



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORES:

VALLEJO USCA FAUSTO FABIÁN

YUGSI LLANO DIEGO JAVIER

TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA
MÁQUINA PARA EL ESMALTADO DE DISPENSADORES CERÁMICOS, EN
LA EMPRESA NOVEL”.

DIRECTOR: ING. DIEGO ORTIZ

CODIRECTOR: ING. MIGUEL CARVAJAL

LATACUNGA, JULIO 2014

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO

ING. DIEGO ORTIZ (DIRECTOR)
ING. MIGUEL CARVAJAL (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA EL ESMALTADO DE DISPENSADORES CERÁMICOS, EN LA EMPRESA NOVEL**” realizado por los señores: VALLEJO USCA FAUSTO FABIAN Y YUGSI LLANO DIEGO JAVIER ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, se recomiendan su publicación.

Latacunga, Julio del 2014.

Ing. Diego Ortiz
DIRECTOR

Ing. Miguel Carvajal
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Nosotros: VALLEJO USCA FAUSTO FABIÁN
YUGSI LLANO DIEGO JAVIER

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA EL ESMALTADO DE DISPENSADORES CERÁMICOS, EN LA EMPRESA NOVEL”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Latacunga, Julio del 2014.

Fausto Vallejo
C.I: 0603579657

Diego Yugsi
C.I: 0503293961

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros: VALLEJO USCA FAUSTO FABIÁN
YUGSI LLANO DIEGO JAVIER

AUTORIZAMOS

A la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA EL ESMALTADO DE DISPENSADORES CERÁMICOS, EN LA EMPRESA NOVEL**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2014.

Fausto Vallejo
C.I: 0603579657

Diego Yugsi
C.I: 0503293961

DEDICATORIA

El presente proyecto quiero dedicar a las personas que más amo en la vida, que son mis Padres, y mis hermanos, quienes han sido el pilar fundamental para culminar mi carrera. Estando a mi lado siempre, confiando en mí y apoyándome en cada momento.

A quienes admiro muchísimo porque de ellos he aprendido todo lo que soy, inculcando en mí siempre los valores con los que hoy llevo mi vida, que son parte de mí y me han servido para alcanzar una de las tantas metas que me he propuesto.

Para ellos va dedicado este logro con el amor que les tengo y la felicidad de haber alcanzado una meta que es parte de mi vida profesional.

FAUSTO VALLEJO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado especialmente en memoria a mi tío Oscar Fabián que en vida fue el precursor para alcanzar mis metas, sé que desde el cielo el comparte este logro, que es un escalón más en el largo camino que falta por recorrer, a mis padres María y Vinicio que con su esfuerzo y motivación hicieron posible el sueño de ser un profesional, a mis abuelitos Lucía y Leónidas que con su ejemplo y apoyo me llevaron a formarme como un ser humano y profesional con valores que me impartieron desde la infancia.

A Dios por ser el pilar espiritual en mi vida, tuya es la gloria y la honra mi señor.

“Aquellos caminos más largos y que más esfuerzo te suponen, son en la meta los más satisfactorios”.

DIEGO YUGSI

AGRADECIMIENTO

Agradezco, a *DIOS*, por darme la sabiduría y guiarme para poder superar los obstáculos que se me presentaron en el trayecto de mi carrera.

Un agradecimiento especial a mis queridos padres, Roberto y María, quienes me brindaron su apoyo incondicional, los que siempre confiaron en mí y me enseñaron que todo en la vida requiere un sacrificio para alcanzar las metas, por quienes e culminado con éxito mi carrera universitaria.

A mis hermanos Yuri, Robert y Darwin que fueron las personas que me acompañaron y se preocuparon por mí siempre, brindándome su apoyo y ayuda incondicional.

FAUSTO VALLEJO

AGRADECIMIENTO

A mi familia por creer y confiar en mí apoyándome en todas las decisiones que he tomado en esta vida. Y mis padres María y Vinicio, que con su amor, paciencia, comprensión y motivación me encaminaron a cumplir mi anhelado sueño de ser un Ingeniero Electromecánico.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Electromecánica, por compartir sus amplios conocimientos y experiencias para formarme como profesional.

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga y en especial a los Ingenieros Diego Ortiz y Miguel Carvajal por su acertada dirección y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

DIEGO YUGSI

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
INTRODUCCIÓN.....	xxvi
ANTECEDENTES.....	xxvi
OBJETIVO GENERAL.....	xxvii
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	xxvii
JUSTIFICACIÓN.....	xxviii
ALCANCES Y METAS.....	xxviii
CAPÍTULO 1.....	1
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 Esmaltes cerámicos.....	1
1.1.1 Definición.....	1
1.1.2 Finalidad.....	2
1.1.3 Criterios de clasificación.....	3
1.1.4 Esmaltes transparentes.....	4
1.1.5 Esmaltes opacos.....	5
1.1.6 Esmaltes vitrocerámicos.....	5
1.1.7 Composición química.....	6
1.1.8 Preparación y aplicación.....	7
1.1.9 Defectos en las piezas terminadas.....	11
1.1.10 Grado de toxicidad.....	13

1.1.11	Recomendaciones de limpieza y manipulación.....	15
1.2	Neumática.....	16
1.2.1	Compresores.....	17
1.2.1.1	Clasificación.....	18
1.2.2	Actuadores.....	20
1.2.2.1	Clasificación.....	21
1.2.3	Válvulas.....	22
1.2.3.1	Clasificación.....	23
1.2.4	Electroválvulas.....	25
1.2.4.1	Definición.....	25
1.2.4.2	Funcionamiento.....	26
1.3	Pistolas aerográficas.....	27
1.3.1	Introducción.....	27
1.3.2	Funcionamiento.....	27
1.3.3	Clasificación.....	28
1.3.4	Partes que las constituyen.....	31
1.3.5	Parámetros de instalación.....	32
1.3.6	Parámetros de utilización.....	33
1.3.7	Mantenimiento.....	35
1.4	Cabinas de pintura con cortina de agua.....	36
1.4.1	Definición.....	36
1.5	Ventiladores.....	36
1.5.1	Introducción.....	36
1.5.2	Flujos volumétricos.....	37
1.5.3	Clasificación.....	37
1.6	Síntesis de mecanismos.....	39
1.6.1	Definición.....	39
1.6.2	Clasificación.....	39
1.7	Esfuerzos mecánicos.....	42
1.8	Introducción al Diseño Mecánico.....	50
1.9	Controlador de velocidad de motores trifásicos de inducción.....	56

CAPÍTULO II.....	60
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	60
2.1 Diseño del brazo mecánico.....	60
2.1.1 Diseño del dimensionamiento y posición de los eslabones del brazo mecánico.....	60
2.1.2 Análisis de esfuerzos del sistema del brazo mecánico.....	80
2.1.3 Diseño de eslabones para el brazo mecánico.....	87
2.2 Selección del motor eléctrico del brazo mecánico.....	102
2.3 Diseño del eje giratorio.....	106
2.3.1 Análisis de tensiones.....	106
2.3.2 Selección de las correas en V.....	109
2.3.3 Selección del motor eléctrico para eje giratorio.....	115
2.4 Selección del controlador de velocidad de los dos motores trifásicos de inducción.....	119
2.5 Diseño neumático.....	124
2.5.1 Sistema neumático.....	124
2.5.2 Dimensionado y selección de los elementos neumáticos...	125
2.5.3 Selección del cilindro neumático.	128
2.6 Diseño y selección de la bomba para el sistema de cortina de agua.....	136
2.6.1 Cálculos para selección de la bomba.....	136
2.6.2 Selección de la bomba.....	144
2.7 Diseño y selección del blower aireador.....	146
2.7.1 Cálculos para selección del blower aireador.....	146
2.7.2 Selección del blower aireador.....	150
2.8 Diseño eléctrico.....	151
2.8.1 Determinación de las cargas que actúan sobre el sistema eléctrico.....	151
2.8.2 Dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos.....	151
2.8.3 Selección de accesorios.....	155
2.8.4 Selección de electroválvulas.....	155
2.8.5 Selección de la pistola automática.....	156

2.8.6	Selección del variador de velocidad.....	158
2.8.7	Selección del PLC.....	161
2.9	Diseño del circuito de control y potencia.....	162
CAPÍTULO III.....		165
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....		165
3.1	Construcción y montaje de la estructura.....	165
3.1.1	Trazado y corte del tubo estructural.....	166
3.2	Corte y doblado de la cubierta.....	168
3.3	Construcción y montaje del brazo mecánico.....	168
3.4	Construcción y montaje del sistema de esmaltado interno.	170
3.4.1	Montaje del mecanismo de impulsión de esmalte.....	172
3.5	Construcción y montaje del sistema de cortina de agua....	175
3.6	Montaje e implementación del sistema eléctrico.....	177
3.6.1	Montaje del tablero de mando y control.....	178
3.6.2	Implementación del circuito de fuerza.....	178
3.6.3	Implementación del circuito de mando y control.....	179
CAPÍTULO IV.....		180
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		180
4.1	Pruebas y resultados del esmaltado interno de los dispensadores cerámicos.....	180
4.2	Pruebas y resultados del esmaltado externo de los dispensadores cerámicos.....	181
4.3	Pruebas y resultados del sistema de recuperación de esmalte.....	183
4.4	Pruebas y resultados del tiempo y cantidad de dispensadores cerámicos esmaltados.....	184
CAPÍTULO V.....		187
ANÁLISIS FINANCIERO.....		187
5.1	Análisis de costos.....	187
5.2	Periodo de recuperación de inversión.....	192

5.2.1	Flujo de caja.....	192
5.2.2	Valor presente neto (VPN).....	193
5.2.3	Tasa interna de retorno (TIR).....	194
5.2.4	Análisis costo-beneficio.....	195
5.2.5	Interpretación del análisis financiero.....	197
CAPÍTULO VI.....		198
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		198
6.1	Conclusiones.....	198
6.2	Recomendaciones.....	200
BIBLIOGRAFÍA Y NETGRAFÍA.....		202
ANEXOS.....		204

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Criterios de clasificación de los esmaltes.....	3
Tabla 1.2	Elementos utilizados para la preparación y aplicación de esmaltes cerámicos.....	10
Tabla 1.3	Síntesis Cinemáticas.....	39
Tabla 1.4	Coeficientes para el cálculo de esfuerzos y del ángulo de torsión de un elemento de sección rectangular sometido a torsión.....	50
Tabla 1.5	Criterio para el diseño de esfuerzos.....	54
Tabla 2.1	Resultados de posición.....	72
Tabla 2.2	Resultados de velocidad.....	74
Tabla 2.3	Resultados de aceleración.....	76
Tabla 2.4	Tabla de distancias de eslabones.....	78
Tabla 2.5	Análisis de esfuerzos del sistema de brazo mecánico...	83
Tabla 2.6	Cálculo para el dimensionamiento de eslabones del brazo mecánico.....	90
Tabla 2.7	Parámetros de selección del motor eléctrico del brazo mecánico.....	105
Tabla 2.8	Cálculo para el dimensionamiento del eje giratorio.....	108
Tabla 2.9	Diámetros estándar de ruedas de espigas.....	113
Tabla 2.10	Parámetros de selección del motor eléctrico del eje central giratorio.....	118
Tabla 2.11	Características técnicas del esmalte cerámico.....	125
Tabla 2.12	Características técnicas del diafragma.....	126
Tabla 2.13	Características técnicas del soporte base del diafragma.....	127
Tabla 2.14	Tamaños normalizados de cilindros y longitudes de carrera.....	128
Tabla 2.15	Características técnicas del cilindro neumático seleccionado.....	129

Tabla 2.16	Lista de piezas para el cilindro neumático seleccionado.....	132
Tabla 2.17	Características del compresor.....	136
Tabla 2.18	Resistencia de válvulas y acoplamientos.....	138
Tabla 2.19	Dimensiones de Tubería de PVC.....	139
Tabla 2.20	Valores de diseño de la rugosidad de tubos.....	140
Tabla 2.21	Rendimiento.....	145
Tabla 2.22	Características de la bomba seleccionada.....	145
Tabla 2.23	Velocidad tangencial de la hélice para aspiradores de aire.....	148
Tabla 2.24	Datos del Fabricante Republic Regenerative Blowers.	150
Tabla 2.25	Características del Blower Aireador seleccionado.....	150
Tabla 2.26	Cargas que actúan en el sistema eléctrico.....	151
Tabla 2.27	Accesorios de control y señalización.....	155
Tabla 2.28	Características electroválvula.....	156
Tabla 2.29	Características de esmaltes cerámicos.....	157
Tabla 2.30	Características variador de velocidad.....	159
Tabla 2.31	Características de la caja reductora.....	160
Tabla 2.32	Especificaciones LOGO! 230RC.....	161
Tabla 2.33	Características LOGO 230RC y DM8 230R.....	162
Tabla 3.1	Medidas de la tubería cortada.....	166
Tabla 3.2	Descripción de eslabones.....	168
Tabla 3.3	Elementos sistema de esmaltado interno.....	170
Tabla 3.4	Elementos del sistema de impulsión de esmalte.....	172
Tabla 4.1	Resultados del esmaltado interno.....	180
Tabla 4.2	Resultados del esmaltado externo.....	182
Tabla 5.1	Costo de componentes mecánicos.....	187
Tabla 5.2	Costo de componentes eléctricos.....	188
Tabla 5.3	Costo de componentes neumáticos.....	189
Tabla 5.4	Costo de proceso de maquinado.....	190
Tabla 5.5	Costo directo total.....	190
Tabla 5.6	Tasa de interés para producto empresarial.....	192
Tabla 5.7	Tasa de interés para producto empresarial.....	193

Tabla 5.8	Valores TIR.....	194
Tabla 5.9	Relación costo – beneficio.....	195
Tabla 5.10	Valores límite para que un proyecto sea viable.....	196
Tabla 5.11	Valores límites obtenidos para el proyecto.....	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Capas de esmalte que se aplican sobre un soporte cerámico.....	2
Figura 1.2:	Producto cerámico final (dispensadores de agua cerámicos).....	2
Figura 1.3:	Esquema de un esmalte transparente.....	4
Figura 1.4:	Esquema de un esmalte opaco.....	5
Figura 1.5:	Botón de material para esmalte antes y después de su cocción.....	8
Figura 1.6:	Aplicación de Esmalte A). Manual y B). Automático.....	9
Figura 1.7:	Sistema Neumático.....	16
Figura 1.8:	Etapas en un sistema neumático básico.....	16
Figura 1.9:	Clasificación general de los compresores.....	17
Figura 1.10:	Compresor de émbolo.....	18
Figura 1.11:	Compresor de diafragma.....	19
Figura 1.12:	Compresor de paleta.....	19
Figura 1.13:	Compresor de tornillo.....	20
Figura 1.14:	Actuador o cilindro neumático.....	20
Figura 1.15:	Cilindro de simple efecto.....	21
Figura 1.16:	Cilindro de doble efecto.....	22
Figura 1.17:	Válvulas neumáticas.....	22
Figura 1.18:	Válvula 2/2.....	23
Figura 1.19:	Válvula 3/2 NC.....	23
Figura 1.20:	Válvula 3/2 NO.....	24
Figura 1.21:	Válvula 4/2 NO.....	24
Figura 1.22:	Válvula 5/2.....	24
Figura 1.23:	Electroválvula.....	25
Figura 1.24:	Funcionamiento de una electroválvula.....	26
Figura 1.25:	Pistola aerográfica.....	27
Figura 1.26:	Pistola de succión.....	28
Figura 1.27:	Pistola de gravedad.....	29

Figura 1.28:	Pistola de presión.....	30
Figura 1.29:	Pistola automática.....	30
Figura 1.30:	Partes de una pistola de gravedad.....	31
Figura 1.31:	Partes de una pistola automática.....	31
Figura 1.32:	Conexión de mangueras de una pistola automática.....	32
Figura 1.33:	Accionado de la válvula de pilotaje.....	32
Figura 1.34:	Regulador de aire extremo.....	32
Figura 1.35:	Regulador de abanico.....	33
Figura 1.36:	Mezcla de producto.....	33
Figura 1.37:	Control de viscosidad.....	34
Figura 1.38:	No productos abrasivos.....	34
Figura 1.39:	Pulverizado de disolvente para limpieza.....	34
Figura 1.40:	Engrase de roscas y zonas de rozamiento.....	35
Figura 1.41:	No usar objetos punzantes.....	35
Figura 1.42:	Cabina de pintura.....	36
Figura 1.43:	Ventilador Axial.....	38
Figura 1.44:	Ventilador centrifugo.....	38
Figura 1.45:	Clasificación de síntesis de mecanismos.....	40
Figura 1.46:	Parámetros de generación de funciones.....	40
Figura 1.47:	Síntesis del grado del acoplador.....	41
Figura 1.48:	Síntesis de generación de trayectorias.....	41
Figura 1.49:	Tipos de esfuerzos producidos en una viga.....	42
Figura 1.50:	Curva característica de esfuerzo – deformaciones del acero.....	44
Figura 1.51:	Elementos sometidos a carga axial.....	45
Figura 1.52:	Conexión de pasador que ilustra el cortante simple..	46
Figura 1.53:	Conexión de pasador que ilustra el cortante doble....	46
Figura 1.54:	Elemento de sección rectangular sometido a flexión.....	47
Figura 1.55:	Elemento sometido a torsión.....	48
Figura 1.56:	Elemento de sección circular sometida a torsión.....	48

Figura 1.57: Elemento de sección rectangular sometido a torsión.....	49
Figura 1.58: Esfuerzos principales de un elemento.....	51
Figura 1.59: Descripción del círculo de Mohr.....	52
Figura 1.60: Variables del control de velocidad de motor eléctrico.....	56
Figura 1.61: Curva característica par-velocidad para todas frecuencias.....	57
Figura 1.62: Puente Inversor Trifásico.....	58
Figura 2.1: Posiciones que ocupara el seguidor.....	60
Figura 2.2: Determinación de radio 2.....	61
Figura 2.3: Selección del O2.	61
Figura 2.4: Búsqueda de la distancia del acoplador A2B2.....	62
Figura 2.5: Conformación de los eslabones.....	62
Figura 2.6: Ventana, barra menú.....	63
Figura 2.7: Ventana número y unidades.....	64
Figura 2.8: Diseño del brazo mecánico.....	64
Figura 2.9: Ventana, propiedades del motor.....	65
Figura 2.10: Ventana, barra de diseño.....	65
Figura 2.11: Marcar punto para su seguimiento de masa.....	66
Figura 2.12: Puntos de trayectoria del mecanismo.....	66
Figura 2.13: Ventana, definición de vectores.....	67
Figura 2.14: Vectores de velocidad y aceleración del brazo mecánico.....	67
Figura 2.15: Designación de eslabones.....	68
Figura 2.16: Ventana, exportación de valores.....	68
Figura 2.17: Ventana, exportación de valores.....	69
Figura 2.18: Ventana, hoja de Excel nuevo.....	69
Figura 2.19: Ventana, búsqueda del archivo tipo dta.....	70
Figura 2.20: Ventana, asistente para importar texto.....	70
Figura 2.21: Ventana, finalización del proceso de importación de valores.....	71
Figura 2.22: Ventana, valores obtenidos en excel.....	71

Figura 2.23:	Curvas de posición de los eslabones.....	73
Figura 2.24:	Curvas de velocidad de los eslabones.....	75
Figura 2.25:	Curvas de aceleración de los eslabones.....	77
Figura 2.26:	Distribución y dimensiones de los eslabones del brazo mecánico en mm.....	79
Figura 2.27:	Brazo mecánico.....	80
Figura 2.28:	Esfuerzos y apoyos aplicados al brazo mecánico.....	81
Figura 2.29:	Tensiones de eslabón seguidor 1.....	95
Figura 2.30:	Desplazamientos eslabón seguidor 1.....	95
Figura 2.31:	Deformaciones unitarias eslabón seguidor 1.....	95
Figura 2.32:	Tensiones eslabón seguidor.....	97
Figura 2.33:	Desplazamientos eslabón seguidor.....	97
Figura 2.34:	Deformaciones unitarias eslabón seguidor.....	97
Figura 2.35:	Tensiones del acoplador.....	99
Figura 2.36:	Desplazamientos del acoplador.....	99
Figura 2.37:	Deformaciones unitarias del acoplador.....	99
Figura 2.38:	Tensiones en la manivela.....	101
Figura 2.39:	Desplazamientos en la manivela.....	101
Figura 2.40:	Deformaciones unitarias en la manivela.....	101
Figura 2.41:	La tensión rotórica (UR) es proporcional al deslizamiento s. una Tensión de 10% corresponde a un deslizamiento del 10%.....	103
Figura 2.42:	Punto de operación del motor eléctrico.....	104
Figura 2.43:	Características del motor eléctrico del brazo mecánico seleccionado.....	105
Figura 2.44:	Fuerza aplicada al soporte giratorio.....	106
Figura 2.45:	Eje WH 50 x 36 mm – Tensiones.....	108
Figura 2.46:	Eje WH 50 x 36 mm – Desplazamientos.....	108
Figura 2.47:	Características de un sistema de transmisión por bandas.....	109
Figura 2.48:	Designación de masas del eje giratorio.....	110
Figura 2.49:	Valores seleccionados para ruedas de espigas.....	112

Figura 2.50:	Cuerpo libre del sistema de transmisión de engranajes y correa.	114
Figura 2.51:	Cuerpo libre de la correa del sistema giratorio.....	115
Figura 2.52:	La tensión rotórica (UR) es proporcional al deslizamiento s. una tensión de 10% corresponde a un deslizamiento del 10%.....	116
Figura 2.53:	Punto de operación del motor eléctrico eje giratorio.....	117
Figura 2.54:	Características del motor eléctrico central giratorio seleccionado.	118
Figura 2.55:	Variador de velocidad Sinamics G100.....	119
Figura 2.56:	Servicio Estándar, variante analógica.....	121
Figura 2.57:	Diagrama de bloques de SINAMICS G110.....	122
Figura 2.58:	Diafragma y carcasa seleccionados.....	127
Figura 2.59:	Ingreso al software y selección del tipo de cilindro.	129
Figura 2.60:	Ingreso de los parámetros del sistema base para la selección.	129
Figura 2.61:	Artículo seleccionado por el software.....	130
Figura 2.62:	Modelo CAD del cilindro neumático seleccionado....	130
Figura 2.63:	Modelo CAD de los accesorios para el cilindro neumático.	133
Figura 2.64:	Circuito Neumático del sistema.....	134
Figura 2.65:	Simulación de los diagramas del cilindro neumático.	134
Figura 2.66:	Esquema y simulación del sistema de bombeo.....	137
Figura 2.67:	Diagrama de Moody.	141
Figura 2.68:	Curva de rendimiento.....	145
Figura 2.69:	Bomba seleccionada.	146
Figura 2.70:	Blower aireador seleccionado.....	150
Figura 2.71:	Guardamotor Siemens Sirius 3RV.....	154
Figura 2.72:	Contacto Siemens Sirius.....	154
Figura 2.73:	Electroválvula 5/2 Festo Amisco.....	156
Figura 2.74:	Pistola automática seleccionada.....	158

Figura 2.75:	Calderín de presión SAGOLA.....	158
Figura 2.76:	Placa de Características Motor Siemens.....	159
Figura 2.77:	Variador de velocidad Sinamincs G110.....	160
Figura 2.78:	Motorreductor del Brazo Mecánico.....	161
Figura 2.79:	PLC LOGO Siemens 230RC y Modulo de expansión DM8 230R.....	162
Figura 2.80:	Diagrama del circuito de potencia.....	164
Figura 2.81:	Diagrama del circuito de control.....	164
Figura 3.1:	Tubo estructural cuadrado.....	165
Figura 3.2:	Corte de Tubería metálica.....	166
Figura 3.3:	Modelo CAD de la estructura de la máquina.....	166
Figura 3.4:	Pintado de la estructura de la máquina.....	167
Figura 3.5:	Estructura de la máquina esmaltadora terminada.....	167
Figura 3.6:	Cubierta de tol instalada en la estructura.....	168
Figura 3.7:	Pintado de los eslabones.....	169
Figura 3.8:	Montaje de los eslabones.....	170
Figura 3.9:	Sistema de esmaltado interno.....	172
Figura 3.10:	A).-Perforado B).-Corte C).- Pulido y D).- pintado de Platinas de sujeción.....	173
Figura 3.11:	Sujeción del diafragma y soporte del pistón.....	174
Figura 3.12:	Sistema completo de expulsión de esmalte.....	174
Figura 3.13:	Montaje bomba hidráulica.....	175
Figura 3.14:	Montaje del compartimento de precipitación de agua.....	176
Figura 3.15:	Montaje del sistema de cortina de agua.....	176
Figura 3.16:	Montaje del Blower Airedor.	177
Figura 3.17:	Sistema de cortina de agua y extracción de esmalte.	177
Figura 3.18:	Tablero de control y de mando.....	178
Figura 3.19:	Tablero del circuito de fuerza.	179
Figura 3.20:	Tablero de mando y control.....	179
Figura 4.1:	Puntos de medición del esmaltado interno.....	181
Figura 4.2:	Proceso de esmaltado externo.....	181
Figura 4.3:	Puntos de medición del esmaltado externo.....	183

Figura 4.4:	Cortina de agua posterior.....	184
Figura 4.5:	Cortina de agua frontal.....	184
Figura 4.6:	Esmaltado interno.....	185
Figura 4.7:	Esmaltado externo.....	185
Figura 4.8:	Dispensadores esmaltados con fallas superficiales...	186
Figura 4.9:	Prueba final de funcionamiento.....	186
Figura 5.1:	Amortización de Prestamos.....	193

RESUMEN.

