3	1	1
4	2,5	2,5
5	5	5
6	8	8

- **Dosificaciones efectuadas por el sistema**

En esta etapa se realizarán cinco mediciones por cada patrón establecido utilizando el sistema diseñado. Para esto se realizará las mediciones establecidas y se almacenará en un recipiente cada una de ellas.

Figura 5.2 dosificaciones realizadas con el sistema



- **Mediciones de masa de las mediciones obtenidas por el sistema.**

Para efectuar esta tarea de manera confiable se utilizó una balanza de precisión que tiene un rango de error de ± 0.0001 gramos

Figura 5.3 Medición de masa de las muestras



Una vez realizadas estas mediciones se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 5.2 Patrones Medidos

No de patrón	Volumen [ml]	Masa calculada [g]	Masa medida [g]
1	0,1	0,1	0,1092
			0,0907
			0,1084
			0,0901
			0,1095
2	0,5	0,5	0,5372
			0,5384
			0,5309
			0,4882
			0,4782
3	1	1	1,0205
			1,0325
			0,9405
			1,0325
			0,9524
4	2,5	2,5	2,4181
			2,5913
			2,4138
			2,5420
			2,4232
5	5	5	4,8887
			4,8859
			5,0451
			5,0451
			4,9725
6	8	8	7,8311
			7,8980
			7,9511
			7,9481
			8,0245

Como se puede observar comparando las mediciones calculadas existe una variación mínima sin embargo los valores obtenidos son bastante aproximados a los parámetros calculados.

A continuación se procede a calcular el porcentaje de precisión y el porcentaje de error utilizando los parámetros calculados como referencia de exactitud y aplicando la siguiente fórmula:

Ecuación 5.3 Cálculo del porcentaje de precisión

$$\text{porcentaje de precisión} = \frac{\text{Valor medido}}{\text{valor calculado}} \times 100\%$$

Ecuación 5.4 Porcentaje de error

$$\text{porcentaje de error} = 100\% - \text{porcentaje de precisión}$$

Aplicando estas fórmulas a los valores obtenidos en cada medición tenemos los porcentajes de error y precisión para cada patrón:

Tabla 5.3 Porcentajes de error calculados de patrones medidos por el sistema

No	Valor Patrón (ml)	Valor a dosificar (g)	Valor medido (g)	Porcentaje de error (%)	Porcentaje de precisión (%)
1	0,1	0.1	0.1092	9.20%	90.80%
		0.1	0.0907	9.30%	90.70%
		0.1	0.1084	8.40%	91.60%
		0.1	0.0901	9.90%	90.10%
		0.1	0.1095	9.50%	90.50%
2	0,5	0.5	0.5372	7.44%	92.56%
		0.5	0.5384	7.68%	92.32%
		0.5	0.5309	6.18%	93.82%
		0.5	0.4882	2.36%	97.64%
		0.5	0.4782	4.36%	95.64%
3	1	1	1.0205	2.05%	97.95%
		1	1.0325	3.25%	96.75%
		1	0.9405	5.95%	94.05%
		1	1.0325	3.25%	96.75%
		1	0.9524	4.76%	95.24%
4	2,5	2.5	2.4181	3.28%	96.72%
		2.5	2.5913	3.65%	96.35%
		2.5	2.4138	3.45%	96.55%
		2.5	2.5420	1.68%	98.32%
		2.5	2.4232	3.07%	96.93%
5	5	5	4.8887	2.23%	97.77%
		5	4.8859	2.28%	97.72%
		5	5.0451	0.90%	99.10%
		5	5.0451	0.90%	99.10%
		5	4.9725	0.55%	99.45%
6	8	8	7.8311	2.11%	97.89%
		8	7.8980	1.28%	98.73%
		8	7.9511	0.61%	99.39%
		8	7.9481	0.65%	99.35%
		8	8.0245	0.31%	99.69%
Promedio Total				4.02%	95.98%

Una vez establecidos estos valores podemos calcular el porcentaje promedio de precisión de la máquina calculando la media de los porcentajes calculados para cada valor:

Porcentaje promedio de precisión del sistema = 95,98%

Porcentaje de error promedio del sistema = 4,02%

- **Comparación con datos obtenidos en proceso manual**

A continuación se detallan datos obtenidos dosificando los mismos valores anteriores de manera manual por un laboratorista:

Tabla 5.4 Patrones medidos en un proceso manual

No	Valor Patron (g)	Valor a dosificar (g)	Valor medido (g)	Porcentaje de error (%)	Porcentaje de precisión (%)
1	0,1	0,1	0,0785	21,50%	78,50%
		0,1	0,0813	18,70%	81,30%
		0,1	0,0854	14,60%	85,40%
		0,1	0,0798	20,20%	79,80%
		0,1	0,1342	34,20%	65,80%
2	0,5	0,5	0,559	11,80%	88,20%
		0,5	0,5384	7,68%	92,32%
		0,5	0,4109	17,82%	82,18%
		0,5	0,392	21,60%	78,40%
		0,5	0,4482	10,36%	89,64%
3	1	1	1,2350	23,50%	76,50%
		1	1,0234	2,34%	97,66%
		1	0,895	10,50%	89,50%
		1	0,9254	7,46%	92,54%
		1	1,359	35,90%	64,10%
4	2,5	2,5	2,3560	5,76%	94,24%
		2,5	2,6890	7,56%	92,44%
		2,5	2,4123	3,51%	96,49%
		2,5	2,6982	7,93%	92,07%
		2,5	2,365	5,40%	94,60%
5	5	5	4,7365	5,27%	94,73%
		5	4,6698	6,60%	93,40%
		5	4,7458	5,08%	94,92%
		5	5,2360	4,72%	95,28%
		5	5,132	2,64%	97,36%
6	8	8	7,9632	0,46%	99,54%
		8	7,7210	3,49%	96,51%
		8	7,5698	5,38%	94,62%
		8	8,236	2,95%	97,05%
		8	8,0245	0,31%	99,69%
Promedio Total				10,84%	89,16%

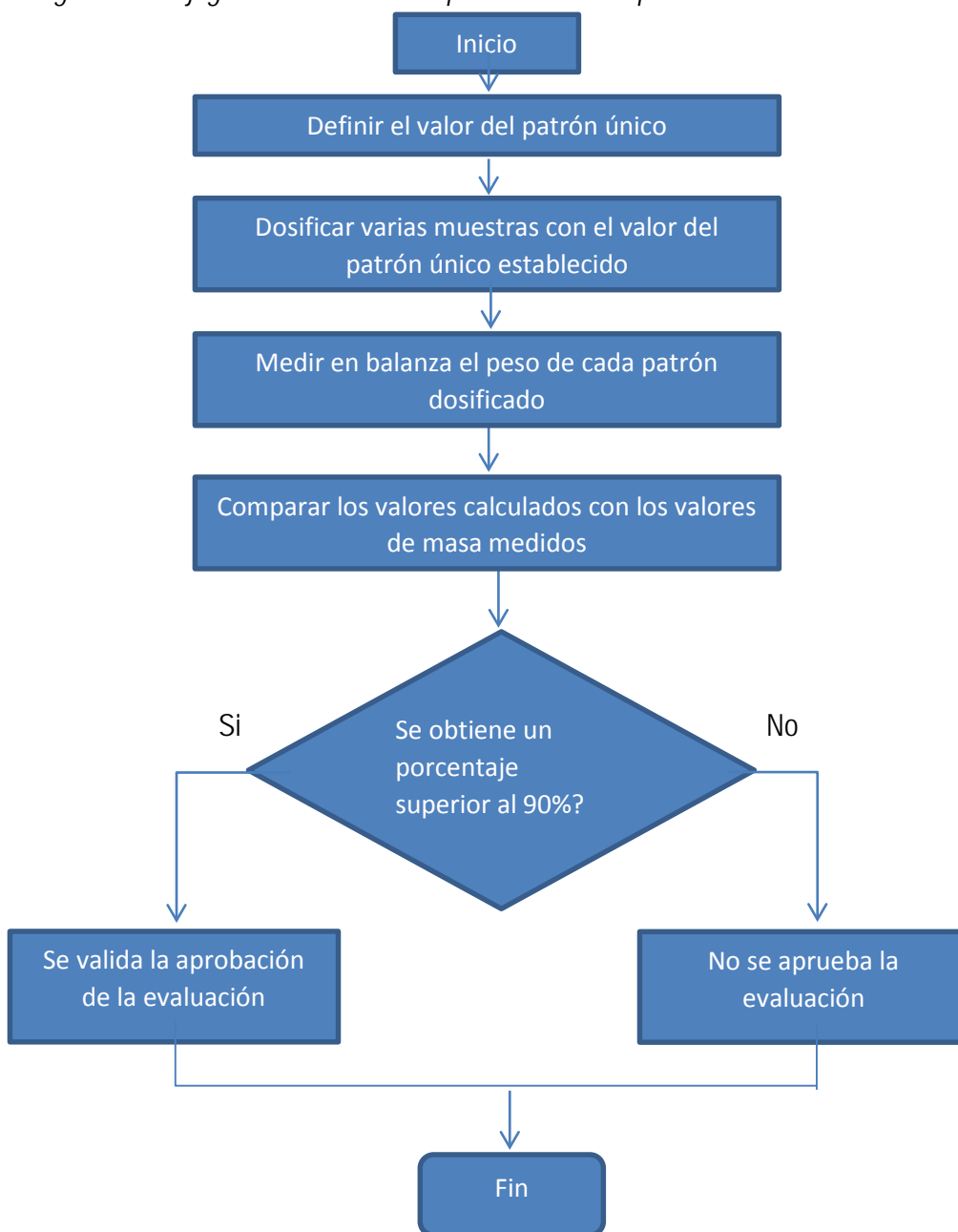
Se puede observar que mediante el procedimiento manual se obtiene un porcentaje precisión de hasta: 89.16% y un error promedio de 10.84%

5.1.1.2. Evaluación de repetitividad de mediciones

La repetitividad es la capacidad que se tiene para efectuar varias mediciones con igual precisión, es decir que si se realizan varias medidas con el mismo volumen en tiempos diferentes, la medición deberá ser exactamente la misma para cualquier volumen del mismo valor. El procedimiento a seguir para efectuar una evaluación por este método es el siguiente:

- Establecer un solo valor de un patrón
- Obtención de las muestras: Efectuar varios números de dosificaciones del valor establecido como patrón único
- Realizar la medida de masa de cada muestra obtenida por el sistema
- Comparar que todas las muestras obtenidas con el sistema tengan el mismo valor de masa.

Figura 5.4 Flujoograma de evaluación por método de repetitividad en mediciones



- **Establecimiento de un patrón único**

El establecer un patrón único no necesariamente implica que solo se podrá efectuar un solo determinado valor de dosificación, también se pueden definir varios valores de patrones únicos y realizar varias muestras de cada patrón para compararlas entre sí en este caso se han definido dos valores de patrones únicos:

2.5 [ml], 5 ml

- **Obtención de las muestras**

Se recomienda obtener las muestras dejando pasar un tiempo significativo entre cada medición que se realice para así constatar de mejor manera la eficiencia del sistema. Para esta evaluación se han obtenido 42 muestras por cada patrón único

Figura 5.5 obtención de muestras con el sistema



- **Mediciones de masa de cada muestra**

De igual manera mediante una balanza también se obtendrán los valores correspondientes a cada una de las muestras

Una vez que se han realizado estos procedimientos se han obtenido los siguientes datos teniendo en cuenta que se han dosificado dos grupos diferentes de patrones correspondientes al mismo valor obtenidos en tiempos diferentes para validar la repetitividad:

Tabla 5.5 Grupo No.1 Patrón único de 2,5 ml

No. de patrón	Volumen [ml]	Masa [g]
1	2,5	2.4780
2	2,5	2.4691
3	2,5	2.4850
4	2,5	2.4777
5	2,5	2.4889
6	2,5	2.4887
7	2,5	2.4921
8	2,5	2.4890
9	2,5	2.4888
10	2,5	2.4890
11	2,5	2.4668
12	2,5	2.4890
13	2,5	2.4568
14	2,5	2.4682
15	2,5	2.4980
16	2,5	2.4687
17	2,5	2.4791
18	2,5	2.4980
19	2,5	2.4791
20	2,5	2.4590
21	2,5	2.4791
22	2,5	2.4692
23	2,5	2.4798
24	2,5	2.4890
25	2,5	2.4787
26	2,5	2.4789
27	2,5	2.4790
28	2,5	2.4865
29	2,5	2.4489
30	2,5	2.5125
31	2,5	2.5364
32	2,5	2.5064
33	2,5	2.4890
34	2,5	2.4789
35	2,5	2.4890
36	2,5	2.4698
37	2,5	2.4895
38	2,5	2.4985
39	2,5	2.5204
40	2,5	2.5127
41	2,5	2.4897
42	2,5	2.4852

Tabla 5.6 Grupo 2 Patrón único de 5 ml

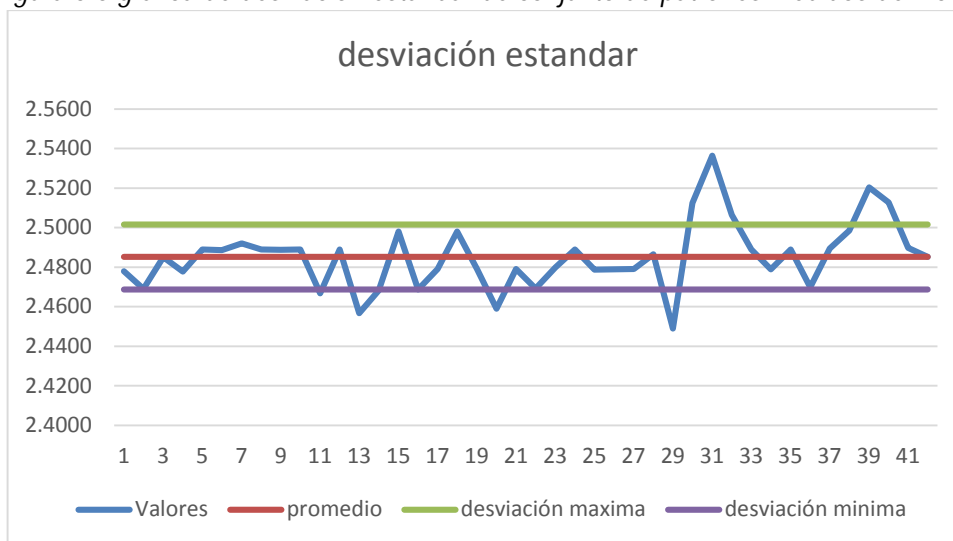
No. de patrón	Volúmen [ml]	Masa [g]
1	5	4.8887
2	5	4.9589
3	5	4.8987
4	5	4.9887
5	5	4.9978
6	5	4.9584
7	5	4.9658
8	5	4.8976
9	5	4.8988
10	5	4.9785
11	5	4.9733
12	5	4.8925
13	5	4.9235
14	5	4.9258
15	5	4.8256
16	5	4.9235
17	5	4.9825
18	5	4.9825
19	5	4.9748
20	5	4.9587
21	5	4.9657
22	5	4.9754
23	5	4.9478
24	5	4.9875
25	5	4.9568
26	5	4.9852
27	5	4.9285
28	5	4.9856
29	5	4.9456
30	5	4.7985
31	5	4.8925
32	5	4.8932
33	5	4.9454
34	5	4.8925
35	5	4.9654
36	5	4.8923
37	5	4.9853
38	5	4.9845
39	5	4.9872
40	5	4.8935
41	5	4.8952
42	5	4.9523

Para realizar las comparaciones se procederá a calcular la desviación estándar de los datos obtenidos de masa de cada grupo, este valor nos proporciona una idea de cuál es la variación que está teniendo el conjunto de datos que se está analizando, mientras más este valor se acerque a 0 mayor repetividad se garantiza en el proceso

Promedio	2,4851
Varianza	0,0003
Desviación estándar	0,01647606
Máximo	2,5364
Mínimo	2,4489
Error máximo	0.0875

En la siguiente grafica se pueden observar representados los siguientes datos: los valores medidos, el promedio de estos valores, la desviación máxima y la desviación mínima, para garantizar una repetividad alta la mayoría de la curva de los valores medidos debe encontrarse graficada en lo posible dentro del rango de la desviación máxima la desviación mínima

Figura 5.6 grafica de desviación estandar de conjunto de patrones medidos de 2.5 ml



A continuación se muestran los parámetros calculados para el patrón de 5 ml y el análisis de estos datos.

Promedio	4,9393
Varianza	0,0021
Desviación estándar	0,04572023
Máximo	4,9978
Mínimo	4,7985
Error máximo	0.1993

De igual manera se presenta la gráfica de la desviación estándar para este grupo de datos

Figura 5.7 grafica de desviación estandar de conjunto de patrones medidos de 5 ml



Una vez calculados estos datos se procede a calcular el porcentaje de repetitividad de cada uno de los conjuntos de parámetros aplicando la siguiente formula

$$\text{Porcentaje de repetitividad} = \frac{\text{Promedio datos} - \text{Desviación estandar}}{\text{Promedio datos}} \%$$

De manera que para el primer patrón se obtiene:

$$\text{Porcentaje de repetitividad} = \frac{2,4851 - 0,01647606}{2,4851} = 99\%$$

Y para el patrón de 5 ml se tiene:

$$\text{Porcentaje de repetitividad} = \frac{4,9393 - 0,04572023}{4,9393} = 99\%$$

De igual manera comparando los datos medidos de masa podemos observar que se tiene una repetitividad bastante alta ya que aproximadamente el 99% de las mediciones tienden a ser iguales y solo varían algunas en sus dígitos menos significativos.

- **Comparación con datos obtenidos en proceso manual**

A continuación se presenta un conjunto de datos obtenidos en un proceso manual, se tomaron 42 muestras de 5 ml para comparar y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.6 Grupo 3 Patrón único de 5 ml obtenido de forma manual

No de Patron	Volumen (ml)	Masa medida (g)
1	5	4,6980
2	5	4,6851
3	5	4,9730
4	5	4,6385
5	5	5,3210
6	5	5,1250
7	5	5,4560
8	5	4,6580
9	5	4,8621
10	5	4,9752
11	5	4,7689
12	5	4,9852
13	5	5,1290
14	5	5,0213
15	5	5,2340
16	5	4,9235
17	5	4,6587
18	5	4,9872
19	5	4,8712
20	5	4,7569
21	5	4,9531
22	5	5,3265
23	5	5,1240
24	5	5,0321
25	5	5,1268
26	5	5,1246
27	5	4,6879
28	5	4,9635
29	5	4,7569
30	5	4,6988
31	5	4,8365
32	5	4,9854
33	5	5,2365
34	5	5,3216
35	5	4,9658
36	5	4,2658
37	5	4,8635
38	5	5,1685
39	5	4,8936
40	5	4,8754
41	5	5,0365
42	5	4,8326

Una vez obtenidos estos datos procedemos a calcular la desviación estándar que nos da como resultado:

Promedio	4,9477
Varianza	0,0531
Desviación estándar	0,23036921
Máximo	5,4560
Mínimo	4,2658

Con este valor se calculará la repetitividad obtenida en el proceso manual

$$\text{Porcentaje de repetitividad} = \frac{4,9477 - 0,23036921}{4,9477} = 95\%$$

5.1.2. TIEMPO DE DOSIFICACIÓN

La rapidez con la que se preparan las recetas es también uno de los parámetros más críticos que se deben evaluar al igual que la precisión en la dosificación también es un parámetro medible y cuantificable,

El tiempo de dosificación es el tiempo que transcurre desde que se ha mandado a correr al programa y este a comenzado a ejecutarse hasta que el mismo termine de realizar todas las dosificaciones para evaluar este parámetro se han realizado varias recetas de colores en el sistema y se ha obtenido el tiempo de preparación a continuación se encuentran los datos tabulados:

Tabla 5.7 datos de tiempo de preparación

No. de receta	No. de dosificados colorantes	Tiempo de preparación
1	3 Colorantes	2:50 Minutos
2	3 Colorantes	3:14 Minutos
3	3 Colorantes	3:05 Minutos
4	2 Colorantes	1:10 Minutos
5	2 Colorantes	2:,31 Minutos
6	3 Colorantes	3:10 Minutos
7	1 Colorantes	0:45 Minutos

De estos datos se obtendrá el tiempo de preparación promedio por color mediante la siguiente formula:

Ecuación 5.5 Cálculo del tiempo promedio de preparación por color

$$Tiempo\ promedio = \frac{\sum tiempo\ de\ preparación}{\sum No\ de\ colorantes\ dosificados}$$

Aplicando los datos obtenidos a la ecuación se tiene que:

$$Tiempo\ promedio = \frac{16:45}{17}$$

$$Tiempo\ promedio = 0:50\ Segundos$$

El tiempo de preparación promedio por colorante es menos de un minuto mientras manualmente el tiempo de preparación de un laboratorista promedio es de 1:30. Este dato se ha obtenido realizando de igual manera varias pruebas a los laboratoristas para medir su desempeño y el tiempo mínimo de preparación de recetas es decir que los laboratoristas también son evaluados

5.1.3. ERGONOMÍA

Este parámetro es apreciable en la las actividades posiciones movimientos y esfuerzos que realiza cada persona para ejecutar la tarea de dosificación, se pudo observar que cada laboratorista trabaja bajo presión y adoptan posiciones incómodas como agacharse y encorvarse para poder observar las mediciones en la pipeta este ritmo de trabajo se mantiene durante varias horas al día mientras al utilizar el sistema se pueden reducir estas posiciones ya que el operador puede realizar este proceso desde un computador.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El sistema desarrollado en este proyecto permitió incrementar la calidad del proceso, se realizaron varios ensayos con patrones diferentes en los cuales el error de precisión de dosificación osciló entre 0.01 y 0.05 [ml]. Una vez evaluados estos resultados se observa las diferencias entre el sistema propuesto y el método manual tradicional. Se pudo obtener como resultado en la fase de pruebas una velocidad de preparación por color de hasta 50 segundos como máximo y un porcentaje de precisión del 95.98% mientras en el método manual el tiempo mínimo de preparación por color es de 1 minuto 30 segundos y el porcentaje de precisión es de hasta 89% además el mismo varía de persona a persona, el sistema propuesto aumentó la precisión de dosificación un 6.98% en comparación con el proceso manual y se aumentó la rapidez del proceso en 34.44%.
- Después de observar varias veces el proceso de dosificación se pudo determinar las variables críticas del proceso; entre las principales se encuentran la precisión de dosificación, el factor de repetitividad y el tiempo de preparación. Una vez finalizado el proyecto y concluida la fase de pruebas se se obtuvieron los siguientes resultados en las variables críticas del proceso:

Porcentaje de error promedio del sistema = 4.02%

Tiempo de dosificación por color 50 segundos

Error en repetitividad= 99%

- Se logró realizar un diseño funcional y práctico para el sistema propuesto con la ayuda de dos softwares CAD: SolidWorks e Inventor los cuales permitieron simular virtualmente el desempeño de la máquina y la resistencia que ofrecería la misma obteniendo buenos resultados que dieron paso a la construcción de la misma.
- Se construyó el diseño del sistema propuesto el cual respondió de manera satisfactoria y permitió optimizar la distribución del espacio para los productos y así mismo aprovecha al máximo los recursos propuestos para la implementación del sistema automático de dosificación.
- Se implementó un controlador digital en un CPU mediante la ayuda del software Labview el cual permitió también construir una interfaz HMI fácil de entender y operar para el usuario.
- Se realizaron las pruebas de funcionamiento del sistema tanto en la parte mecánica como en la parte eléctrica y de control para verificar el correcto funcionamiento del sistema luego de lo cual se constató que el sistema cumple con los parámetros propuestos para la construcción del sistema tales como estabilidad mecánica y eléctrica a un costo aproximado al propuesto en el anteproyecto, y los parámetros de calidad mencionados en el objetivo principal del proyecto.