El presente proyecto inicia con una recopilación teórica profunda de los mecanismos y elementos que puedan ayudar a solucionar las inquietudes de la maquinaria (Capítulo 1), como también información necesaria acerca de los tipos y procesos de recubrimientos de esmaltado de dispensadores cerámicos. Con referencias obtenidas del Capítulo 1 se procedió al diseño tanto mecánico como eléctrico y así la automatización de los mismos para obtener un funcionamiento eficaz de la máquina (Capítulo 2), considerando siempre la selección de la mejor alternativa de sus componentes. En el Capítulo 3 se describe paso a paso los procesos de construcción y montaje de las partes mecánicas e implementación de la parte eléctrica y control automatizado de la máquina. A continuación se realizan pruebas y análisis de los resultados obtenidos al poner en funcionamiento la máquina esmaltadora (Capítulo 4). Finalmente se hace un análisis financiero y comparativo de la máquina actual con la máquina construida (Capítulo 5).

Palabras claves: Máquina esmaltadora, Esmaltes vitrocerámicos, Cabina de pintura con cortina de agua, Esmaltado de dispensadores cerámicos, Automatización Neumática.

ABSTRACT

This project begins with a deep theoretical collection mechanisms and elements that can help to address the concerns of the machinery (Chapter 1), as well as necessary information about the types and processes of glazed ceramic coatings dispensers. With references obtained from Chapter 1 proceeded to both electrical and mechanical design as well as automating them to obtain an efficient machine operation (Chapter 2), always considering the selection of the best alternative components. In Chapter 3 the process step by step construction and assembly of mechanical and implementation of electrical power and automated machine control parts described. The following tests and analysis of results obtained when operating the glazing machine (Chapter 4) are performed. Finally a financial and comparative analysis of the current machine with built machine (Chapter 5) is made.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA EL ESMALTADO DE DISPENSADORES CERÁMICOS, EN LA EMPRESA NOVEL

Tabiques, floreros, vajillas, dispensadores, pisos, lavabos y sanitarios, entre otros, son productos de cerámica. En la actualidad, esta industria en nuestro país enfrenta una dura competencia en el mercado mundial, ya que a pesar de que la cerámica popular tiene una gran tradición a nivel industrial, no ha logrado un buen desarrollo. La mayoría de las líneas de negocios de este sector enfrentan una fuerte competencia en el mercado, por lo que se busca estrategias para que los productores de cerámica invirtieran en nuevas plantas, en automatización y capacitación de personal, con el objetivo de lograr una mayor calidad y reducir las pérdidas económicas. La capacitación continua permitirá a pequeños productores conocer la forma de manipular las pastas y los esmaltes de manera más técnica, ya que la comprensión de su comportamiento y el conocimiento sobre las pruebas para conocerlo son esenciales si se quiere fomentar el desarrollo.

Por ello se desea implementar una máquina que automáticamente realice el esmaltado, especialmente de los dispensadores para así obtener los beneficios, como son: alta calidad del producto, el ahorro de mano de obra, optimización de la materia prima, mayor producción y los más importantes incrementar ingresos económicos.

IV. ANTECEDENTES.

En la actualidad, los empresarios buscan invertir y mejorar su productividad hacia la demanda que exige el sector productivo del país, aunque la inversión a realizar sea de una manera moderada.

Las inversiones muchas de las veces realizadas por los empresarios se enfocan a la obtención de maquinaria tanto nueva como usada, que les permita incrementar sus niveles de producción y mejora continua del producto a la exigencia del consumidor.

La producción de piezas cerámicas ha llegado a tener un nivel de aceptación en el mercado, lo cual ha producido que el uso de piezas cerámicas sea de gran utilización, sobre todo en las aplicaciones de recipientes para líquidos.

El esmaltado o sistema de aplicación de esmalte en dispensadores de líquidos es uno de los procesos que depende en gran medida el aspecto final, por ende es necesario utilizar una técnica de esmaltado cerámico uniforme realizada por una máquina que sea capaz de proporcionar una capa continua y uniforme del esmalte, esto contribuye no solo a embellecer la pieza sino a impermeabilizarlas facilitando su limpieza y mejorando sus características higiénicas, uno de los principales motivos del alto grado de aceptación de la cerámica en la decoración.

La demanda de dispensadores cerámicos por su fino y elegante acabado ha hecho que se incremente la producción en la industria siendo un cuello de botella en la elaboración de los mismos.

En la empresa “NOVEL” el esmaltado de los dispensadores cerámicos se hace de forma manual, para ello se ha visto la necesidad de implementar una máquina esmaltadora automática que logre satisfacer el nivel de demanda del mercado.

V. OBJETIVO GENERAL.

DISEÑAR Y CONSTRUIR UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA REALIZAR EL RECUBRIMIENTO DE ESMALTE DE LOS DISPENSADORES CERÁMICOS QUE REALIZA LA EMPRESA NOVEL.

VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Estudiar y conocer las propiedades químicas y físicas del esmalte con el que se trabajará.

- Tener un criterio fundamentado del funcionamiento de cada uno de los componentes que conformarían la máquina esmaltadora.
- Recopilar información sobre mecanismos que puedan ayudar al diseño de la máquina esmaltadora.
- Diseño de la estructura y elementos de máquinas económicos y fiables.
- Diseñar el mecanismo que permita movilizar a la pistola automática por una trayectoria de esmaltado externo del dispensador cerámico.
- Diseñar un sistema para realizar el esmaltado interno del dispensador cerámico.
- Diseñar un sistema de recuperación de esmalte y obtener un sistema de recirculación de fluido.
- Diseñar líneas de presión para el funcionamiento total del sistema.
- Realizar el diseño de circuitos de fuerza y de control para el funcionamiento adecuado de la máquina.

VII. JUSTIFICACIÓN.

Debido a la baja ergonomía para sus trabajadores, aumento en la demanda existente del producto en el mercado y por falta de recursos para contratar personal que elabore el producto, se desea realizar una máquina automática que realice el trabajo requerido cumpliendo con las normas de calidad y seguridad.

La importancia del diseño y construcción de la máquina esmaltadora ayudará a reducir el número de operarios, economizar y disminuir el consumo de esmalte, mejorar el tiempo de esmaltado de los dispensadores cerámicos y por consiguiente aumentar la producción.

VIII. ALCANCES Y METAS.

- Llegar a implementar una máquina esmaltadora automática que brinde seguridad y confiabilidad.

- Reducir la mano de obra de los empleados de la empresa NOVEL.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina esmaltadora automática y comprobar que el esmaltado de los dispensadores cerámicos sea de alta calidad.
- Duplicar la producción y así incrementar los ingresos a la empresa NOVEL.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 ESMALTES CERÁMICOS.

1.1.1 DEFINICIÓN.

El término “Esmalte” se aplica a la delgada capa de vidrio sobre un cuerpo cerámico que resulta de un proceso de aplicación y posterior fusión a alta temperatura (650°C) de una masa especial de materiales, con la finalidad de protección o decoración del producto cerámico final.[1]

Actualmente el concepto con el que se define al esmalte es:

“Esmalte o barniz es una suspensión líquida de minerales muy finamente molidos, y que se aplica a las piezas cerámicas por medio de pincel, baño de inmersión, o aspersion con algún tipo de pistola, spray o soplete”.[2]

Los esmaltes cerámicos[3] deben cumplir las siguientes características:

- Insoluble en agua y en aquellos ácidos y bases con los que se pueden poner en contacto con el uso corriente.
- Difícil de ser rayados o desgastados por el uso.
- Impermeables.
- De resistencia mecánica adecuada al uso.
- Adecuado para producir ciertos efectos decorativos, tales como variedad de colores, aplicación serigráfica, etc.
- La aplicación sobre el soporte debe ser la correcta.
- La ausencia de defectos cuando son aplicados sobre soportes cerámicos.

La Figura 1.1 muestra las distintas capas de esmalte que se aplican a un soporte cerámico.

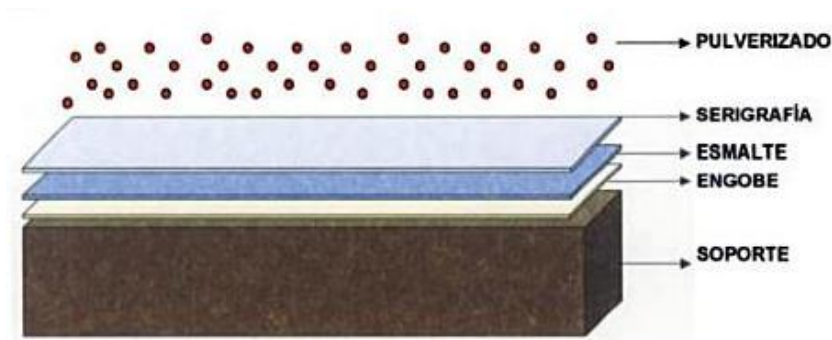


Figura 1.1: Capas de esmalte que se aplican sobre un soporte cerámico.

Fuente: Libro Nuevas Tecnologías para el sector cerámico.

1.1.2 FINALIDAD.

El empleo de los esmaltes para el recubrimiento de soportes cerámicos persigue el doble objetivo de adecuar el producto al uso al que va destinado y/o proporcionarle unas cualidades estéticas determinadas tal como se muestra en la Figura 1.2 del producto cerámico terminado.

Los esmaltes cerámicos tienen la finalidad de desarrollar superficies lisas e impermeables sobre el soporte cerámico, para facilitar su limpieza, mejorar su resistencia química frente a los agentes ácidos y básicos, y mejorar sus propiedades mecánicas, en particular su resistencia al rayado y a la abrasión.



Figura 1.2: Producto cerámico final (dispensadores de agua cerámicos).

Fuente: www.ceramicanovel.com

1.1.3 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN.

Existen numerosos criterios que pueden servir para clasificar los esmaltes. En la Tabla 1.1 se muestran algunos de los más utilizados, todos ellos proporcionan información valiosa respecto a algunas características.[4]

Tabla 1.1 Criterios de clasificación de los esmaltes.

1. Según la temperatura de maduración	<ul style="list-style-type: none"> - Fundentes: 600-900°C - Para mayólica: 1000-1050°C - Para loza: 1050-1150°C - Para sanitarios: 1180-1250°C - Para porcelana: 1300°C
2. Según el modo de preparación y aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Crudos / Fritados - En seco / En Barbotina
3. Según el uso al que se está destinado el producto	<ul style="list-style-type: none"> - Tejas y ladrillos - Azulejos - Pavimentos - Vajillas - Sanitarios
4. Según el tipo de soporte	<ul style="list-style-type: none"> - Bicocción - Monococción
5. Según su composición	<ul style="list-style-type: none"> - Con plomo / Sin Plomo - De alto contenido en plomo y boro - De alto contenido en alcalinos - De alto contenido en zinc - De estaño, de zirconio
6. Según sus características ópticas	<ul style="list-style-type: none"> - Transparentes / Blancos - Mates / Brillantes - Blancos / Coloreados
7. Según su función en el conjunto de la capa vidriada	<ul style="list-style-type: none"> - Engobes - Bases - Serigrafías - Pulverizado

Fuente: Esmaltes Cerámicos

1.1.4 ESMALTES TRANSPARENTES.

Son aquellos a los que la luz traspasa el magma vítreo dejando ver el soporte sobre el que se aplica (Figura 1.3).

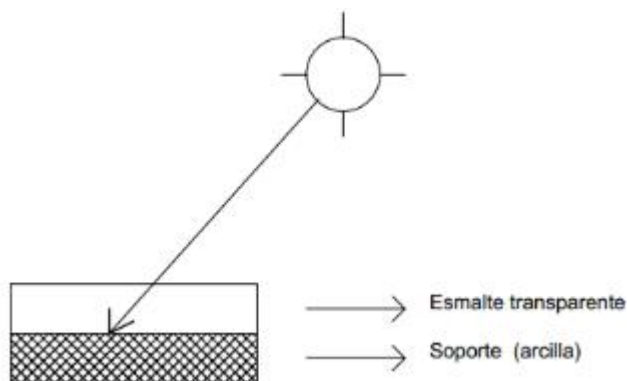


Figura 1.3: Esquema de un esmalte transparente.

Fuente: Esmaltes Cerámicos

La transparencia de un esmalte se debe a la capacidad de disolución de los materiales que lo constituyen por efecto del calor, y esta facultad, inherente en mayor o menor medida en todos los materiales, se implementa con la temperatura y el ciclo de cocción; es decir, a mayor temperatura más se disuelven los óxidos dando mayor grado de transparencia. El mantenimiento a la temperatura de maduración o un enfriamiento más lento también lo favorece.

El aspecto “brillante”, desde un punto de vista cuantitativo, se verá afectado en primer lugar por los materiales que intervienen en su composición; por ejemplo: los compuestos de Plomo favorecen más el brillo que los de Boro, la alúmina disminuye el brillo y la transparencia; y en segundo término por la temperatura, un esmalte que ha quedado corto en temperatura presentará un brillo y transparencia deficientes, además de otros defectos propios, como el poco estirado, etc.

1.1.5 ESMALTES OPACOS.

Es el caso inverso de los transparentes (Figura 1.4). En ellos intervienen elementos denominados opacificantes como el óxido de estaño, óxido de zirconio, óxido de cerio, arsénico, alúmina, etc. Estos opacificantes en la fusión desprenden partículas de escasa capacidad de disolución, quedando en suspensión y sin disolver en el magma del esmalte, opacificando la estructura del propio esmalte por lo que la luz se refleja desde la propia superficie.

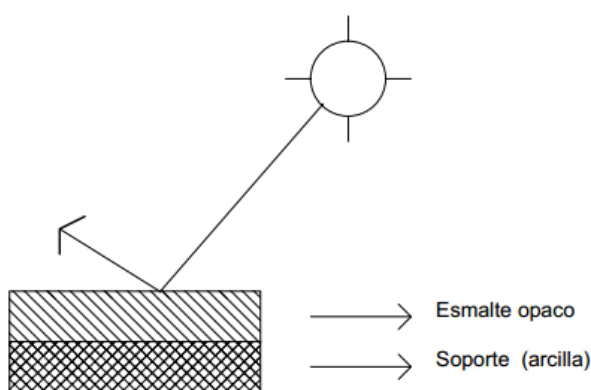


Figura 1.4: Esquema de un esmalte opaco.

Fuente: Esmaltes Cerámicos

Los esmaltes opacos pueden ser brillantes o mates, blancos o coloreados.

Como se ha comentado, la naturaleza brillante o mate dependerá de los materiales que intervengan y de la temperatura de cocción. Cualquier esmalte opaco brillante podrá volverse mate con la adición de elementos matizantes como el óxido de zinc, el bióxido de titanio, etc.

1.1.6 ESMALTES VITROCERÁMICOS.

Son aquellos donde aparecen cristalizaciones (vidrio molido) después de la cocción, siendo estas generadas en este proceso.

Así pues se parte de la idea de que un vidriado o esmalte cerámico son vidrios que se aplica sobre un soporte cerámico con la finalidad de protección o decoración del producto cerámico final.

Los esmaltes vitrocerámicos están constituidos por mezclas complejas de silicatos y/o boratos formulados básicamente al igual que los vidrios con tres tipos de componentes: óxidos formadores de la red vítrea, óxidos modificadores y óxidos intermedios; estos componentes proveen mayor índice de refracción en las vidriadas y mejores resistencias mecánicas a los productos cerámicos.

1.1.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Para diseñar un esmalte se prueba con distintas fórmulas Seger desarrolladas por el científico Hermann August Seger (1839-1893) con el propósito de conocer el comportamiento y composición química de los esmaltes cerámicos.[5]

Las fórmulas de Seger permiten realizar comparaciones entre los óxidos que componen los diferentes esmaltes cerámicos clasificándolos en tres grupos de acuerdo a su valencia y la función que tienen dentro del vidriado. Los grupos propuestos son:

1.- Grupo $RO + R_2O$: Formado por los óxidos fundentes o modificadores de la red vítrea, la totalidad de estos debe sumar siempre uno en la composición de un vidriado. ($RO + R_2O = 1 \text{ Mol}$).

2.- Grupo R_2O_3 : Integrado por los óxidos reguladores como la alúmina (Al_2O_3), el óxido de boro (B_2O_3), este último se incluye en el grupo por su valencia, aunque tiene múltiples funciones (la de fundente, la de estabilizador y la de formador de vidrio).

3.- Grupo R_2O : Constituido por el óxido de silicio (SiO_2) formador de vidrio.

Los esmaltes cerámicos generalmente están constituidos por la combinación de óxidos tales como: Alúmina (Al_2O_3), Silicato de Zirconio (ZrSiO_4), Oxido de Estaño (SnO_2), Oxido de Titanio (TiO_2), Oxido de plomo (PbO), Oxido de Boro (B_2O_3), Oxido de Calcio (CaO), Oxido de Bario (BaO), Oxido de silicio (SiO_2) y Oxido de Zinc (ZnO); a estos se les añade materiales refractarios: el caolín, el cuarzo, el feldespato y la arcilla.

La combinación de óxidos con materiales refractarios dan origen al esmalte cerámico y sus cantidades dependerán del grado de opacidad y transparencia del mismo.

1.1.8 PREPARACIÓN Y APLICACIÓN.

PREPARACIÓN.

La preparación de un esmalte cerámico se inicia con la aplicación de las formulas Seger, para calcularlas los óxidos se clasifican en básicos (M_2O , MO), anfóteros (M_2O_3) y ácidos (MO_2) y se indica la cantidad de sustancia de cada tipo de óxido con respecto a un mol de óxidos básicos totales.

Con cada fórmula se fabrica un botón que se coloca sobre la pasta cerámica formulada y se somete a cocción en el horno a la temperatura escogida, para conocer la respuesta. Puede observarse en la Figura 1.5, un botón de los polvos que formulan el esmalte, antes y después de su cocción en el horno.

Los esmaltes para ser utilizados deben ser mezclados con agua y su cantidad dependerá de las características del esmalte y de la naturaleza y porosidad del soporte. En líneas generales se utiliza un 60-80 % de agua. Es muy conveniente después del mezclado pasarlo por un tamiz de números 80 o 100, para eliminar partículas que no estén bien molidas y homogeneizar el esmalte. Es importante dejar reposar la suspensión de esmalte antes de su

aplicación, debido a que las espumas formadas en el mezclado pueden dar origen a defectos de ampollado.



Figura 1.5: Botón de material para esmalte antes y después de su cocción.

Fuente: Esmaltes cerámicos

Es importante verificar la capa de esmalte que se deposita sobre la pasta cerámica (soporte cerámico). Si la capa es insuficiente quedará absorbida por la arcilla, y si es excesiva podrá “chorrear” o abrirse. También es conveniente que la capa sea uniforme para evitar diferencias de coloración y conseguir superficies lisas.

Se recomienda los siguientes espesores de capa:

- Esmaltes transparentes: $\frac{1}{4}$ mm, $\frac{1}{2}$ mm.
- Esmaltes opacos: $\frac{1}{2}$ mm, 1 mm.
- Esmaltes de Cadmio-Selenio (Cd. Se): 1 mm, 2 mm.

Conviene comprobar la densidad del esmalte y la porosidad de la pasta cerámica antes de la aplicación y efectuar los ajustes necesarios. Si la pasta cerámica absorbe ávidamente el agua del esmalte no dejándolo correr, convendrá aumentar la proporción del agua o humedecer con una esponja la pasta cerámica. Si por el contrario no queda depositado esmalte por exceso de agua, dejar decantar y eliminar parte del agua o bien templar la pasta cerámica.

La pieza a esmaltar debe estar completamente limpia, sin grasa y carente de polvo. Muchas veces las “calvas” o zonas sin esmaltar que se aprecian

después de la cocción son producto de suciedad en la pieza o transmitida con los dedos al manipularla.

Una vez aplicado el esmalte (Figura 1.6), debe darse tiempo para que seque antes de someterlo a la cocción; caso contrario la humedad superficial al evaporarse bruscamente puede provocar que el esmalte se abra, separe, desconche o se formen burbujas.

La Frita es un Barniz parcial o completo, fundido en el horno hasta alcanzar la condición de vidrio, enfriado y luego molido. Luego se usa para esmaltar piezas o en la preparación de otros barnices. Con este procedimiento se elimina la toxicidad del plomo y la solubilidad de los fundentes alcalinos.



A).

B).

Figura 1.6: Aplicación de Esmalte A). Manual y B). Automático.

Fuente: Los Autores

El Fundente se agrega al esmalte además de la sílice y la alúmina, para lograr que el punto de fusión sea más bajo, esto es, reduce la temperatura de maduración de las dos primeras. Según las temperaturas que se deseen alcanzar, los compuestos que se agregan como fundentes varían: el plomo y los álcalis para las temperaturas más bajas, y el sodio y el potasio de los feldespatos para las altas temperaturas. En la Tabla 1.2 se muestran los principales elementos utilizados para la preparación y aplicación de esmaltes cerámicos con sus correspondientes parámetros técnicos.[6]

Tabla 1.2 Elementos utilizados para la preparación y aplicación de esmaltes cerámicos.

Nombre	Formula	Peso Molecular	Temperatura de Fusión	Función	Porcentaje Aproximado
Ácido Bórico	H_3BO_3	62	185°C	Fundente en baja temperatura	Hasta un 65%
Alúmina	Al_2O_3	102	2040°C	Oxido Refractario	
Bentonita	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	9	600°C	Arcilla plástica	1-4%
Tetraborato de Sodio (Borax)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	382	600°C	Fundente en baja temperatura	Hasta un 30%
Caolín	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258	1600°C	Arcilla plástica en alta temperatura	5-35%
Carbonato de Calcio	$CaCO_3$	100	825°C	Fundente en baja temperatura	4-12%
Minio	Pb_3O_3	685	1888°C	Fundente	30-65%
Oxido de Cobalto	CO_2O_3	166	1888°C	Pigmento	0,1-0,5%
Oxido de Manganeso	MnO_2	87	600°C	Pigmento	3% rosa + 3% café
Oxido de Magnesio	MgO	24,3	2800°C	Fundente (Elasticidad)	1-5 baja. 7-15% alta temperatura.
Oxido de Titanio (Rutilo)	TiO_2	80	1650°C	Opacificante y pigmento	4-2% baja temperatura.
Óxido de Zinc	ZnO	81,4	1800°C	Fundente	3-8%
Sílice o Cuarzo	SiO_2	60	1700°C	Formador de Silicatos	5-30%
Silicato de Magnesio (Talco)	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	379	600°C	Fundente	2-7% baja. 25% alta temperatura.
Dicromato de Potasio	$K_2Cr_2O_7$	294	600°C	Pigmentos de color amarillos y cremas	1-4%
Óxido Cúprico	CuO	79	600°C	Pigmento de color verde	0,5-2%
Óxido de Hierro	Fe_2O_3	160	600°C	Pigmento de color marrón café	4-10%

Fuente: Preparación de Esmaltes Cerámicos

1.1.9 DEFECTOS EN LAS PIEZAS TERMINADAS.

CUARTEO.

Se caracteriza por la aparición de finas rajaduras en la superficie vidriada al salir la pieza del horno. Este defecto se debe a que el coeficiente de dilatación del esmalte utilizado es excesivamente alto respecto al coeficiente del soporte cerámico, a la humedad y a cambios de temperatura que sufre la pieza.[7]

SALTADO DEL ESMALTE.

Es el defecto inverso del cuarteo y es producido cuando el coeficiente de dilatación del esmalte es muy bajo respecto al de la pasta cerámica. Este problema, generalmente, es causado por defecto de la pasta cerámica, por alto contenido de cuarzo o por estar muy finamente molido.

RECOGIDO DEL ESMALTE.

El esmalte se recoge dejando ver al soporte cerámico como si éste no hubiera sido “mojado” por el esmalte. El problema es debido, a veces, a que el tamaño de partícula de esmalte es muy pequeño respecto al de los granos sintetizados de la pasta cerámica previamente cocida.

PINCHADO.

Se detecta como pequeños poros en la superficie ya vitrificada. Es muy frecuente la aparición del pinchado por causas de contaminación de pequeñas partículas de suciedad que no se aprecian a simple vista.

REVENTADO DEL ESMALTE.

Ocurre cuando el esmalte ya vitrificado salta como si reventara en pequeñas áreas o zonas, dejando ver el soporte cerámico. Este problema no aparece hasta cierto tiempo después de que la pieza está terminada. El defecto se debe siempre a que el soporte cerámico contiene granos gruesos de cal (caliche).

SUPERFICIE PIEL DE NARANJA.

La superficie vitrificada no está lisa, presenta un efecto como de pequeños granos u olas, similar al efecto que le da nombre.