6.2. RECOMENDACIONES

- Uno de los principales aspectos que quedan abiertos a mejoras es la optimización de los actuadores y el sistema de movimiento de ejes, en caso de que se requiera ampliar la capacidad del sistema sin embargo es de vital importancia calcular la corriente de alimentación para todos los motores que se ocupan en el sistema, ya que según este criterio se deberá realizar la etapa de potencia adecuada que permita una correcta transmisión de datos entre la interfaz arduino y los drivers de cada motor.

- Si se requiere incrementar la precisión de la dosificación se recomienda utilizar dosificadores individuales para cada botella en lugar de una sola pipeta cambiable, para esto se requiere reemplazar el dosificador con un brazo robótico que permite manipular los dosificadores individuales.
- El presente proyecto fue diseñado para las necesidades específicas de un laboratorio textil si se desea desarrollar el proyecto de modo que sea aplicable a varios sectores es necesario incrementar el número de botellas de productos para que contenga una mayor rango de productos a su disposición para la preparación de colorantes
- Para que el sistema tenga una mayor robustez y estabilidad se recomienda utilizar un controlador industrial como un PLC que controle la máquina de forma independiente, para una futura mejora es aconsejable utilizar un CPU solo como interfaz y de esta manera independizar la etapa de control.
- La mayoría de sistemas diseñados para el propósito de dosificación utilizan controladores tipo CNC, por lo cual también se recomienda implementar en un futuro un control CNC para este sistema, lo cual le permitirá también ganar una mayor precisión y velocidad al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- 42Bots. (2013). *42Bots*. Recuperado el 2015, de 42Bots: <http://42bots.com/>
- Arduino. (2015). *Arduino*. Recuperado el 26 de Enero de 2015, de Arduino: www.arduino.cc
- Avago. (2015). *Avago*. Obtenido de Avago : <http://www.avagotech.com/products/motion-control-encoders/incremental-encoders/transmissive-encoders/heds-5500a06>
- Bastidas, D. (6 de enero de 2015). *Gui Controladores para el diseño de controladores*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Datacolor. (2014). *industrial.datacolor.com*. Obtenido de industrial.datacolor.com
- David Guzmán Díaz, J. R. (2010). *Introducción a la técnica instrumental*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Galiza Analítica. (2014). *Galiza Analítica*. Obtenido de <http://www.galiza-analitica.com/>
- ICTSL. (2014). *I.C.S.T,S.L*. Obtenido de <http://www.ictsl.net/productos/vidrio/frascoroscaglsegundiniso4796schottduran.html>
- Indutexma textiles. (s.f.). *Indutexma textiles*.
- Integra. (2014). *medicalexpo*. Obtenido de <http://www.medicalexpo.es/prod/integra-biosciences-ag/pipeteadores-mecanicos-80406-508912.html>
- Katsuhiko, O. (1993). *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNO*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A.
- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automático*. México: EDIMSA S.A.
- Lara, R. O. (2007). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE*. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Lockuán Lavado, F. E. (2012). *LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL DE CALIDAD: Tintorería*. Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.
- Ma. Luisa Marín García, S. T. (2004). *Bases químicas del medio ambiente. Manual de laboratorio*. España: Editorial de la UPV.
- Mott, R. L. (2000). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico: Pearson.
- National Instruments. (2014). *Ni Forum*. Recuperado el 26 de Enero de 2015, de Ni Forum: www.ni.com
- Ogata, k. (2010). *Ingeniería de control moderno*. Madrid: Pearson.
- Pachón, J. A. (2009). *Implementación de un Sistema Posicional con Motores Tipo Paso y Servomotores Controlados por Computadora*. Bogota: Universidad Javeriana.
- Pelaeus. (2011). *Cimatec S.A.C*. Obtenido de <http://www.cimatec.pe/web/detalle.php?id=684#!prettyPhoto/0/>

- Pololu. (2015). *Pololu Robotics and Electronics*. Obtenido de Pololu Robotics and Electronics.
- Profillete. (2014). *Auxilab S.L.* Obtenido de http://www.auxilab.es/es/catalogo/liq.-handling-socorex_controladores-de-pipeta_profillette_Pipeteador-manual-Profillette-406-10-ml.aspx
- Quintero, E. A. (2008). *CONTROL DE POSICIÓN PARA UN TELESCOPIO CON MOTORES PASO A PASO*. Pereira Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Sloep, D. &. (1992). *Mathematical Modeling in the Life Sciences*. Ellis Horwood. Obtenido de <http://www.uoc.edu/>.
- Tecnorama. (2014). *Tecnorama*. Obtenido de <http://www.tecnorama.it/en/index.php>
- The Science Learning Center of University of Michigan-Dearborn. (2012). *www.cultek.com*. Obtenido de http://www.cultek.com/inf/otros/aplicaciones/manejo/pipette_slides-rld4_esp.pdf
- Wacol. (2013). *Wacol*. Obtenido de <http://www.wacol.com.co/index.php?base&seccion=pdtos-list>

ANEXOS

ANEXO 1

Manual de operación del sistema de dosificación

GUÍA DE INSTALACIÓN Y MANEJO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICO DE COLORANTES Y AUXILIARES

1. RECOMENDACIONES PREVIAS Y RIESGOS

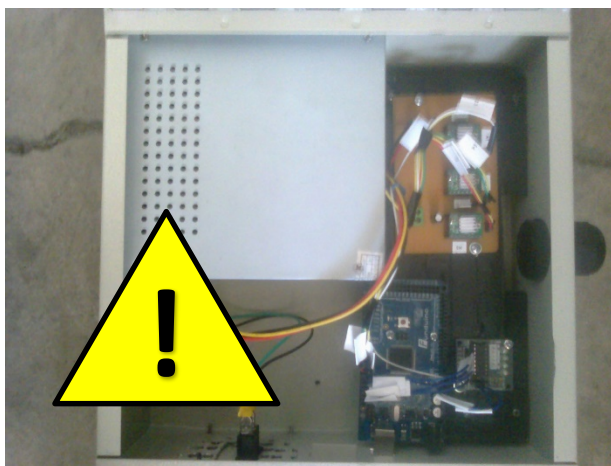
La persona que opere el sistema debe tener conocimientos previos sobre preparación de colorantes textiles en laboratorio.

Riesgos eléctricos

- Bajo ningún motivo encienda el sistema de dosificación mientras el tablero eléctrico se encuentra abierto.

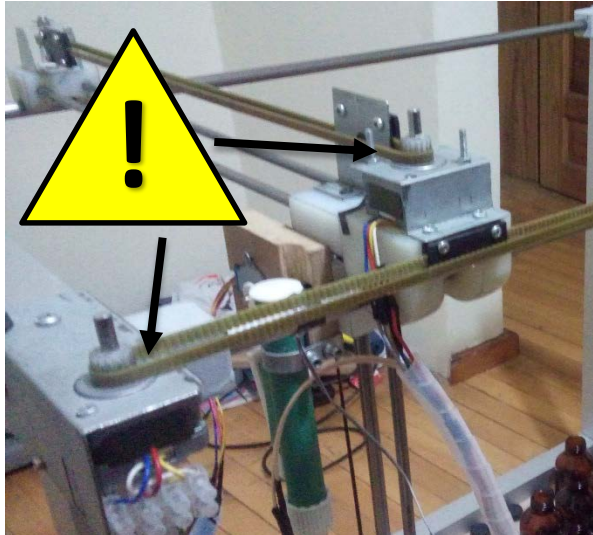


- Bajo ningún motivo debe modificar las conexiones eléctricas de la máquina, cualquier intervención en el sistema eléctrico de la máquina debe ser realizada por personal capacitado.



Riesgos Mecánicos

- Por ningún motivo coloque los dedos entre las bandas y el piñón de los ejes de movimiento ya que podría sufrir un pinzamiento.



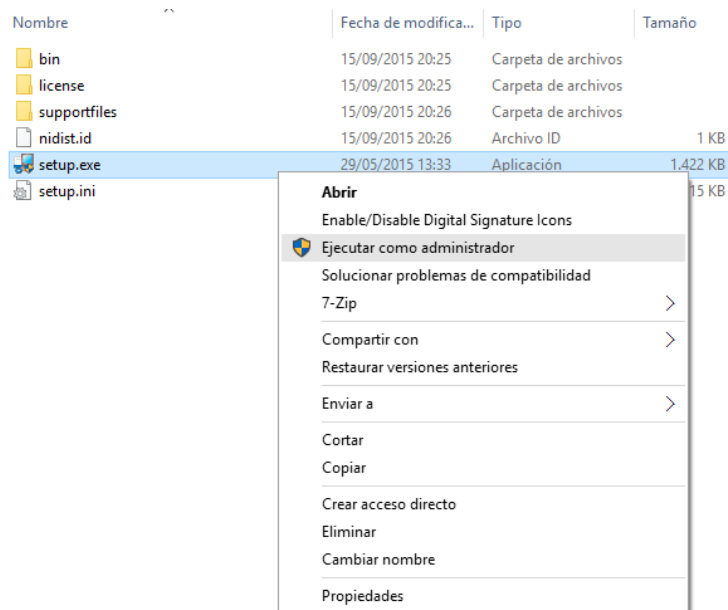
- Nunca se apoye sobre la estructura de la maquina ni coloque ningún peso adicional sobre ninguno de los ejes de la estructura.
- Bajo ningún motivo realice modificaciones en la estructura mecánica del sistema
- El desmontaje y ensamble del equipo de ser necesario, debe ser realizado por personal capacitado.
-

Requerimientos

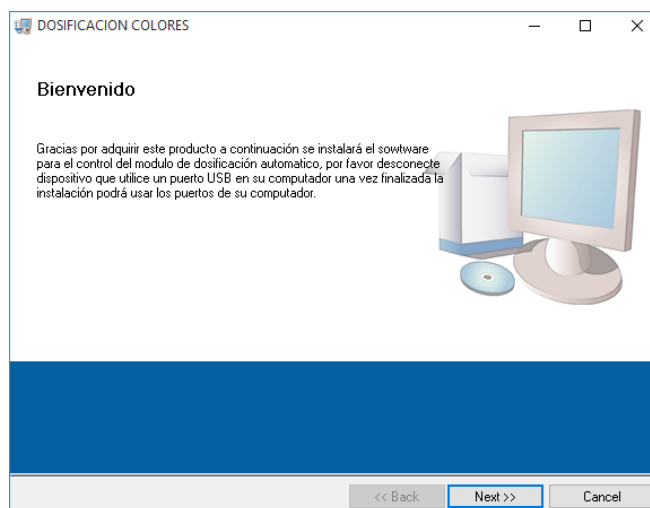
- Alimentación eléctrica: El sistema requiere una alimentación de corriente alterna 110 V
- Compatibilidad: El sistema de dosificación es compatible con cualquier versión de Windows.
- Comunicación: para la conexión entre la máquina y un CPU se requiere un cable USB.

2. INSTALACIÓN

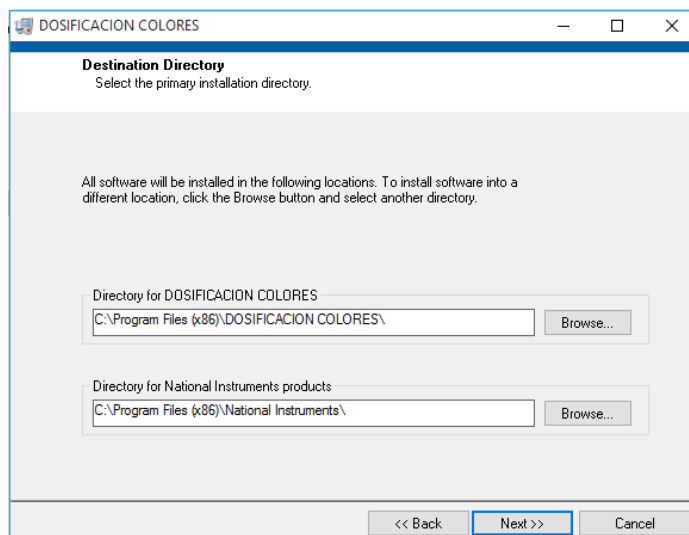
El sistema de dosificación requiere del software “Dosificador AC1” para su funcionamiento, para su instalación ejecute el archivo: setup.exe, se requiere privilegios de administrador para ejecutar el archivo.



A continuación el instalador desplegará el mensaje de bienvenida, desconecte cualquier dispositivo USB de su computador y presione el botón: “Next” para continuar la instalación.



En el siguiente cuadro de dialogo debe seleccionar el directorio en donde se instalará el programa se recomienda seleccionar la dirección que aparece por defecto en el instalador, a continuación presione el botón “Next” para continuar:

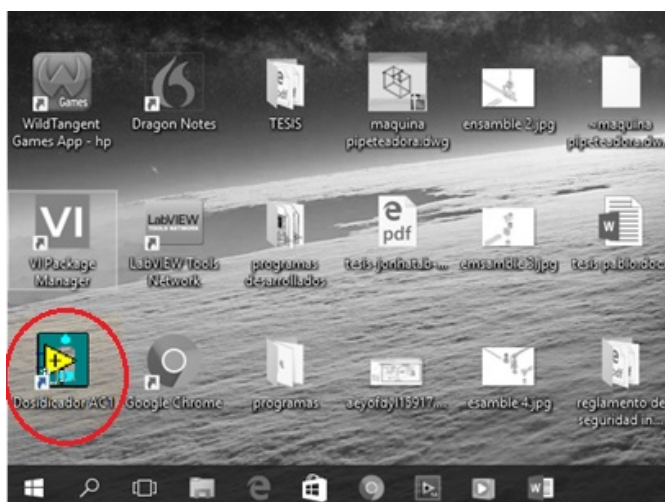


Una vez finalizada la instalación el instalador desplegará un mensaje indicando que la instalación ha culminado exitosamente.

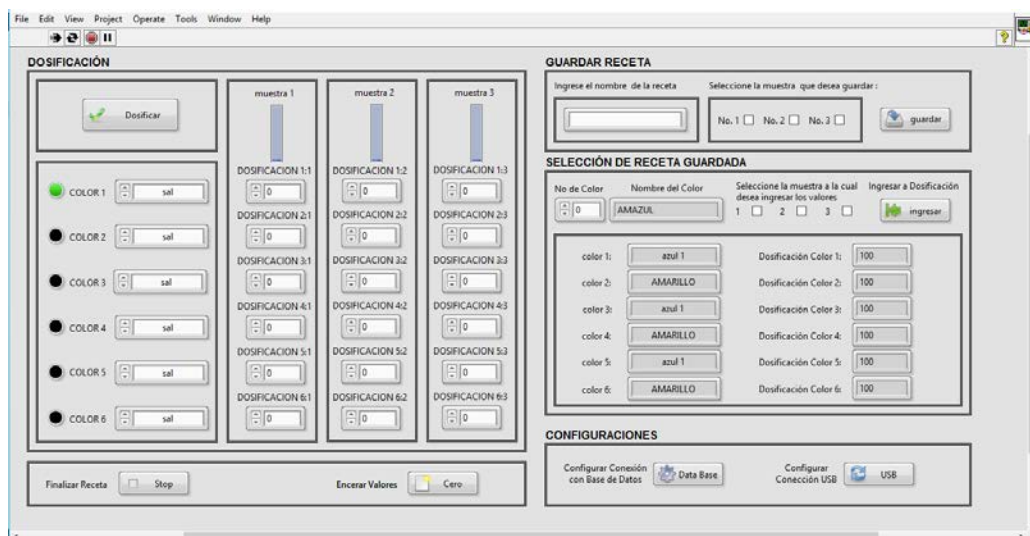
3. OPERACIÓN

3.1 INICIO

El programa de instalación colocará automáticamente un icono con el nombre “Dosificador AC1” de inicio en el escritorio de “Windows”, para iniciar el programa de doble clic en este icono.



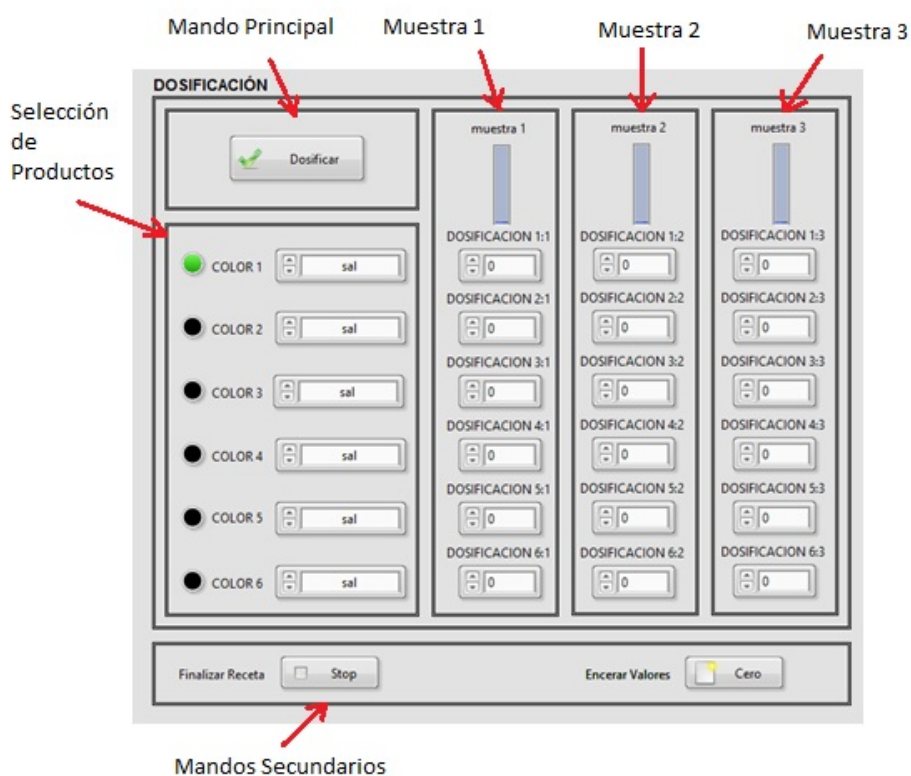
Una vez que se ejecute el programa se desplegará la interfaz de operación como se muestra en la siguiente imagen



La interfaz de operación está dividida en 4 paneles:

3.2 DOSIFICACIÓN:

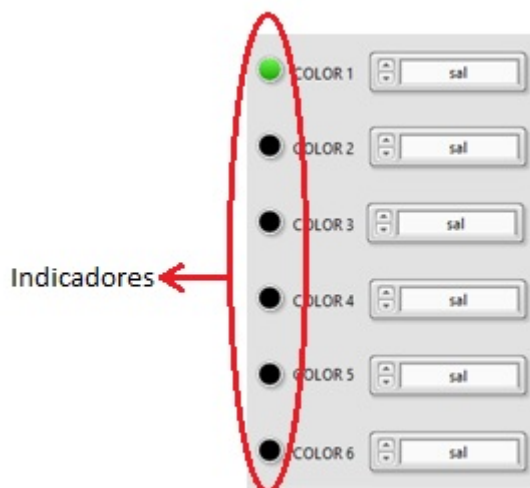
El panel de dosificación está ubicado en el lado izquierdo de la pantalla, este panel está dividido en 6 cuadros en los cuales se realiza la operación de ingreso de parámetros y dosificación.



En el cuadro de selección se encuentran 6 menús en los cuales se puede ingresar producto por menú, para seleccionar un producto se debe dar clic sobre el menú y se desplegará la lista de productos disponibles.



Además en este cuadro también se muestran 6 indicadores correspondientes a cada producto este indicador se encenderá cuando el sistema este dosificando el producto correspondiente al indicador

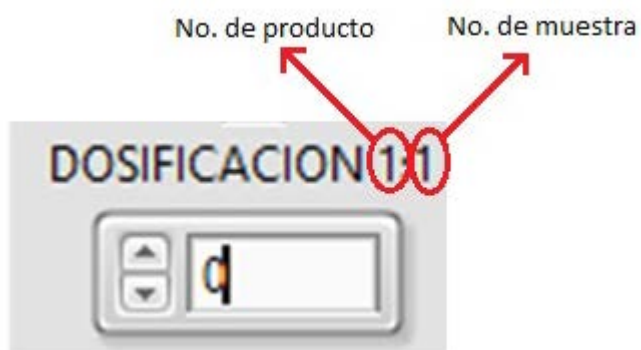


Cuadros de Muestras:

Existen 3 cuadros de muestran los cuales contienen a su vez 6 controles de tipo numérico, en cada uno se deben ingresar el valor correspondiente a la dosificación de cada producto en [ml.] para ingresar en valor se puede digitar el valor directamente o utilizar las flechas para incrementar o decrementar el valor.



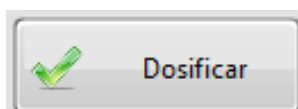
Los controles de tipo numérico están nombrados de la siguiente manera:



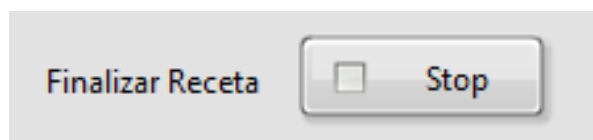
El primer valor corresponde al número de producto y el segundo valor corresponde al número de muestra.

Mandos:

Existe un mando de operación principal y dos secundarios, el mando principal es el botón llamado: “Dosificar” este botón permite proceder con la dosificación de los productos seleccionados una vez que se han ingresado los productos y la dosificación de cada uno de ellos.



Los mandos secundarios son los botones “finaliza receta” y “encerar valores”:



El botón finalizar receta permite al operador finalizar la receta aun cuando no se hayan dosificado todos los productos.



El botón de encerar valores ingresa “0” en todos los controles de tipo numérico.

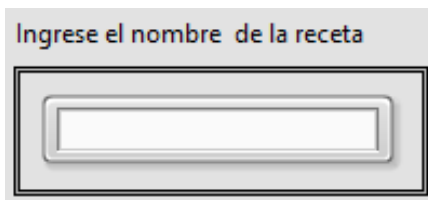
3.3 GUARDAR RECETA:

El panel de guardar receta permite al operador guardar los valores ingresados en el panel de dosificación en una base de datos.

GUARDAR RECETA

Ingrese el nombre de la receta <input style="width: 90%; height: 20px;" type="text"/>	Seleccione la muestra que desea guardar : No. 1 <input type="checkbox"/> No. 2 <input type="checkbox"/> No. 3 <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="guardar"/>
--	---	--

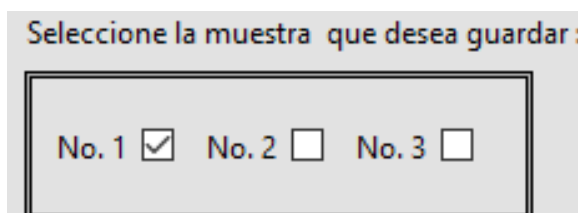
Para guardar una receta primeramente se debe ingresar en el cuadro de texto llamado: “ Ingrese el nombre de la receta” un texto correspondiente al nombre que se le quiera dar a la receta:



Ingrese el nombre de la receta

A rectangular input field with a double border and a light gray background, intended for entering the recipe name.

En el siguiente cuadro se debe marcar el selector correspondiente al número de muestra que deseamos guardar

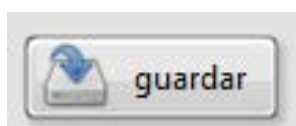


Seleccione la muestra que desea guardar :

No. 1 No. 2 No. 3

A rectangular form with a double border and a light gray background. It contains the text 'Seleccione la muestra que desea guardar :' and three radio button options: 'No. 1' with a checked box, 'No. 2' with an unchecked box, and 'No. 3' with an unchecked box.

Al presionar el botón: “Guardar” se ingresarán y almacenarán los valores seleccionados en una base de datos.



3.4 SELECCIÓN DE RECETA GUARDADA:

Este panel permite al operador ingresar en el panel de dosificación los valores de una receta previamente guardada.

SELECCIÓN DE RECETA GUARDADA

No de Color	Nombre del Color	Seleccione la muestra a la cual desea ingresar los valores			Ingresar a Dosificación
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="AMAZUL"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="← ingresar"/>
color 1:	<input type="text" value="azul 1"/>	Dosificación Color 1:	<input type="text" value="100"/>		
color 2:	<input type="text" value="AMARILLO"/>	Dosificación Color 2:	<input type="text" value="100"/>		
color 3:	<input type="text" value="azul 1"/>	Dosificación Color 3:	<input type="text" value="100"/>		
color 4:	<input type="text" value="AMARILLO"/>	Dosificación Color 4:	<input type="text" value="100"/>		
color 5:	<input type="text" value="azul 1"/>	Dosificación Color 5:	<input type="text" value="100"/>		
color 6:	<input type="text" value="AMARILLO"/>	Dosificación Color 6:	<input type="text" value="100"/>		

Cada receta tiene asignado un numero en el sistema el cual servirá para la búsqueda de la misma para seleccionar una receta guardada se debe buscar mediante el control numérico llamado: “No de Color” en el cual se ingresa el numero asignado a la receta.



En el indicador: “Nombre de la receta” se muestra el color correspondiente al número de receta seleccionado

En los indicadores mostrados en la siguiente imagen se visualizarán los productos y dosificación correspondiente a cada receta que se seleccione, y las dosificaciones correspondientes a cada producto:

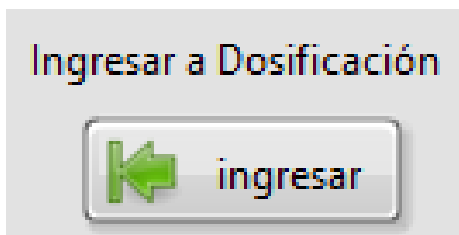
Indicadores de productos		Indicadores de dosificación	
color 1:	azul 1	Dosificación Color 1:	100
color 2:	AMARILLO	Dosificación Color 2:	100
color 3:	azul 1	Dosificación Color 3:	100
color 4:	AMARILLO	Dosificación Color 4:	100
color 5:	azul 1	Dosificación Color 5:	100
color 6:	AMARILLO	Dosificación Color 6:	100

A continuación se debe seleccionar el número de muestra del cuadro de dosificación en el cual se desea ingresar los valores mostrados en los indicadores para esto se debe marcar el o los selectores correspondientes al número de muestras en donde se ingresará la receta guardada.

Seleccione la muestra a la cual desea ingresar los valores

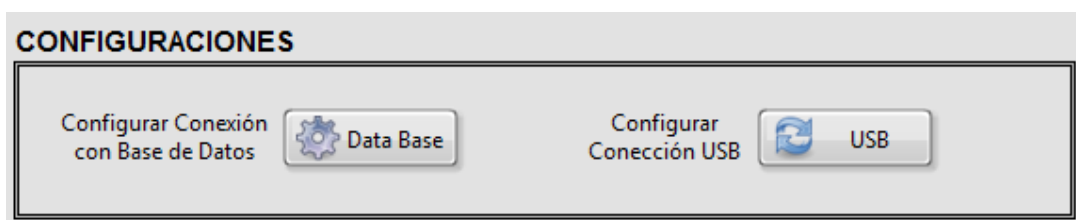
1 2 3

Al presionar el botón: “Ingresar a dosificación” se trasladarán automáticamente los valores de la receta seleccionada al panel de dosificación.

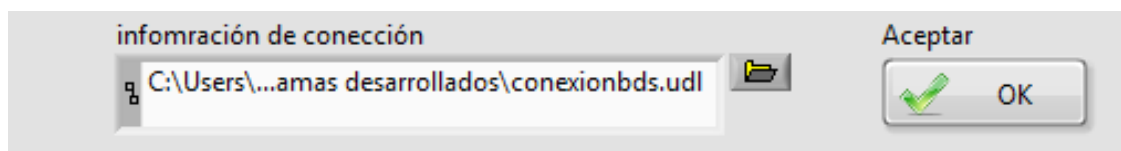


3.5 PANEL DE CONFIGURACIONES:

El panel de configuraciones permite ajustar los parámetros de comunicación del sistema.



El botón de configuración: “Configurar Conexión con Base de Datos” permite establecer comunicación con el archivo de conexión para una base de datos en Access, este archivo se encuentra disponible en la carpeta del programa.



Una vez que se ha seleccionado la dirección del archivo de comunicación con la base de datos se debe dar clic en aceptar para establecer la conexión.

El botón: “Configurar Conexión USB” permite seleccionar el puerto de COM de comunicación entre el sistema y la CPU.



Solamente los puertos que se encuentren en uso se mostrarán en la lista de selección una vez que se haya seleccionado el puerto correspondiente al sistema se deben presionar el botón aceptar y se establecerá la conexión con el sistema.

ANEXO 2
Manual de mantenimiento del sistema de dosificación

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE DOSIFICACIÓN VOLUMETRICA PARA COLORANTES Y AUXILIARES

RECOMENDACIONES PREVIAS Y RIESGOS

- Cualquier trabajo de mantenimiento debe realizarse con la maquina desenergizada.
- Los trabajos de mantenimiento deben ser realizados por personal capacitado.
- Antes de realizar los trabajos de mantenimiento se deben retirar las botellas de producto para evitar la contaminación de las mismas.
- Cualquier modificación en el sistema deberá ser realizada por personal capacitado.

TRABAJOS DE MANTENIMIENTO

El sistema de dosificación volumétrico requiere de tareas de mantenimiento frecuentes para un desempeño efectivo al igual que cualquier maquinaria industrial ya que el continuo uso somete a la estructura física a suciedad contaminación y desgaste. Para optimizar los trabajos de mantenimiento se han dividido en 3 tipos a continuación se lista un resumen de los trabajos de mantenimiento que se deben realizar

Limpieza

Resumen de trabajos de limpieza

Frecuencia	¿Dónde?	¿Cómo?
Mensual	Cuerpo de la máquina	Literal a
Mensual	Tablero eléctrico	Literal b
Mensual	Dosificador	Literal c
Trimestral	Botellas de Producto	Literal d

a) Cuerpo de la máquina

Se debe eliminar el polvo acumulado en la estructura de soporte especialmente en los ejes de deslizamiento para los carros, utilice aire comprimido para eliminar el polvo de las superficies metálicas.

De la misma manera se debe limpiar el material de dosificación que se pueda haber regado en la base de soporte para las botellas, ya que los productos que se dosifican son de carácter netamente químico y pueden fácilmente corroer el material de la estructura, utilice un trapo húmedo para eliminar los residuos de producto que se encuentren en la estructura.

b) Tablero Eléctrico

Eliminar el polvo acumulado en el interior del tablero utilizar aire seco comprimido para este trabajo, limpiar el ventilador de la fuente y la rejilla de ingreso de aire.

c) Dosificador

Verificar que no existan residuos acumulados en la boquilla del dosificador, algunos productos pueden producir vapores corrosivos que se condensan y se adhieren al interior del dosificador, especialmente en la boquilla del mismo para eliminar estos residuos retire la boquilla y lave la misma en agua, no utilice ningún producto de limpieza para el lavado de la boquilla. Esperar a que la boquilla se haya secado completamente antes de volver a colocarla en el dosificador.

d) Botellas de producto

Con la prolongada exposición al aire, algunos productos tienden a solidificarse en el interior de la botella, en tal caso el producto debe reemplazarse inmediatamente, se recomienda lavar las botellas trimestralmente para evitar contaminación en las mismas.

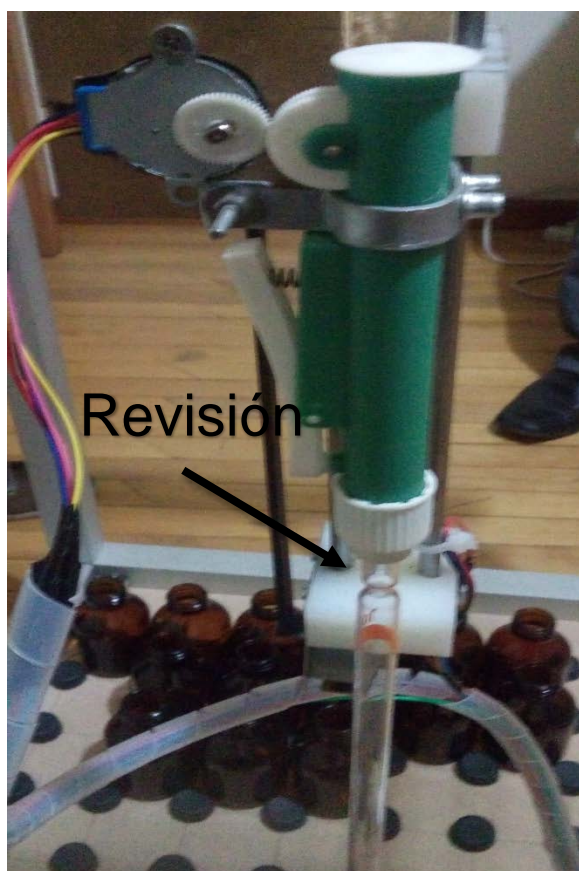
Inspecciones

Resumen de trabajos de inspección

Frecuencia	¿Dónde?	¿Cómo?
Trimestral	Dosificador	Literal a
Semestral	Bandas	Literal b
Anual	Todos los Motores de la máquina	Literal c
Anual	Tablero eléctrico	Literal d

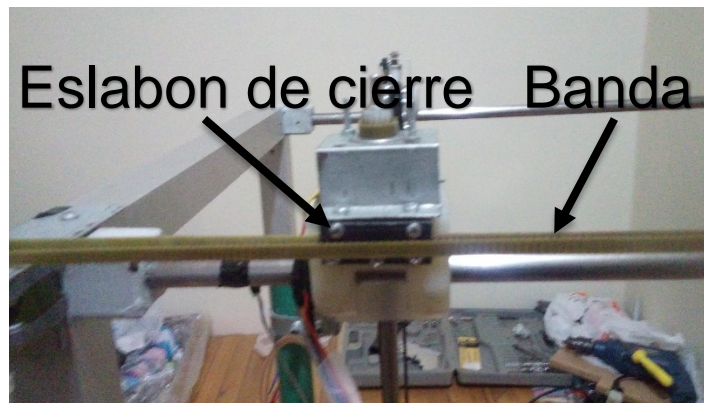
a) Dosificador

Verificar que la boquilla del dosificador tenga un buen ajuste en la pipeta y no permita fugas entre el dosificador y la pipeta de ser necesario reemplazar la boquilla.



b) Bandas

Comprobar que no existan fisuras ni deformaciones en las bandas de transmisión de movimiento de cada eje, verificar que los eslabones de cierre tienen un buen ajuste.



c) Motores

Comprobar que los motores estén anclados correctamente a cada soporte y que los engranajes para cada banda no presenten desgaste de ser necesario reemplazar el engranaje.



d) Tablero Eléctrico

Comprobar el ajuste de borneras de conexión, verificar el estado de cables de conexión y realizar una limpieza de las tarjetas electrónicas.



Lubricación



Se recomienda lubricar los 3 ejes de deslizamiento cada 3 meses para garantizar un movimiento fluido de los carros, utilice grasa, antes de aplicar lubricar retire la grasa presente en el eje de deslizamiento.

LISTA BÁSICA DE RECAMBIOS

Algunos componentes del sistema sufren desgaste con el trabajo continuo el tiempo de vida útil de cada elemento se determina por el fabricante, a continuación se detalla un listado de los principales elementos de recambio que se deben tomar en cuenta:

Elemento	Tiempo de vida útil
Boquilla de dosificador	3 meses
Dosificador	1 año
Motor a paso KP35FM2-044	5 años
Motor a paso KP35FM2-044	5 años
Driver A4988	5 años
Driver ULN203	5 años
Sensor final de carrera	5 años

ANEXO 3:
Datos adquiridos para el modelamiento

Tabla 1: Datos obtenidos del motor para movimiento en el eje x.

No. de pasos	Posición Angular		
	muestra 1 (°)	muestra 2 (°)	muestra 3 (°)
1	3,0	2,0	1,5
2	5,0	4,5	4,0
3	7,0	6,5	6,0
4	8,5	8,0	8,0
5	10,0	10,0	9,5
6	12,0	12,0	11,0
7	14,0	13,5	12,5
8	15,5	15,5	14,0
9	17,5	17,5	16,0
10	19,0	19,0	17,5
11	21,0	20,5	19,0
12	23,0	22,0	21,0
13	25,0	24,0	23,0
14	26,5	26,0	25,0
15	28,0	28,0	26,5
16	30,0	29,5	28,0
17	32,0	31,0	30,0
18	33,5	33,0	32,0
19	35,0	35,0	33,5
20	37,0	36,5	35,0
21	39,0	38,5	37,0
22	40,5	40,0	38,5
23	42,5	41,5	40,5
24	44,0	43,5	42,5
25	46,0	45,5	44,0
26	47,5	47,0	46,0
27	49,5	49,0	48,0
28	51,0	50,5	49,5
29	52,5	52,5	51,0
30	54,5	54,5	53,0
31	56,5	56,0	55,0
32	58,0	57,5	57,0
33	60,0	59,5	58,5
34	62,0	61,5	60,0
35	63,5	63,0	62,0
36	65,0	65,0	64,0
37	67,0	66,5	65,5
38	69,0	68,5	67,5
39	71,0	70,5	69,5
40	72,5	72,0	71,0

Tabla 2: Datos obtenidos del motor para movimiento en el eje y.

No. de Pasos	Posición Angular		
	Muestra 1 (°)	Muestra 2 (°)	Muestra 3 (°)
1	1,8	2,0	1,5
2	4,5	4,8	4,5
3	7,0	6,5	6,0
4	9,0	8,5	8,0
5	11,0	10,0	10,5
6	12,5	11,5	12,5
7	14,5	13,5	14,0
8	16,5	15,5	16,0
9	18,0	17,5	17,5
10	20,0	19,5	19,0
11	22,0	21,5	21,0
12	24,0	23,5	22,5
13	26,0	25,5	24,0
14	28,0	27,5	26
15	30,0	29,0	27,5
16	32,0	31,0	29,5
17	33,5	33,0	31,0
18	35,5	35,0	33,0
19	37,5	37,0	35,0
20	39,0	39,0	36,5
21	41,0	41,0	38,0
22	43,0	42,5	40,5
23	45,0	44,5	42,0
24	46,5	46,0	44,0
25	48,0	48,0	45,5
26	50,0	50,0	47,0
27	51,5	52,0	49,0
28	53,5	54,0	51,0
29	55,5	56,0	52,5
30	57,0	57,5	54,0
31	59,0	59,0	56,0
32	61,0	61,0	58,0
33	63,0	63,0	60,0
34	64,8	64,5	62,0
35	66,5	66,0	63,5
36	68,0	68,0	65,5
37	69,5	70,0	67,0
38	71,5	72,0	69,0
39	73,5	73,5	71,0
40	75,0	75,0	72,5

Tabla 3: Datos obtenidos del motor para movimiento en el eje z.

No de Pasos	Posición Angular		
	Muestra 1 (°)	Muestra 2 (°)	Muestra 3 (°)
1	5,5	7,0	6,5
2	14,0	14,0	13,5
3	21,0	21,0	21,0
4	28,0	28,0	27,5
5	35,0	35,0	35,0
6	42,5	42,5	42,0
7	50,0	49,0	49,0
8	56,0	56,0	56,0
9	63,0	63,0	62,5
10	70,0	70,5	70,0
11	76,5	76,5	76,5
12	84,0	84,0	84,0
13	91,5	91,0	91,0
14	98,0	98,0	99,0
15	105,5	105,0	105,0
16	113,0	113,0	113,0
17	120,0	120,0	120,0
18	127,0	127,0	127,0
19	135,0	135,0	134,0
20	142,0	142,0	141,0
21	149,0	150,0	149,0
22	157,0	157,0	156,0
23	164,0	165,0	164,0
24	172,0	172,0	172,0
25	180,0	180,0	180,0

Tabla 4: Datos obtenidos del motor para movimiento del Dosificador.

No de Pasos	Posición Angular		
	Ángulo 1 (°)	Ángulo 2 (°)	Ángulo 3 (°)
20	5,0	5,0	6,0
40	9,0	10,0	9,5
60	11,5	13,0	13,0
80	15,0	16,5	16,5
100	19,0	20,0	20,0
120	22,5	24,0	23,5
140	26,0	27,0	27,0
160	30,0	31,0	30,5
180	33,5	35,0	34,5
200	36,5	38,0	38,5
220	40,0	42,0	42,0
240	44,0	46,0	45,5
260	48,0	49,0	49,0
280	51,5	53,5	53,0
300	55,0	56,0	56,5
320	59,0	59,0	59,5
340	62,5	63,0	63,0
360	65,5	66,0	66,5
380	69,0	70,0	70,0
400	72,5	74,0	73,5
420	76,0	77,0	77,0
440	80,0	80,0	80,5
460	83,0	84,0	83,5
480	86,0	87,0	86,5
500	89,0	90,0	90,5
520	92,0	94,0	93,5
540	96,0	97,0	96,5
560	99,0	100,0	100,0
580	102,5	102,5	103,0
600	105,0	106,0	106,5
620	109,0	110,0	110,0
640	112,0	113,0	113,5
660	115,5	116,5	116,5
680	119,0	120,0	120,0
700	122,5	123,5	123,5
720	125,5	126,5	126,5
740	129,0	130,0	130,0
760	133,0	134,0	134,0
780	136,0	137,0	137,0
800	140,0	140,0	140,5

ANEXO 4

Firmware para la comunicación con arduino

```

/*****
** LVIFA_Firmware - Provides Functions For Interfacing With The Arduino Uno
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
*****/

#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal.h>
//Includes for IR Remote
#ifndef IRremoteInt_h
#include "IRremoteInt.h"
#endif
#ifndef IRremote_h
#include "IRremote.h"
#endif
/*****
** Optionally Include And Configure Stepper Support
*****/
#ifdef STEPPER_SUPPORT
// Stepper Modifications
#include "AFMotor.h"
#include "AccelStepper.h"
// Adafruit shield
AF_Stepper motor1(200, 1);
AF_Stepper motor2(200, 2);
// you can change these to DOUBLE or INTERLEAVE or MICROSTEP
// wrappers for the first motor
void forwardstep1() {
  motor1.onestep(FORWARD, SINGLE);
}
void backwardstep1() {
  motor1.onestep(BACKWARD, SINGLE);
}
// wrappers for the second motor
void forwardstep2() {
  motor2.onestep(FORWARD, SINGLE);
}
void backwardstep2() {
  motor2.onestep(BACKWARD, SINGLE);
}
AccelStepper steppers[8]; //Create array of 8 stepper objects
#endif
// Variables
unsigned int retVal;
int sevenSegmentPins[8];
int currentMode;
unsigned int freq;
unsigned long duration;
int i2cReadTimeouts = 0;
char spiBytesToSend = 0;
char spiBytesSent = 0;
char spiCSPin = 0;
char spiWordSize = 0;
Servo *servos;
byte customChar[8];
LiquidCrystal lcd(0,0,0,0,0,0,0);

```

```

unsigned long IRdata;
IRsend irsend;
// Sets the mode of the Arduino (Reserved For Future Use)
void setMode(int mode)
{
    currentMode = mode;
}
// Checks for new commands from LabVIEW and processes them if any exists.
int checkForCommand(void)
{
#ifdef STEPPER_SUPPORT
    // Call run function as fast as possible to keep motors turning
    for (int i=0; i<8; i++){
        steppers[i].run();
    }
#endif
    int bufferBytes = Serial.available();
    if(bufferBytes >= COMMANDLENGTH)
    {
        // New Command Ready, Process It
        // Build Command From Serial Buffer
        for(int i=0; i<COMMANDLENGTH; i++)
        {
            currentCommand[i] = Serial.read();
        }
        processCommand(currentCommand);
        return 1;
    }
    else
    {
        return 0;
    }
}
// Processes a given command
void processCommand(unsigned char command[])
{
    // Determine Command
    if(command[0] == 0xFF && checksum_Test(command) == 0)
    {
        switch(command[1])
        {
            /*****
            ** LIFA Maintenance Commands
            *****/
            case 0x00: // Sync Packet
                Serial.print("sync");
                Serial.flush();
                break;
            case 0x01: // Flush Serial Buffer
                Serial.flush();
                break;
            /*****
            ** Low Level - Digital I/O Commands
            *****/
            case 0x02: // Set Pin As Input Or Output
                pinMode(command[2], command[3]);
                Serial.write('0');
                break;
            case 0x03: // Write Digital Pin
                digitalWrite(command[2], command[3]);

```

```

    Serial.write('0');
    break;
case 0x04: // Write Digital Port 0
    writeDigitalPort(command);
    Serial.write('0');
    break;
case 0x05: //Tone
    freq = ( (command[3]<<8) + command[4]);
    duration=(command[8]+ (command[7]<<8)+ (command[6]<<16)+(command[5]<<24));
    if(freq > 0)
    {
        tone(command[2], freq, duration);
    }
    else
    {
        noTone(command[2]);
    }
    Serial.write('0');
    break;
case 0x06: // Read Digital Pin
    retVal = digitalRead(command[2]);
    Serial.write(retVal);
    break;
case 0x07: // Digital Read Port
    retVal = 0x0000;
    for(int i=0; i <=13; i++)
    {
        if(digitalRead(i))
        {
            retVal += (1<<i); }
    }
    Serial.write( (retVal & 0xFF));
    Serial.write( (retVal >> 8));
    break;
/*****
** Low Level - Analog Commands
*****/
case 0x08: // Read Analog Pin
    retVal = analogRead(command[2]);
    Serial.write( (retVal >> 8));
    Serial.write( (retVal & 0xFF));
    break;
case 0x09: // Analog Read Port
    analogReadPort();
    break;
/*****
** Low Level - PWM Commands
*****/
case 0x0A: // PWM Write Pin
    analogWrite(command[2], command[3]);
    Serial.write('0');
    break;
case 0x0B: // PWM Write 3 Pins
    analogWrite(command[2], command[5]);
    analogWrite(command[3], command[6]);
    analogWrite(command[4], command[7]);
    Serial.write('0');
    break;
/*****

```



```

** Servos
*****/
case 0x17: // Set Num Servos
  free(servos);
  servos = (Servo*) malloc(command[2]*sizeof(Servo));
  for(int i=0; i<command[2]; i++)
  {
    servos[i] = Servo();
  }
  if(servos == 0)
  {
    Serial.write('1');
  }
  else
  {
    Serial.write('0');
  }
  break;
case 0x18: // Configure Servo
  servos[command[2]].attach(command[3]);
  Serial.write('0');
  break;
case 0x19: // Servo Write
  servos[command[2]].write(command[3]);
  Serial.write('0');
  break;
case 0x1A: // Servo Read Angle
  Serial.write(servos[command[2]].read());
  break;
case 0x1B: // Servo Write uS Pulse
  servos[command[2]].writeMicroseconds( (command[3] + (command[4]<<8)) );
  Serial.write('0');
  break;
case 0x1C: // Servo Read uS Pulse
  retVal = servos[command[2]].readMicroseconds();
  Serial.write( (retVal & 0xFF));
  Serial.write( (retVal >> 8));
  break;
case 0x1D: // Servo Detach
  servos[command[2]].detach();
  Serial.write('0');
  break;
/*****
** Continuous Aquisition
*****/
case 0x2A: // Continuous Aquisition Mode On
  acqMode=1;
  contAcqPin=command[2];
  contAcqSpeed=(command[3])+(command[4]<<8);
  acquisitionPeriod=1/contAcqSpeed;
  iterationsFlt =.08/acquisitionPeriod;
  iterations=(int)iterationsFlt;
  if(iterations<1)
  {
    iterations=1;
  }
  delayTime= acquisitionPeriod;
  if(delayTime<0)
  {