Este problema la mayoría de las veces aparece cuando el esmalte es aplicado por pistola. El volumen del aire de atomización por unidad de volumen de esmalte es el factor predominante, también puede influir el ángulo de incidencia, que debe ser de 60° o más.

ESCURRIDO DEL ESMALTE.

El esmalte escurre excesivamente, presentando la pieza mucho esmalte en su base; la pieza llega a pegarse a su base de sustentación, los colores se desvirtúan y corren.

Este problema ocurre cuando hay una excesiva aplicación de esmalte el cual presenta alta fluidez y a una excesiva temperatura de vitrificación.

A más de los mencionados defectos en las piezas terminadas, se puede identificar fácilmente cuando la pieza quedo cruda o fue sobrecocida. Las piezas crudas se caracterizan por:

- a) Presentar pequeños cráteres en la superficie del vidriado como consecuencia de un hervido incompleto.

- b) Pinchado, indicando de falta de maduración del esmalte.
- c) Falta de brillo.
- d) Falta de estirado.
- e) Mal desarrollo de los colores de los esmaltes si estos son coloreados
- f) Cuarteo.

Las piezas sobrecocidas se caracterizan por:

- a) Pobre desarrollo de colores o colores atacados por el esmalte muy fluido.
- b) Esmalte corrido por exceso de fluidez.
- c) Piezas deformadas por exceso de temperatura.
- d) Superficie del esmalte con pequeñas burbujas, ampollas, falta de brillo, piel de naranja.

1.1.10 GRADO DE TOXICIDAD.

Al trabajar con cerámica se encuentra ineludiblemente con algunos productos que son nocivos o tóxicos, pero ello no quiere decir que no se puedan utilizar. Conviene conocer cuáles son y tomar las medidas oportunas en su manipulación:

- a) Toxicidad frente a terceros por la utilización de productos elaborados con esmaltes que tengan desprendimiento de partículas tóxicas, como por ejemplo vajillería o artículos de uso doméstico que tengan que contener alimentos o líquidos.

Todos los esmaltes comerciales que se indican, y siempre que estén cocidos a la temperatura correcta, son aptos para ser utilizados en artículos que deban contener alimentos y están dentro de las normas de baja solubilidad y desprendimiento de materias nocivas a excepción de los fundentes y fritas de plomo que como tal no se deben emplear dada su baja fusibilidad sino que se utilizan como agregados para

componer esmaltes que vitrifiquen a temperaturas superiores a los 950° C

Otra excepción lo constituyen los esmaltes rojos y amarillos de Cadmio-Selenio, que en ningún caso se deben utilizar para esmaltar artículos con fines culinarios, salvo que se utilicen esmaltes de cadmio garantizados para estos fines.

Se recomienda evitar las materias que contengan plomo (minio, litargirio, galena = sulfuro de plomo, carbonato de plomo = albayalde = cerusa = blanco de plomo) como fundentes para la elaboración de los esmaltes con fines utilitarios, y en su lugar utilizar compuestos o fritas alcalinas.

b) Toxicidad de los elementos y materias empleadas para la elaboración del esmalte.

Hay que tener en cuenta que en las manipulaciones de pesado, mezclado, batido y aplicación del esmalte, se genera polvo que o bien se adhiere a la piel y a la ropa, o se volatiliza, se mantiene en suspensión y se deposita en los elementos propios del taller, volviéndose a remover con la dinámica lógica. Estas partículas son susceptibles de ser inhaladas, por lo que conviene extremar las precauciones de limpieza y manipulación.

Los compuestos más utilizados en cerámica y que presentan riesgo de nocividad o toxicidad son los siguientes:

Acetatos, Albayalde, arsénico trióxido, barita, bicromato potásico, bióxido manganeso, bióxido titanio, carbono de bario, carbono de cobre, carbono de potasa, carbono de plomo, carbono sódico, cromato de hierro, cromato de plomo, cromita, espato de flúor, galena, litargirio, minio, nitrato de bismuto, nitrato de cobre, nitrato de plata, oxido de antimonio, oxido de cromo, oxido de níquel, oxido de vanadio, sulfuro

de plomo, y las fritas de plomo, lustres y compuestos de oro y platino líquidos.

1.1.11 RECOMENDACIONES DE LIMPIEZA Y MANIPULACIÓN.

Se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones de limpieza y manipulación con los esmaltes cerámicos:

- a)** Al operar con materias primas tóxicas y con esmaltes de plomo o Cadmio-Selenio, se recomienda: no comer ni fumar, protegerse con máscara, utilizar guantes si se manipula el nitrato de plata o el cinabrio (sulfuro de mercurio) u otras sales ya que son corrosivas, evitar crear polvo y limpiar escrupulosamente las manos, ropa, recipientes, mesas y suelos (estos últimos mejor con serrín mojado) después del trabajo.
- b)** Si se trabaja con niños es preferible que ellos no manipulen estos productos y se manejen en un ambiente con un máximo de limpieza.
- c)** En casos de embarazo extremar las precauciones.
- d)** En las escuelas de cerámica conviene proporcionar a los alumnos la información precisa al respecto e incentivar el orden y la limpieza.
- e)** Cualquier producto cerámico (salvo el nitrato de plata y otras sales que como se ha comentado son corrosivas y manchan la piel; y los acetatos, que se absorben por piel) pueden manipularse con las manos siempre y cuando se efectúe después una limpieza adecuada, no obstante, como medida preventiva, no está de más la utilización de guantes.
- f)** Evitar toda ingestión de cualquier producto cerámico o la exposición prolongada en un ambiente de polvo.

- g) Si se esmalta mediante pistola y compresor debe de realizarse con cabina de esmaltado con salida al exterior, filtros adecuados o mejor con cortina de agua, protegidos con máscara y en un ambiente lo suficientemente amplio que permita delimitar las zonas, o mejor en una habitación dedicada sólo a ello.

1.2 NEUMÁTICA.

Técnica que utiliza el aire comprimido como vehículo para transmitir energía. En un sistema neumático como en la figura 1.7 se encuentra tres etapas; en las cuales se genera, se transmite y se controla alguna aplicación a través del aire comprimido.[8]

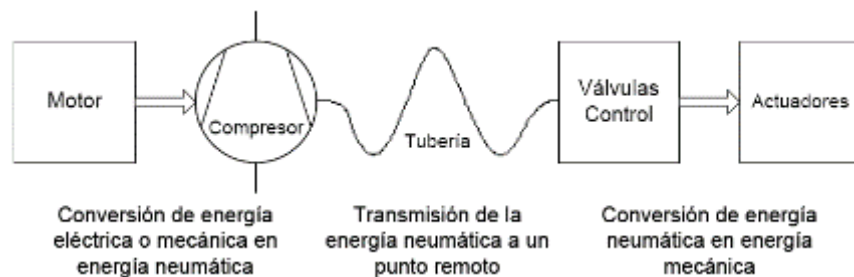


Figura 1.7: Sistema neumático.

Fuente: Introducción a la neumática

En la figura 1.8 se observa un sistema neumático básico con los elementos necesarios para su funcionamiento, formando así la etapa de producción y la etapa de utilización.

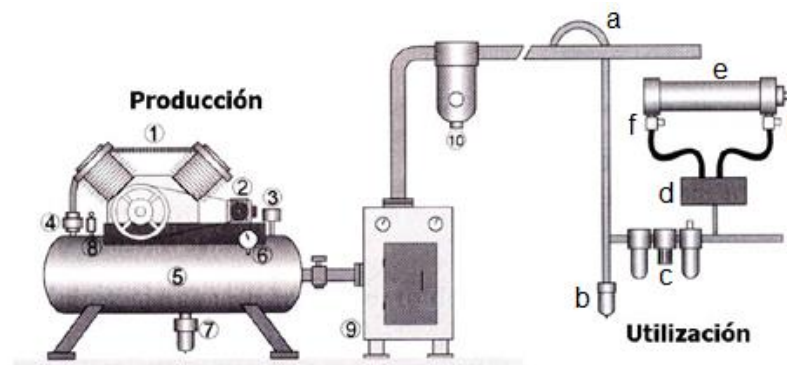


Figura 1.8: Etapas en un sistema neumático básico.

Fuente: Introducción a la neumática

ETAPA DE PRODUCCIÓN

1. Compresor
2. Motor Eléctrico
3. Presostato
4. Válvula antiretorno
5. Deposito
6. Manómetro
7. Purga Automática
8. Válvula de seguridad
9. Secador de aire refrigerado
10. Filtro de línea

ETAPA DE UTILIZACIÓN

- a) Purga de aire
- b) Purga automática
- c) Unidad de acondicionamiento del aire
- d) Válvula direccional
- e) Actuador
- f) Controladores de velocidad

1.2.1 COMPRESORES.

Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores.[9]

Existen de varios tipos, pero los más utilizados en la industria se muestran en el siguiente cuadro de clasificación (Figura 1.9):

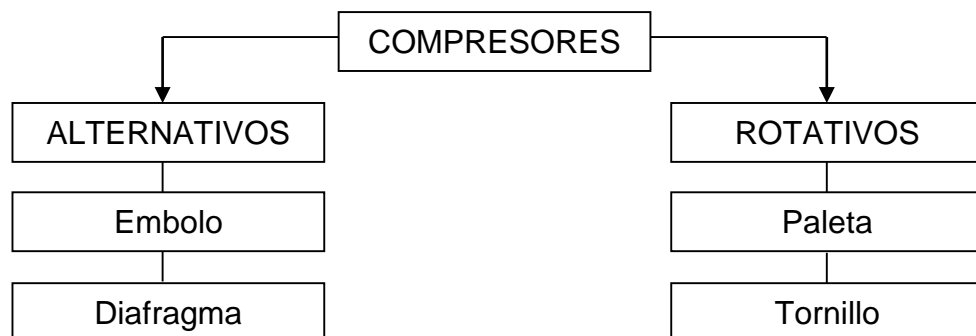


Figura 1.9: Clasificación General de los Compresores.

Fuente: Los Autores

1.2.1.1 CLASIFICACIÓN

ALTERNATIVOS.

La compresión se realiza al aspirar aire de un recinto hermético y reducir su volumen hasta alcanzar la presión deseada.

ÉMBOLO.

El compresor de émbolo (Figura 1.10) es el más habitual en las industrias ya que es barato y robusto. Por otro lado necesita lubricación para su funcionamiento y produce elevado calentamiento del aire. Entregan caudales superiores a 500 m³/min a presiones en la gama de 3 a 7 bares.

Su principio de funcionamiento es sencillo. El eje desplaza a un embolo con movimientos alternativos. En la fase de aspiración, el aire llena la cavidad del pistón. En la fase de compresión, al desplazarse el embolo hacia arriba, reduce el volumen del gas y lo impulsa hacia la línea de distribución.

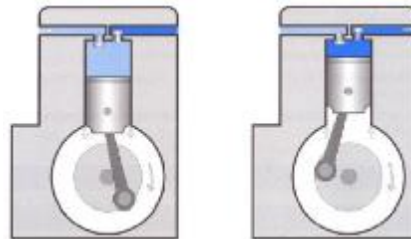


Figura 1.10: Compresor de émbolo.

Fuente: www.industrialautomatica.com

DIAFRAGMA.

Su funcionamiento es similar al de émbolo. Una membrana se interpone entre el aire y el pistón, de forma que se aumenta su superficie útil y evita que el aceite de lubricación entre en contacto con el aire estos compresores

proporcionan aire limpio a 30 m³/h con presiones menores a 7 bares. La Figura 1.11 muestra el funcionamiento de un compresor de diafragma.



Figura 1.11: Compresor de diafragma.

Fuente: www.industrialautomatica.com

ROTATIVOS.

Basan su principio de funcionamiento en las leyes de la dinámica de fluidos. Transforman la energía cinética de un fluido en energía de presión.

PALETA.

El compresor de paleta (Figura 1.12) está constituido por un rotor excéntrico que gira dentro de un carter cilíndrico. Este rotor está provisto de aletas que se adaptan a las paredes del carter, comprimiendo el aire que se introduce en la celda de aspiración. Trabajan con caudales inferiores a 150 m³/h y presiones máximas de 7 bares.

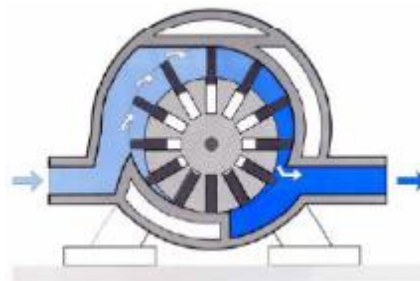


Figura 1.12: Compresor de paleta.

Fuente: www.industrialautomatica.com

TORNILLO.

Estos compresores funcionan mediante dos rotores helicoidales paralelos, que giran en un cárter en sentidos contrarios e impulsan el aire de forma continua tal como se muestra en la Figura 1.13. Trabaja con caudales mayores a 400 m³/min y presiones superiores a 10 bares.

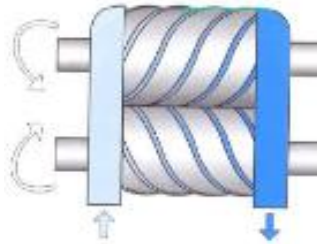


Figura 1.13: Compresor de tornillo.

Fuente: www.industrialautomatica.com

1.2.2 ACTUADORES.

Son aquellos que realizan un movimiento para algún tipo de proceso, después de ser accionados mediante el aire comprimido, la figura 1.14 muestra un ejemplo de actuador lineal de doble efecto neumático habitualmente utilizado en la industria.



Figura 1.14: Actuador o cilindro neumático.

Fuente: Actuadores Lineales

1.2.2.1 CLASIFICACIÓN.

CILINDROS DE SIMPLE EFECTO.

Estos cilindros tienen una sola conexión de aire comprimido. No pueden realizar trabajos más que en un sentido, se necesita aire sólo para un movimiento de traslación. El vástago retorna por el efecto de un muelle incorporado o de una fuerza externa que hace regresar el émbolo a su posición inicial cuando se quita la alimentación de aire. En la Figura 1.15 se representa el corte transversal de un cilindro de simple efecto y su estructura interna.

En los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no sobrepasan una carrera de unos 100 mm; se utilizan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar, alimentar, etc.



Figura 1.15: Cilindro de simple efecto.

Fuente: Actuadores Lineales

CILINDROS DE DOBLE EFECTO.

La fuerza ejercida por el aire comprimido anima al émbolo, en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en el movimiento de ida como en el movimiento de retorno.

Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición

inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido.

En la Figura 1.16 se representa el corte transversal de un cilindro de doble efecto y su estructura interna.



Figura 1.16: Cilindro de doble efecto.

Fuente: Actuadores Lineales

1.2.3 VÁLVULAS.

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una fuente de aire comprimido o que esté almacenado en un depósito hacia los actuadores. La figura 1.17 muestra ejemplos de válvulas utilizadas en instalaciones neumáticas.[10]



Figura 1.17: Válvulas neumáticas.

Fuente: www.sapiensman.com

Las válvulas se clasifican según la cantidad de puertos (entradas o salidas de aire) y la cantidad de posiciones de control que posee. Por ejemplo una válvula 3/2 tiene 3 orificios o puertos y permite 2 posiciones diferentes.

Válvula 3/2

- 3: número de puertos.
- 2: número de posiciones.

1.2.3.1 CLASIFICACIÓN.

VÁLVULA 2/2.

La Válvula 2/2 (Figura 1.18) tiene 2 puertos de conexión de aire y dos posiciones con función de conexión ON/OFF sin escape. Se aplica en motores de aire y sopladores neumáticos.

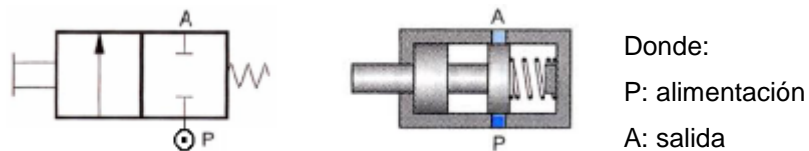


Figura 1.18: Válvula 2/2

Fuente: Electrodistribuidores

VÁLVULA 3/2 NC.

Es una válvula normalmente cerrada (Figura 1.19), se aplica en cilindros de simple efecto y señales neumáticas.

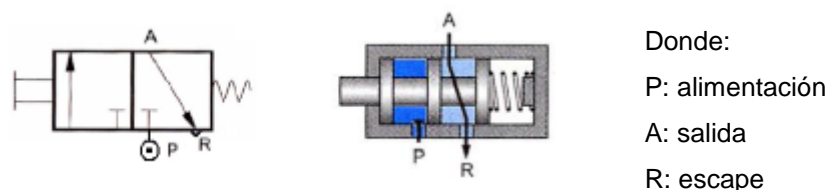
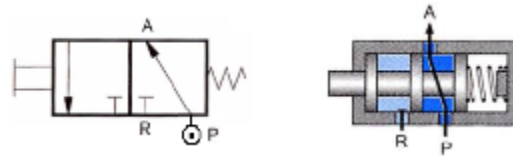


Figura 1.19: Válvula 3/2 NC.

Fuente: Electrodistribuidores

VÁLVULA 3/2 NO.

Es una válvula normalmente abierta (Figura 1.20), se aplica en cilindros de simple efecto y señales neumáticas inversas.



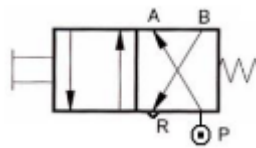
Donde:
P: alimentación
A: salida
R: escape

Figura 1.20: Válvula 3/2 NO.

Fuente: Electrodistribuidores

VÁLVULA 4/2.

Válvula normalmente abierta (Figura 1.21) con conexión entre utilidades A y B con escape común. Se aplica en cilindros de doble efecto.



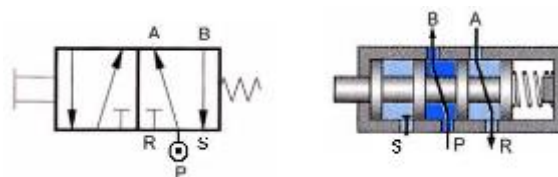
Donde:
P: alimentación
A: salida
B: salida
R: escape

Figura 1.21: Válvula 4/2 NO.

Fuente: Electrodistribuidores

VÁLVULA 5/2.

La válvula 5/2 (Figura 1.22) tiene conexión entre utilidades A y B con escapes separados. Se aplica en cilindros de doble efecto.



Donde:
P: alimentación
A: salida
B: salida
R: escape
S: escape

Figura 1.22: Válvula 5/2.

Fuente: Electrodistribuidores

Las electroválvulas tienen diferentes tipos de accionamiento o mando, dependiendo de la necesidad y aplicación del proceso, entre ellos tenemos: eléctricos, manuales.

1.2.4 ELECTROVÁLVULAS.

1.2.4.1 DEFINICIÓN.

Las electroválvulas son elementos que traducen señales eléctricas a cambios en la distribución de aire comprimido, estas funcionan en sistemas de control como dispositivos para traducir señales eléctricas a neumáticas, la Figura 1.23 muestra una electroválvula que se utiliza convencionalmente en sistemas de aire comprimido.

Estas válvulas se utilizan cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, un presostato o mandos electrónicos.



Figura 1.23: Electroválvula.

Fuente: Electrodistribuidores

En general, se elige el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión. La parte eléctrica de estos mandos trabajan normalmente con tensiones continuas de 12 VCC o 24 VCC y tensiones alternas de 120 VAC o 220 VAC. Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas se dividen en válvulas de mando directo o indirecto. Las de mando directo se utilizan solamente para un diámetro pequeño, puesto que para diámetros mayores los electroimanes

necesarios resultarían demasiado grandes. Las de mando indirecto utilizan una válvula electromagnética para servopilotaje de diámetro nominal pequeño y una válvula principal de mando neumático.

1.2.4.2 FUNCIONAMIENTO.

Al conectar la bobina de la electroválvula se genera la acción de un imán; el núcleo es atraído venciendo la resistencia de un muelle, entonces el núcleo obtura el escape R y une la alimentación P con la salida A.

Al desconectar el electroimán, el muelle mueve al núcleo hasta su posición inicial y cierra el paso del aire de P hacia A, entonces puede escapar el aire hacia R.

A continuación en la Figura 1.24 se muestra un esquema del funcionamiento ya mencionado anteriormente de una electroválvula.

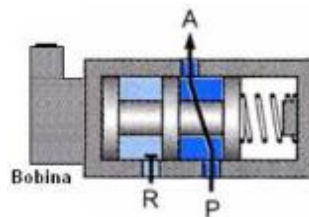


Figura 1.24: Funcionamiento de una electroválvula.

Fuente: Electrodistribuidores

Las electroválvulas tienen dos estados: inactivo y activo:

- Inactivo: posición inicial
- Activo: posición después de accionar la bobina.

1.3 PISTOLAS AEROGRÁFICAS.

1.3.1 INTRODUCCIÓN

Se puede decir que la pistola aerográfica es la principal herramienta utilizada en el proceso de pintado y a su vez es una herramienta muy delicada por lo cual se debe utilizar correctamente y conservarla de manera que siempre que se vaya a utilizar esté en perfecto estado ya que de ello dependerá la calidad del trabajo.[11]

1.3.2 FUNCIONAMIENTO.

La pistola aerográfica es una herramienta que utiliza el aire comprimido para atomizar pintura u otros materiales pulverizables y aplicarlos sobre una superficie.

El aire y el material a pulverizar entran en la pistola por conductos independientes, mezclándose en el exterior de la boquilla de aire de forma controlada. La figura 1.25 muestra el corte transversal de una pistola aerográfica con sus componentes internos.



Figura 1.25: Pistola aerográfica.

Fuente: www.elchapista.com

El funcionamiento correcto de una pistola aerográfica se resume a continuación:

1. Accionando el gatillo hacia atrás, se apoya primero contra el vástago de la válvula de aire, permitiendo el paso del aire a través de la misma hacia la boquilla.
2. A continuación, el gatillo desplaza la aguja hacia atrás y permite el paso del fluido hacia el exterior y a través del pico, produciéndose la mezcla de aire y producto. De esta forma se crea la pulverización y el abanico deseado.
3. Dejando libre el gatillo, la aguja se desplaza hacia delante y se cierra sobre el pico, cortando el suministro de producto. Acto seguido se produce el cierre de la válvula, terminando la salida, y por tanto la aplicación.

1.3.3 CLASIFICACIÓN.

PISTOLA DE SUCCIÓN: Es la pistola más utilizada junto con la pistola de gravedad. Está dotada de un recipiente o depósito que se encuentra en la parte inferior relleno del producto que se va a pulverizar, tal como se muestra en la figura 1.26. Normalmente se utiliza para aplicar pinturas de acabado, barnices, mono-capas, bi-capas al agua.

Funciona a una mayor presión de aire que la pistola de gravedad debido a que tiene que succionar el fluido a utilizar.

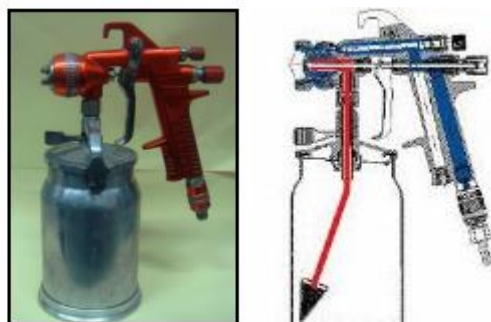


Figura 1.26: Pistola de succión.

Fuente: www.elchapista.com

VENTAJAS:

- Mayor capacidad de depósito.
- Permite guardar mejor la perpendicularidad en el pintado de superficies planas horizontales (capós, techos) y en el pintado de interiores.

PISTOLA DE GRAVEDAD: Es igual a la pistola de succión solo que está tiene el depósito en la parte superior. De esta forma la presión de aire que necesita es menor ya que no tiene que succionar el fluido porque este cae por su propio peso. Se utiliza principalmente para la aplicación de pintura. La Figura 1.27 muestra un ejemplo de una pistola de gravedad.



Figura 1.27: Pistola de gravedad.

Fuente: www.elchapista.com

VENTAJAS:

- Menor peso.
- Aprovechamiento máximo de la pintura.
- Permite y facilita el trabajo con pinturas de viscosidad y tixotropía media-alta como las pinturas al agua y aparejos.
- Mayor facilidad de limpieza.

PISTOLA DE PRESIÓN: En la pistola de presión (Figura 1.28) al igual que, en las pistolas automáticas la pintura llega desde un depósito independiente. La pintura llega a la pistola a la presión necesaria desde el

depósito. Se suele utilizar para pintar grandes superficies o para pintar gran cantidad de coches, furgonetas, autobuses etc.



Figura 1.28: Pistola de presión.

Fuente: www.elchapista.com

VENTAJAS:

- Ideal para trabajos que requieran una media de más de 3 litros de pintura por aplicación.
- Abastecidas por calderones o bombas.
- Aplicación de todo tipo de pinturas en carrocería industrial.

PISTOLA AUTOMÁTICA: Este tipo de pistola se utiliza para pintar grandes superficies durante mucho tiempo de forma interrumpida, utilizada principalmente en fábricas. En la pistola automática (Figura 1.29) el producto o la pintura a utilizar esta almacenada en un depósito independiente a la pistola de gran capacidad y el proceso de pulverizado se realiza por presión a la que está sometida la pintura en todo el circuito.

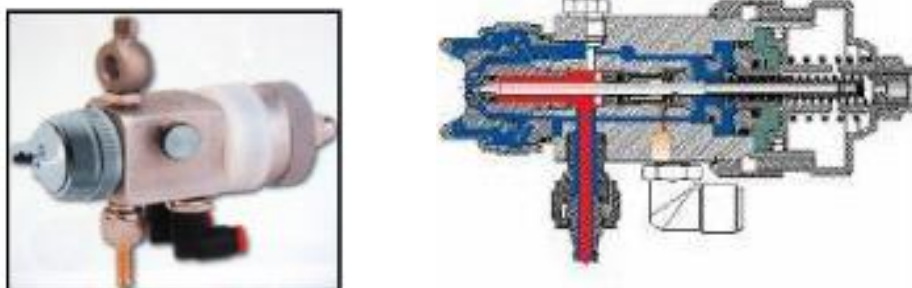


Figura 1.29: Pistola automática.

Fuente: www.sagola.com

VENTAJAS:

- Para líneas de pintado en continuo.
- Aplicación de todo tipo de pinturas.

1.3.4 PARTES QUE LAS CONSTITUYEN.

En la Figura 1.30 se especifica las partes de una pistola de gravedad y su respectiva forma física.



Figura 1.30: Partes de una pistola de gravedad.

Fuente: www.sagola.com

En la Figura 1.31 se muestra el despiece de una pistola automática con las partes que la conforman.

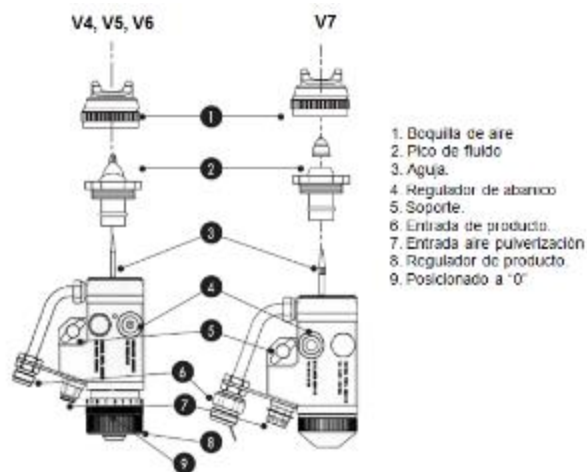


Figura 1.31: Partes de una pistola automática.

Fuente: www.sagola.com

1.3.5 PARÁMETROS DE INSTALACIÓN.

- Conecte la Manguera del producto (1) a calderín o bomba de baja presión.
- Conecte la manguera de aire (2) a un regulador purificador.
- Conecte la manguera de aire (3) a una válvula de 3 vías (pilotaje).
- Este procedimiento hacerlo tal como se muestra en la Figura 1.32.

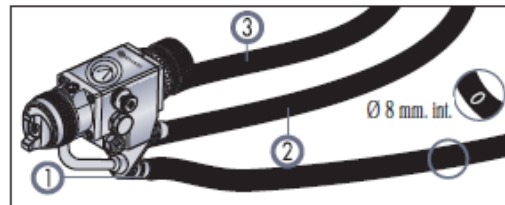


Figura 1.32: Conexión de mangueras de una pistola automática.

Fuente: www.sagola.com

- Con pilotaje activado, accionar el regulador del calderín o bomba, hasta conseguir el flujo del producto deseado.
- Al accionar la válvula de pilotaje la pistola comenzará a proyectar el producto (Figura 1.33).

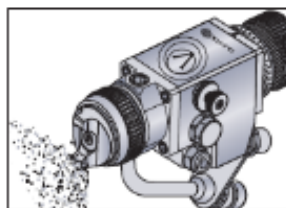


Figura 1.33: Accionado de la válvula de pilotaje.

Fuente: www.sagola.com

- Utilizar el regulador de aire extremo (Figura 1.34) para obtener la atomización adecuada.

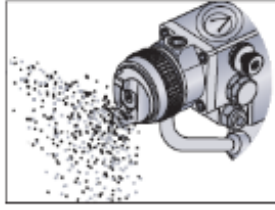


Figura 1.34: Regulador de aire extremo.

Fuente: www.sagola.com

- Utilizar el regulador de abanico (1) para obtener la amplitud del abanico deseado (Figura 1.35).

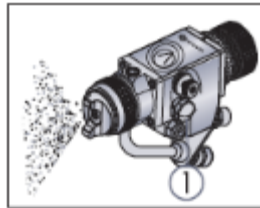


Figura 1.35: Regulador de abanico.

Fuente: www.sagola.com

1.3.6 PARÁMETROS DE UTILIZACIÓN.

- Mezclar el producto según las características del fabricante (Figura 1.36).

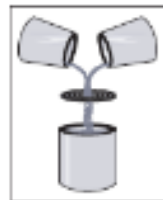


Figura 1.36: Mezcla de producto.

Fuente: www.sagola.com

- Controlar la viscosidad del producto (Figura 1.37).

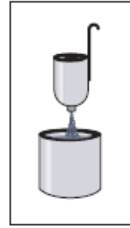


Figura 1.37: Control de viscosidad.

Fuente: www.sagola.com

- No utilizar productos abrasivos o corrosivos ya que acorta la vida de la pistola (Figura 1.38).

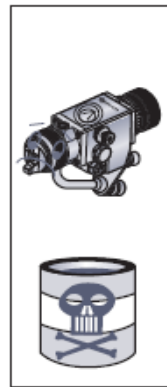


Figura 1.38: No productos abrasivos.

Fuente: www.sagola.com

- Antes de la puesta de servicio, pulverizar disolvente de limpieza para eliminar grasas de montaje (Figura 1.39).

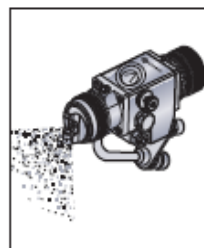


Figura 1.39: Pulverizado de disolvente para limpieza.

Fuente: www.sagola.com

1.3.7 MANTENIMIENTO

- Utilizar disolvente de limpieza. No utilizar nunca hidrocarburos halogenados, pueden producirse explosiones.
- Engrasar las roscas y zonas de rozamiento que se muestran en la Figura 1.40 utilizando vaselina neutra o grasa natural (sin siliconas).

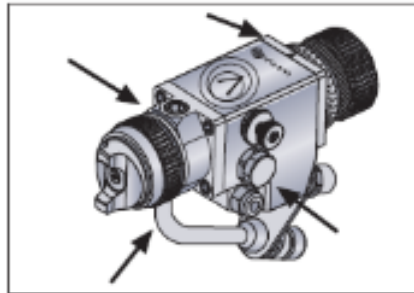


Figura 1.40: Engrase de roscas y zonas de rozamiento.

Fuente: www.sagola.com

- No utilizar objetos duros o punzantes para eliminar la boquilla de aire (Figura 1.41).



Figura 1.41: No usar objetos punzantes.

Fuente: www.sagola.com

1.4 CABINAS DE PINTURA CON CORTINA DE AGUA.

1.4.1 DEFINICIÓN.

La cabina de pintura (Figura 1.42) es un cerramiento de tipo metálico fabricada con chapa de acero galvanizado o acero inoxidable, esta cuenta con un sistema de aspiración que genera una corriente de aire en el interior.

La cortina de agua instalada en la parte interna es para aprovechar al máximo el material pulverizado al momento de pintar. El diseño dependerá del tipo de elemento a pintar y el material que se ocupará para recubrir dicho elemento.



Figura 1.42: Cabina de pintura.

Fuente: www.elchapista.com

1.5 VENTILADORES.

1.5.1 INTRODUCCIÓN.

Los ventiladores, sopladores y compresores se utilizan para incrementar la presión y provocar un flujo de aire u otros gases. La diferencia entre ellos son su construcción física y las presiones para las que están diseñados.

Un ventilador está diseñado para que opere a presiones estáticas pequeñas, de hasta 2 psi (13.8 KPa). Las presiones comunes de operación de los ventiladores van de 0 a 6 pulg H₂O (0.0 a 0.217 psi, o 0.0 a 1500 Pa). Para presiones que van de 2 psi hasta 10 psi (69KPa), aproximadamente, al

impulsor de gas se le denomina soplador. Para desarrollarse presiones más elevadas, incluso de varios miles de psi, se emplean los compresores.

Los ventiladores son utilizados para hacer circular el aire dentro de un espacio, para introducirlo o evacuarlo, o para moverlo a través de ductos de sistemas de ventilación, calefacción o aire acondicionado.

1.5.2 FLUJOS VOLUMÉTRICOS

Cuando se trabaja en el Sistema Inglés, lo más frecuente es que el flujo volumétrico de aire u otros gases se exprese en ft^3/min , abreviado pcm (pies cúbicos por minuto).

Es común que se reporte las velocidades en ft/min , estas unidades son común encontrar en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.

1.5.3 CLASIFICACIÓN.

Los ventiladores se clasifican en dos grandes grupos:

VENTILADORES AXIALES.

Son aquellos en los cuales el flujo de aire sigue la dirección del eje del mismo. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria con esa forma. En líneas generales son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones. Con velocidades periféricas medianamente altas son en general ruidosas. La Figura 1.43 muestra un ventilador de uso industrial tipo axial.



Figura 1.43: Ventilador Axial.

Fuente: Internet-Ventiladores

VENTILADORES CENTRÍFUGOS.

Son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90° , entre la entrada y salida. Se suelen sub-clasificar, según la forma de las palas o álabes del rotor. La Figura 1.44 muestra un ventilador de uso industrial centrífugo.



Figura 1.44: Ventilador centrífugo.

Fuente: Internet-Ventiladores

1.6 SÍNTESIS DE MECANISMOS.

1.6.1 DEFINICIÓN.

Es una rama del diseño de máquinas, trata del diseño de mecanismos dada las condiciones cinemáticas y dinámicas.

Síntesis Cinemática:

Es el proceso para encontrar la mejor geometría y dimensiones del mecanismo que producirá el movimiento deseado[12], en la Tabla 1.3 se detalla los datos y resultados de las síntesis cinemáticas.

Tabla 1.3 Síntesis Cinemáticas

Análisis cinemática	Síntesis cinemática
<p>Datos: Geometría y dimensiones del mecanismo y posición de los elementos de entrada.</p> <p>Resultado: Posición inicial, desplazamientos finitos, velocidades y aceleraciones.</p>	<p>Datos: Posición inicial, desplazamientos finitos, velocidades y aceleraciones.</p> <p>Resultados: Geometría y dimensiones del mecanismo y posición de los elementos de entrada.</p>

Fuente: Los Autores

1.6.2 CLASIFICACIÓN.

En la figura 1.45 se describe la clasificación de síntesis de mecanismos utilizada para el análisis y diseño de elementos de máquinas.

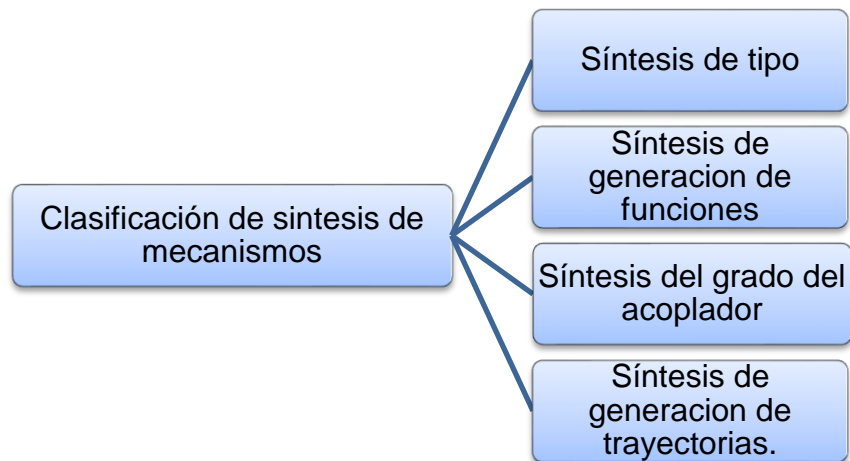


Figura 1.45: Clasificación de Síntesis de Mecanismos.

Fuente: Libro Mecanismos Ham Crane

Síntesis de tipo.- Se refiere a la alternativa de diseño a utilizar; por ejemplo para diseñar una trayectoria recta podemos utilizar un pistón neumático o hidráulico, un eslabonamiento biela manivela, todo dependerá de las condiciones intrínsecas del diseño.

Síntesis de generación de funciones.- Se denomina así a la parte de la síntesis de mecanismos que estudia las dimensiones de un mecanismo que genere una coordinación deseada de las posiciones de las barras de entrada y salida en un número específico de posiciones tal como se muestra la Figura 1.46.

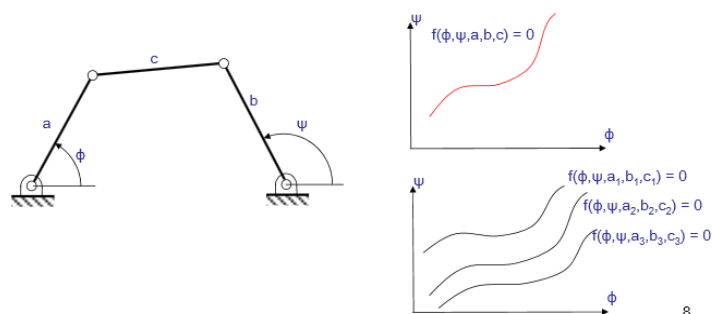


Figura 1.46: Parámetros de generación de funciones

Fuente: Síntesis de mecanismos

Síntesis del grado del acoplador.- Trata de situar el acoplador de un mecanismo en un número específico de posiciones. Funcionamiento basado en la Figura 1.47.

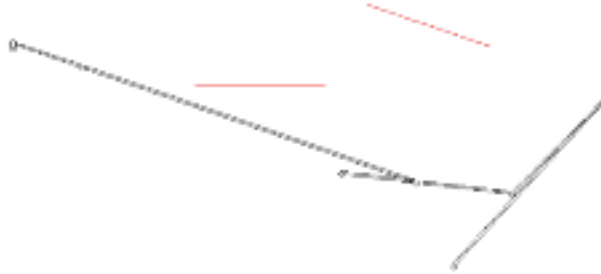


Figura 1.47: Síntesis del grado del acoplador.

Fuente: Software Working Model

Síntesis de generación de trayectorias.- Estudia las trayectorias descritas por puntos pertenecientes al acoplador de un mecanismo, este tipo de síntesis de mecanismos se observa en la Figura 1.48.

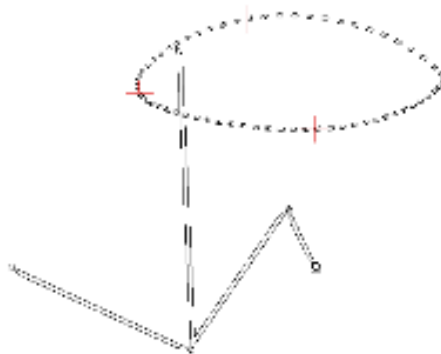


Figura 1.48: Síntesis de generación de trayectorias.

Fuente: Software Working Model

1.7 ESFUERZOS MECÁNICOS.

1) Conceptos de esfuerzos

- Diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Los diagramas de fuerza cortante y momento flector de una viga (Figura 1.49) son aquellos en los cuales se puede determinar la fuerza cortante interna (V), y el momento flector interno (M) en las diferentes secciones de la viga.

Entonces, de estos diagramas se determinan las secciones de mayores momentos flectores y mayores fuerzas cortantes que serán de gran ayuda para el diseño.

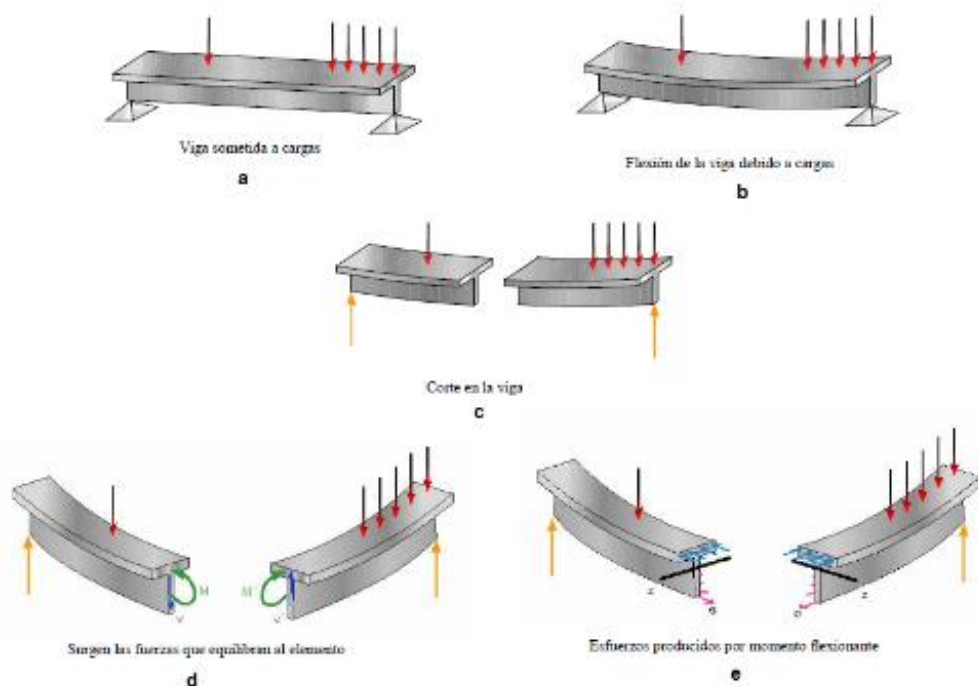


Figura 1.49: Tipos de esfuerzos producidos en una viga.

Fuente: Libro Resistencia de Materiales Mott R. L.

- Definición de esfuerzo cortante.

Debe existir fuerzas internas en el plano de la sección y que su resultante debe ser igual a P . estas fuerzas internas elementales se llaman fuerzas cortantes y la magnitud P de su resultante es el cortante en la sección.

Dividiendo la fuerza cortante P por el área A de la sección se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. Los esfuerzos cortantes se presentan normalmente en pernos, pasadores y remaches utilizados para conectar varios miembros estructurales y componentes de máquinas.

- **Definición de momento flexionante.**

Un diagrama de fuerzas cortantes o un diagrama de momentos flexionantes es una gráfica que muestra la magnitud de la fuerza cortante o momento flexionante a lo largo de la viga.

- **Parámetros para que un material no falle.**

Los parámetros a cumplir para que un material no falle son:

- Tener Resistencia.
- Rigidez.
- Estabilidad.

- **Esfuerzo.**

Es la Resistencia interna que ofrece un área unitaria del material del que está hecho un miembro para una carga aplicada externa.

$$\text{Esfuerzo} = \left(\frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} \right) = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 1.1}$$

- Mecánica del cuerpo Deformado.

$$\delta = \left(\frac{FL}{AE} \right) \quad \text{Ec. 1.2}$$

Se considera que el material del cual está formado un cuerpo es elástico, es ISOTRÓPICO, es decir tiene las mismas propiedades en cualquier dirección o zona de un punto y siempre se diseña en la zona elástica.

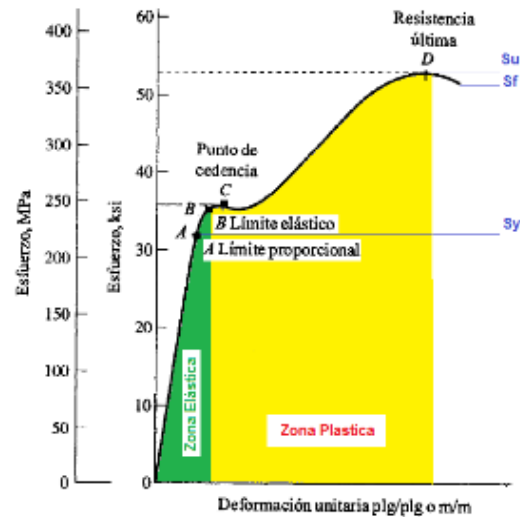


Figura 1.50: Curva característica de esfuerzo – deformaciones del acero.

Fuente: Libro Resistencia de Materiales Mott R. L.

- **Zona elástica:** En una curva de esfuerzo-deformación (Figura 1.50), en el que el material se deforma elásticamente; es decir, que el material recupera su forma y tamaño original luego de retirar la carga.
- **Zona plástica:** En una curva de esfuerzo – deformación (Figura 1.50), en que el material se deforma plásticamente; es decir, que el material no recupera ni su forma ni el tamaño original quedando deformado.
- **Tipos de esfuerzos:** Se clasifican en:
 - Esfuerzo normal directo o axial.
 - Esfuerzo cortante directo.
 - Esfuerzo cortante simple
 - Esfuerzo cortante doble.
 - Esfuerzo cortante en vigas.
 - Esfuerzos flexionantes.
 - Esfuerzos torsionales.

Esfuerzo normal directo o axial: Son aquellas donde el esfuerzo actúa perpendicularmente o normal a la sección transversal del miembro de carga, tal como se observa en la Figura 1.51.

Estos pueden ser de compresión o tensión y se los denota con la letra sigma (σ).

$$\sigma = \left(\frac{\text{Fuerza Aplicada}}{\text{Área de sección transversal}} \right) = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 1.3}$$

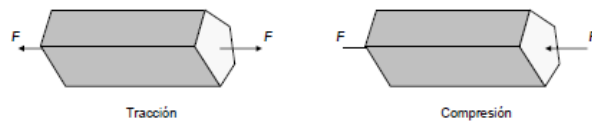


Figura 1.51: Elementos sometidos a carga axial.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

Esfuerzo cortante directo: Se produce un esfuerzo cortante cuando la fuerza que se aplica sobre el elemento (área) produce corte, El símbolo utilizado para esfuerzo cortante es la letra griega tau (τ)

$$\text{Esfuerzo cortante directo} = \tau = \left(\frac{\text{Fuerza Aplicada}}{\text{Área sometida a corte}} \right) = \frac{F}{A_s} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

A_s = Área total del corte

p = perímetro

t = espesor.

$$A_s = p * t \quad \text{Ec. 1.5}$$

El esfuerzo cortante se clasifica en simple y en doble.

Esfuerzo cortante simple: Se lo conoce así porque una sola sección transversal del pasador resiste a la fuerza cortante aplicada (Figura 1.52).

$$\tau = \frac{F}{A_s} \quad \text{Ec. 1.6}$$

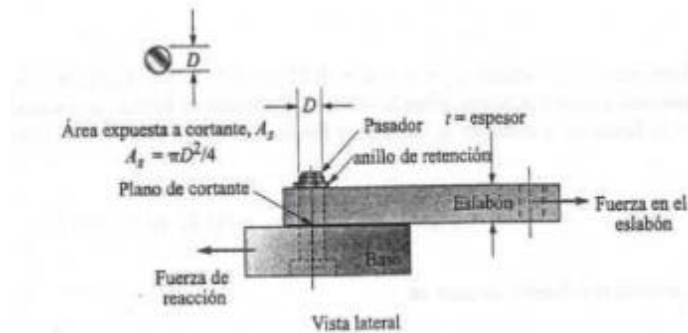


Figura 1.52: Conexión de pasador que ilustra el cortante simple.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

Esfuerzo cortante doble: Cuando una conexión por pasador atraviesa dos secciones transversales y estas resisten la fuerza aplicada (Figura 1.53).

$$\tau = \frac{F}{2 * A_s} \quad \text{Ec. 1.7}$$

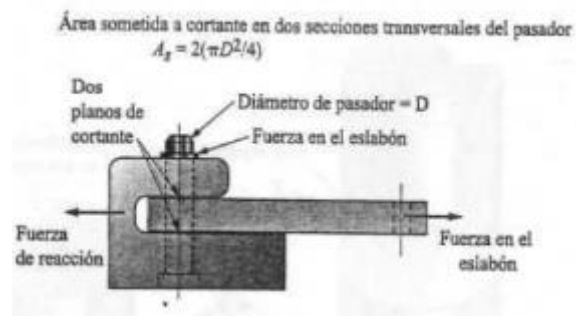


Figura 1.53: Conexión del pasador que ilustra el cortante doble.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

Esfuerzos cortantes en vigas: Cuando una viga se somete a cargas transversales, queda sometida tanto a esfuerzos normales por flexión como a esfuerzos cortantes. Para el diseño, normalmente interesa el esfuerzo máximo.

Para una sección **circular**, el máximo esfuerzo cortante está dado aproximadamente por:

$$\tau = \frac{4 * V}{3 * A} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Y, para una sección **rectangular** (cuyo ancho sea pequeño comparado con su altura) aproximadamente por:

$$\tau = \frac{3 * V}{2 * A} \quad \text{Ec. 1.9}$$

Esfuerzos por flexión: Ocurre flexión cuando un elemento de sección constante y simétrica respecto al plano donde ocurre dicha flexión, se somete a momentos flectores “ M ” (o a cargas transversales); la Figura 1.54 muestra un elemento, denominado ‘viga’, de sección rectangular sometido a flexión. Cuando la viga está sometida a momentos flectores, sin cargas transversales, como en el caso de la figura, ocurre “flexión pura”.