```

```

    delayTime=0;
  }
  break;
case 0x2B: // Continuous Acquisition Mode Off
  acqMode=0;
  break;
case 0x2C: // Return Firmware Revision
  Serial.write(byte(FIRMWARE_MAJOR));
  Serial.write(byte(FIRMWARE_MINOR));
  break;
case 0x2D: // Perform Finite Acquisition
  Serial.write('0');
finiteAcquisition(command[2],(command[3])+(command[4]<<8),command[5]+(command[6]<<8));
  break;
/*****
** Stepper
*****/
#ifdef STEPPER_SUPPORT
case 0x30: // Configure Stepper
  if (command[2] == 5) { // Support AFMotor Shield
    switch (command[3]){
      case 0:
        steppers[command[3]] = AccelStepper(forwardstep1, backwardstep1);
        break;
      case 1:
        steppers[command[3]] = AccelStepper(forwardstep2, backwardstep2);
        break;
      default:
        break;
    }
  }
  else if(command[2]==6) { // All other stepper configurations
    steppers[command[3]] = AccelStepper(1,
command[4],command[5],command[6],command[7]);
  }
  else{
    steppers[command[3]] = AccelStepper(command[2],
command[4],command[5],command[6],command[7]);
  }
  Serial.write('0');
  break;
case 0x31: // Stepper Write
  AccelStepper_Write(command);
  Serial.write('0');
  break;
case 0x32: // Stepper Detach
  steppers[command[2]].disableOutputs();
  Serial.write('0');
  break;
case 0x33: // Stepper steps to go
  retVal = 0;
  for(int i=0; i<8; i++){
    retVal += steppers[i].distanceToGo();
  }
  Serial.write( (retVal & 0xFF) );
  Serial.write( (retVal >> 8) );

  break;
#endif

```

```

/*****
** IR Transmit
*****/
case 0x34: // IR Transmit
  IRdata = ((unsigned long)command [4] << 24) | ((unsigned long)command [5] << 16) |
  ((unsigned long)command [6] << 8) | ((unsigned long)command [7]);
  switch(command[2])
  {
    case 0x00: // NEC
      irsend.sendNEC(IRdata, command[3]);
      break;
    case 0x01: //Sony
      irsend.sendSony(IRdata, command[3]);
      break;
    case 0x02: //RC5
      irsend.sendRC5(IRdata, command[3]);
      break;
    case 0x03: //RC6
      irsend.sendRC6(IRdata, command[3]);
      break; }
    Serial.write((IRdata>>16) & 0xFF);
    break;
/*****
** Functions
*****/
// Writes Values To Digital Port (DIO 0-13). Pins Must Be Configured As Outputs Before Being
Written To
void writeDigitalPort(unsigned char command[])
{
  digitalWrite(13, (( command[2] >> 5) & 0x01) );
  digitalWrite(12, (( command[2] >> 4) & 0x01) );
  digitalWrite(11, (( command[2] >> 3) & 0x01) );
  digitalWrite(10, (( command[2] >> 2) & 0x01) );
  digitalWrite(9, (( command[2] >> 1) & 0x01) );
  digitalWrite(8, (command[2] & 0x01) );
  digitalWrite(7, (( command[3] >> 7) & 0x01) );
  digitalWrite(6, (( command[3] >> 6) & 0x01) );
  digitalWrite(5, (( command[3] >> 5) & 0x01) );
  digitalWrite(4, (( command[3] >> 4) & 0x01) );
  digitalWrite(3, (( command[3] >> 3) & 0x01) );
  digitalWrite(2, (( command[3] >> 2) & 0x01) );
  digitalWrite(1, (( command[3] >> 1) & 0x01) );
  digitalWrite(0, (command[3] & 0x01) );
}
// Reads all 6 analog input ports, builds 8 byte packet, send via RS232.
void analogReadPort()
{
  // Read Each Analog Pin
  int pin0 = analogRead(0);
  int pin1 = analogRead(1);
  int pin2 = analogRead(2);
  int pin3 = analogRead(3);
  int pin4 = analogRead(4);
  int pin5 = analogRead(5);

  //Build 8-Byte Packet From 60 Bits of Data Read
  char output0 = (pin0 & 0xFF);
  char output1 = ((pin1 << 2) & 0xFC) | ((pin0 >> 8) & 0x03) );
  char output2 = ((pin2 << 4) & 0xF0) | ((pin1 >> 6) & 0x0F) );

```

```

char output3 = ((pin3 << 6) & 0xC0) | ((pin2 >> 4) & 0x3F);
char output4 = (pin3 >> 2) & 0xFF;
char output5 = (pin4 & 0xFF);
char output6 = ((pin5 << 2) & 0xFC) | ((pin4 >> 8) & 0x03);
char output7 = (pin5 >> 6) & 0x0F;
// Write Bytes To Serial Port
Serial.print(output0);
Serial.print(output1);
Serial.print(output2);
Serial.print(output3);
Serial.print(output4);
Serial.print(output5);
Serial.print(output6);
Serial.print(output7);
}
// Configure digital I/O pins to use for seven segment display
void sevenSegment_Config(unsigned char command[])
{
// Configure pins as outputs and store in sevenSegmentPins array for use in sevenSegment_Write
for(int i=2; i<10; i++)
{
pinMode(command[i], OUTPUT);
sevenSegmentPins[(i-1)] = command[i];
} }

// Write values to sevenSegment display. Must first use sevenSegment_Configure
void sevenSegment_Write(unsigned char command[])
{
for(int i=1; i<9; i++)
{
digitalWrite(sevenSegmentPins[(i-1)], command[i]);
}}
// Set the SPI Clock Divisor
void spi_setClockDivider(unsigned char divider)
{
switch(divider)
{
case 0:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV2);
break;
case 1:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV4);
break;
case 2:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV8);
break;
case 3:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV16);
break;
case 4:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV32);
break;
case 5:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV64);
break;
case 6:
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV128);
break;
default:

```

```

    SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV4);
    break;
} }
void spi_sendReceive(unsigned char command[])
{
    if(command[2] == 1)    //Check to see if this is the first of a series of SPI packets
    {
        spiBytesSent = 0;
        spiCSPin = command[3];
        spiWordSize = command[4];

        // Send First Packet's 8 Data Bytes
        for(int i=0; i<command[5]; i++)
        {
            // If this is the start of a new word toggle CS LOW
            if( (spiBytesSent == 0) || (spiBytesSent % spiWordSize == 0) )
            {
                digitalWrite(spiCSPin, LOW);
            }
            // Send SPI Byte
            Serial.print(SPI.transfer(command[i+6]));
            spiBytesSent++;

            // If word is complete set CS High
            if(spiBytesSent % spiWordSize == 0)
            {
                digitalWrite(spiCSPin, HIGH);
            }
        }
    }
    else
    {
        // SPI Data Packet - Send SPI Bytes
        for(int i=0; i<command[3]; i++)
        {
            // If this is the start of a new word toggle CS LOW
            if( (spiBytesSent == 0) || (spiBytesSent % spiWordSize == 0) )
            {
                digitalWrite(spiCSPin, LOW);
            }
            // Send SPI Byte
            Serial.write(SPI.transfer(command[i+4]));
            spiBytesSent++;
            // If word is complete set CS High
            if(spiBytesSent % spiWordSize == 0)
            {
                digitalWrite(spiCSPin, HIGH);
            }
        }
    }
}
// Synchronizes with LabVIEW and sends info about the board and firmware (Unimplemented)
void syncLV()
{
    Serial.begin(DEFAULTBAUDRATE);
    i2cReadTimeouts = 0;
    spiBytesSent = 0;
    spiBytesToSend = 0;
    Serial.flush();
}
// Compute Packet Checksum
unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[])

```

```

{
  unsigned char checksum;
  for (int i=0; i<(COMMANDLENGTH-1); i++)
  {
    checksum += command[i];
  }
  return checksum;
}
// Compute Packet Checksum And Test Against Included Checksum
int checksum_Test(unsigned char command[])
{
  unsigned char checksum = checksum_Compute(command);
  if(checksum == command[COMMANDLENGTH-1])
  {
    return 0;
  }
  else
  {
    return 1; }
}
// Stepper Functions
#ifdef STEPPER_SUPPORT
void AccelStepper_Write(unsigned char command[]){
  int steps = 0;
  int step_speed = 0;
  int acceleration = 0;
  //Number of steps & speed are a 16 bit values, split for data transfer. Reassemble 2 bytes to an
int 16
  steps = (int)(command[5] << 8) + command[6];
  step_speed = (int)(command[2] << 8) + command[3];
  acceleration = (int)(command[7] << 8) + command[8];
  steppers[command[4]].setMaxSpeed(step_speed);

  if (acceleration == 0){
    //Workaround AccelStepper bug that requires negative speed for negative step direction
    if (steps < 0) step_speed = -step_speed;
    steppers[command[4]].setSpeed(step_speed);
    steppers[command[4]].move(steps);
  }
  else {
    steppers[command[4]].setAcceleration(acceleration);
    steppers[command[4]].move(steps);
  }
}
#endif
void sampleContinuously()
{
  for(int i=0; i<iterations; i++)
  {
    retVal = analogRead(contAcqPin);
    if(contAcqSpeed>1000) //delay Microseconds is only accurate for values less than 16383
    {
      Serial.write( (retVal >> 2));
      delayMicroseconds(delayTime*1000000); //Delay for necessary amount of time to achieve
desired sample rate
    }
    else
    {
      Serial.write( (retVal & 0xFF) );
    }
  }
}

```

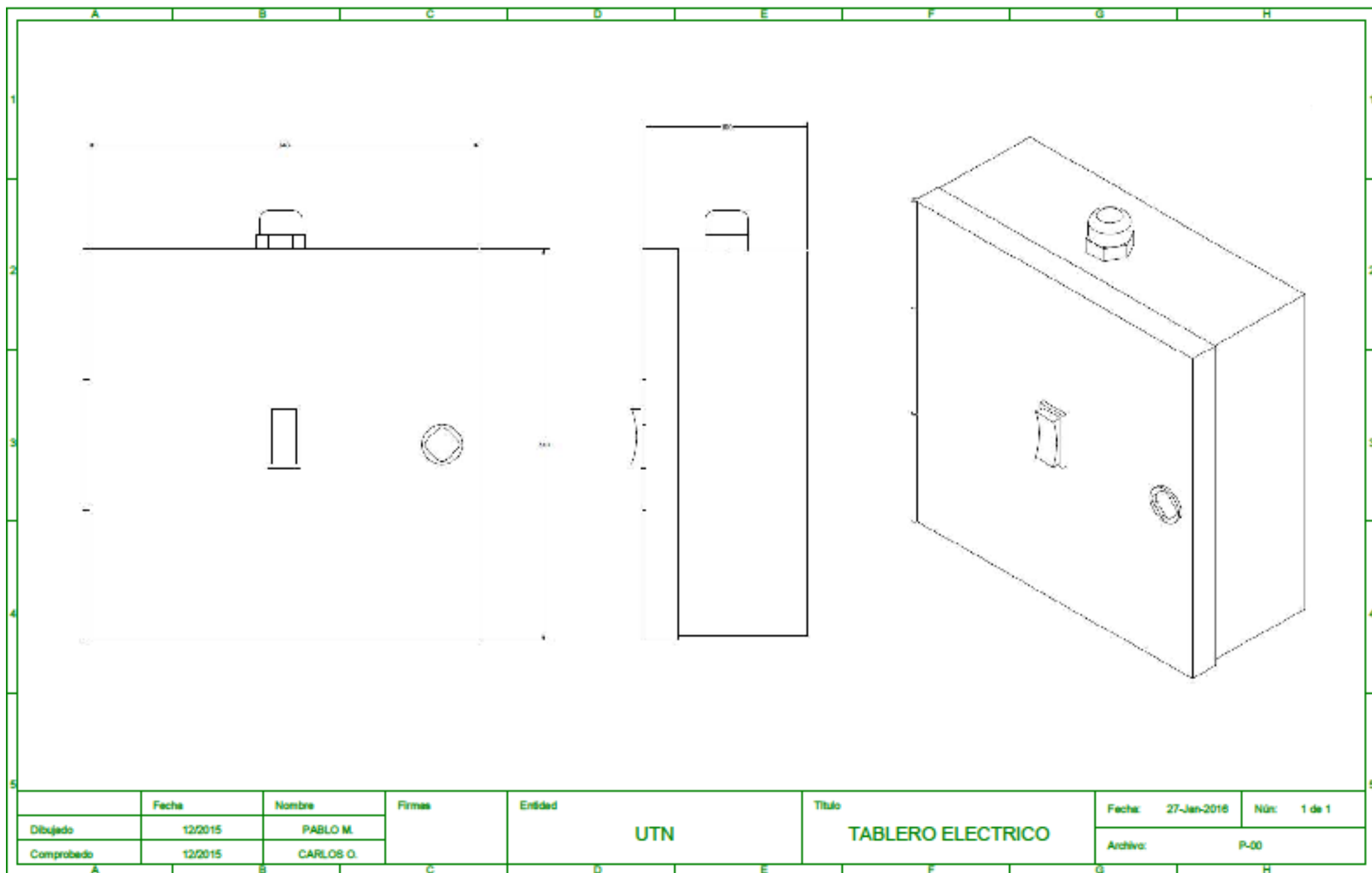
```

        Serial.write( (retVal >> 8));
        delay(delayTime*1000); } }
    }
void finiteAcquisition(int analogPin, float acquisitionSpeed, int numberOfSamples)
{
    //want to exit this loop every 8ms
    acquisitionPeriod=1/acquisitionSpeed;
    for(int i=0; i<numberOfSamples; i++)
    {
        retVal = analogRead(analogPin);

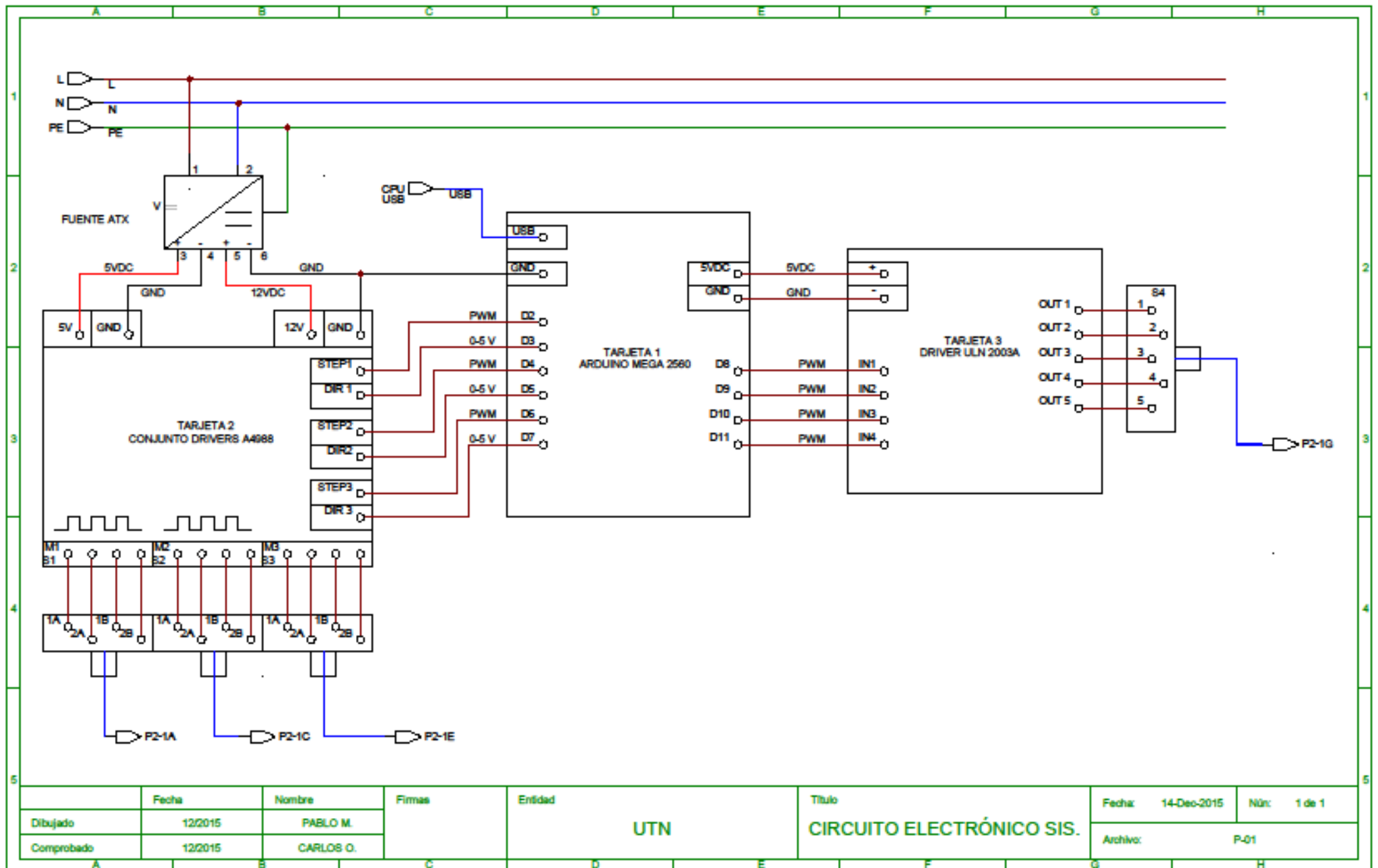
        if(acquisitionSpeed>1000)
        {
            Serial.write( (retVal >> 2));
            delayMicroseconds(acquisitionPeriod*1000000);
        }
        else
        {
            Serial.write( (retVal & 0xFF) );
            Serial.write( (retVal >> 8));
            delay(acquisitionPeriod*1000);
        }
    }
}
void lcd_print(unsigned char command[])
{
    if(command[2] != 0)
    {
        // Base Specified By User
        int base = 0;
        switch(command[2])
        {
            case 0x01: // BIN
                base = BIN;
                break;
            case 0x02: // DEC
                base = DEC;
                break;
            case 0x03: // OCT
                base = OCT;
                break;
            case 0x04: // HEX
                base = HEX;
                break;
            default:
                break;
        }
        for(int i=0; i<command[3]; i++)
        {
            lcd.print(command[i+4], base);
        }
    }
    else
    {
        for(int i=0; i<command[3]; i++)
        {
            lcd.print((char)command[i+4]);
        }
    }
    Serial.write('0');
}
}

```

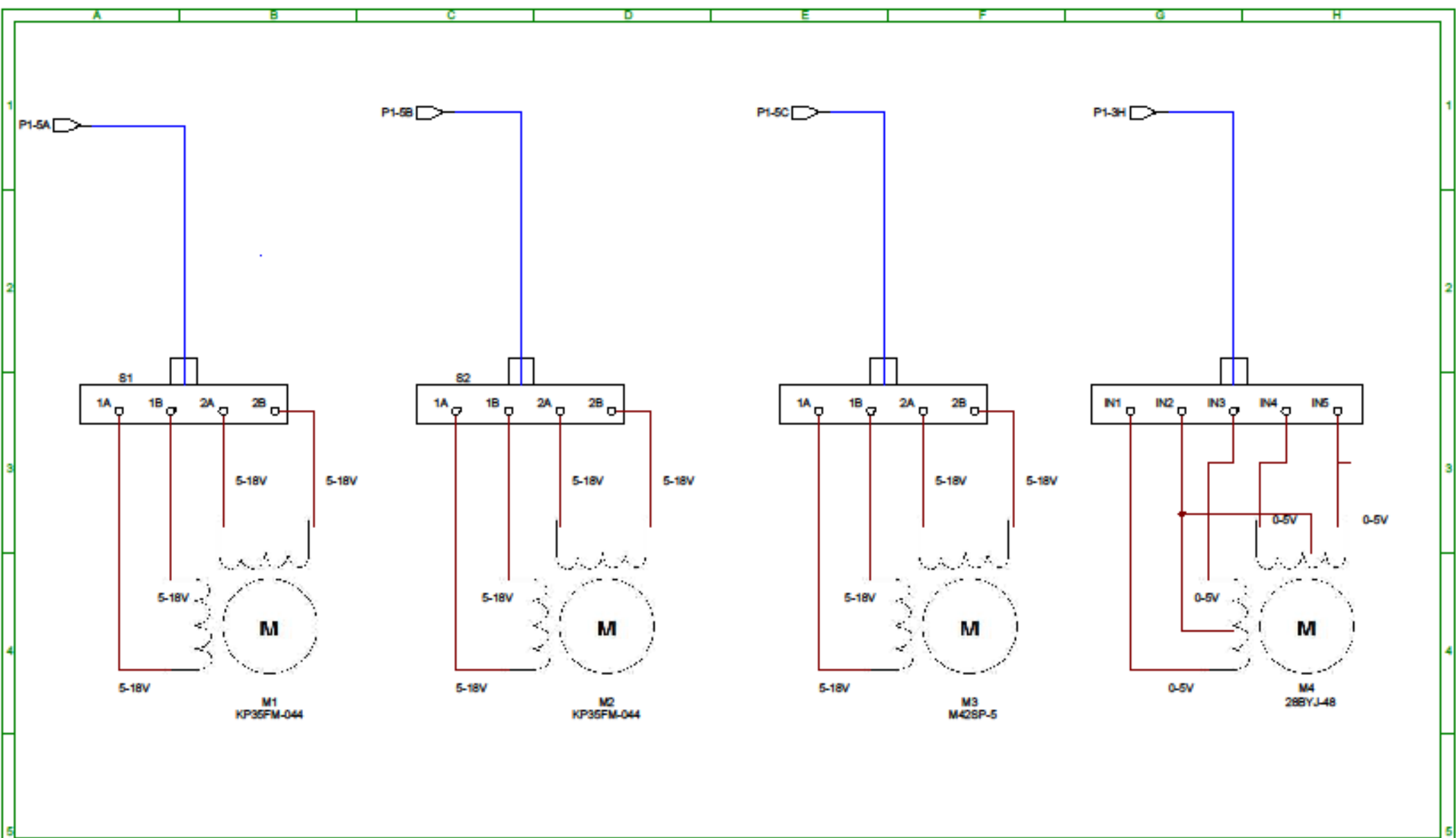
ANEXO 5
Planos eléctricos del sistema de dosificación



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 27-Jan-2016	Nº: 1 de 1
Dibujado	12/2015	PABLO M.		UTN	TABLERO ELECTRICO	Archivo:	P-00
Comprobado	12/2015	CARLOS O.					