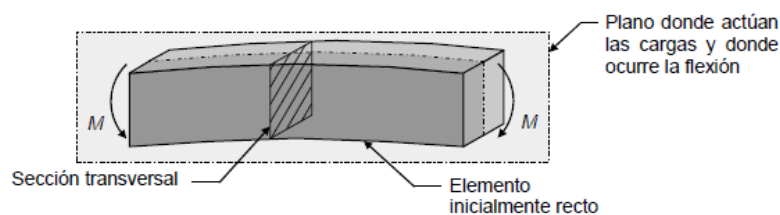


Figura 1.54: Elemento de sección rectangular sometido a flexión.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

$$\sigma = \pm \frac{M * c}{I} = \frac{M}{Z} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde:

$$Z = \frac{I}{c} \quad \text{Ec. 1.11}$$

El signo es si solo si las vigas son de forma irregular, ya sea el caso de perfiles donde el resultado es una parte a tensión y otra a compresión. Más no en secciones circulares.

Esfuerzos por torsión: Cuando un elemento de sección constante, se somete a pares de torsión (T) que actúan de la forma en que aparece en la Figura 1.55, se produce esfuerzos cortantes. A diferencia de flexión y carga

axial, la forma en que se distribuyen los esfuerzos y las ecuaciones para el cálculo de éstos dependen del tipo de sección transversal

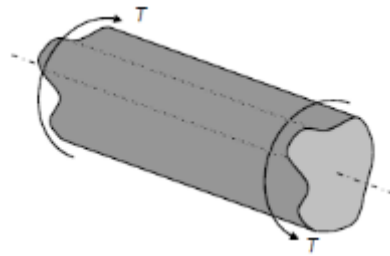


Figura 1.55: Elemento sometido a torsión.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

Los elementos sometidos a torsión son comúnmente de sección circular (Figura 1.56), sólida o hueca, debido a que piezas tales como rodamientos, poleas y engranajes en los sistemas de transmisión de potencia (donde se generan pares de torsión) tienen agujeros circulares que se montan sobre árboles y ejes. Además de las secciones circulares, se estudian otras que poco se someten a torsión, como la rectangular y las tubulares de pared delgada.

- Torsión en sección circular sólida:

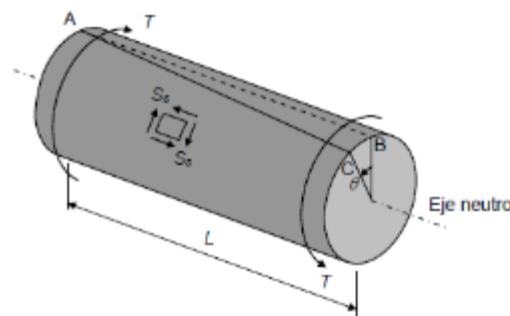


Figura 1.56: Elemento de sección circular sometida a torsión.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

$$\tau_{\text{TORSIÓN}} = \frac{T * r}{J} = \frac{T}{Z} = \left(\frac{16 * T}{\pi * d^3} \right)$$

Ec. 1.12

Donde:

$Z =$ Módulo polar de la sección $= (J/r)$.

$J =$ Momento polar de inercia.

$$\theta_{\text{TORSIÓN}} = \frac{T * L}{J * G} \quad \text{Ec. 1.13}$$

Donde:

$L =$ Longitud de la viga en el tramo analizado.

$G =$ Módulo de rigidez del material.

Torsión en sección rectangular:

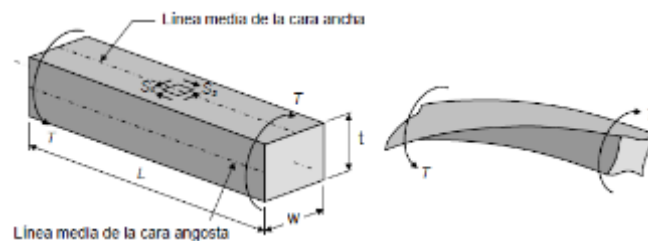


Figura 1.57: Elemento de sección rectangular sometido a torsión.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

Se deja claro que la ecuación 1.12, $\tau_{\text{torsión}} = T.r/J = T/Z'$ es válida sólo para secciones circulares, sólidas y huecas; por lo tanto, el estudiante no debería utilizarla para ningún otro tipo de sección.

Para esfuerzos de torsión de sección rectangular se aplican las siguientes fórmulas.

$$\tau_{\text{torsionrectangular}} = \left(\frac{T}{wt^2} \left(3 * 1.8 \frac{t}{w} \right) \right) \quad \text{Ec. 1.14}$$

$$\theta = \left(\frac{T * L}{G * \beta * w * t^3} \right) \quad \text{Ec. 1.15}$$

Siempre w será la parte ancha del rectángulo y t será el espesor sin importar la posición de la misma, ya que puede estar el elemento ubicado de posición vertical u horizontal.

Para obtener (β) de la ecuación 1.15 es necesario usar la Tabla 1.4, con la siguiente relación (W/t) .

Tabla 1.4 Coeficientes para el cálculo de esfuerzos y del ángulo de torsión de un elemento de sección rectangular sometido a torsión.

W/t	1	1.5	2	3	4	6	8	10	∞
α	0.208	0.231	0.246	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
β	0.141	0.196	0.229	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333
γ	1.000	0.858	0.796	0.753	0.745	0.743	0.743	0.743	0.743

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

1.8 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO MECÁNICO

Nomenclatura.

G = Módulo de elasticidad a cortante (GPa).

J_0 = Momento polar de inercia.

S_y = Resistencia a la cedencia.

S_u = Resistencia última.

FS = Factor de seguridad.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia.

Conceptos de diseño

- Círculo de Mohr:

Los círculos de Mohr son un método para representar gráficamente el estado de tensiones que padece un punto de un sólido en un instante determinado[15]. Aunque actualmente, gracias a los ordenadores, es posible

calcular las tensiones principales con gran precisión sin recurrir a estos métodos, siguen siendo de gran validez puesto que de un solo golpe de vista hacen comprensible la situación tensional del sólido como es usando el software MDSolid.

Desde un punto de vista de ingeniería lo que más preocupa en el diseño de piezas de maquinaria es que no fallen y el fallo ocurrirá si el esfuerzo en cualquier punto excede a cierto valor seguro. Es necesario determinar los esfuerzos de mayor dimensión (tanto normales como de cortante) que ocurren en cualquier parte dentro del material que forma la pieza de la maquinaria, tal como se muestra en la Figura 1.58. Quizá preocupe menos la dirección de estos esfuerzos que su magnitud, siempre y cuando el material se pueda considerar por lo menos macroscópicamente isótropo, es decir, con propiedades de resistencia uniformes en todas direcciones. La mayor parte de los metales y muchos otros materiales de ingeniería cumplen con estos criterios, aunque como notables excepciones se deben mencionar la madera y los materiales compuestos.

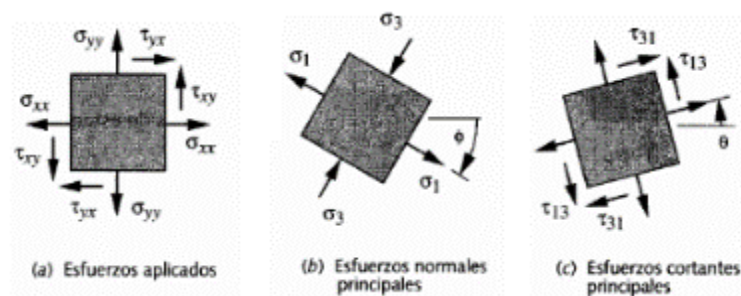


Figura 1.58: Esfuerzos principales de un elemento.

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

- Para qué sirve el círculo de Mohr.

Sirve para el cálculo rápido y exacto de diferentes parámetros en el tema de esfuerzos, la Figura 1.59 describe el círculo de Mohr.

- (1) Los esfuerzos principales máximo y mínimo.
- (2) El esfuerzo cortante máximo.

- (3) Los ángulos de orientación del elemento sometido al esfuerzo principal y del elemento sometido al esfuerzo cortante máximo.
- (4) El esfuerzo normal que existe junto con el esfuerzo cortante máximo sobre el elemento sometido al esfuerzo cortante máximo.
- (5) Condición de esfuerzo en cualquier orientación del elemento sometido a esfuerzo.

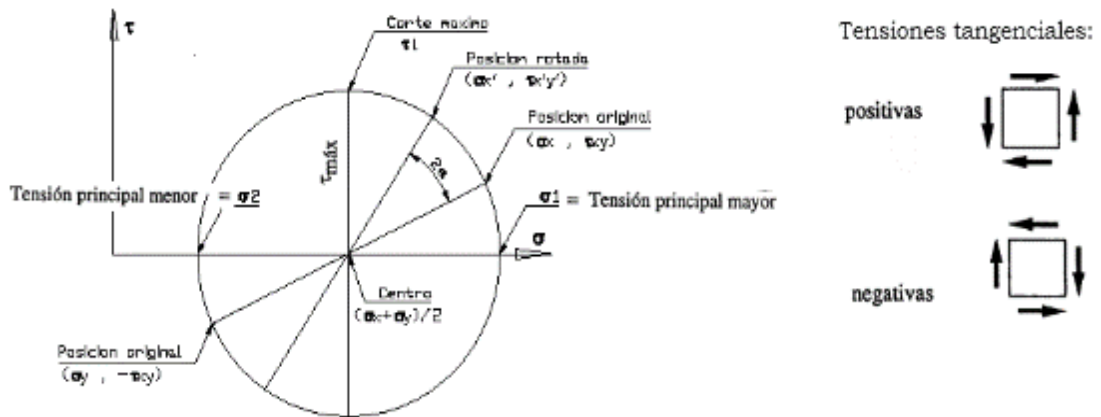


Figura 1.59: Descripción del círculo de Mohr.

Fuente: Mecanismos

- **Fórmulas para encontrar los valores de esfuerzos del círculo de Mohr:**
- Tensión principal mayor.

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad \text{Ec. 1.16}$$

- Tensión principal menor.

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad \text{Ec. 1.17}$$

- Esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{maxxy} = \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2\right)} \quad \text{Ec. 1.18}$$

- **Obtención de Esfuerzos ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$).**

Para obtener los valores de esfuerzos ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) se utiliza la ecuación 1.19.

$$\sigma_x = \pm \sigma_{FLEXION} - \sigma_{AXIAL} \quad \text{Ec. 1.19}$$

Para (σ_x) se seleccionara el máximo valor resultante, y si es el caso de obtener un valor negativo se debe mantener el signo para ser reemplazado en las ecuaciones de Mohr

$$\sigma_y = \text{solo si se produce esfuerzo a lo largo del eje central} \quad \text{Ec. 1.20}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{TORSIÓN} \pm \tau_{CORTE} \quad \text{Ec. 1.21}$$

- **Factor de Seguridad o Factor de Diseño (FS).**

El factor diseño es una medida de la seguridad relativa de un componente que soporta una carga.

$$FS = \frac{\text{Resistencia del material}}{\text{Esfuerzo real a la que esta sometido}} \quad \text{Ec. 1.22}$$

El valor de resistencia del material se puede encontrar en apéndices, y el valor del esfuerzo real también es útil los valores obtenidos el círculo de mohr.

- **Esfuerzo de diseño (σ_d).**

Es el esfuerzo que se desarrolla en un material, estos valores se seleccionan usando la Tabla 1.5.

$$\sigma_d = \text{Esfuerzo de diseño} = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ec. 1.23}$$

$$FS = \left(\frac{S_y}{\sigma_d} \right) \quad \text{Ec. 1.24}$$

Tabla 1.5 Criterio para el diseño de esfuerzos

Forma de carga	Material dúctil	Material quebradizo
Estática	$\sigma_d = s_y/2$	$\sigma_d = s_u/6$
Repetida	$\sigma_d = s_u/8$	$\sigma_d = s_u/10$
De impacto o de choque	$\sigma_d = s_u/12$	$\sigma_d = s_u/15$

Fuente: Libro Mecánica de Materiales Beer Johnston

- **Teoría de diseño para materiales dúctiles, se clasifican en:**

- **Teoría del Esfuerzo cortante máximo (τ_{max}) (E.C.M):** Esta teoría predice que un componente falla cuando se cumple la ecuación 1.25.

$$\tau_{maz} > \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. 1.25}$$

$$FS = \frac{0.5 * S_y}{\tau_{max}} \quad \text{Ec. 1.26}$$

- **Teoría de la energía de la deformación o teoría de la energía de la distorsión o teoría de VON MISES (σ'):** predice que la falla de un componente ocurre cuando se cumple la ecuación 1.27.

$$\tau_{\max} > \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. 1.27}$$

$$\sigma' = \text{Esfuerzo de von mises} = \sqrt{((\sigma_1)^2 - \sigma_1 * \sigma_2 + (\sigma_2)^2)} \quad \text{Ec. 1.28}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ec. 1.29}$$

- **Diseño de ejes o flechas bajo cargas estáticas.**

Cuando una flecha está sometida a esfuerzos solo por flexión y torsión, se puede ocupar las ecuaciones 1.30 para el diseño de esfuerzo cortante máximo (E.C.M) o la ecuación 1.31 para el diseño por Von Mises.

- **Esfuerzo Cortante Máximo. (E.C.M)**

$$D = \left[\left(\frac{32 * FS}{\pi * S_y} \right) * (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec. 1.30}$$

$$\frac{1}{FS} = \frac{32}{\pi * D^3 * S_y} * (M^2 + T^2)^{1/2} \quad \text{Ec. 1.31}$$

- **Von Mises**

$$D = \left[\left(\frac{16 * FS}{\pi * S_y} \right) * (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec. 1.32}$$

$$\frac{1}{FS} = \frac{16}{\pi * D^3 * S_y} * (4M^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 1.33}$$

1.9 CONTROLADOR DE VELOCIDAD DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN.

A continuación se detallarán las variables que son factibles modificar para variar la velocidad de un motor trifásica de inducción.

Variables que se pueden modificar.

Se puede variar la velocidad del motor trifásico de inducción actuando sobre las variables que se muestran en la Figura 1.60.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$N_s = \frac{f120}{\#P}$$

$$N_r = N_s(1 - s) = \frac{120 f}{\#P} (1 - s)$$

El diagrama indica que 'Velocidad de rotación' apunta a N_r , 'frecuencia' apunta a f , y 'deslizamiento' apunta a s .

Figura 1.60: Variables del control de velocidad de motor eléctrico.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

La manera actualizada para variar la velocidad se describe en los siguientes literales.

a) Control de velocidad mediante el cambio en la frecuencia de alimentación.

Al cambiar la frecuencia eléctrica aplicada al estator del motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos cambiará en proporción directa al cambio de la frecuencia eléctrica y el punto de vacío

sobre la curva característica par – velocidad cambiará con ella. La velocidad del motor en condiciones nominales se llama velocidad base. Se puede ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base, utilizando control de frecuencia variable, como se puede observar en la Figura 2.61 donde la velocidad base es de 1800rpm a 60 hz.

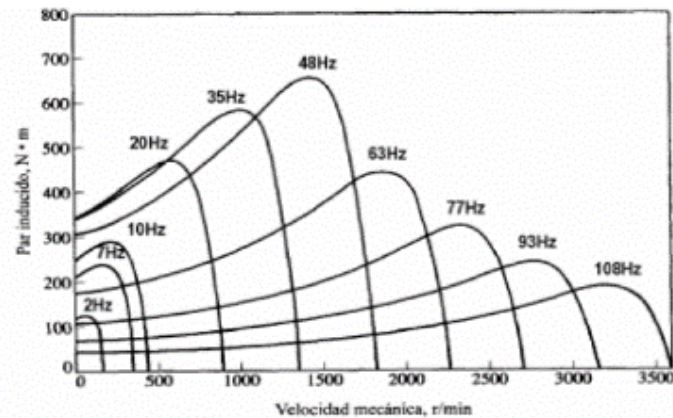


Figura 1.61: Curva característica par-velocidad para todas frecuencias.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

b) Variador de velocidad.

El variador de velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es un sentido amplio, es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleador para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores eléctricos.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua también puede ser designada como variador de velocidad.

Ventajas al utilizar un variador de velocidad.

- Operaciones más suaves.
- Control de la aceleración.

- Distintas velocidades de operación para cada fase de proceso.
- Compensación de variables en diversos procesos.
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.
- Ajuste de la tasa de producción.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del par motor (torque).

Composición de los variadores de frecuencia.

El variador regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad, Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría al motor.

Los variadores de frecuencia están compuestos por las siguientes etapas:

- Etapa Rectificadora.
- Etapa intermedia.
- Inversor o "Inverter".
- Etapa de control.

En la Figura 1.62 se muestra un puente inversor trifásico con las etapas antes mencionadas, las mismas que constituyen un variador de frecuencia.

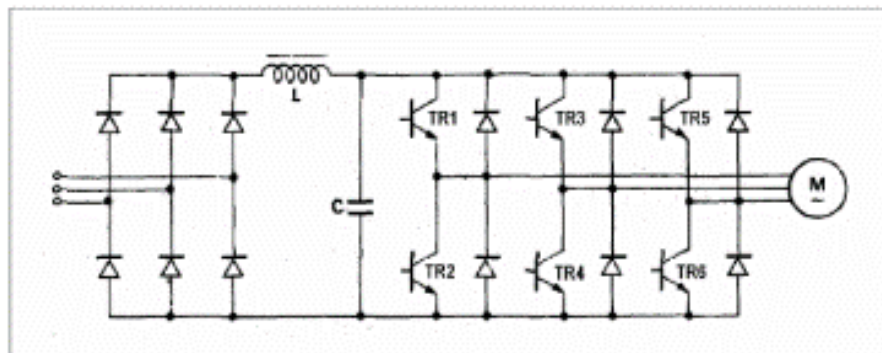


Figura 1.62: Puente Inversor Trifásico.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

Etapa rectificadora: Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

Etapa intermedia: Existe un filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.

Inversor: Convierte la tensión continua en otra tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones de sobre corriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puest a masa del motor, sobre temperaturas, etc.

Etapa de control. Esta etapa controla los IGBT's para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia, Y además controla los parámetros externos en general, etc.

Los variadores utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y Bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia a través de cálculos matemáticos.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1 DISEÑO DEL BRAZO MECÁNICO

2.1.1 DISEÑO DEL DIMENSIONAMIENTO, Y POSICIÓN DE LOS ESLABONES DEL BRAZO MECÁNICO

Usando la teoría del apartado 1.6 (Síntesis de mecanismos), se realizara el diseño, cuyo objetivo es encontrar las dimensiones del mecanismo y posiciones de los elementos de entrada.

Procedimiento para determinar las medidas de cada eslabón del brazo mecánico.

- Se traza el seguidor en sus dos posiciones OB1 y OB2 con el ángulo requerido para su diseño, tal como se observa en la Figura 2.1.



Figura 2.1: Posiciones que ocupara el seguidor.

Fuente: Los Autores

- Se traza un arco cualesquiera y en su respectiva cuerda determinando la mitad de la misma cuya denominación será radio 2 (r_2), tal como se observa en la Figura 2.2.

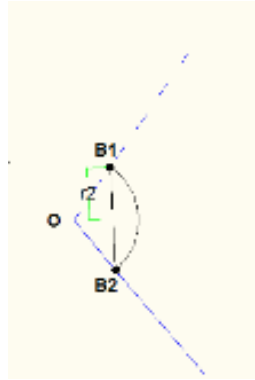


Figura 2.2: Determinación de radio 2.

Fuente: Los Autores

- Se prolonga la cuerda al infinito y se selecciona un punto cualesquiera a lo largo de la misma cuya denominación será (O2), tal como se observa en la Figura 2.3.

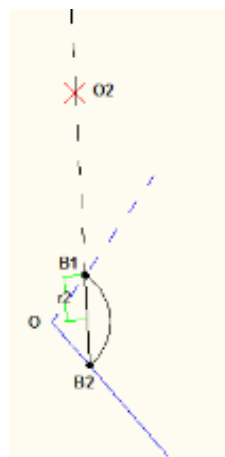


Figura 2.3: Selección del O2.

Fuente: Los Autores

- Se traza la circunferencia de radio (r_2) con centro en (O2), tal como se observa en la Figura 2.4.

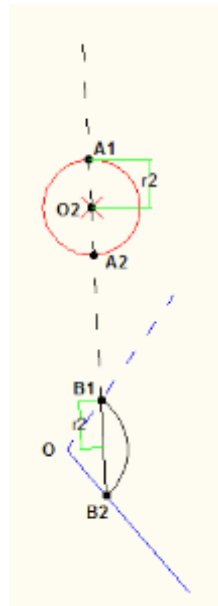


Figura 2.4: Búsqueda de la distancia del acoplador A2B2.

Fuente: Los Autores

- Se procede a formar los respectivos eslabones, tal como se observa en la Figura 2.5.

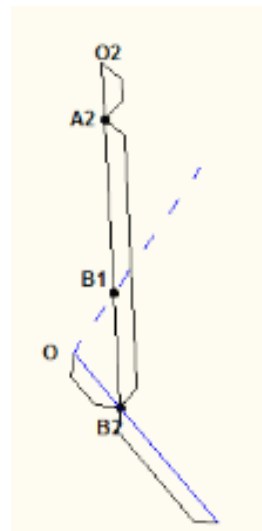


Figura 2.5: Conformación de los eslabones.

Fuente: Los Autores

Simulación del brazo mecánico usando Working Model.

La simulación sirve para tener una idea de cómo se va desplazar el Acoplador (OB2) de una posición inicial a una final.

Para ello se ha utilizado un software (Working Model) que ayuda a simular dinámicamente y a obtener valores de velocidad y aceleración del sistema.

Antes de empezar a manipular el Working Model es necesario establecer las unidades con las que se va a trabajar.

- En la Barra de herramientas en el icono Vista, se hace clic en Números y Unidades, ver Figura 2.6.

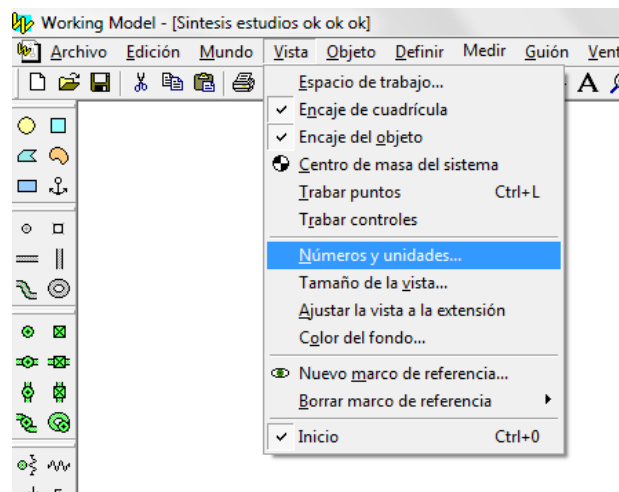


Figura 2.6: Ventana, barra de menú

Fuente: Software Working Model.

- Se desplegará una ventana, donde provee las opciones de seleccionar el tipo de sistema de unidades a trabajar, se selecciona Sistema Internacional en radianes, ver Figura 2.7.

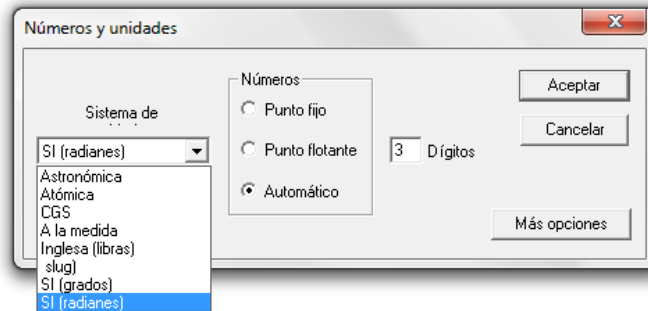


Figura 2.7: Ventana, Número y unidades.

Fuente: Software Working Model.

- Se diseña el mecanismo del brazo mecánico con sus respectivos apoyos y clavijas.

El diseño se lo puede realizar en Autocad (Figura 2.8) guardandolo como archivo DXF e importandolo en el WorkingModel o directamente usando las herramientas de diseño del Working Model.

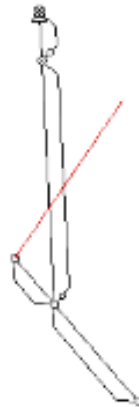


Figura 2.8: Diseño del brazo mecánico

Fuente: Software AutoCad.