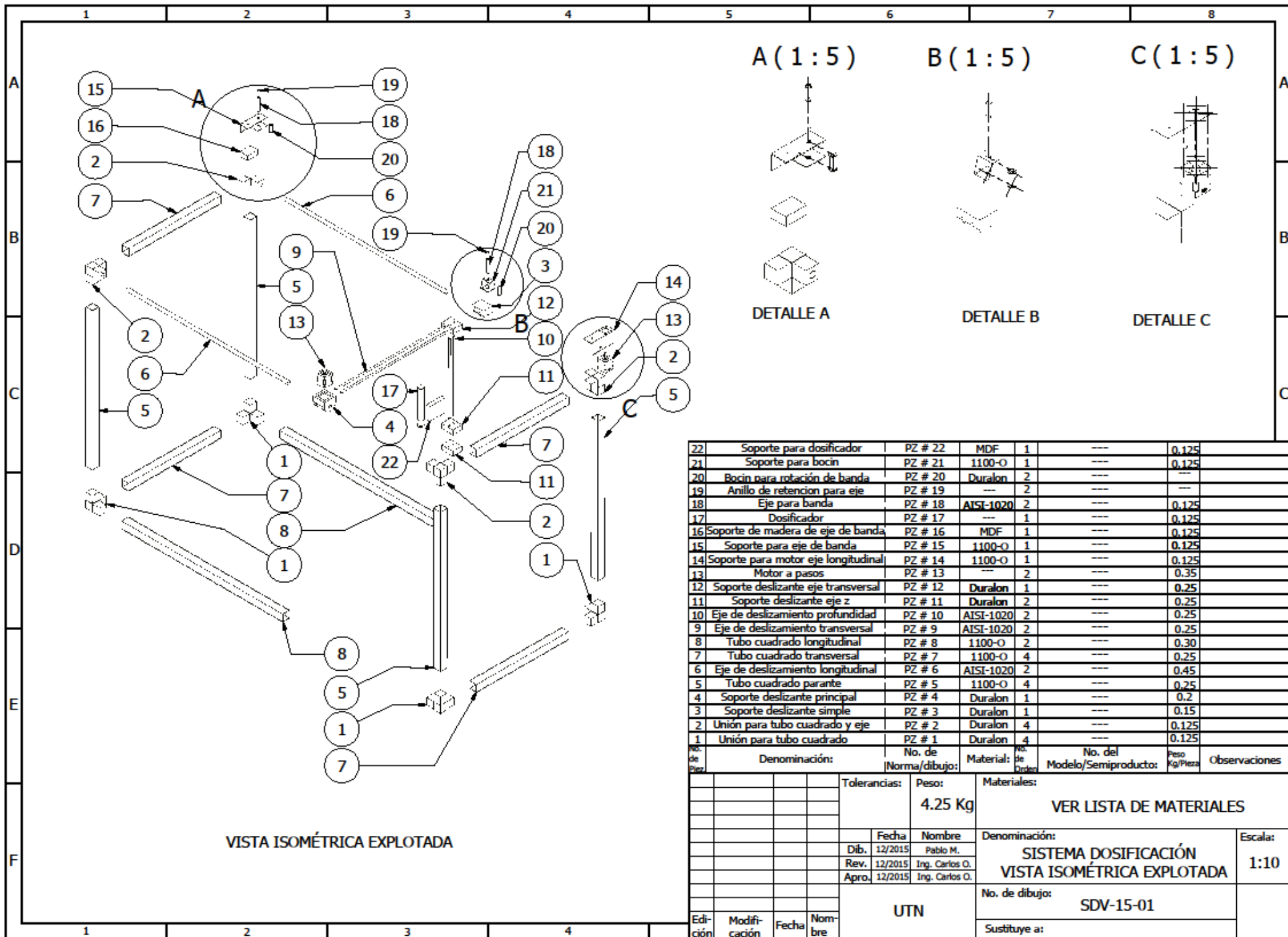


	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	Nº:
Dibujado	12/2015	PABLO M.		UTN	CIRCUITO ELECTRÓNICO SIS.	14-Dec-2015	1 de 1
Comprobado	12/2015	CARLOS O.				Archivo:	P-01



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha:	15-Dec-2015	Núm:	1 de 1
Dibujado	12/2015	PABLO M.		UTN	ESQUEMA DE CONEXIÓN	Archivo:	P-02		
Comprobado	12/2015	CARLOS O.							

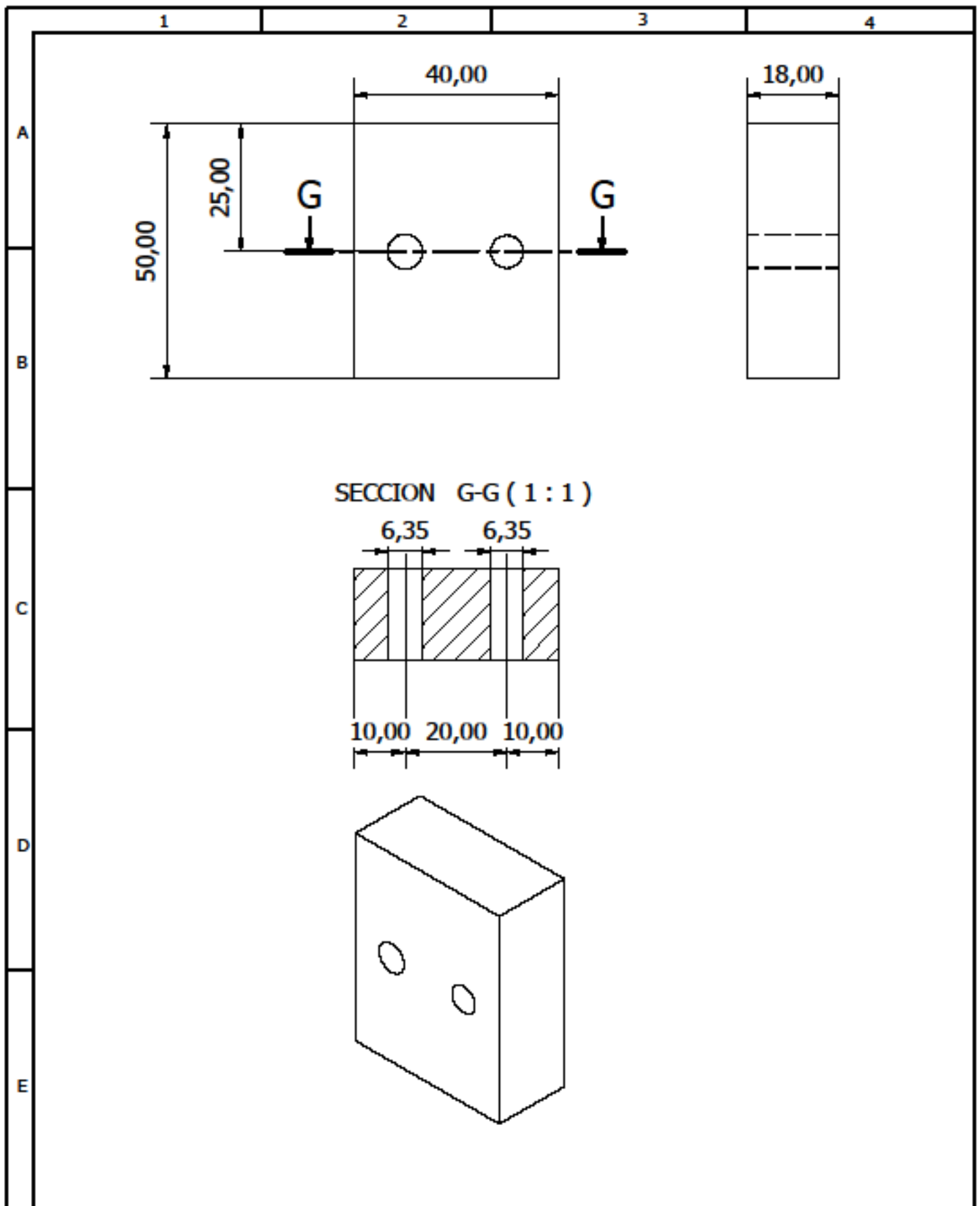
ANEXO 6
Planos mecánicos del sistema de dosificación



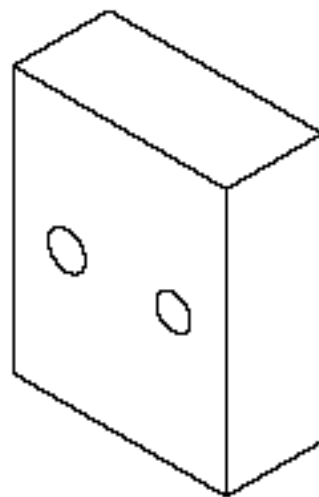
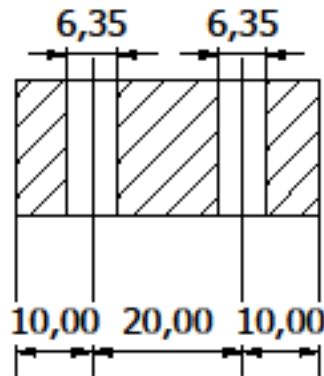
22	Soporte para dosificador	PZ # 22	MDF	1	---	0.125	
21	Soporte para bocin	PZ # 21	1100-O	1	---	0.125	
20	Bocin para rotación de banda	PZ # 20	Duralon	2	---	---	
19	Anillo de retención para eje	PZ # 19	---	2	---	---	
18	Eje para banda	PZ # 18	AISI-1020	2	---	0.125	
17	Dosificador	PZ # 17	---	1	---	0.125	
16	Soporte de madera de eje de banda	PZ # 16	MDF	1	---	0.125	
15	Soporte para eje de banda	PZ # 15	1100-O	1	---	0.125	
14	Soporte para motor eje longitudinal	PZ # 14	1100-O	1	---	0.125	
13	Motor a pasos	PZ # 13	---	2	---	0.35	
12	Soporte deslizante eje transversal	PZ # 12	Duralon	1	---	0.25	
11	Soporte deslizante eje z	PZ # 11	Duralon	2	---	0.25	
10	Eje de deslizamiento profundidad	PZ # 10	AISI-1020	2	---	0.25	
9	Eje de deslizamiento transversal	PZ # 9	AISI-1020	2	---	0.25	
8	Tubo cuadrado longitudinal	PZ # 8	1100-O	2	---	0.30	
7	Tubo cuadrado transversal	PZ # 7	1100-O	4	---	0.25	
6	Eje de deslizamiento longitudinal	PZ # 6	AISI-1020	2	---	0.45	
5	Tubo cuadrado parante	PZ # 5	1100-O	4	---	0.25	
4	Soporte deslizante principal	PZ # 4	Duralon	1	---	0.2	
3	Soporte deslizante simple	PZ # 3	Duralon	1	---	0.15	
2	Unión para tubo cuadrado y eje	PZ # 2	Duralon	4	---	0.125	
1	Unión para tubo cuadrado	PZ # 1	Duralon	4	---	0.125	
No. de Pieza	Denominación:	No. de Norma/dibujo:	Material:	No. de Orden	No. del Modelo/Semiproducto:	Peso Kg/Pieza	Observaciones

Tolerancias:		Peso: 4.25 Kg		Materiales:	
				VER LISTA DE MATERIALES	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Dib. 12/2015		Pablo M.		SISTEMA DOSIFICACIÓN	
Rev. 12/2015		Ing. Carlos O.		VISTA ISOMÉTRICA EXPLOTADA	
Apro. 12/2015		Ing. Carlos O.		Escala: 1:10	
Edición		Modificación		No. de dibujo: SDV-15-01	
Fecha		Nombre		Sustituye a:	
		UTN			

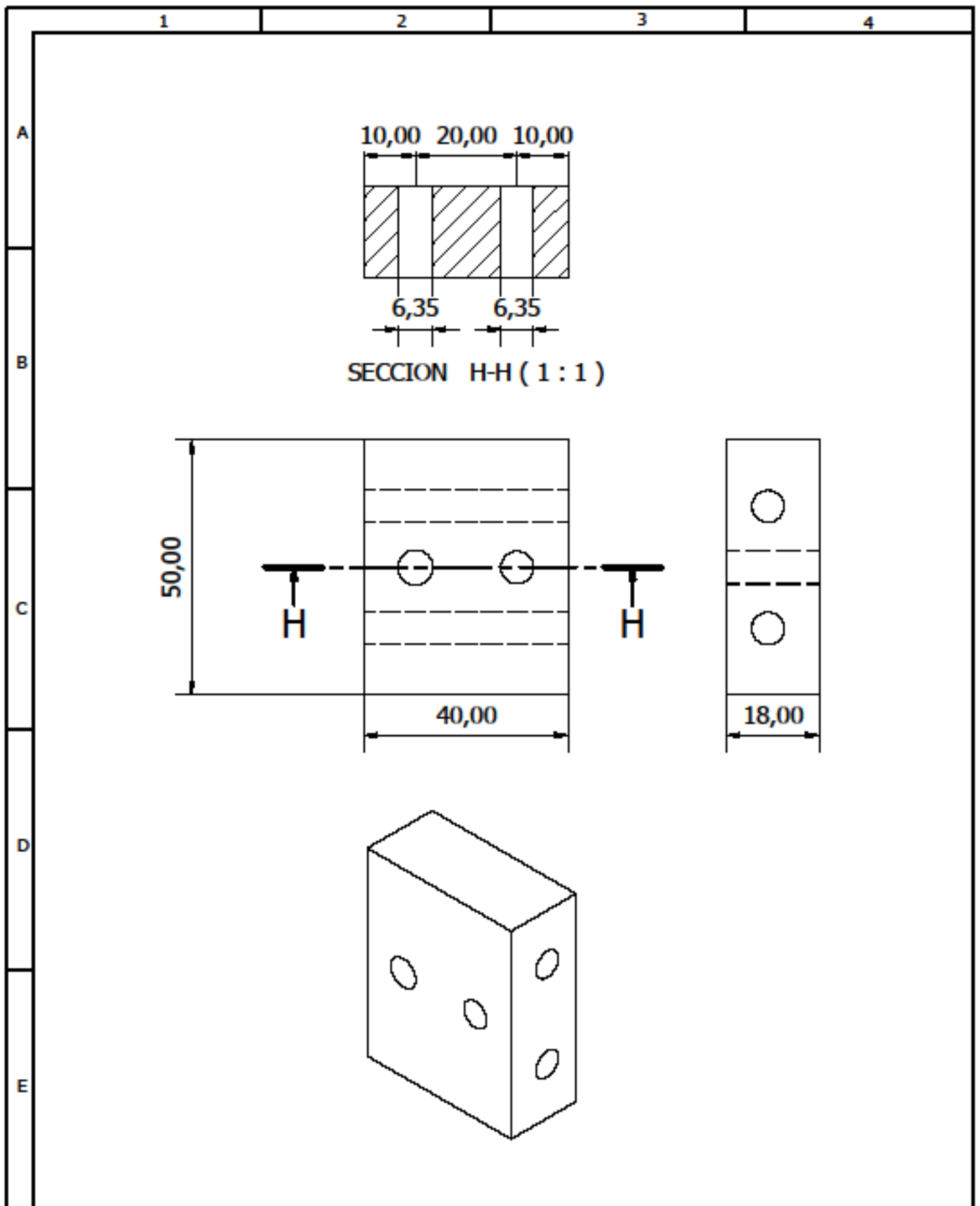
VISTA ISOMÉTRICA EXPLOTADA



SECCION G-G (1:1)



				Tolerancias:	Peso: 0.125 Kg	Materiales: DURALON		
						Denominación: SOPORTE DE DESLZAMIENTO EJE Z	Escala: 1:1	
				Dib.	Fecha			Nombre
				Rev.	12/2015			Ing. Carlos O.
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.		
				UTN		No. de dibujo: SDV-15-01: PZ#11		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:		



				Tolerancias:	Peso:	Materiales:		
					0.125 Kg	DURALON		
						Denominación:		Escala:
				Fecha	Nombre	SOPORTE DE DESLIZAMIENTO TRANSVERSAL		1:1
				Dib.	12/2015	Pablo M.		
				Rev.	12/2015	Ing. Carlos O.		
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.		
				UTN			No. de dibujo:	
							SDV-15-01: PZ#12	⊕
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre				Sustituye a:	

1

2

3

4

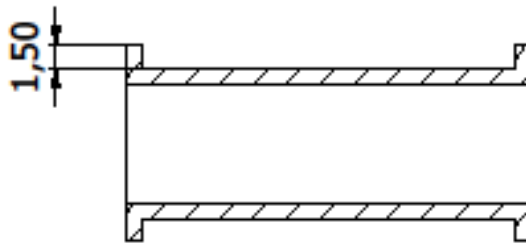
A

B

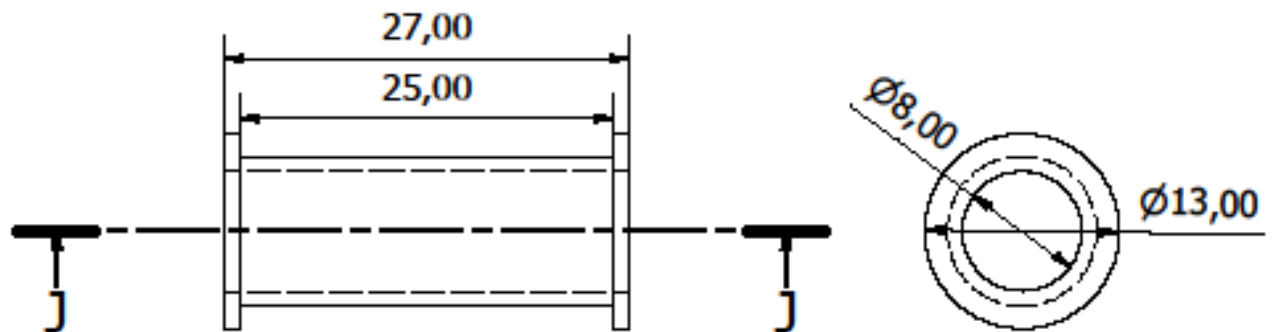
C

D

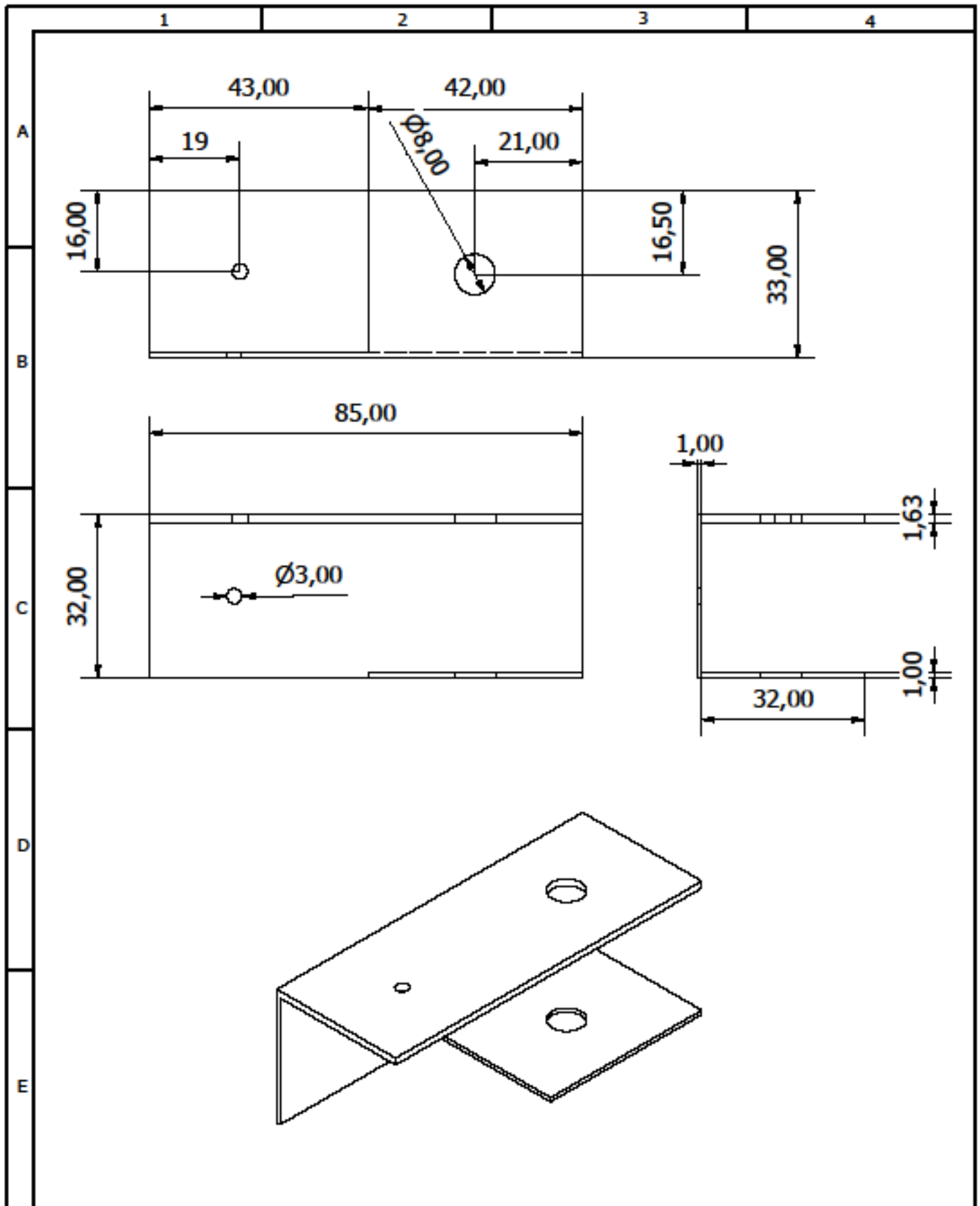
E



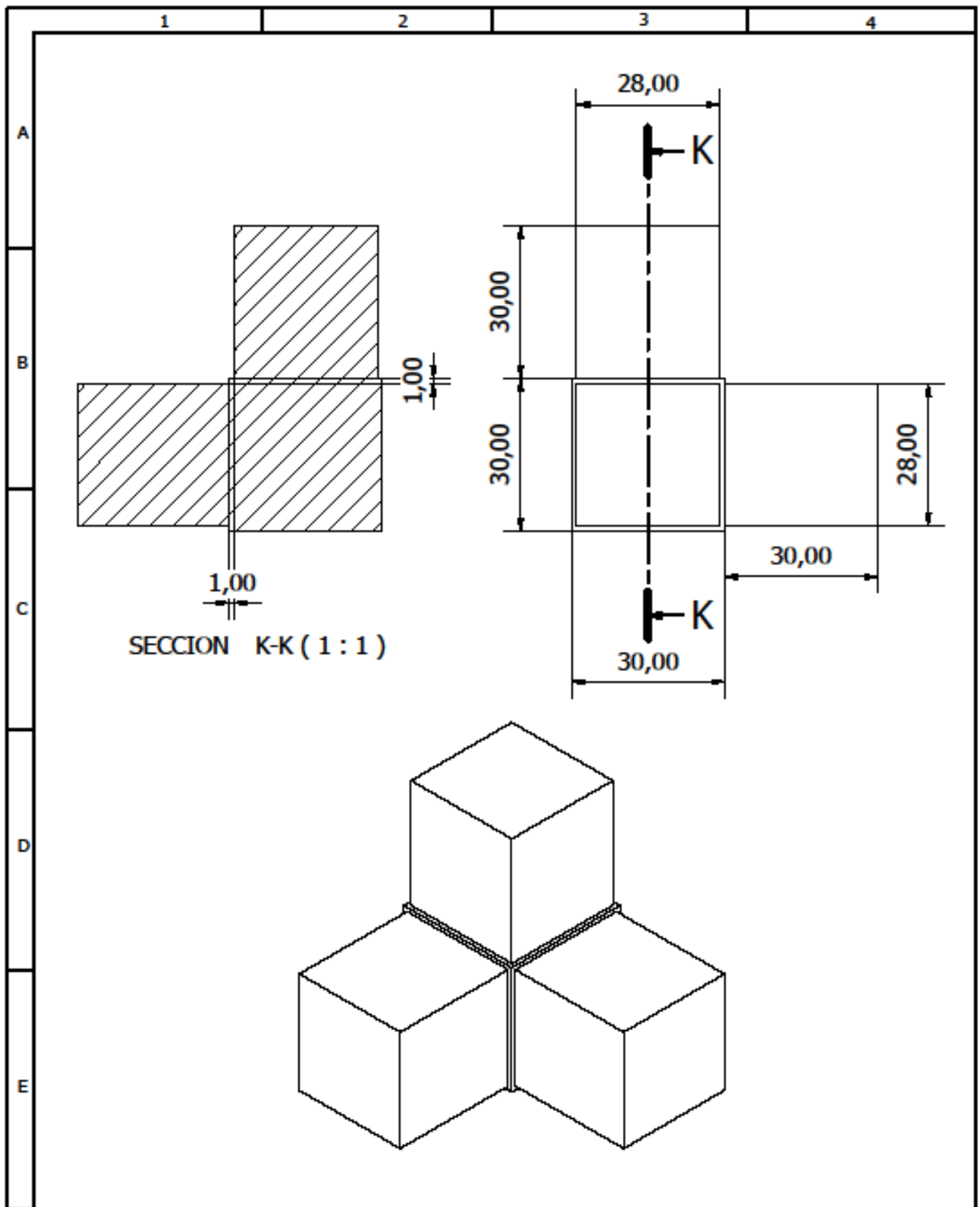
SECCION J-J (2 : 1)