- Se coloca el Motor en el punto O2, tal como se observa en la Figura 2.9, haciendo doble clic en el ícono del motor se ingresa el valor de la velocidad de 0.524 rad/s que corresponde a 5 rpm con la cual trabajara el mecanismo.

$$5 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} * \frac{\text{min}}{60 \text{seg}} = 0.524 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

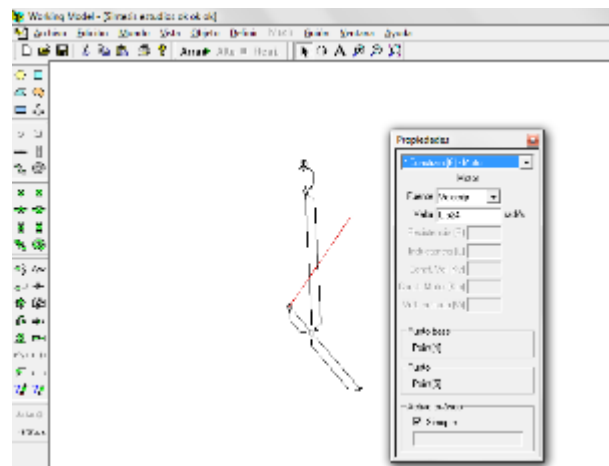


Figura 2.9: Ventana, propiedades del motor.

Fuente: Software Working Model.

- Se elige elemento de punto en la barra de herramientas, como se observa en la Figura 2.10 y se coloca en los eslabones donde se desea conocer su posición, velocidad y aceleración.

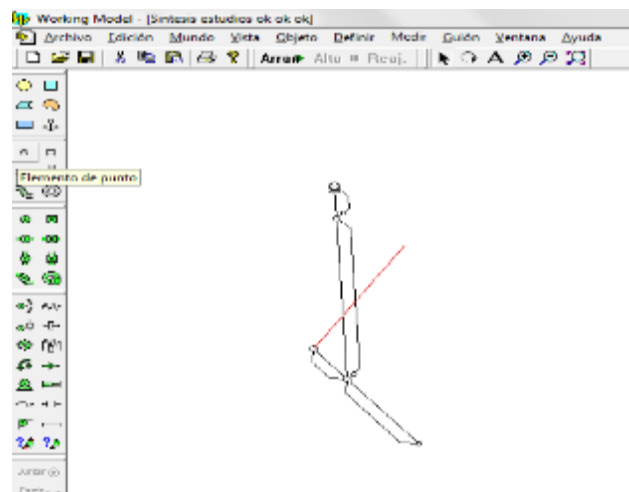


Figura 2.10: Ventana, barra de diseño.

Fuente: Software Working Model.

- Para saber la trayectoria, se debe marcar con un clic los puntos colocados en la Figura 2.10 y en la barra de menú ícono Ventana,

seleccionar apariencia y activar “Seguir el centro de Masa”, como se observa en la Figura 2.11

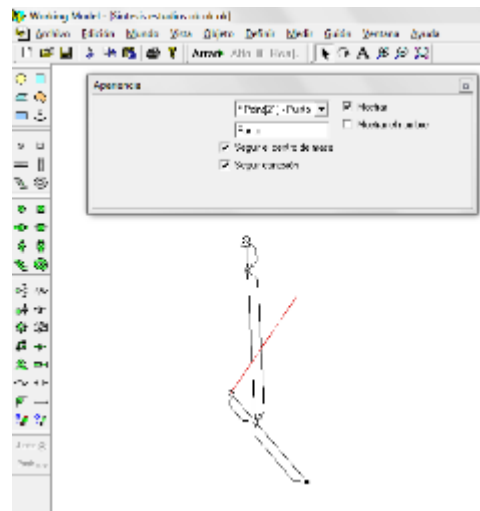


Figura 2.11: Marcar punto para su seguimiento de masa.

Fuente: Software Working Model.

- Para iniciar la simulación se hace clic en el ícono Arrancar que se encuentra en la barra de herramientas estandar, y se podrá observar la trayectoria del mecanismo (Figura 2.12).

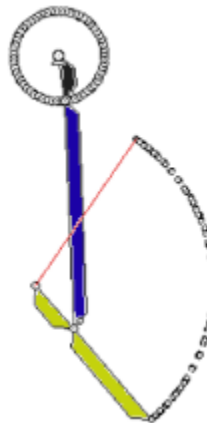


Figura 2.12: Puntos de trayectoria del mecanismo

Fuente: Software Working Model.

- Para observar los vectores de velocidad y aceleración se marca el elemento punto del mecanismo que se desee analizar y en la barra de menú, hacer clic en el ícono Definir, seleccionar Vectores y activar Velocidad y Aceleración, como se observa en la Figura 2.13

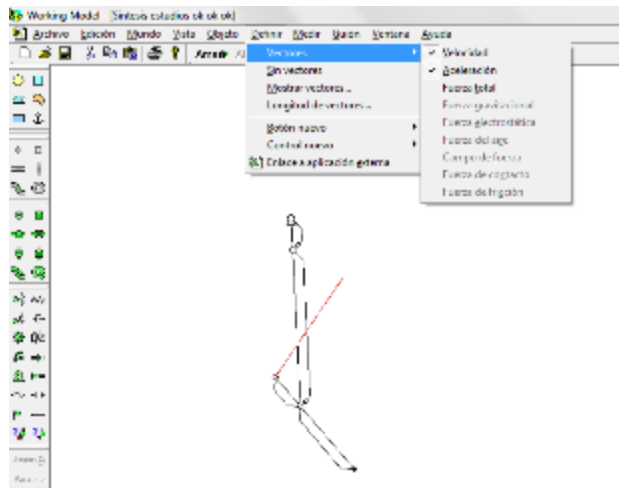


Figura 2.13: Ventana, definición de vectores

Fuente: Software Working Model.

- Para iniciar la simulación hacer clic en Arrancar, y se podrá observar los vectores de velocidad y aceleración de los mismos, tal como se observa en la Figura 2.14.

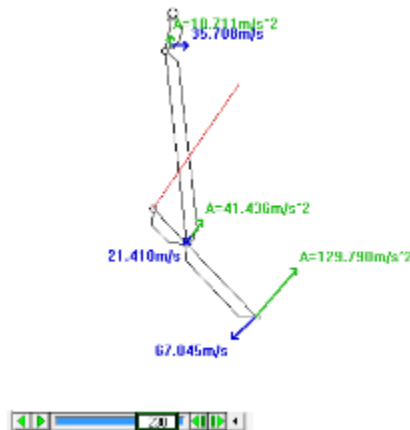


Figura 2.14: Vectores de velocidad y aceleración del brazo mecánico.

Fuente: Software Working Model.

La designación de los eslabones diseñados se lo detalla en la Figura 2.15.



Figura 2.15: Designación de eslabones

Fuente: Software Working Model.

Exportación de datos.

Sirve para poder obtener todos los valores de posición, velocidad y aceleración del mecanismo simulado para cada ángulo que forma la manivela (Figura 2.15) al completar los 360° de recorrido.

- En la barra de menú en el icono Archivo se selecciona Exportar, donde se desplegará una ventana como se observa en la figura 2.16.

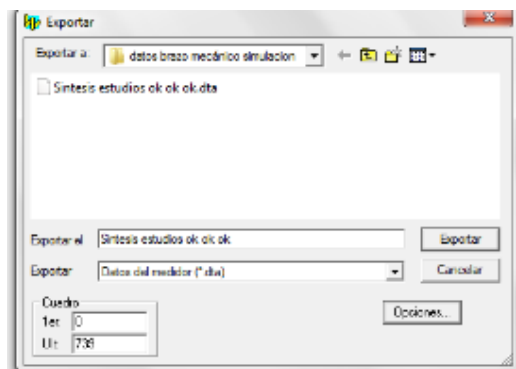


Figura 2.16: Ventana, Exportación de valores.

Fuente: Software Working Model.

- En Exportar, seleccionar “datos del medidor dta” como se observa en la Figura 2.17 y hacer clic en Exportar, donde se guardaran todos los valores de posición, velocidad y aceleración del mecanismo simulado.

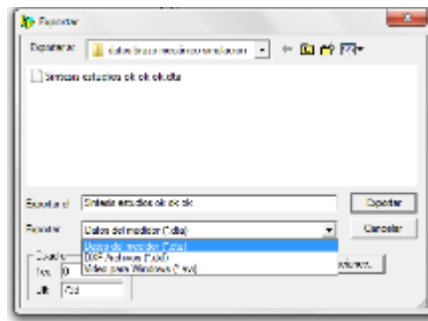


Figura 2.17: Ventana, Exportación de valores.

Fuente: Software Working Model.

Obtención de datos exportados a través de Excel.

- Se Abre una hoja de Excel (Figura 2.18).

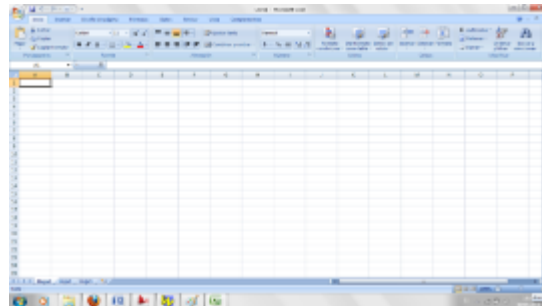


Figura 2.18: Ventana, Hoja de Excel nuevo.

Fuente: Software Microsoft Excel.

- Seleccionar Abrir carpeta.
- Buscar la dirección donde se guardó el archivo exportado con extensión dta, y se dar clic en Abrir (Figura 2.19).

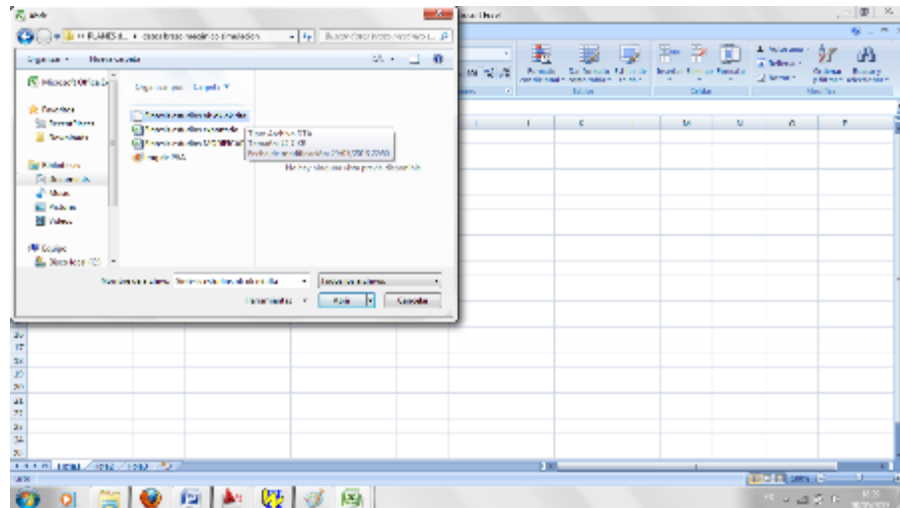


Figura 2.19: Ventana, Búsqueda del archivo tipo dta.

Fuente: Software Microsoft Excel.

- Se despliega una ventana de “Asistente para importar texto”.
- Seleccionar Delimitados.
- En origen de archivo, elegir “Europeo Occidental ISO” (Figura 2.20).

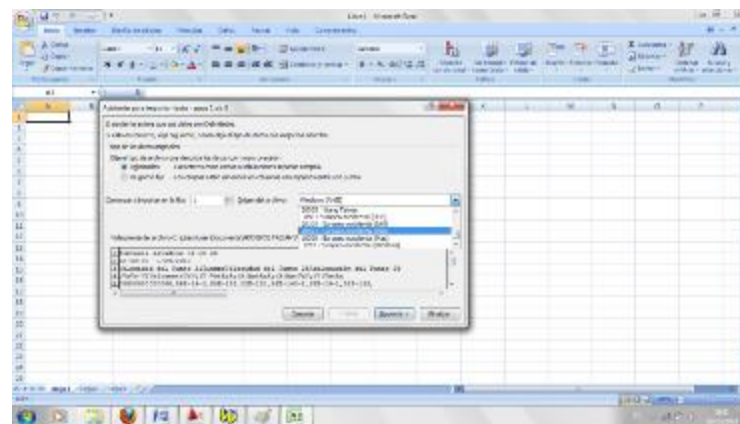


Figura 2.20: Ventana, Asistente para importar texto.

Fuente: Software Microsoft Excel.

- Se hace clic en Siguiente.
- Seleccionar General y Finalizar, se observa en la Figura 2.21.

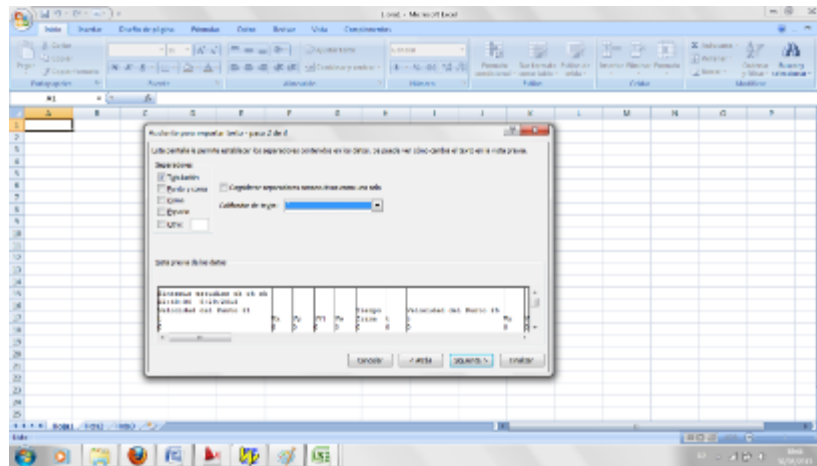


Figura 2.21: Ventana, finalización del proceso de importación de valores.

Fuente: Software Microsoft Excel.

- Ha finalizado la importación de datos, donde se desplegará una ventana tal como se observa en la Figura 2.22.

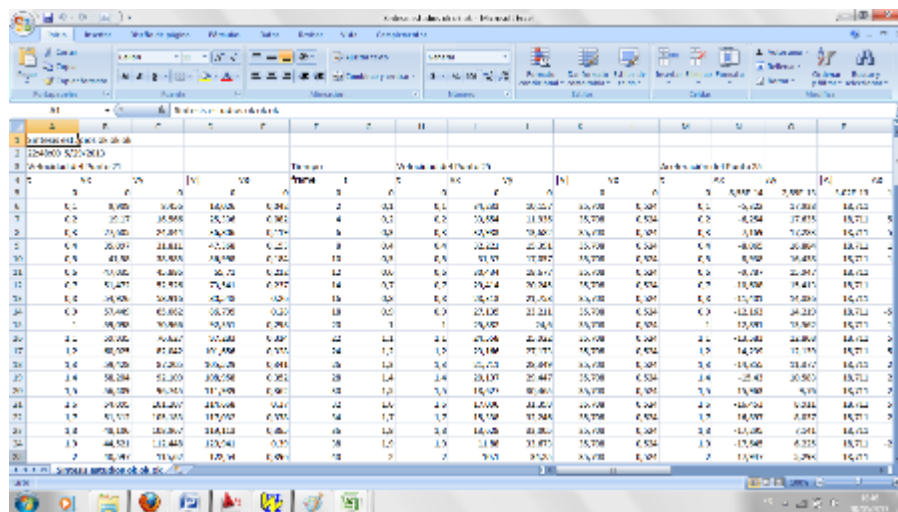


Figura 2.22: Ventana, valores obtenidos en Excel.

Fuente: Software Microsoft Excel.

Resultados obtenidos de la importación de valores.

Al realizar la importación de valores se obtiene las siguientes Tablas (Tabla 2.1 – Tabla 2.3) y Figuras (Figura 2.23 – Figura 2.25) que se capturaron de la simulación de la ventana de Working Model.

Tabla 2.1 Tabla de Resultados de Posición. (Fuente: Microsoft Excel)

CICLO	frame	Tiempo (seg)	Posición manivela		Posición acoplador		Posición seguidor	
		t(s)	rot (rad)	rot (°)	rot (rad)	rot (°)	rot (rad)	rot (°)
I(Ascendente)	0	0	-2,77E-16	0	0	0	-1,23E-09	-7,1E-08
I(Ascendente)	10	0,5	0,262	15,01	-0,042	-2,406	0,049	2,807
I(Ascendente)	20	1	0,524	30,02	-0,068	-3,896	0,172	9,855
I(Ascendente)	30	1,5	0,786	45,03	-0,083	-4,756	0,339	19,423
I(Ascendente)	40	2	1,048	60,05	-0,093	-5,329	0,529	30,309
I(Ascendente)	50	2,5	1,31	75,06	-0,098	-5,615	0,731	41,883
I(Ascendente)	60	3	1,572	90,07	-0,101	-5,787	0,939	53,801
I(Ascendente)	70	3,5	1,834	105,08	-0,1	-5,730	1,147	65,718
I(Ascendente)	80	4	2,096	120,09	-0,097	-5,558	1,348	77,235
I(Ascendente)	90	4,5	2,358	135,10	-0,088	-5,042	1,535	87,949
I(Ascendente)	100	5	2,62	150,11	-0,072	-4,125	1,692	96,944
I(Ascendente)	110	5,5	2,882	165,13	-0,044	-2,521	1,799	103,075
II (Descendente)	120	6	3,144	180,14	4,73E-04	0,027	1,836	105,195
II (Descendente)	130	6,5	3,406	195,15	0,058	3,323	1,803	103,304
II (Descendente)	140	7	3,668	210,16	0,122	6,990	1,717	98,377
II (Descendente)	150	7,5	3,93	225,17	0,184	10,542	1,597	91,501
II (Descendente)	160	8	4,192	240,18	0,238	13,636	1,451	83,136
II (Descendente)	170	8,5	4,454	255,20	0,277	15,871	1,282	73,453
II (Descendente)	180	9	4,716	270,21	0,297	17,017	1,091	62,510
II (Descendente)	190	9,5	4,978	285,22	0,294	16,845	0,881	50,478
II (Descendente)	200	10	5,24	300,23	0,264	15,126	0,654	37,471
II (Descendente)	210	10,5	5,502	315,24	0,209	11,975	0,421	24,122
II (Descendente)	220	11	5,764	330,25	0,136	7,792	0,207	11,860
II (Descendente)	230	11,5	6,026	345,26	0,061	3,495	0,053	3,037
I(Ascendente)	240	12	6,288	360,28	-9,52E-04	-0,055	1,81E-05	0,001

Fuente: Los Autores

En la Figura 2.23 se observa las curvas de posición de los eslabones manivela, acoplador y seguidor del mecanismo del brazo mecánico, donde se muestra los espectros de desplazamientos en cualquier instante de tiempo.

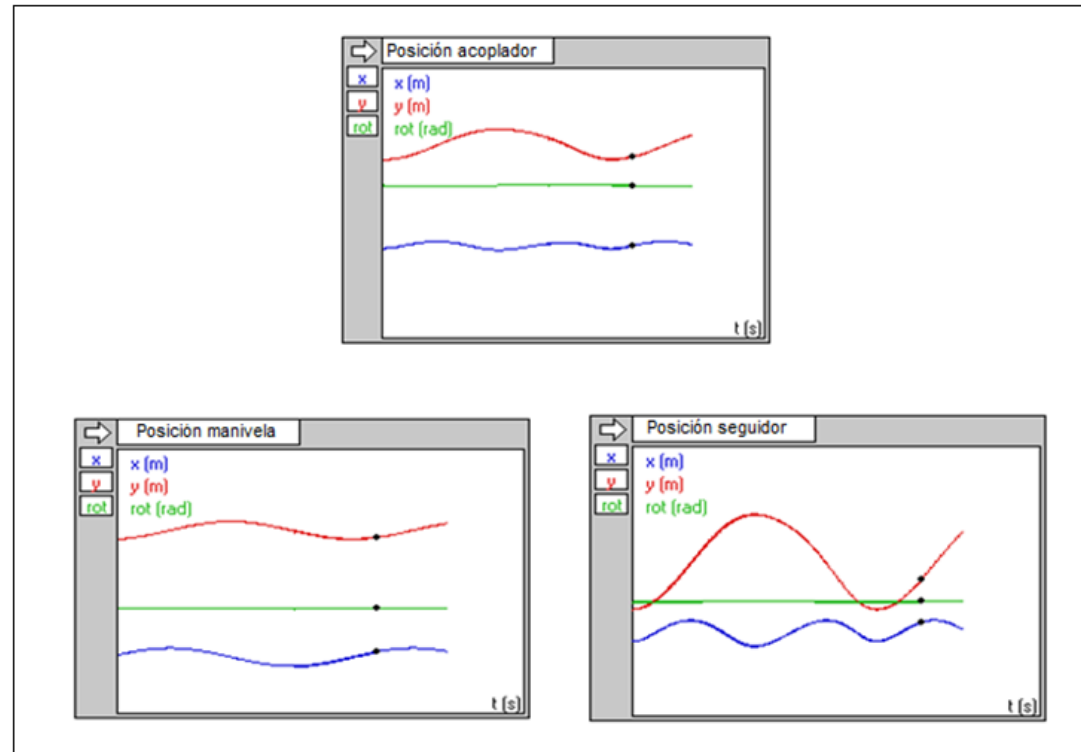


Figura 2.23: Curvas de posición de los eslabones.

Fuente: Software Working Model.

Tabla 2.2 Tabla de Resultados de Velocidad. (Fuente: Microsoft Excel)

CICLO	frame	Tiempo t (s)	Velocidad manivela			Velocidad acoplador			Velocidad seguidor		
			V (m/s)	V \emptyset (rad/s)	V \emptyset (RPM)	V (m/s)	V \emptyset (rad/s)	V \emptyset (RPM)	V (m/s)	V \emptyset (rad/s)	V \emptyset (RPM)
I(Ascendente)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I(Ascendente)	10	0,5	35,708	0,524	5,0038	18,426	-0,065	-0,6207	56,998	0,184	1,7571
I(Ascendente)	20	1	35,708	0,524	5,0038	29,666	-0,04	-0,3820	92,351	0,298	2,8457
I(Ascendente)	30	1,5	35,708	0,524	5,0038	35,941	-0,024	-0,2292	111,989	0,362	3,4568
I(Ascendente)	40	2	35,708	0,524	5,0038	39,34	-0,014	-0,1337	122,54	0,396	3,7815
I(Ascendente)	50	2,5	35,708	0,524	5,0038	41,045	-0,008	-0,0764	127,734	0,412	3,9343
I(Ascendente)	60	3	35,708	0,524	5,0038	41,584	-0,002	-0,0191	129,225	0,417	3,9821
I(Ascendente)	70	3,5	35,708	0,524	5,0038	41,067	0,004	0,0382	127,344	0,411	3,9248
I(Ascendente)	80	4	35,708	0,524	5,0038	39,233	0,011	0,1050	121,233	0,391	3,7338
I(Ascendente)	90	4,5	35,708	0,524	5,0038	35,328	0,023	0,2196	108,45	0,35	3,3423
I(Ascendente)	100	5	35,708	0,524	5,0038	27,966	0,043	0,4106	84,537	0,273	2,6070
I(Ascendente)	110	5,5	35,708	0,524	5,0038	16,024	0,072	0,6875	45,887	0,148	1,4133
II (Descendente)	120	6	35,708	0,524	5,0038	1,694	0,104	0,9931	0,41	-0,001	-0,0095
II (Descendente)	130	6,5	35,708	0,524	5,0038	10,347	0,125	1,1937	38,906	-0,126	-1,2032
II (Descendente)	140	7	35,708	0,524	5,0038	18,698	0,128	1,2223	65,008	-0,21	-2,0054
II (Descendente)	150	7,5	35,708	0,524	5,0038	24,819	0,117	1,1173	83,185	-0,269	-2,5688
II (Descendente)	160	8	35,708	0,524	5,0038	30,046	0,094	0,8976	97,826	-0,316	-3,0176
II (Descendente)	170	8,5	35,708	0,524	5,0038	35,026	0,061	0,5825	111,302	-0,359	-3,4282
II (Descendente)	180	9	35,708	0,524	5,0038	39,858	0,018	0,1719	124,372	-0,402	-3,8388
II (Descendente)	190	9,5	35,708	0,524	5,0038	44,143	-0,033	-0,3151	136,275	-0,44	-4,2017
II (Descendente)	200	10	35,708	0,524	5,0038	46,831	-0,086	-0,8212	144,131	-0,465	-4,4404
II (Descendente)	210	10,5	35,708	0,524	5,0038	45,893	-0,131	-1,2510	141,704	-0,457	-4,3640
II (Descendente)	220	11	35,708	0,524	5,0038	38,194	-0,154	-1,4706	118,745	-0,383	-3,6574
II (Descendente)	230	11,5	35,708	0,524	5,0038	21,41	-0,142	-1,3560	67,045	-0,216	-2,0626

Fuente: Los Autores

En la Figura 2.24 se observa las curvas de velocidad de los eslabones manivela, acoplador y seguidor del mecanismo del brazo mecánico, donde se muestra los espectros de vectores de velocidad que se proyectan en cualquier instante de tiempo.

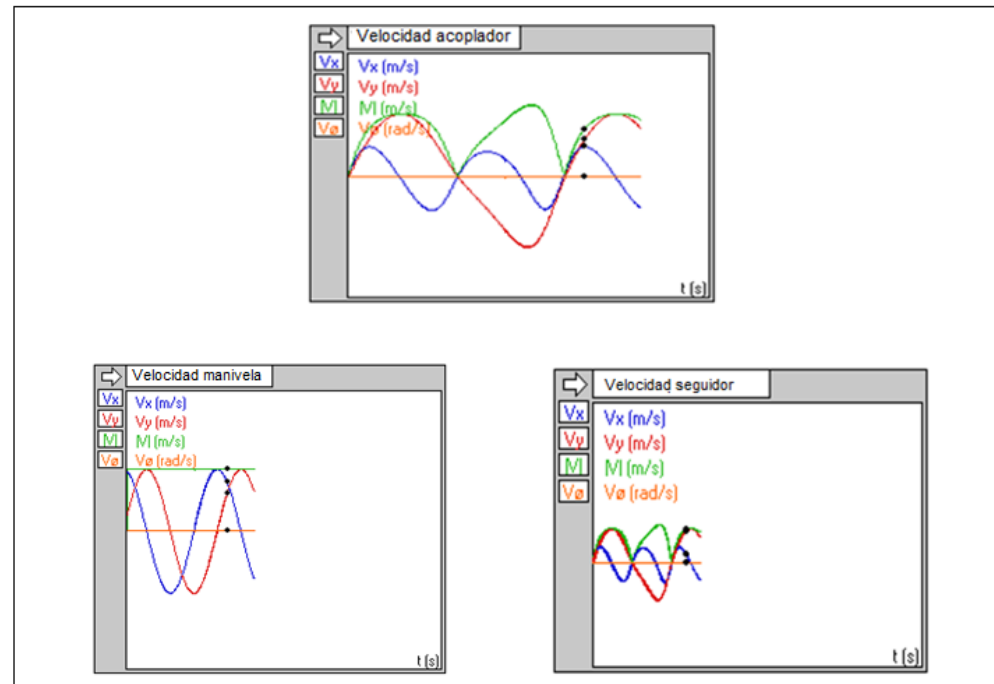


Figura 2.24: Curvas de velocidad de los eslabones.

Fuente: Software Working Model.

Tabla 2.3 Tabla de Resultados de Aceleración. (Fuente: Microsoft Excel)

CICLO	frame	Tiempo (seg)	Aceleración manivela		Aceleración acoplador		Aceleración seguidor	
		t (s)	A (m/s ²)	A _θ (rad/seg ²)	A (m/s ²)	A _θ (rad/seg ²)	A (m/s ²)	A _θ (rad/seg ²)
I(Ascendente)	0	0	3,02E-13	1,56E-14	1,99E-13	-1,08E-15	3,29E-13	-9,50E-16
I(Ascendente)	10	0,5	18,711	-1,00E-12	29,75	0,065	92,26	0,296
I(Ascendente)	20	1	18,711	1,00E-12	19,42	0,04	59,131	0,169
I(Ascendente)	30	1,5	18,711	-2,50E-13	16,337	0,024	49,507	0,092
I(Ascendente)	40	2	18,711	0	16,603	0,016	50,722	0,048
I(Ascendente)	50	2,5	18,711	6,25E-14	17,261	0,012	53,061	0,021
I(Ascendente)	60	3	18,711	0	17,479	0,011	53,914	-0,001
I(Ascendente)	70	3,5	18,711	6,25E-14	17,1	0,013	52,887	-0,024
I(Ascendente)	80	4	18,711	-2,50E-13	16,284	0,018	50,66	-0,057
I(Ascendente)	90	4,5	18,711	-1,25E-13	16,3	0,03	51,591	-0,113
I(Ascendente)	100	5	18,711	-5,00E-13	20,596	0,049	66,482	-0,201
I(Ascendente)	110	5,5	18,711	-4,38E-13	27,891	0,066	90,229	-0,29
II (Descendente)	120	6	18,711	0	27,645	0,057	88,993	-0,287
II (Descendente)	130	6,5	18,711	5,00E-13	20,18	0,024	63,944	-0,206
II (Descendente)	140	7	18,711	-2,50E-13	14,623	-0,009	44,622	-0,137
II (Descendente)	150	7,5	18,711	5,00E-13	13,063	-0,035	38,789	-0,102
II (Descendente)	160	8	18,711	0	13,774	-0,057	41,445	-0,089
II (Descendente)	170	8,5	18,711	-5,00E-13	15,44	-0,077	47,994	-0,086
II (Descendente)	180	9	18,711	0	17,444	-0,095	56,08	-0,082
II (Descendente)	190	9,5	18,711	-2,50E-13	19,253	-0,106	63,587	-0,068
II (Descendente)	200	10	18,711	1,25E-13	20,161	-0,103	67,568	-0,027
II (Descendente)	210	10,5	18,711	5,00E-13	20,659	-0,074	68,288	0,069
II (Descendente)	220	11	18,711	0	27,476	-0,013	86,792	0,239
II (Descendente)	230	11,5	18,711	6,25E-13	41,436	0,059	129,79	0,416

Fuente: Los Autores

En la Figura 2.25 se observa las curvas de aceleración de los eslabones manivela, acoplador y seguidor del mecanismo del brazo mecánico, donde se muestra los espectros de vectores de aceleración que se proyectan en cualquier instante de tiempo.

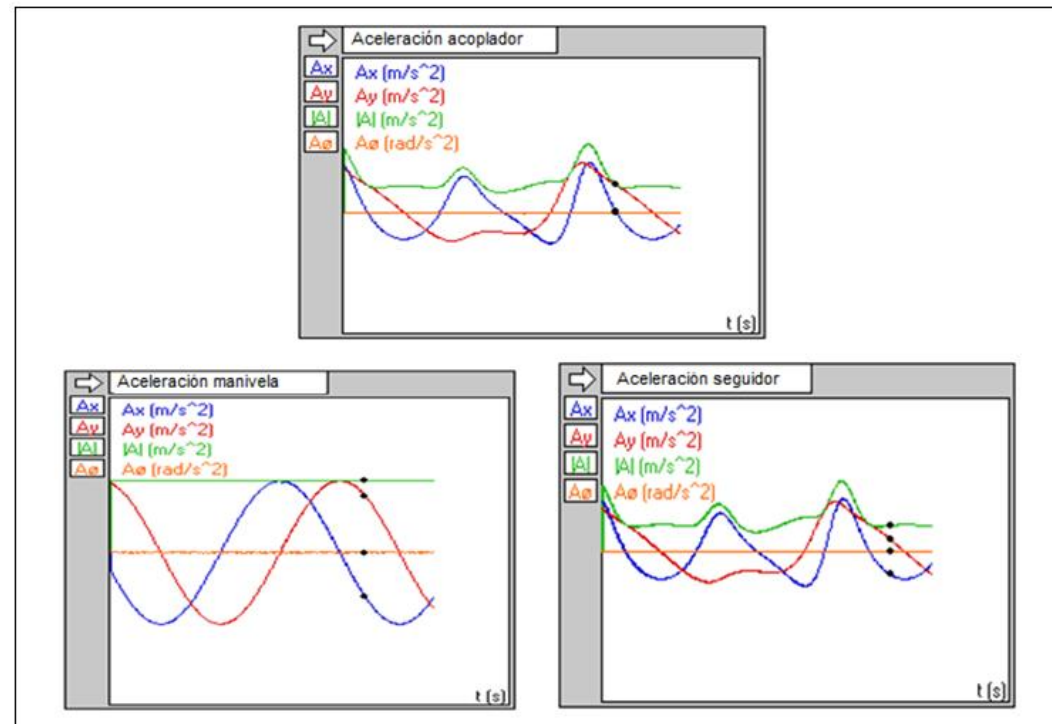


Figura 2.25: Curvas de aceleración de los eslabones.

Fuente: Software Working Model.

Análisis de resultados:

En el diseño, realizado para el dimensionamiento y posición de los eslabones del apartado 2.1.1 se obtiene los siguientes resultados.

- El ángulo que cubre el eslabón seguidor a partir de la posición inicial, hasta su posición final (ver Figura 2.1), es de 105.195° , este valor se lo puede apreciar de la Tabla 2.1.
- Del Procedimiento del diseño del apartado 2.1.1 se obtiene las medidas correspondientes de cada eslabón que pertenecen al brazo mecánico, las mismas que se observa en la Tabla 2.4 y Figura 2.26.

Tabla 2.4 Tabla de distancias de eslabones

PUNTOS	ESLABONES	DIMENSIONES
G-H	Eslabón manivela	79.24 mm
E-G	Eslabón acoplador	399.3 mm
E-F	Eslabón seguidor	99.7 mm
D-E	Eslabón seguidor	210 mm
C-D	Eslabón seguidor	121.5 mm
B-C	Eslabón seguidor	321.5 mm
A-B	Eslabón seguidor	135 mm

Fuente: Los Autores

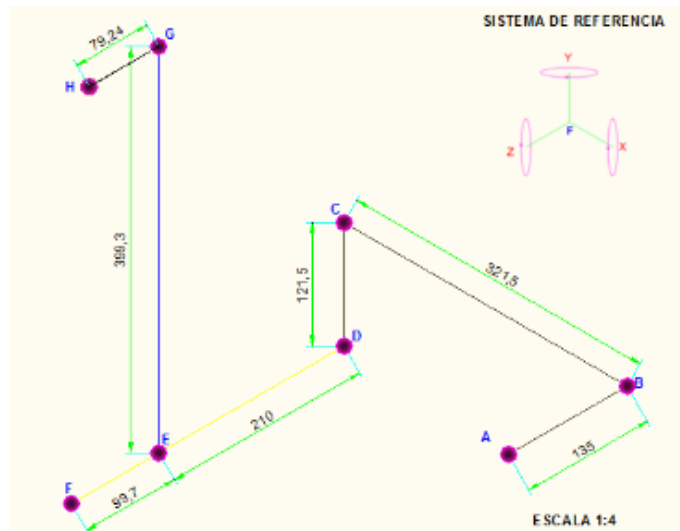


Figura 2.26: Distribución y dimensiones de los eslabones del brazo mecánico en mm

Fuente: Los Autores

- Las dimensiones de los eslabones del brazo mecánico, están bien diseñadas ya que podemos afirmar que cumple las posiciones de inicio y final del Seguidor.
- También observamos que tanto en los diagramas de velocidad angular (rad/seg), aceleración angular (rad/seg^2) y posición angular (rad), se puede decir que los valores se mantienen constantes por lo que no va existir fluctuaciones en el sistema. Lo que es favorable para el diseño de generación de funciones del brazo mecánico.
- A demás la velocidad en el eslabón manivela siempre será constante (35.708 m/s).

2.1.2 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL SISTEMA DEL BRAZO MECÁNICO

Para el estudio del análisis de esfuerzos se debe tener claro la teoría que se estudió en el apartado 1.7 (Esfuerzos mecánicos).

En este análisis se obtendrá los esfuerzos, momentos y torques máximos del sistema del brazo mecánico (Figura 2.27), partiendo de un estudio de carga a la cual estará expuesta.

Datos.

- El sistema a ser analizado se lo puede apreciar en la Figura 2.26.
- Las dimensiones del sistema se encuentran especificadas en la Tabla 2.4
- La carga a soportar por el sistema es de 2.3 Kg que corresponde al peso de la pistola aerográfica más su soporte, la misma estará ubicada en el punto A de la Figura 2.28.

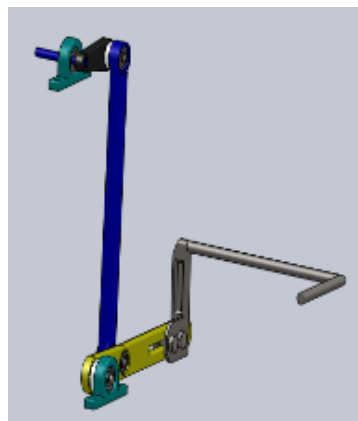


Figura 2.27: Brazo mecánico.

Fuente: Los Autores

Fuerza y apoyos aplicados

$$F = m * g$$

Ec. 2.1

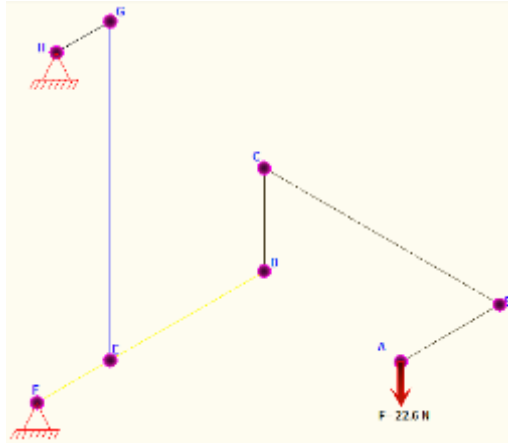


Figura 2.28: Esfuerzos y apoyos aplicados al brazo mecánico.

Fuente: Los Autores

Cálculos.

- Aplicando la ecuación 2.1 se calcula la fuerza a la cual está sometido el eslabón en la sección A – B, siendo la fuerza resultante 22.6 N.

$$m = 2.3(kg)$$

$$g = 9.81(m/s^2)$$

$$F = W_a = m * g$$

$$F = 2.3(kg) * 9.81(m/s^2)$$

$$F = 22.56(N) \approx 22.6(N).$$

- Análisis de esfuerzos de cada sección de los eslabones del sistema.

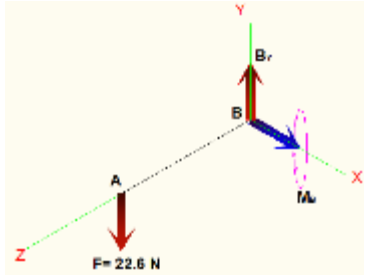
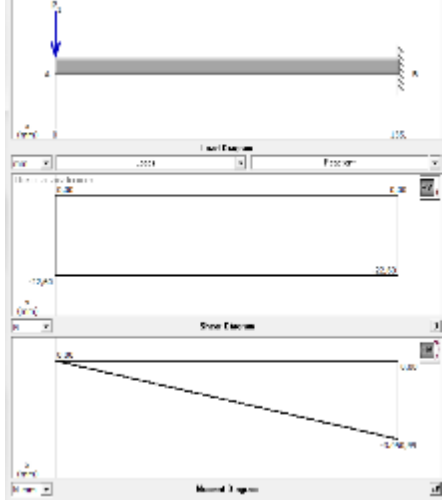
Para realizar el análisis de esfuerzos del sistema de brazo mecánico, primeramente se debe hacer un estudio de cuerpo libre de cada sección que

corresponde del punto A al punto G, y realizar una sumatoria de fuerzas en cada dirección ya sea en X, Y, Z y la sumatoria de momentos respectivamente.

El sentido de torque que se genera en la viga, se puede conocer usando la regla de la mano derecha, con el pulgar indicando la dirección de la fuerza y los demás dedos indicará la dirección de la misma.

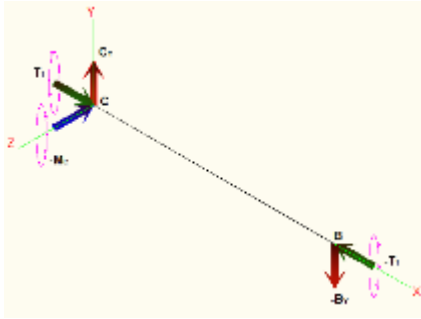
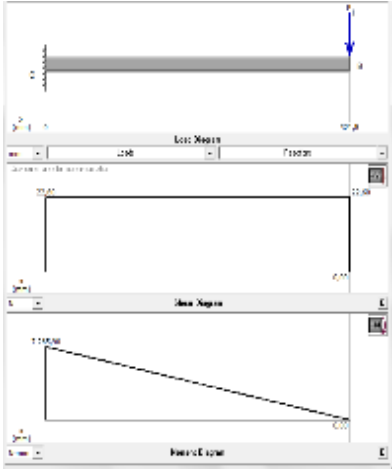
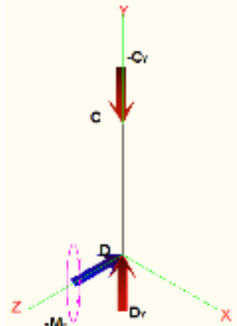
Con los resultados obtenidos se procede a realizar los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector que servirán para realizar el dimensionamiento de cada eslabón. Se utiliza el software de diseño mecánico MDSolid 3.5 para generar los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector para cada uno de los eslabones que forman el brazo mecánico tal como se muestra en la Tabla 2.5 (Análisis de esfuerzos del sistema del brazo mecánico).

Tabla 2.5 Análisis de esfuerzos del sistema del brazo mecánico.

Eslabón	Diagrama de cuerpo libre	Cálculos	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector
A-B		<p>a) $\sum F_z = 0$ $F_{Bz} = 0$ $\sum F_y = 0$ $F_{By} = F = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_B = 0$ $M_{Bx} = -F * 135 = -(22.6\text{N} * 135\text{mm})$ $M_{Bx} = -3051(\text{Nmm})$</p>	 <p>Fuente: MD Solid</p>

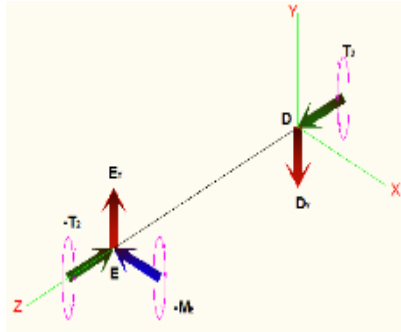
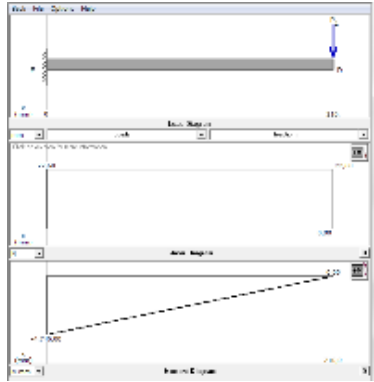
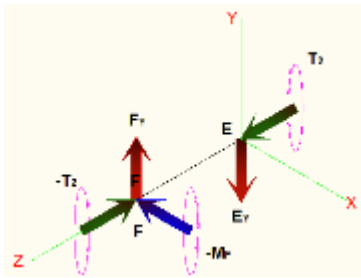
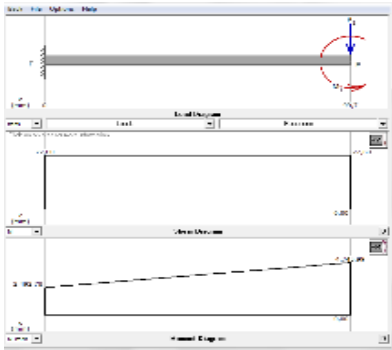
CONTINUA



Eslabón	Diagrama de cuerpo libre	Cálculos	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector
B-C		<p>a) $\sum F_X = 0$ $F_{CX} = 0$ $\sum F_Y = 0$ $F_{CY} = F_{BY} = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_C = 0$ $M_{CZ} = F_{BY} * 321.5 = 22.6 * 321.5$ $M_{CZ} = 7265.9(\text{Nmm})$ $T_{1X} = F * 135 = 22,6 * 135$ $T_{1X} = -3051\text{Nmm (COMPRESIÓN)}$</p>	 <p>Fuente: MD Solid</p>
C-D		<p>a) $\sum F_X = 0$ $F_{DX} = 0$ $\sum F_Y = 0$ $F_{DY} = F_{CY} = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_D = 0$ $M_{DZ} = M_{CZ}$ $M_{DZ} = 7265.9(\text{Nmm})$</p>	

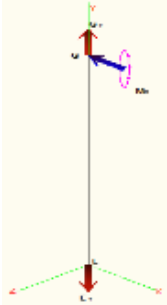
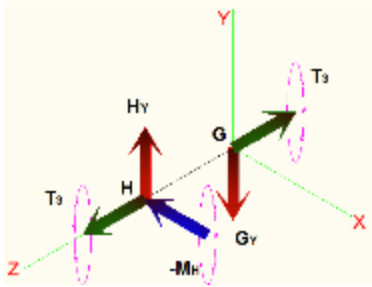
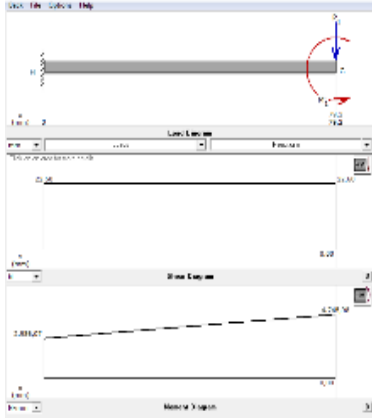
CONTINUA



Eslabón	Diagrama de cuerpo libre	Cálculos	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector
D-E		<p>a) $\sum F_z = 0$ $F_{Dz} = 0$ $\sum F_y = 0$ $F_{Ey} = F_{Dy} = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_E = 0$ $M_{EX} = -F_{Dy} \cdot 210 =$ $M_{EX} = -(22.6 \cdot 210)$ $M_{EX} = -4746(\text{Nmm})$ $T_{2z} = M_{Dz} = -7265,9\text{Nmm}$ $T_{2z} = -7265,9\text{Nmm (COMPRESION)}$</p>	 <p>Fuente: MD Solid</p>
E-F		<p>a) $\sum F_z = 0$ $F_{Fz} = 0$ $\sum F_y = 0$ $F_{Fy} = F_{Ey} = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_F = 0$ $M_{FX} = M_{EX} - F_{Ey} \cdot 99.7$ $M_{FX} = 4746 - (22.6 \cdot 99.7)$ $M_{FX} = 2492.78(\text{Nmm})$</p>	 <p>Fuente: MD Solid</p>

CONTINUA



Eslabón	Diagrama de cuerpo libre	Cálculos	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector
E-G		<p>a) $\sum F_Z = 0$ $F_{GZ} = 0$ $\sum F_Y = 0$ $F_{EY} = F_{GY} = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_F = 0$ $M_{EX} = M_{GX}$ $M_{GX} = 4746(\text{Nmm})$</p>	
G-H		<p>a) $\sum F_Z = 0$ $F_{HZ} = 0$ $\sum F_Y = 0$ $F_{GY} = F_{HY} = 22.6\text{N}$</p> <p>b) $\sum M_H = 0$ $M_{HX} = M_{GX} - (F_{GY} * 79.23)$ $M_{HX} = 4746 - (22.6 * 79.23)$ $M_{HX} = 2955.407(\text{Nmm})$ $T_{3Z} = T_{2Z} = 7265,9(\text{Nmm}) (\text{TRACCIÓN})$</p>	 <p>Fuente: MD Solid</p>

Fuente: Los Autores

2.1.3 DISEÑO DE ESLABONES PARA EL BRAZO MECÁNICO

Con los resultados obtenidos en la Tabla 2.5 se realiza el diseño de los respectivos eslabones, donde se determinara el material y los espesores de cada uno de ellos.

Introducción a los cálculos

Analizando los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector de la Tabla 2.5 se procederá a elegir el punto más crítico de los elementos, que será donde se produzca mayor esfuerzo y este valor servirá para su diseño.

En la Tabla 2.6 se puede apreciar los cálculos y resultados obtenidos para el dimensionamiento y selección del material para los eslabones correspondientes al brazo mecánico.

Ya dimensionado los eslabones se procede a realizar un análisis de tensiones de cada sección correspondiente al brazo mecánico usando el simulador de SolidWorks, cuyo objetivo es descartar sobreesfuerzos, desplazamientos y deformaciones unitarias los mismos que se los pueden apreciar de la Figura 2.29 a la Figura 2.40.

Para asegurar que el mecanismo no falle por deflexión se debe asegurar que los valores calculados de deflexión se encuentren en el rango establecido de deflexión en vigas, que se lo puede verificar en el Anexo A – 14.

Cálculo de deflexión

Mediante los datos de la Tabla 2.6 y el esquema del Anexo A-13 se calculan la deflexión en cada una de las secciones que conforma el brazo mecánico:

SECCIÓN A-B

$$Y_{m\acute{a}x AB} = \frac{-FL^3}{3EI}$$

$$Y_{m\acute{a}x AB} = \frac{-22.6N * (0.135^3)m^3}{3(200GPa)(1.017e - 9)m^4} * \frac{1000mm}{m} = 0.091mm$$

Rango moderado de valores según el Anexo A -14:

0.067mm - **0.091mm** - 0.4mm → SI CUMPLE

SECCIÓN B-C

$$Y_{m\acute{a}x BC} = \frac{-FL^3}{3EI}$$

$$Y_{m\acute{a}x BC} = \frac{-22.6N * (0.3215^3)m^3}{3(200GPa)(1.88e - 9)m^4} * \frac{1000mm}{m} = 0.66mm$$

Rango moderado de valores según el Anexo A-14:

0.167mm - **0.66mm** - 0.964mm → SI CUMPLE

SECCIÓN D-F

$$Y_{m\acute{a}x DF} = \frac{-FL^3}{EI} \left(\frac{a^2}{4L^2} + \frac{a^3}{3L^3} \right)$$

$$Y_{m\acute{a}x DF} = \frac{-22.6N * 0.09971^3 m^3}{200GPa * 1.1718e - 8 m^4} \left(\frac{0.21^2 m^2}{4 * 0.0997^2 m^2} + \frac{0.21^3 m^3}{3 * 0.0997^3 m^3} \right) * \frac{1000mm}{m}$$

$$Y_{m\acute{a}x DF} = 0.0403mm$$

Rango moderado de valores según el Anexo A-14:

0.03mm - **0.04mm** - 0.6mm → SI CUMPLE

SECCIÓN G-H

$$Y_{m\acute{a}x\ GH} = \frac{-FL^3}{3EI}$$

$$Y_{m\acute{a}x\ GH} = \frac{-22.6N * (0.07924^3)m^3}{3(207GPa)(7.8125e - 4)m^4} * \frac{1000mm}{m} = 0.0023mm$$

Rango moderado de valores según el Anexo A-14:

0.03mm - **0.0023mm** - 0.2mm → SI CUMPLE

Los cálculos realizados de deflexión se verifican en la Tabla 2.6, estos cálculos validan el diseño del brazo mecánico y se puede concluir que los eslabones no fallen por deflexión.