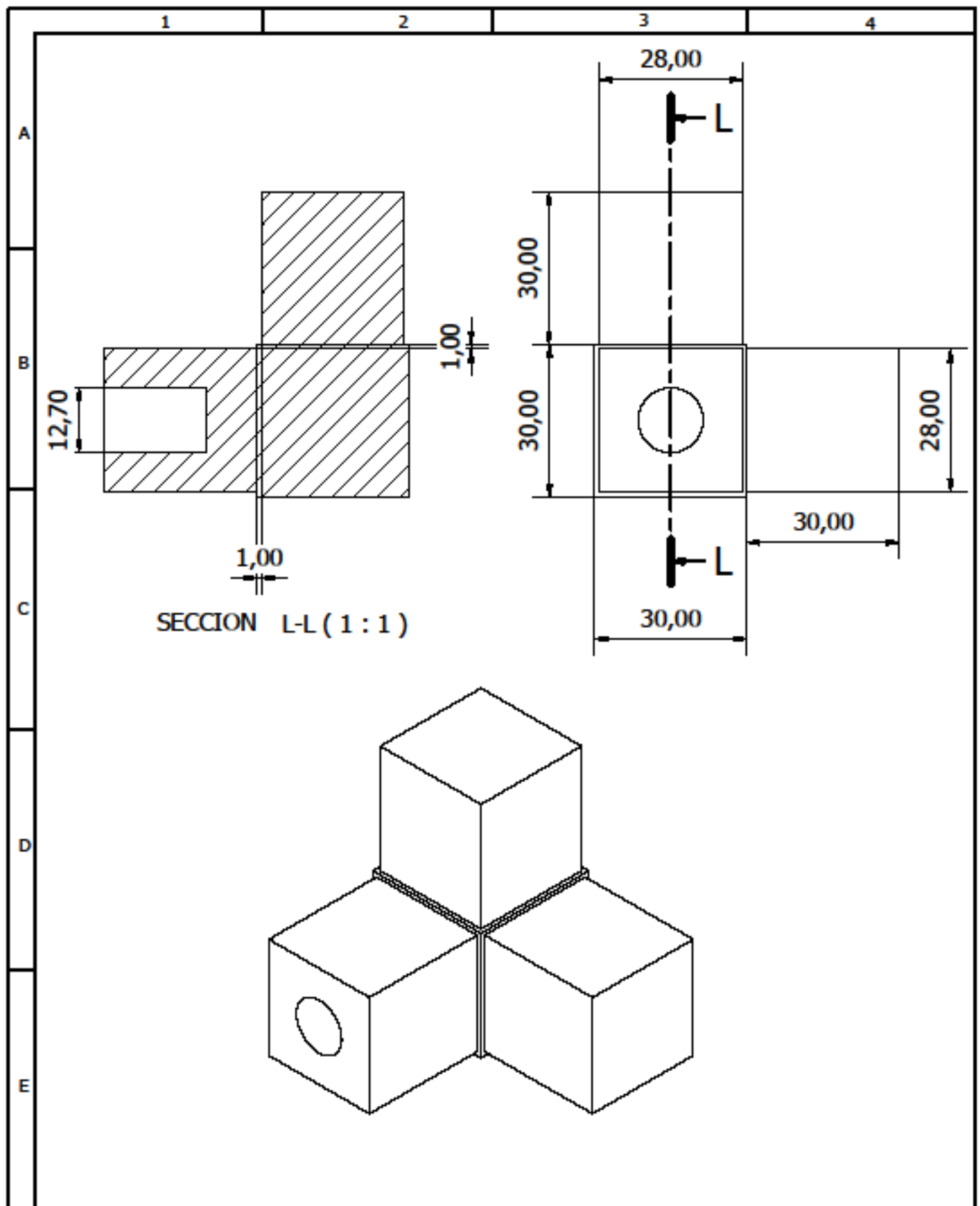
				Tolerancias:	Peso: 0.125 Kg	Materiales: DURALON		
						Denominación: BOCIN DE SOPORTE PARA ROTACION DE BANDA		Escala: 2:1
						No. de dibujo: SDV-15-01: PZ#20		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTN		Sustituye a:		
				Dib.	12/2015	Pablo M.		
				Rev.	12/2015	Ing. Carlos O.		
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.		



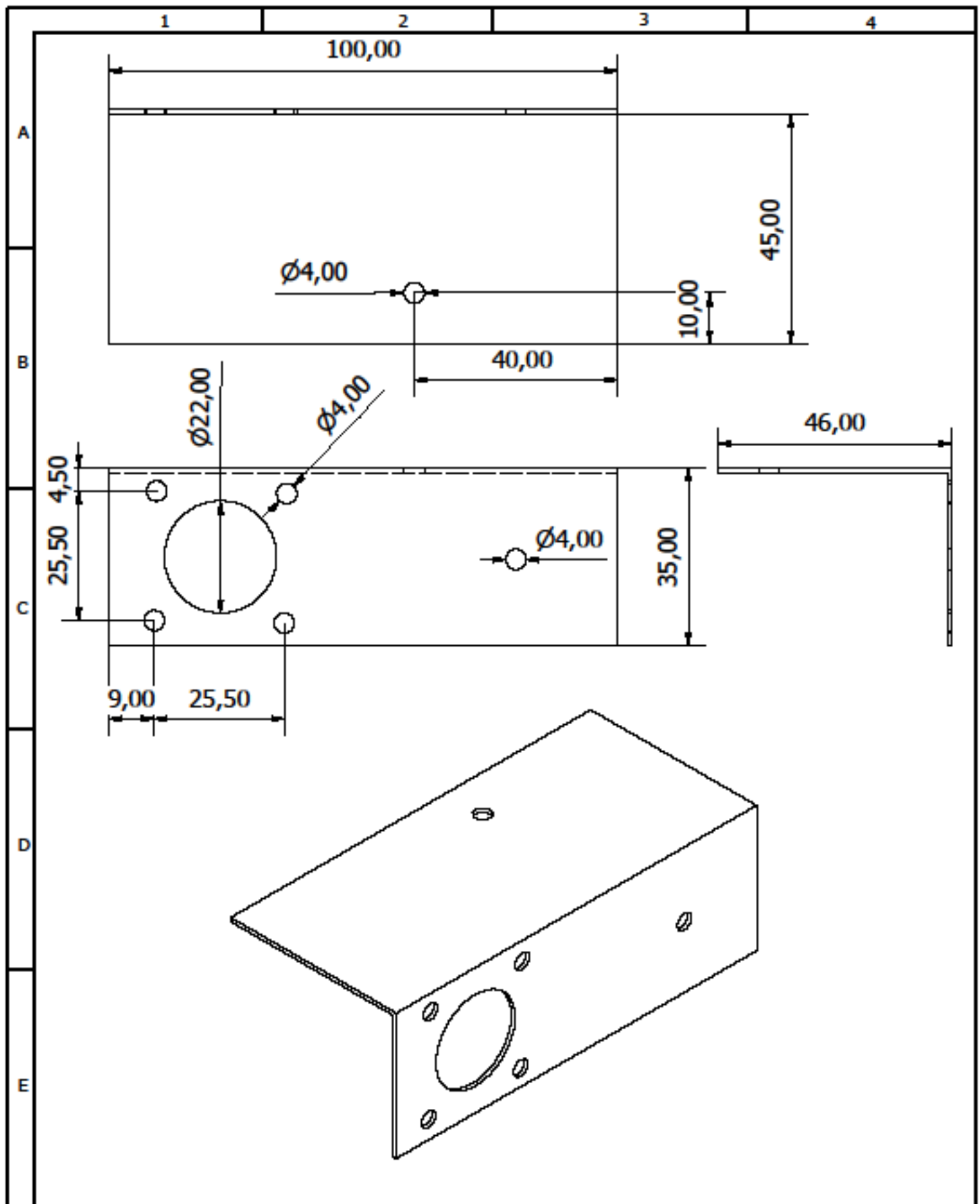
				Tolerancias:	Peso: 0.25 Kg	Materiales: ALUMINIO 1100-O	
						Denominación: SOPORTE PARA EJE DE BANDA	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib. 12/2015	Pablo M.		
				Rev. 12/2015	Ing. Carlos O.		
				Apro. 12/2015	Ing. Carlos O.		
				UTN		No. de dibujo: SDV-15-01: PZ#15	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	



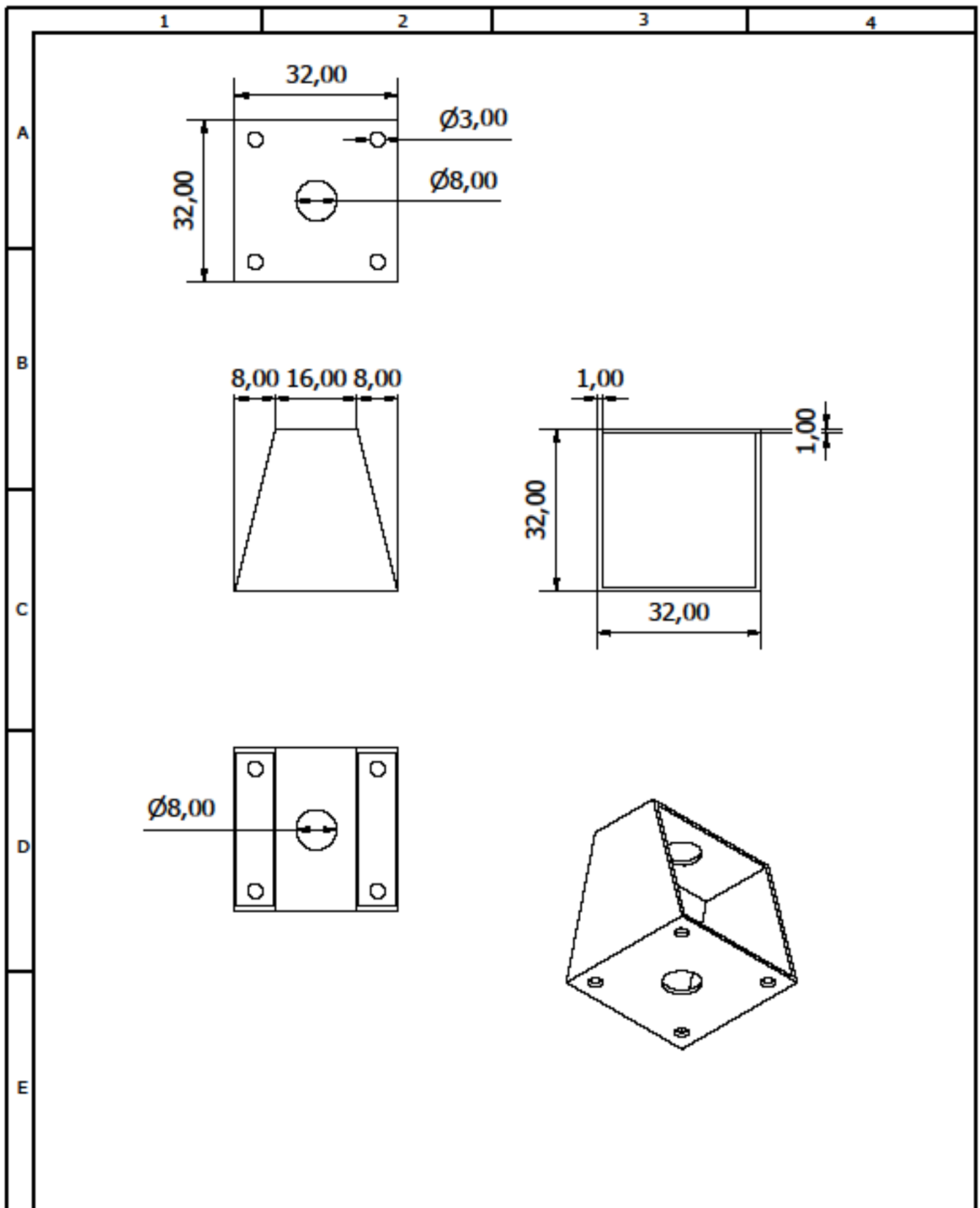
				Tolerancias:	Peso:	Materiales:	
					0.25 Kg	DURALON	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 12/2015	Pablo M.	UNION PARA TUBO CUADRADO	1:1
				Rev. 12/2015	Ing. Carlos O.		
				Apro. 12/2015	Ing. Carlos O.		
				UTN		No. de dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SDV-15-01: PZ#1	
						Sustituye a:	



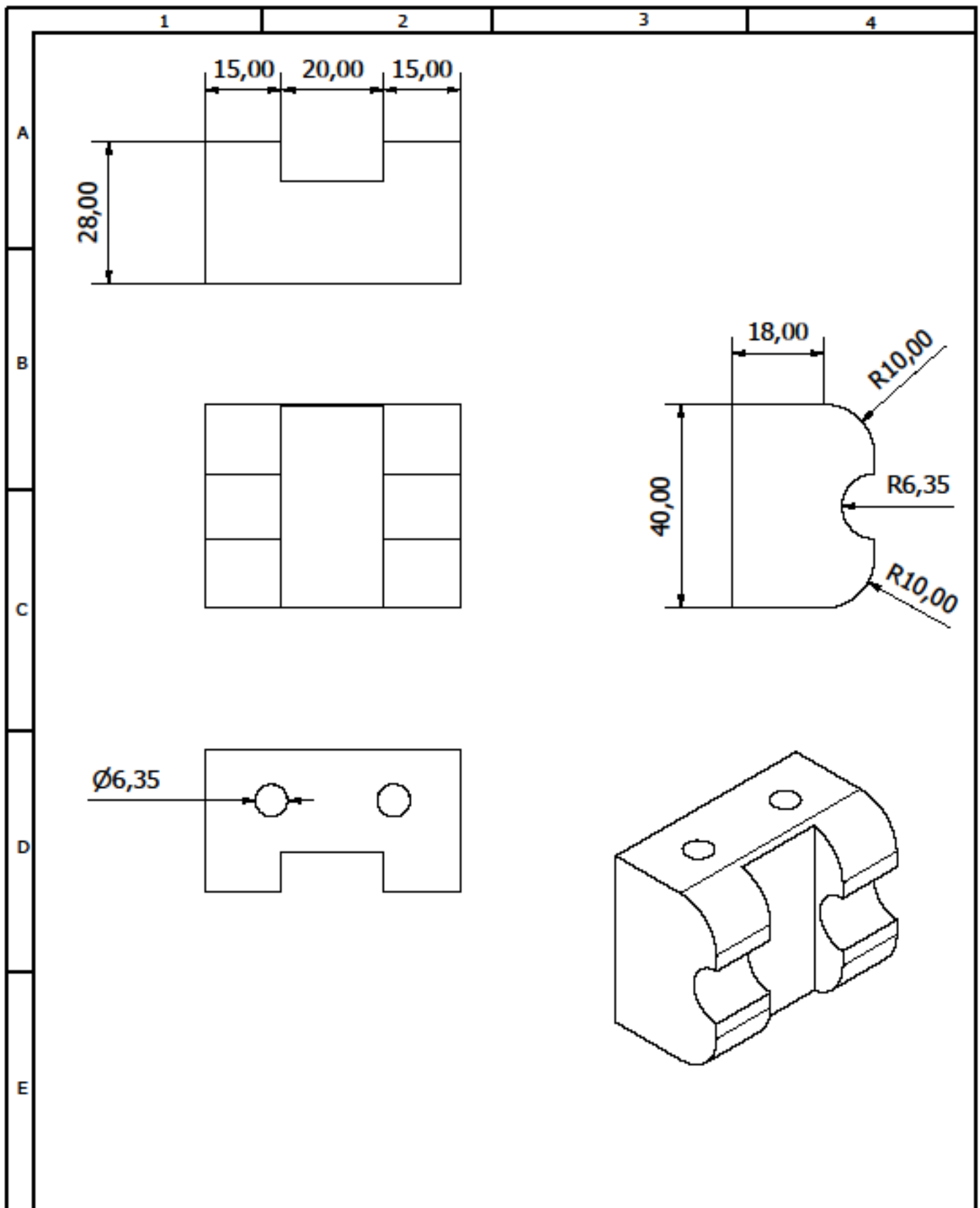
				Tolerancias:	Peso:	Materiales:	
					0.25 Kg	DURALON	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	12/2015	Pablo M.		
			Rev.	12/2015	Ing. Carlos O.		
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.	1:1
				UTN		No. de dibujo:	
						SDV-15-01: PZ#2	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	




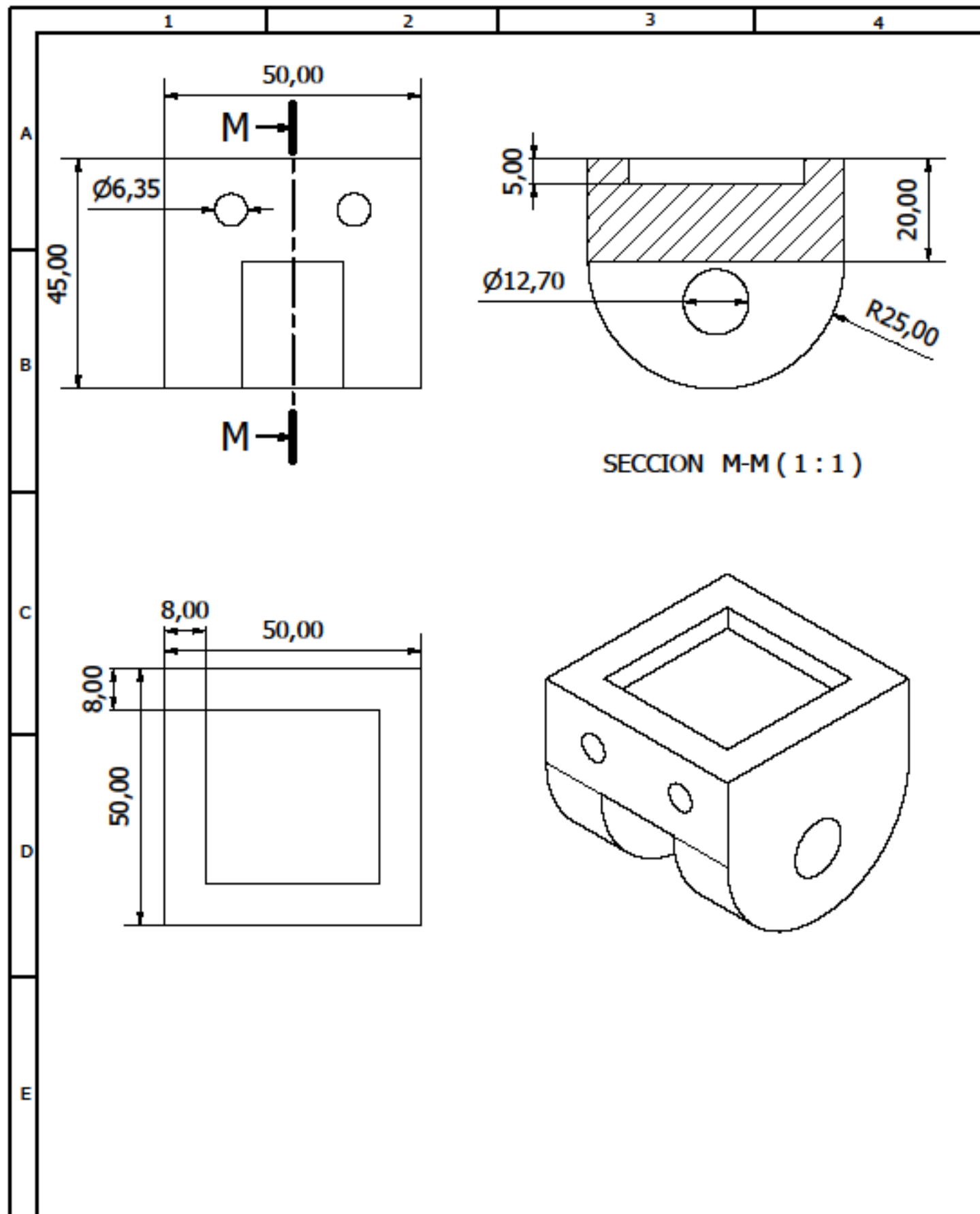
				Tolerancias:	Peso:	Materiales:		
					0.25 Kg	ALUMINIO 1100-O		
						Denominación:		
						SOPORTE DE ANCLAJE PARA MOTOR		
						Escala:		
						1:1		
						No. de dibujo:		
						SDV-15-01: PZ#14		
						Sustituye a:		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTN				



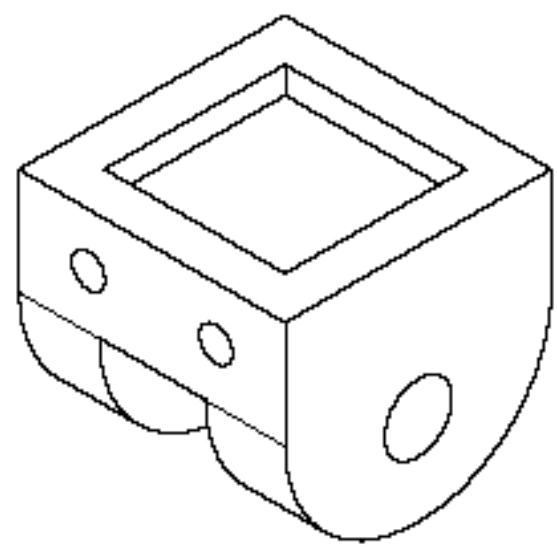
				Tolerancias:	Peso:	Materiales:			
					0.25 Kg	ALUMINIO 1100-O			
						Denominación:	Escala:		
				Fecha	Nombre			SOPORTE PARA BOCIN	1:1
				Dib.	12/2015				
				Rev.	12/2015	Ing. Carlos O.			
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.			
				UTN		No. de dibujo:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SDV-15-01: PZ#21			
						Sustituye a:			



				Tolerancias:	Peso:	Materiales:			
					0.25 Kg	DURALON			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	12/2015	Pablo M.			SOPORTE DESLIZANTE SIMPLE	1:1
			Rev.	12/2015	Ing. Carlos O.				
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.			
				UTN		No. de dibujo:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SDV-15-01: PZ#3			
						Sustituye a:			



SECCION M-M (1 : 1)



				Tolerancias:	Peso: 0.25 Kg	Materiales: DURALON	
						Denominación:	Escala:
				Dib.	12/2015	Pablo M.	SOPORTE DESLIZANTE PRINCIPAL 1:1
				Rev.	12/2015	Ing. Carlos O.	
				Apro.	12/2015	Ing. Carlos O.	
				UTN		No. de dibujo: SDV-15-01: PZ#4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

ANEXO 7

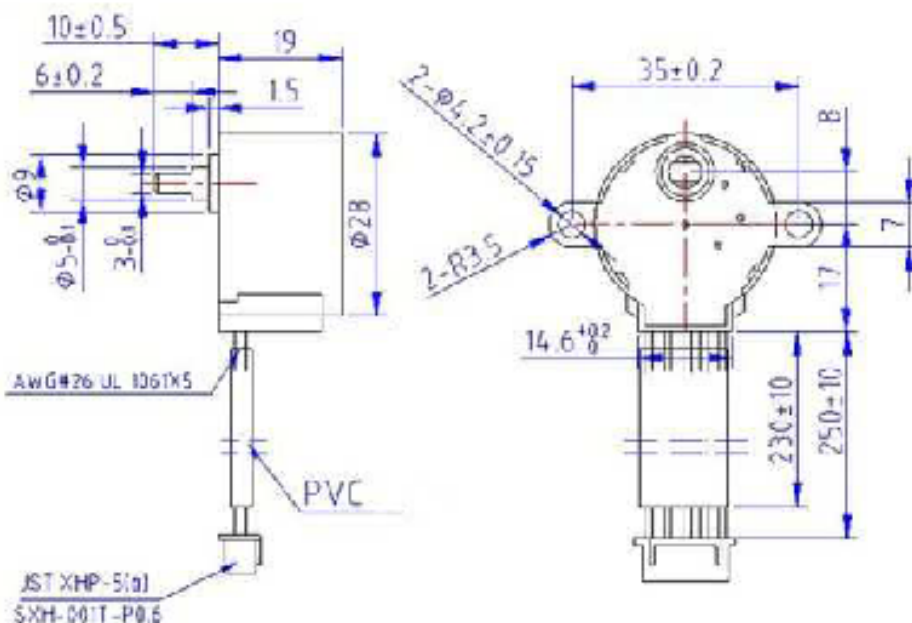
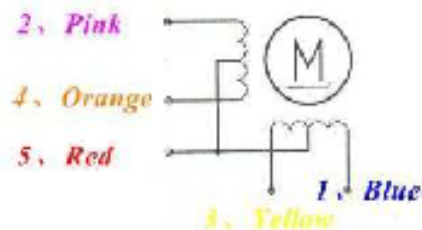
Hojas de datos y especificaciones técnicas de cada uno de los dispositivos electrónicos utilizados

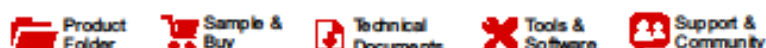
28BYJ-48 – 5V Stepper Motor

The 28BYJ-48 is a small stepper motor suitable for a large range of applications.



Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V





ULN2002A, ULN2003A, ULN2003AI
ULQ2003A, ULN2004A, ULQ2004A

SLRS027N – DECEMBER 1976 – REVISED JUNE 2015

ULN200x, ULQ200x High-Voltage, High-Current Darlington Transistor Arrays

1 Features

- 500-mA-Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs: 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay-Driver Applications

2 Applications

- Relay Drivers
- Stepper and DC Brushed Motor Drivers
- Lamp Drivers
- Display Drivers (LED and Gas Discharge)
- Line Drivers
- Logic Buffers

3 Description

The ULx200xA devices are high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven NPN Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads.

The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs can be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions of the ULx2003A devices, see the [SLRS023](#) data sheet for the SN75468 and SN75469 devices.

The ULN2002A device is designed specifically for use with 14-V to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a Zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULx2003A devices have a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices.

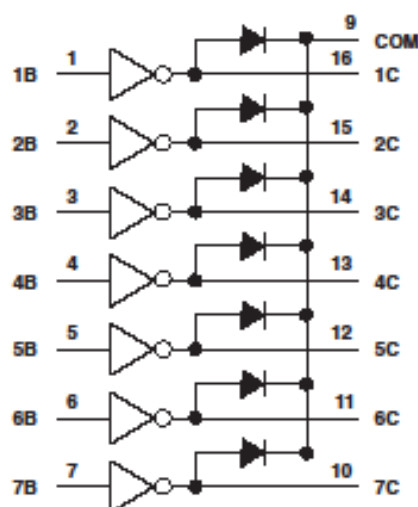
The ULx2004A devices have a 10.5-k Ω series base resistor to allow operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 V to 15 V. The required input current of the ULx2004A device is below that of the ULx2003A devices, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A device.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
ULx200xD	SOIC (16)	9.90 mm X 3.91 mm
ULx200xN	PDIP (16)	19.30 mm X 6.35 mm
ULN200xNS	SOP (16)	10.30 mm X 5.30 mm
ULN200xPW	TSSOP (16)	5.00 mm X 4.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Simplified Block Diagram



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Table of Contents

1	Features	1	7	Parameter Measurement Information	10
2	Applications	1	8	Detailed Description	12
3	Description	1	8.1	Overview	12
4	Revision History	2	8.2	Functional Block Diagrams	12
5	Pin Configuration and Functions	3	8.3	Feature Description	13
6	Specifications	4	8.4	Device Functional Modes	13
6.1	Absolute Maximum Ratings	4	9	Application and Implementation	14
6.2	ESD Ratings	4	9.1	Application Information	14
6.3	Recommended Operating Conditions	4	9.2	Typical Application	14
6.4	Thermal Information	4	9.3	System Examples	17
6.5	Electrical Characteristics: ULN2002A	5	10	Power Supply Recommendations	18
6.6	Electrical Characteristics: ULN2003A and ULN2004A	5	11	Layout	18
6.7	Electrical Characteristics: ULN2003AI	6	11.1	Layout Guidelines	18
6.8	Electrical Characteristics: ULN2003AI	6	11.2	Layout Example	18
6.9	Electrical Characteristics: ULQ2003A and ULQ2004A	7	12	Device and Documentation Support	19
6.10	Switching Characteristics: ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A	7	12.1	Documentation Support	19
6.11	Switching Characteristics: ULN2003AI	7	12.2	Related Links	19
6.12	Switching Characteristics: ULN2003AI	8	12.3	Community Resources	19
6.13	Switching Characteristics: ULQ2003A, ULQ2004A	8	12.4	Trademarks	19
6.14	Typical Characteristics	8	12.5	Electrostatic Discharge Caution	19
			12.6	Glossary	19
			13	Mechanical, Packaging, and Orderable Information	19

4 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

Changes from Revision M (February 2013) to Revision N	Page
• Added <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section	1
• Deleted <i>Ordering Information</i> table. No specification changes.	1
• Moved <i>Typical Characteristics</i> into <i>Specifications</i> section.	8

Changes from Revision L (April 2012) to Revision M	Page
• Updated temperature rating for ULN2003AI in the <i>ORDERING INFORMATION</i> table	1

Changes from Revision K (August 2011) to Revision L	Page
• Removed reference to obsolete ULN2001 device	1



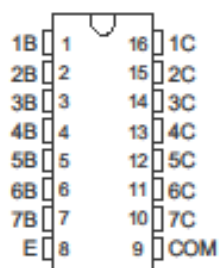
ULN2002A, ULN2003A, ULN2003AI
ULQ2003A, ULN2004A, ULQ2004A

www.ti.com

SLRS027N – DECEMBER 1976 – REVISED JUNE 2015

5 Pin Configuration and Functions

D, N, NS, and PW Package
16-Pin SOIC, PDIP, SO, and TSSOP
Top View



Pin Functions

PIN		I/O ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1B	1	I	Channel 1 through 7 Darlington base input
2B	2		
3B	3		
4B	4		
5B	5		
6B	6		
7B	7		
1C	10	O	Channel 1 through 7 Darlington collector output
2C	11		
3C	12		
4C	13		
5C	14		
6C	15		
7C	16		
COM	8	I/O	Common cathode node for flyback diodes (required for inductive loads)
E	7	—	Common emitter shared by all channels (typically tied to ground)

(1) I – Input, O – Output



ULN2002A, ULN2003A, ULN2003AI
ULQ2003A, ULN2004A, ULQ2004A

SLRS027N – DECEMBER 1976 – REVISED JUNE 2015

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT	
V_{CC}	Collector-emitter voltage		50	V	
	Clamp diode reverse voltage ⁽²⁾		50	V	
V_I	Input voltage ⁽²⁾		30	V	
	Peak collector current, See Figure 4 and Figure 5		500	mA	
I_{OK}	Output clamp current		500	mA	
	Total emitter-terminal current		-2.5	A	
T_A	Operating free-air temperature range	ULN200xA	-20	70	°C
		ULN200xAI	-40	105	
		ULQ200xA	-40	85	
		ULQ200xAI	-40	105	
T_J	Operating virtual junction temperature		150	°C	
	Lead temperature for 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		260	°C	
T_{stg}	Storage temperature	-65	150	°C	

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltage values are with respect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.

6.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101 ⁽²⁾	±500	

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

(2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V_{CC}	Collector-emitter voltage (non-V devices)	0	50	V
T_J	Junction temperature	-40	125	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	ULx200x				UNIT	
	D (SOIC)	N (PDIP)	NS (SO)	PW (TSSOP)		
	16 PINS	16 PINS	16 PINS	16 PINS		
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	73	67	64	108	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	36	54	n/a	33.6	°C/W
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance	n/a	n/a	n/a	51.9	°C/W
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	n/a	n/a	n/a	2.1	°C/W
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	n/a	n/a	n/a	51.4	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.



A4988***DMOS Microstepping Driver with Translator
And Overcurrent Protection*****Description (continued)**

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

Absolute Maximum Ratings

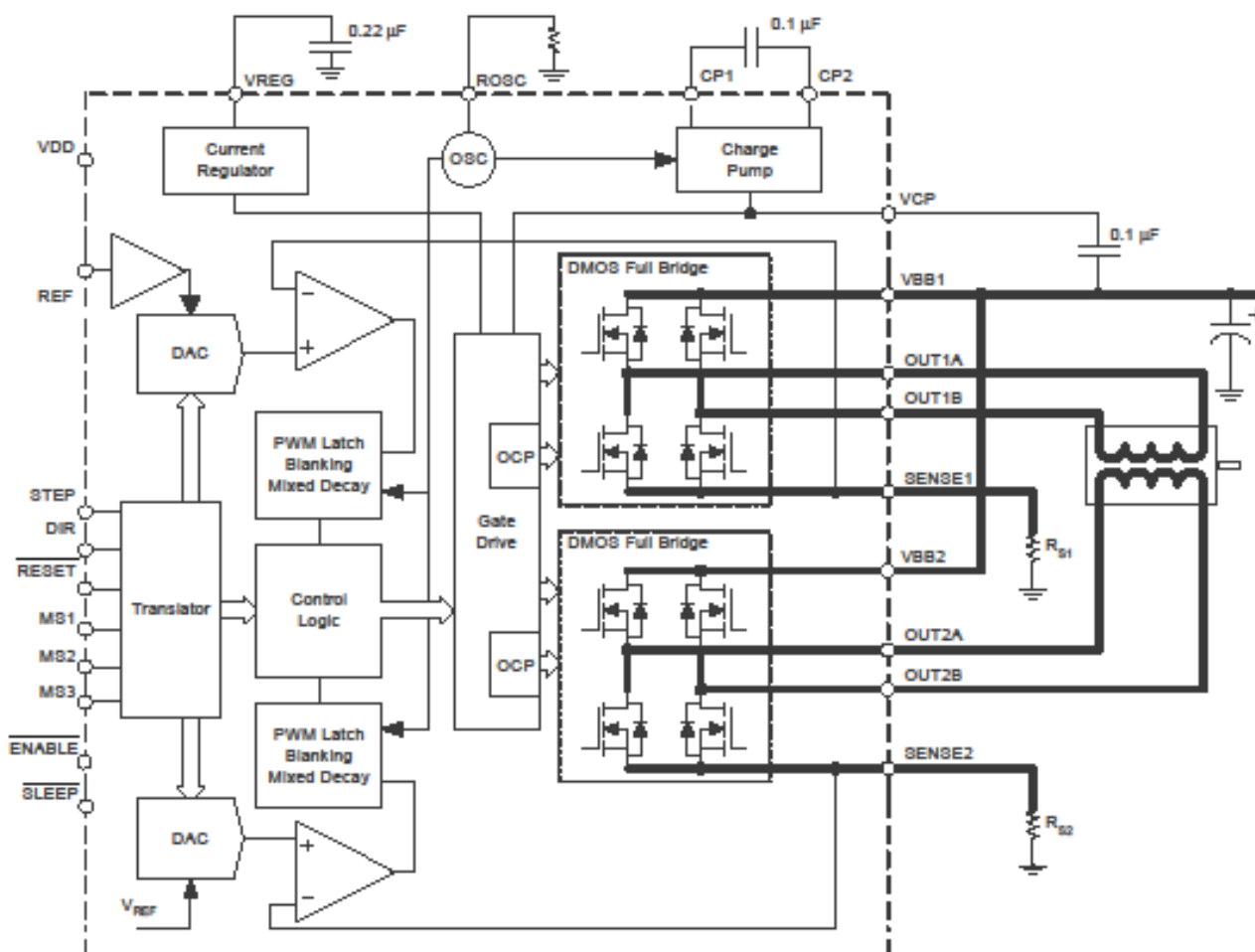
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		-0.3 to 5.5	V
Motor Outputs Voltage			-2.0 to 37	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		-0.5 to 0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-55 to 150	°C



A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

Functional Block Diagram



A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V_{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V_{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	$R_{DS(ON)}$	Source Driver, $I_{OUT} = -1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
		Sink Driver, $I_{OUT} = 1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
Body Diode Forward Voltage	V_F	Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
		Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I_{BB}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I_{DD}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		$V_{DD} \times 0.7$	–	–	V
	$V_{IN(D)}$		–	–	$V_{DD} \times 0.3$	V
Logic Input Current	$I_{IN(1)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.7$	–20	<1.0	20	μA
	$I_{IN(D)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.3$	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R_{MS1}	MS1 pin	–	100	–	k Ω
	R_{MS2}	MS2 pin	–	50	–	k Ω
	R_{MS3}	MS3 pin	–	100	–	k Ω
Logic Input Hysteresis	$V_{HYS(IN)}$	As a % of V_{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t_{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		$R_{OSC} = 25\text{ k}\Omega$	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V_{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I_{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	ϵ_{IT}	$V_{REF} = 2\text{ V}$, $\%I_{THMAX} = 38.27\%$	–	–	± 15	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, $\%I_{THMAX} = 70.71\%$	–	–	± 5	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, $\%I_{THMAX} = 100.00\%$	–	–	± 5	%
Crossover Dead Time	t_{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold ⁴	I_{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T_{TSD}		–	165	–	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{TSDHYS}		–	15	–	$^\circ\text{C}$
VDD Undervoltage Lockout	V_{DDUVLO}	V_{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{DDUVLOHYS}$		–	90	–	mV

¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

³ $V_{ERR} = [(V_{REF}/8) - V_{SENSE}] / (V_{REF}/8)$.

⁴Overcurrent protection (OCP) is tested at $T_A = 25^\circ\text{C}$ in a restricted range and guaranteed by characterization.



HEDM-55xx/560x & HEDS-55xx/56xx

Quick Assembly Two and Three Channel Optical Encoders



Data Sheet



Description

The HEDS-5500/5540, HEDS-5600/5640, HEDM-5500/5540 and HEDM-5600 are high performance, low cost, two and three channel optical incremental encoders. These encoders emphasize high reliability, high resolution, and easy assembly.

Each encoder contains a lensed LED source, an integrated circuit with detectors and output circuitry, and a codewheel which rotates between the emitter and detector IC. The outputs of the HEDS-5500/5600 and HEDM-5500/5600 are two square waves in quadrature. The HEDS-5540/5640 and HEDM-5540 also have a third channel index output in addition to the two channel quadrature. This index output is a 90 electrical degree, high true index pulse which is generated once for each full rotation of the codewheel.

The HEDS series utilizes metal codewheels, while the HEDM series utilizes a film codewheel allowing for resolutions to 1024 CPR.

These encoders may be quickly and easily mounted to a motor. For larger diameter motors, the HEDM-5600, and HEDS-5600/5640 feature external mounting ears.

The quadrature signals and the index pulse are accessed through five 0.025 inch square pins located on 0.1 inch centers.

Standard resolutions between 96 and 1024 counts per revolution are presently available. Consult local Avago sales representatives for other resolutions.

Features

- Two channel quadrature output with optional index pulse
- Quick and easy assembly
- No signal adjustment required
- External mounting ears available
- Low cost
- Resolutions up to 1024 counts per revolution
- Small size -40°C to 100°C operating temperature
- TTL compatible
- Single 5 V supply

Applications

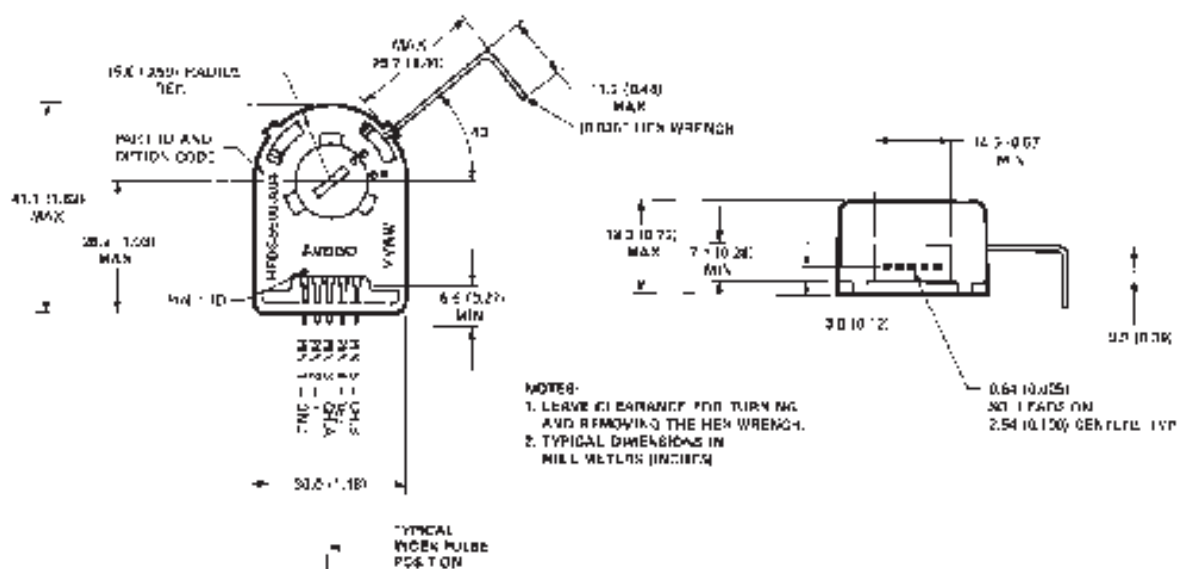
The HEDS-5500, 5540, 5600, 5640, and the HEDM-5500, 5540, 5600 provide motion detection at a low cost, making them ideal for high volume applications. Typical applications include printers, plotters, tape drives, positioning tables, and automatic handlers.

Note: Avago Technologies encoders are not recommended for use in safety critical applications. Eg. ABS braking systems, power steering, life support systems and critical care medical equipment. Please contact sales representative if more clarification is needed.

ESD WARNING: NORMAL HANDLING PRECAUTIONS SHOULD BE TAKEN TO AVOID STATIC DISCHARGE.

Package Dimensions

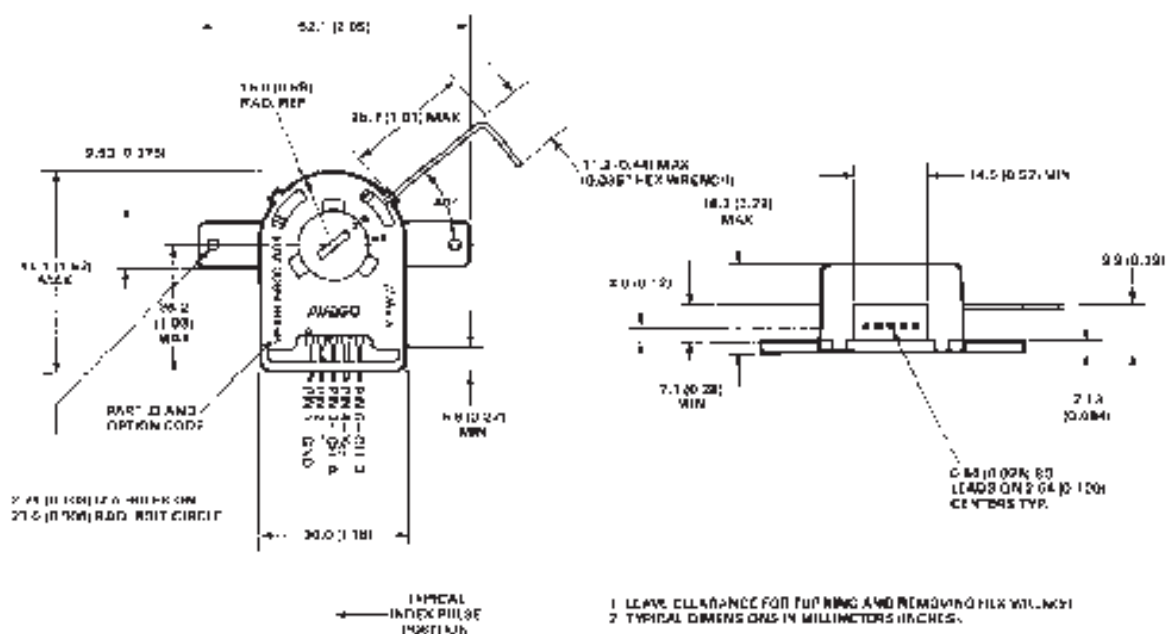
HEDS-5500/5540, HEDM-5500/5540



*Notes:

For the HEDS-5500 and HEDM-5500, Pin #2 is a No Connect.
 For the HEDS-5540 and HEDM-5540, Pin #2 is CH. I, the index output.

HEDS-5600/5640, HEDM-5600, HEDM-5640



*Notes:

For the HEDS-5600 and HEDM-5600, Pin #2 is a No Connect.
 For the HEDS-5640 and HEDM-5640, Pin #2 is CH. I, the index output.

Theory of Operation

The HEDS-5500/5540, HEDS-5600/5640, HEDM-5500/5540 and HEDM-5600 translate the rotary motion of a shaft into either a two- or a three-channel digital output.

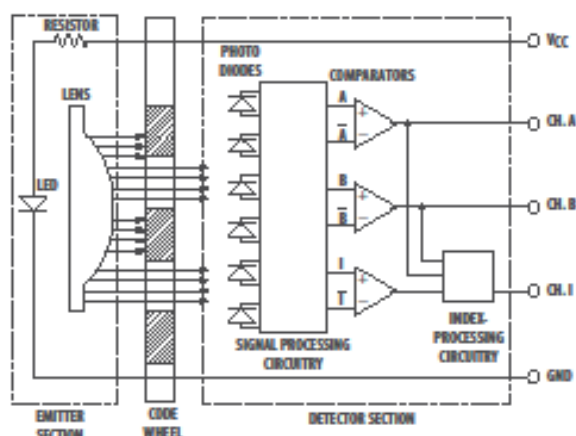
As seen in the block diagram, these encoders contain a single Light Emitting Diode (LED) as its light source. The light is collimated into a parallel beam by means of a single polycarbonate lens located directly over the LED. Opposite the emitter is the integrated detector circuit. This IC consists of multiple sets of photodetectors and the signal processing circuitry necessary to produce the digital waveforms.

The codewheel rotates between the emitter and detector, causing the light beam to be interrupted by the pattern of spaces and bars on the codewheel. The photodiodes which detect these interruptions are arranged in a pattern that corresponds to the radius and design of the codewheel. These detectors are also spaced such that a light period on one pair of detectors corresponds to a dark period on the adjacent pair of detectors. The photodiode outputs are then fed through the signal processing circuitry resulting in A, A̅, B and B̅ (also I and I̅ in the HEDS-5540/5640 and HEDM-5540). Comparators receive these signals and produce the final outputs for channels A and B. Due to this integrated phasing technique, the digital output of channel A is in quadrature with that of channel B (90 degrees out of phase).

In the HEDS-5540/5640 and HEDM-5540, the output of the comparator for I and I̅ is sent to the index processing circuitry along with the outputs of channels A and B.

The final output of channel I is an index pulse PO which is generated once for each full rotation of the codewheel. This output PO is a one state width (nominally 90 electrical degrees), high true index pulse which is coincident with the low states of channels A and B.

Block Diagram



Note: Circuitry for CH I is only for HEDS-5540/5640, HEDM-5540/5540 Three Channel Encoder

Definitions

Count (N): The number of bar and window pairs or counts per revolution (CPR) of the codewheel.

One Cycle (C): 360 electrical degrees (°e), 1 bar and window pair.

One Shaft Rotation: 360 mechanical degrees, N cycles.

Position Error ($\Delta\theta$): The normalized angular difference between the actual shaft position and the position indicated by the encoder cycle count.

Cycle Error (ΔC): An indication of cycle uniformity. The difference between an observed shaft angle which gives rise to one electrical cycle, and the nominal angular increment of $1/N$ of a revolution.

Pulse Width (P): The number of electrical degrees that an output is high during 1 cycle. This value is nominally 180° e or $1/2$ cycle.

Pulse Width Error (ΔP): The deviation, in electrical degrees, of the pulse width from its ideal value of 180° e.

State Width (S): The number of electrical degrees between a transition in the output of channel A and the neighbouring transition in the output of channel B. There are 4 states per cycle, each nominally 90° e.

State Width Error (ΔS): The deviation, in electrical degrees, of each state width from its ideal value of 90° e.

Phase (ϕ): The number of electrical degrees between the center of the high state of channel A and the center of the high state of channel B. This value is nominally 90° e for quadrature output.

Phase Error ($\Delta\phi$): The deviation of the phase from its ideal value of 90° e.

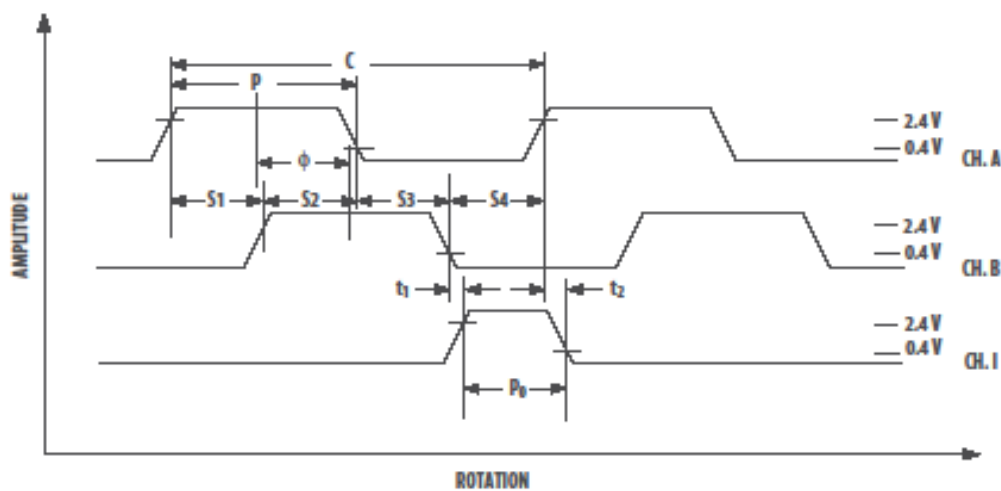
Direction of Rotation: When the codewheel rotates in the counter-clockwise direction (as viewed from the encoder end of the motor), channel A will lead channel B. If the codewheel rotates in the clockwise direction, channel B will lead channel A.

Index Pulse Width (P_0): The number of electrical degrees that an index output is high during one full shaft rotation. This value is nominally 90° e or $1/4$ cycle.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	HEDS-550X/560X	HEDM-550X/560X	HEDM-5540/5640
Storage Temperature, T_S	-40°C to 100°C	-40°C to +70°C	-40°C to 85°C
Operating Temperature, T_A	-40°C to 100°C	-40°C to +70°C	-40°C to 85°C
Supply Voltage, V_{CC}	-0.5 V to 7 V	-0.5 V to 7 V	-0.5 V to 7 V
Output Voltage, V_O	-0.5 V to V_{CC}	-0.5 V to V_{CC}	-0.5 V to V_{CC}
Output Current per Channel, I_{OUT}	-1.0 mA to 5 mA	-1.0 mA to 5 mA	-1.0 mA to 5 mA
Vibration	20 g, 5 to 1000 Hz	20 g, 5 to 1000 Hz	20 g, 5 to 1000 Hz
Shaft Axial Play	± 0.25 mm (± 0.010 in.)	± 0.175 mm (± 0.007 in.)	± 0.175 mm (± 0.007 in.)
Shaft Eccentricity Plus Radial Play	0.1 mm (0.004 in.) TIR	0.04 mm (0.0015 in.) TIR	0.04 mm (0.0015 in.) TIR
Velocity	30,000 RPM	30,000 RPM	30,000 RPM
Acceleration	250,000 rad/sec ²	250,000 rad/sec ²	250,000 rad/sec ²

Output Waveforms



Recommended Operating Conditions

Parameter	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Temperature HEDS Series	T _A	-40		100	°C	
Temperature HEDM Series	5500/5600	T _A	-40	70	°C	non-condensing atmosphere
	5540/5640	T _A	-40	85	°C	
Supply Voltage	V _{CC}	4.5	5.0	5.5	Volts	Ripple < 100 mVp-p
Load Capacitance	C _L			100	pF	2.7 kΩ pull-up
Count Frequency	f			100	kHz	Velocity (rpm) x N/60
Shaft Perpendicularity Plus Axial Play (HEDS Series)				± 0.25 (±0.010)	mm (in.)	6.9 mm (0.27 in.) from mounting surface
Shaft Eccentricity Plus Radial Play (HEDS Series)				0.04 (0.0015)	mm (in.) TIR	6.9 mm (0.27 in.) from mounting surface
Shaft Perpendicularity Plus Axial Play (HEDM Series)				± 0.175 (±0.007)	mm (in.)	6.9 mm (0.27 in.) from mounting surface
Shaft Eccentricity Plus Radial Play (HEDM Series)				0.04 (0.0015)	mm (in.) TIR	6.9 mm (0.27 in.) from mounting surface

Note: The module performance is guaranteed to 100 kHz but can operate at higher frequencies. 2.7 kΩ pull-up resistors required for HEDS-5540/5640 and HEDM-5540/5640.

Encoding Characteristics

Part No.	Description	Sym.	Min	Typ.*	Max.	Units	
HEDS-5500	Pulse Width Error	ΔP		7	45	°e	
HEDS-5600 (Two Channel)	Logic State Width Error	ΔS		5	45	°e	
	Phase Error	ΔΦ		2	20	°e	
	Position Error	Δθ		10	40	min. of arc	
	Cycle Error	ΔC		3	5.5	°e	
	HEDM-5500	Pulse Width Error	ΔP		10	45	°e
HEDM-5600 (Two Channel)	Logic State Width Error	ΔS		10	45	°e	
	Phase Error	ΔΦ		2	15	°e	
	Position Error	Δθ		10	40	min. of arc	
	Cycle Error	ΔC		3	7.5	°e	
	HEDS-5540	Pulse Width Error	ΔP		5	45	°e
HEDS-5640 (Three Channel)	Logic State Width Error	ΔS		5	35	°e	
	Phase Error	ΔΦ		2	15	°e	
	Position Error	Δθ		10	40	min. of arc	
	Cycle Error	ΔC		3	5.5	°e	
	Index Pulse Width	P ₀	55	90	125	°e	
	CH.I rise after CH.A or CH. B fall	t ₁	-40°C to +100°C	-300	100	250	ns
	CH.I fall after CH.A or CH. B rise	t ₂	-40°C to +100°C	70	150	1000	ns
HEDM-5540	Pulse Width Error	ΔP		10	45	°e	
HEDM-5640 (Three Channel)	Logic State Width Error	ΔS		10	45	°e	
	Phase Error	ΔΦ		2	15	°e	
	Position Error	Δθ		10	40	min. of arc	
	Cycle Error	ΔC		6	12	°e	
	Index Pulse Width	P ₀	50	90	130	°e	
	CH.I rise after CH.A or CH. B fall	t ₁	-40°C to +85°C	200	1000	1500	ns
	CH.I fall after CH.A or CH. B rise	t ₂	-40°C to +85°C	0	300	1500	ns

Note: See Mechanical Characteristics for mounting tolerances. *Typical values specified at V_{CC} = 5.0V and 25°C.

Electrical Characteristics

Electrical Characteristic over Recommended Operating Range

Part No.	Parameter	Sym.	Min	Typ.*	Max.	Units	Notes
HEDS-5500	Supply Current	I _{CC}		17	40	mA	
HEDS-5600	High Level Output Voltage	V _{OH}	2.4			V	I _{OH} = -40μA max
	Low Level Output Voltage	V _{OL}			0.4	V	I _{OL} = 3.2mA
	Rise Time	t _r		200		ns	C _L = 25 pF
	Fall Time	t _f		50		ns	R _L = 11 kΩ pull-up
HEDS-5540	Supply Current	I _{CC}	30	57	85	mA	
HEDS-5640	High Level Output Voltage	V _{OH}	2.4			V	I _{OH} = -200μA max
HEDM-5500	Low Level Output Voltage	V _{OL}			0.4	V	I _{OL} = 3.86mA
HEDM-5600	Rise Time	t _r		180		ns	C _L = 25 pF
	Fall Time	t _f		40		ns	R _L = 2.7 kΩ pull-up
HEDM-5500	Supply Current	I _{CC}	30	57	85	mA	
HEDM-5600	High Level Output Voltage	V _{OH}	2.4			V	I _{OH} = -40μA max
	Low Level Output Voltage	V _{OL}			0.4	V	I _{OL} = 3.86mA
	Rise Time	t _r		180		ns	C _L = 25 pF
	Fall Time	t _f		40		ns	R _L = 3.2 kΩ pull-up
HEDM-5540	Supply Current	I _{CC}	30	57	85	mA	
HEDM-5640	High Level Output Voltage	V _{OH}	2.4			V	I _{OH} = -200μA max
	Low Level Output Voltage	V _{OL}			0.4	V	I _{OL} = 3.86mA
	Rise Time	t _r		200		ns	C _L = 25 pF
	Fall Time	t _f		80		ns	R _L = 2.7 kΩ pull-up

* Typical values specified at V_{CC} = 5.0V and 25°C

Mechanical Characteristics

Parameter	Symbol	Dimension	Tolerance ^[1]	Units
Codewheel Fits These Standard Shaft Diameters		2 3 4	+0.000	mm
		5 6 8	-0.015	
		5/32 1/8	+0.0000	in
		3/16 1/4	-0.0007	
Moment of Inertia	J	0.6 (8.0 x 10 ⁻⁶)		g-cm ² (oz-in-s ²)
Required Shaft Length ^[2]		14.0 (0.55)	± 0.5 (± 0.02)	mm (in.)
Bolt Circle ^[3]	2 screw mounting	19.05 (0.750)	± 0.13 (± 0.005)	mm (in.)
	3 screw mounting	20.90 (0.823)	± 0.13 (± 0.005)	mm (in.)
	external mounting ears	46.0 (1.811)	± 0.13 (± 0.005)	mm (in.)
Mounting Screw Size ^[4]	2 screw mounting	M 2.5 or (2-56)		mm (in.)
	3 screw mounting	M 1.6 or (0-80)		mm (in.)
	external mounting ears	M 2.5 or (2-56)		mm (in.)
Encoder Base Plate Thickness		0.33 (0.130)		mm (in.)
Hub Set Screw		(2-56)		(in.)

Notes:

1. These are tolerances required of the user.
2. The HEDS-55x5 and 56x5, HEDM-5505, 5605 provide an 8.9 mm (0.35 inch) diameter hole through the housing for longer motor shafts. See Ordering Information.
3. The HEDS-5540 and 5640 must be aligned using the aligning pins as specified in Figure 3, or using the alignment tool as shown in "Encoder Mounting and Assembly". See also "Mounting Considerations".
4. The recommended mounting screw torque for 2 screw and external ear mounting is 1.0 kg-cm (0.88 in-lbs). The recommended mounting screw torque for 3 screw mounting is 0.50 kg-cm (0.43 in-lbs).

Electrical Interface

To insure reliable encoding performance, the HEDS-5540/5640 and HEDM-5540 three channel encoders require 2.7 k Ω (\pm 10%) pull-up resistors on output pins 2, 3, and 5 (Channels I, A, and B) as shown in Figure 1. These pull-up resistors should be located as close to the encoder as possible (within 4 feet). Each of the three encoder outputs can drive a single TTL load in this configuration. The HEDS-5500, 5600, and HEDM-5500, 5600 two channel encoders do not normally require pull-up resistors. However, 3.2 k Ω pull-up resistors on output pins 3 and 5 (Channels A and B) are recommended to improve rise times, especially when operating above 100 kHz frequencies.

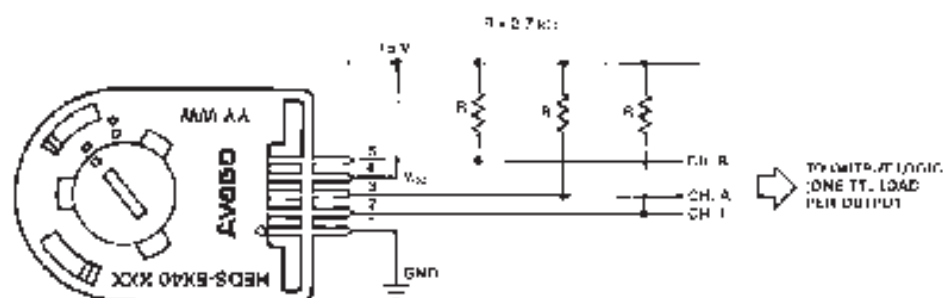
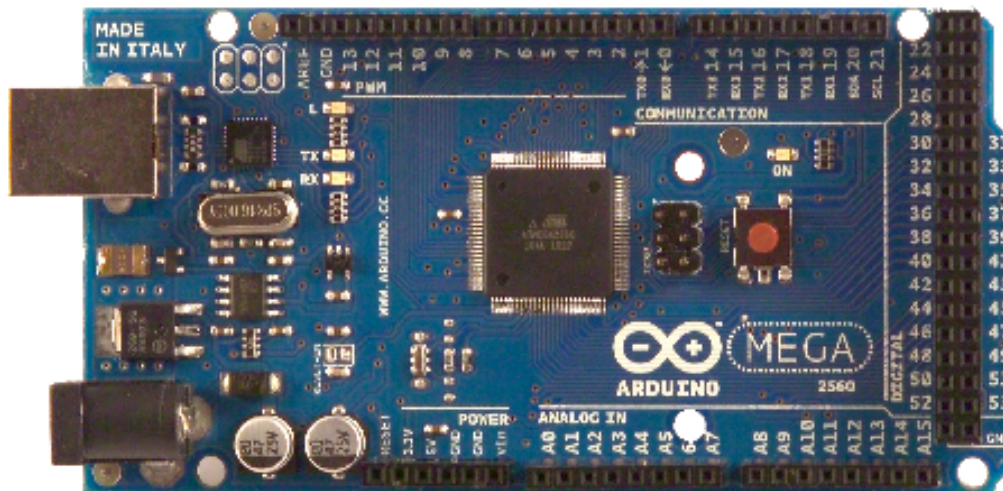


Figure 1. Pull-up Resistors on HEDS-5x40 and HEDM-5540 Encoder Outputs.

Arduino MEGA 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



radiospares **RADIONICS**



Technical Specification

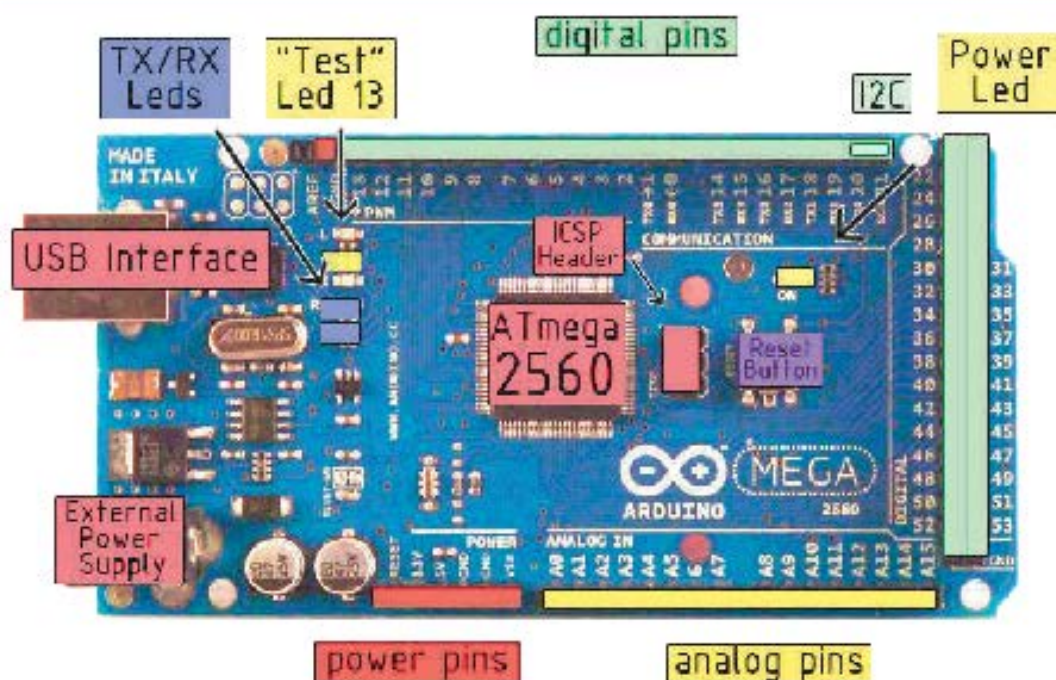


EAGLE files: [_arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares **RADIONICS**



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial:** 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts:** 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 5), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3), and 21 (Interrupt 2). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM:** 0 to 13. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI:** 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C:** 20 (SDA) and 21 (SCL). Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



radiospares

RADIONICS



Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

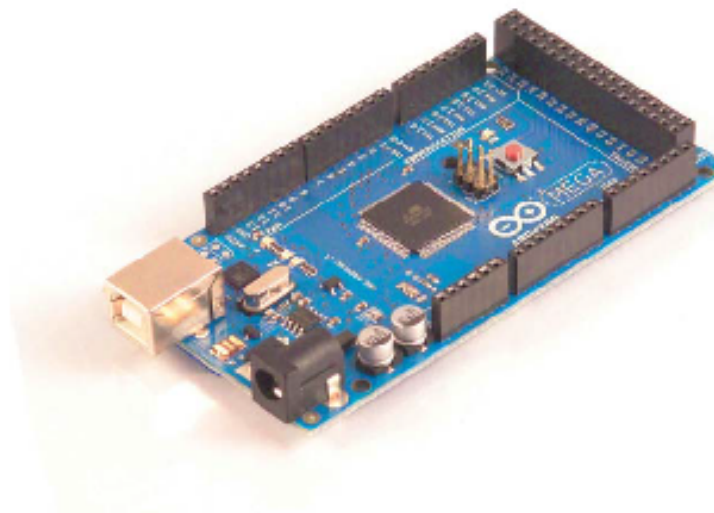
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares **RADIONICS**



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).



radiospares **RADIONICS**



ANEXO 8
Fotografías para validación del proyecto

VISITAS TÉCNICAS AL LABORATORIO INDUTEXMA PARA INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE COLOR EN LABORATORIOS TEXTILES

Preparación de colorantes



Selección de colorantes dispersos

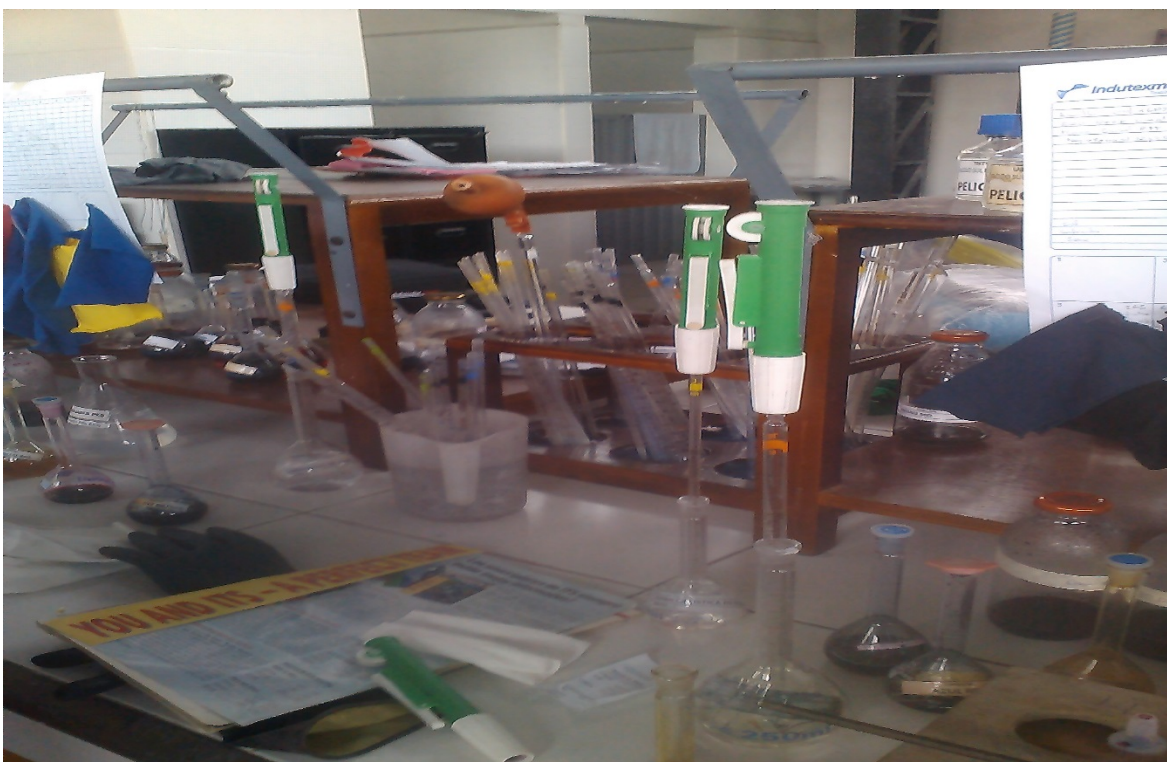


VISITAS TÉCNICAS AL LABORATORIO INDUTEXMA PARA INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE
COLOR EN LABORATORIOS TEXTILES

Pesaje de colorantes para verificación de precisión



Materiales de laboratorio



DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Sistema desarrollado



Tablero eléctrico del sistema



IMPLEMENTACIÓN DE CORRECCIONES Y MEJORAS SUGERIDAS POR EL TUTOR

Corrección de cables en tablero



Corrección de bandeja de colorantes



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO EN EL LABORATIO DE LA PLANTA TEXTIL INDUTEXMA

Sistema implementado en laboratorio textil indutexma