Tabla 2.6 Cálculo para el dimensionamiento de eslabones del brazo mecánico.

Sección de análisis	Datos	Cálculos					Material selecto
		Ecuación aplicada	Fórmula	Valor Calculado (Vc)	Valor Permisible (Vp)	Cumple Vc<Vp	
A-B y B-C (Carga a Flexión)	$F_{CY} = F_{BY} = 22.6\text{N}$ $M_{CZ} = 7265.9(\text{Nmm})$ $T_{1X} = -3051\text{Nmm}$ (COMPRESIÓN) $L_{BC} = 321.5\text{mm}$ $A = 113.1\text{mm}^2$ $J_0 = 2035.752\text{mm}^4$ $K_{AB} = 388.8$ $K_{BC} = 720.3$ $FS = 5$ Material = ASTM – A36 $S_y = 248\text{MPa}$ $S_u = 400\text{MPa}$ $E = 200\text{GPa}$ $G = 80000\text{MPa}$	1.30	$D = \left[\left[\frac{32 * FS}{\pi * S_y} \right] * \left(M_{Cz}^2 + T_{1X}^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$	$D = 11.74\text{mm}$			Varilla de Sección Circular $D_{A-B} = 12\text{mm}$ $I = 1.0178e - 9\text{m}^4$ $D_{B-C} = 14\text{mm}$ $I = 1.885e - 9\text{m}^4$ Material. ASTM A36
		1.13	$\theta = \left(\frac{TL}{GJ_0} \right) = \left(\frac{TL}{GK} \right)$	$\theta = 0.02^0$	$\theta = (1e^{-3} - 1e^{-2})_{\text{grd/in}}$ $\theta = (0.012^0 - 0.12^0)$ <small>Fuente:[13]</small>	SI	
		A-24[13]	$Y_{\text{máxA-B}} = \left(\frac{-FL^3}{3EI} \right)$	$Y_{\text{máxA-B}} = -0.091\text{mm}$ $Y_{\text{máxB-C}} = -0.664\text{mm}$	$Y = (5e^{-3} - 3e^{-2})_{\text{mm/mm}}$ $Y_{\text{máxA-B}} = (0.067\text{a}0.40)\text{mm}$ $Y_{\text{máxB-C}} = (0.16\text{a}0.96)\text{mm}$ <small>Fuente:[13]</small>	SI SI	

CONTINUA



Sección de análisis	Datos	Cálculos				Material selecto	
		Ecuación aplicada	Fórmula	Valor Calculado (Vc)	Valor Permissible (Vp)		Cumple Vc<Vp
C-D (Carga Axial)	$F_{DY} = F_{CY} = 22.6N$ $M_{DZ} = 7265.9(Nmm)$ $L_{CD} = 121.5mm$ $A = 144mm^2$ Material = ASTM – A36 $S_y = 248MPa$ $S_u = 400MPa$ $E = 200GPa$ $G = 80000MPa$ $\delta = 21\%$	1.3	$\sigma_{axial} = \left(\frac{F}{A}\right)$	$\sigma_{axial} = 0.157MPa$			Varilla de Sección Rectangular PL 16 x 9 mm Material. ASTM A36
		Tabla 1.5	$\sigma_d = S_u / 8$	$\sigma_d = 50MPa$	$\sigma_{MATERIAL} = 248MPa$	SI	
		1.23	$FS = \frac{\sigma_d}{\sigma_{axial}}$	$FS = 318.4$			
		1.2	$\delta = \left(\frac{FL}{AE}\right)$	$\delta = 9.534e - 5mm$			
		Deformación [13]	$\epsilon = \left(\frac{\delta}{L}\right) = \left(\frac{\sigma_{axial}}{E}\right)$	$\epsilon = 7.85 \times 10^{-7}$	Material Acero $\epsilon = 7.0 \times 10^{-4}$ <small>Fuente:[13]</small>	SI	
D-E y E – F (Carga a Flexión)	$F_{EY} = F_{DY} = 22.6N$ $M_{EX} = -4746(Nmm)$ $T_{2Z} = -7265.9Nmm$ (COMPRESIÓN) $L_{DF} = 309.7mm$ $A = 225mm^2$ $J_0 = mm^4$ $FS = 5$ Material = ASTM – A36 $S_y = 248MPa$ $S_u = 400MPa$ $E = 200GPa$ $G = 80000MPa$	1.3	$\sigma_{axial} = \left(\frac{F}{A}\right)$	$\sigma_{axial} = 0MPa$			Varilla de Sección Rectangular. PL 25 x 9 mm $I = 1.171.e - 8m^4$ Material ASTM A36
		1.10	$\sigma_{flexZ} = \left(\frac{Mc}{I}\right)$	$\sigma_{flexZ} = -5.06MPa$			
		1.9	$\tau_{ZYcort} = \left(\frac{3V}{2A}\right)$	$\tau_{ZYcort} = 0.1506MPa$			
		1.14	$\tau_{ZYtorsion} = \left(\frac{T}{wt^2} \left(3 * 1.8 \frac{t}{w}\right)\right)$	$\tau_{ZYtorsion} = -6.975MPa$			
		1.19	$\sigma_x = \sigma_{flexZ} + \sigma_{axialZ}$	$\sigma_x = -5.0624MPa$			
		1.20	σ_y	$\sigma_y = 0$			

CONTINUA



Sección de análisis	Datos	Cálculos				Material selecto	
		Ecuación aplicada	Fórmula	Valor Calculado (Vc)	Valor Permissible (Vp)		Cumple Vc<Vp
D-E y E-F (Carga a Flexión)	$F_{EY} = F_{DY} = 22.6\text{N}$ $M_{EX} = -4746(\text{Nmm})$ $T_{Z} = -7265,9\text{Nmm}$ (COMPRESIÓN) $L_{DF} = 309.7\text{mm}$ $A = 225\text{mm}^2$ $K = 123.7954\text{e}^3$ $FS = 5$ Material = ASTM - A36 $S_y = 248\text{MPa}$ $S_u = 400\text{MPa}$ $E = 200\text{GPa}$ $G = 80000\text{MPa}$	1.21	$\tau_{ZY} = \tau_{ZY\text{cort}} + \tau_{ZY\text{torsion}}$	- 6.82463			Varilla de Sección Rectangular. PL 25 x 9 mm Material ASTM A36
		1.16	$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$	$\sigma_1 = 4.7477\text{MPa}$			
		1.17	$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$	$\sigma_2 = -9.8101\text{MPa}$			
		1.18	$\tau_{\text{maxxy}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$	$\tau_{\text{maxxy}} = 7.27891\text{MPa}$			
		1.28	$\sigma' = \sqrt{((\sigma_1)^2 - \sigma_1 * \sigma_2 + (\sigma_2)^2)}$	$\sigma' = 12.85902\text{MPa}$			
		Tabla 1.5	$\sigma_d = S_u / 8$	$\sigma_d = 50\text{MPa}$	$\sigma_{\text{MATERIAL}} = 248\text{MPa}$	SI	
		1.3	$FS = \sigma_d / \sigma'$	$FS = 3.888$			
		1.15	$\theta = \left(\frac{T * L}{G * \beta * w * t^3}\right) = \left(\frac{T * L}{G * K}\right)$	$\theta = 0.013^\circ$	$\theta = (1e^{-3} - 1e^{-2})_{\text{grd/in}}$ $\theta = (0.0121^\circ - 0.121^\circ)$	SI	
A-24[13]	$Y_{\text{máxD-F}} = \left(\frac{-FL^3}{EI}\right) * \left(\frac{a^2}{4L^2} + \left(\frac{a^3}{3L^3}\right)\right)$	$Y_{\text{máxD-F}} = -0.04\text{mm}$	$Y = (5e^{-3} - 3e^{-2})_{\text{mm/mm}}$ $Y_{\text{máxD-F}} = (0.10 - 0.6)\text{mm}$ Fuente:[13]	SI			
E-G (Carga Axial)	$F_{EY} = F_{GY} = 22.6\text{N}$ $M_{GX} = 4746(\text{Nmm})$ $L_{EG} = 399.3\text{mm}$ $A = 150\text{mm}^2$ Material = ASTM - A36 $S_y = 248\text{MPa}$ $S_u = 400\text{MPa}$ $E = 200\text{GPa}$ $G = 80000\text{MPa}$	1.3	$\sigma_{\text{axial}} = \left(\frac{F}{A}\right)$	$\sigma_{\text{axial}} = 0.15067\text{MPa}$		Varilla de sección rectangular PL 25 x 6 mm material ASTM A36	
		Tabla 1.5	$\sigma_d = S_u / 8$	$\sigma_d = 50\text{MPa}$	$\sigma_{\text{MATERIAL}} = 248\text{MPa}$		SI
		1.3	$FS = (\sigma_d / \sigma_{\text{axial}})$	$FS = 331.9$			
		1.2	$\delta = \left(\frac{FL}{AE}\right)$	$\delta = 3e - 4\text{mm}$			
		Deformación [13]	$\varepsilon = \left(\frac{\delta}{L}\right) = \left(\frac{\sigma_{\text{axial}}}{E}\right)$	$\varepsilon = 7.53 \times 10^{-7}$	Material Acero $\varepsilon = 7.0 \times 10^{-4}$ Fuente:[13]		SI

CONTINUA 

Sección de análisis	Datos	Cálculos				Material selecto	
		Ecuación aplicada	Fórmula	Valor Calculado (Vc)	Valor Permisible (Vp)		Cumple Vc<Vp
G-H (Carga a Flexión)	$F_{GY} = F_{HY} = 22.6\text{N}$ $M_{HX} = 2956(\text{Nmm})$ $L_{GH} = 79.23\text{mm}$ $A = 150\text{mm}^2$ $T_{3Z} = 7265,9(\text{Nmm})$ (TRACCIÓN) $FS = 3_a_5$ Material = AISI _ 1020 – Estirado – frio $S_y = 441\text{MPa}$ $S_u = 517\text{MPa}$ $E = 207\text{GPa}$ $G = 80000\text{MPa}$	1.3	$\sigma_{axial} = (F / A)$	$\sigma_{axial} = 0\text{MPa}$			Varilla de Sección Rectangular PL 25 x 6 mm $I = 7.812.e - 9\text{m}^4$ Material AISI 1020 FS= 3.382
		1.10	$\sigma_{flexZ} = (Mc / I)$	$\sigma_{flexZ} = 4.7296\text{MPa}$			
		1.9	$\tau_{ZYcort} = (3V / 2A)$	$\tau_{ZYcort} = 0.226\text{MPa}$			
		1.14	$\tau_{ZYtorsion} = \left(\frac{T}{wt^2} \left(3 * 1.8 \frac{t}{w} \right) \right)$	$\tau_{ZYtorsion} = 10.462\text{MPa}$			
		1.19	$\sigma_x = \sigma_{flexZ} + \sigma_{axialZ}$	$\sigma_x = 4.7296\text{MPa}$			
		1.20	σ_y	$\sigma_y = 0$			
		1.21	$\tau_{ZY} = \tau_{ZYcort} + \tau_{ZYtorsion}$	$\tau_{ZY} = 10.688896\text{MPa}$			
		1.16	$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2}$	$\sigma_1 = 13.3122\text{MPa}$			
		1.17	$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2}$	$\sigma_2 = -58.26\text{MPa}$			
		1.18	$\tau_{maxxy} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2}$	$\tau_{maxxy} = 10.9473\text{MPa}$			
		1.28	$\sigma' = \sqrt{((\sigma_1)^2 - \sigma_1 * \sigma_2 + (\sigma_2)^2)}$	$\sigma' = 19.1083\text{MPa}$			
		Tabla 1.5	$\sigma_d = S_u / 8$	$\sigma_d = 64.625\text{MPa}$	$\sigma_{MATERIAL} = 441\text{MPa}$	SI	
		2.3	$FS = \sigma_d / \sigma'$	$FS = 3.382$			
		1.15	$\theta = \left(\frac{T * L}{G * \beta * w * t^3} \right) = \left(\frac{T * L}{G * K} \right)$	$\theta = 0.00036^\circ$	$\theta = (1e^{-3} - 1e^{-2})_{\text{grd/in}}$ $\theta = (0.003^\circ - 0.03^\circ)$ Fuente:[13]	SI	
A-24[13]	$Y_{\text{máxG-H}} = \left(\frac{-FL^3}{3EI} \right)$	$Y_{\text{máxG-H}} = -0.00231\text{mm}$	$Y = (5e^{-3} - 3e^{-2})_{\text{mm/mm}}$ $Y_{\text{máxGH}} = (0.03 - 0.2)\text{mm}$ Fuente:[13]	SI			

Fuente: Los Autores

Análisis de tensiones Usando SolidWorks.

- Análisis de tensiones del eslabón seguidor 1 (Punto A - D) usando SolidWorks.

Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Sólido 1(Saliente-Extrudir)	[SW]ASTM A36 Acero	0.802323 kg	0.000102207 mm ²

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	7.93e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7850	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	2.5e+008	N/m ²	Constante

Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga
Fuerza-4 <eslabón seguidor 1>	Fuerza 22.6 N normal a plano de referencia con respecto a la referencia seleccionada Arista< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante	Valor Calculado	Cumple
Todo el sólido	- 0.005005	22.6025	- 0.00496 4	22.6025 N	22.6 N	OK

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Ubicación (mm)	Valor calculado (Vc)	Valor recomendado (Vr)	Vc < Vr
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	1.74933 e-9 (MPa)	49.483 9 (MPa)	(-8.21, 98.99, 18.82)	-	-	-
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	1.7932 8 mm	(-143.0, 103.20, 331.03)	-	-	-
Deformaciones unitarias	ESTRN : Deformación unitaria	1.46781 e-013	0.0001 83745	(-8.22, 99.61, 18.43)	2.77 e-4 mm = 0.0277 %	0.124%	ok

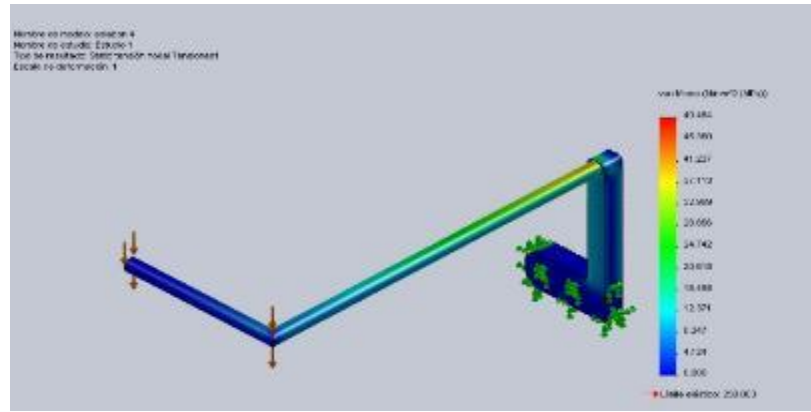


Figura 2.29: Tensiones de eslabón seguidor 1.

Fuente: Software SolidWorks

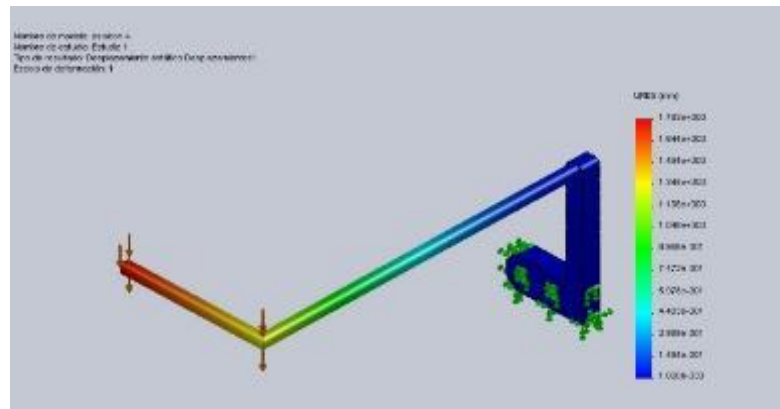


Figura 2.30: Desplazamientos eslabón seguidor 1.

Fuente: Software SolidWorks

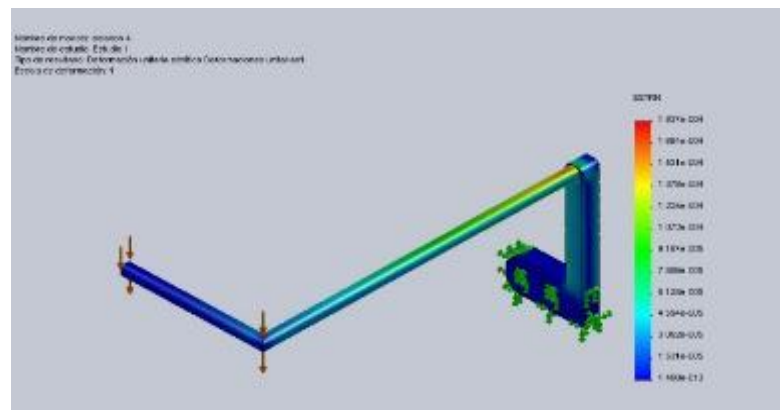


Figura 2.31: Deformaciones unitarias eslabón seguidor 1.

Fuente: Software SolidWorks

- Análisis de tensiones del eslabón seguidor (punto D - F) usando SolidWorks

Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Sólido 1(Redondeo1)	[SW]ASTM A36	0.45606 kg	5.8092e-005 m ³

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	7.93e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7850	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	2.5e+008	N/m ²	Constante

Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga
Fuerza-1 <eslabón seguidor>	Fuerza normal 22.6 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante	Valor Calculado	Cumple
Todo el sólido	-7.801e-006	22.6	-8.046e-007	22.6 N	22.6 N	OK

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Ubicación (mm)	Valor calculado (Vc)	Valor recomendado (Vr)	Vc < Vr
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0.00365773 (MPa)	11.2162 (MPa)	(187.84, -5.73877, -1.50003)	12.86 MPa	-	-
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	0.100444 mm	(322.2, -0.100444, 4.21958e-006)	-	-	-
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.8346e-008	3.75336e-005	(188.29, -6.19162, -2.59104)	1.55 e-4 mm = 0.0155 %	0.124%	ok

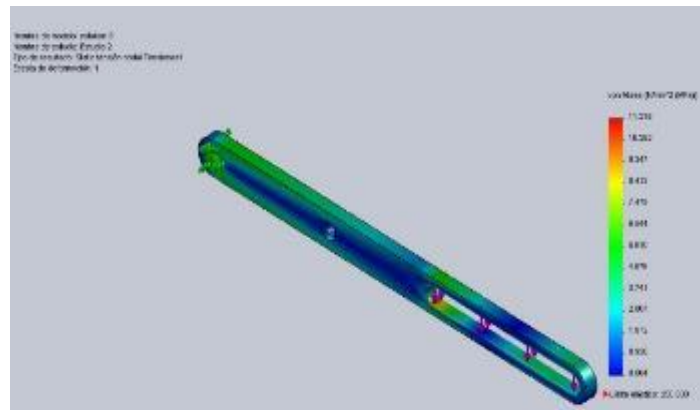


Figura 2.32: Tensiones eslabón seguidor

Fuente: Software SolidWorks

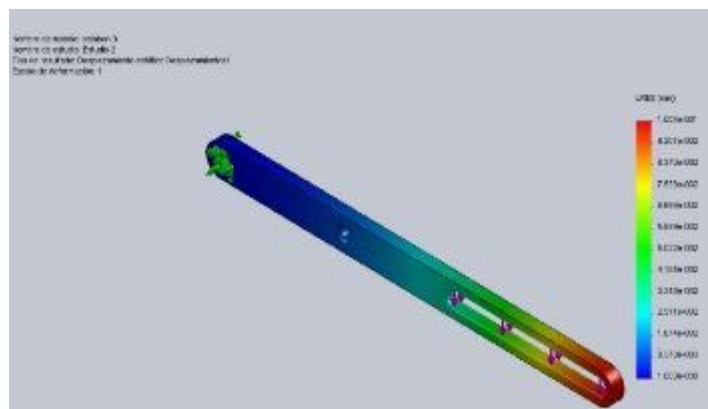


Figura 2.33: Desplazamientos eslabón seguidor

Fuente: Software SolidWorks

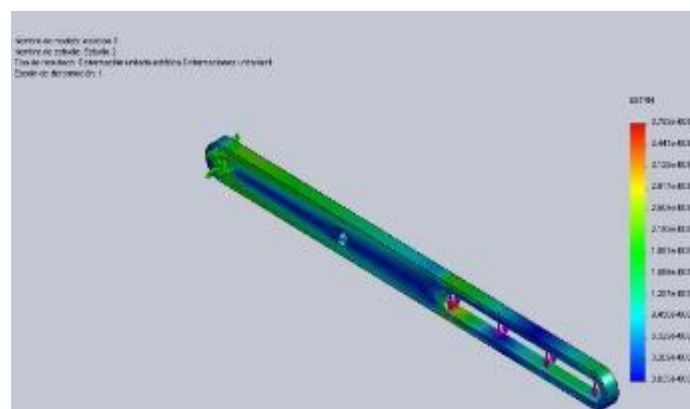


Figura 2.34: Deformaciones unitarias eslabón seguidor

Fuente: Software SolidWorks

- Análisis de tensiones del eslabón acoplador (punto E - G) usando SolidWorks.

Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Sólido 2(Saliente-Extruir3)	[SW]ASTM A36 Acero	0.488547 kg	6.22353e-005 m ³

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	7.93e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7850	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	2.5e+008	N/m ²	Constante

Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga
Fuerza-1 <eslabón acoplador>	Fuerza -22.6 N a lo largo del plano Dir. 2 con respecto a la referencia seleccionada Vista lateral utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante	Valor Calculado	Cumple
Todo el sólido	-0.006402	22.598	0.000447005	22.598 N	22.6 N	OK

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Ubicación (mm)	Valor calculado (Vc)	Valor recomendado (Vr)	Vc < Vr
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0.00265422 (MPa)	31.3382 (MPa)	(2, 3.4641, 2.6077e-008)	-	-	-
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	0.351816 mm	(411.7,-0.351816,-3)	-	-	-
Deformaciones	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.95495e-008	0.000115345	(1.60, 3.94,-0.30)	3e-4 mm = 0.03%	0.124%	ok

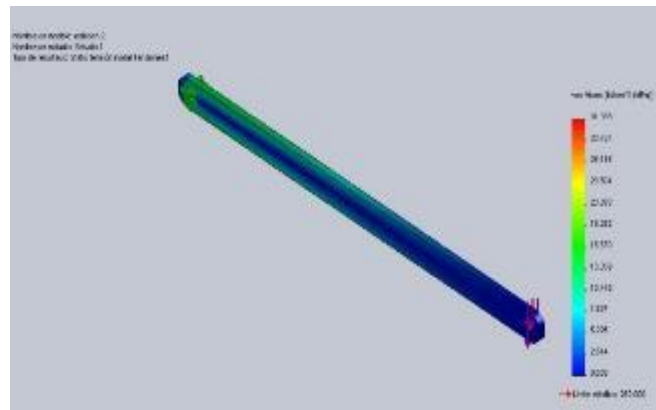


Figura 2.35: Tensiones del acoplador

Fuente: Software SolidWorks

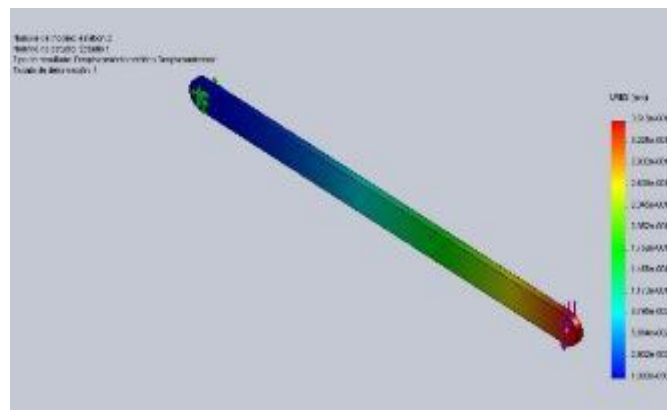


Figura 2.36: Desplazamientos del acoplador

Fuente: Software SolidWorks

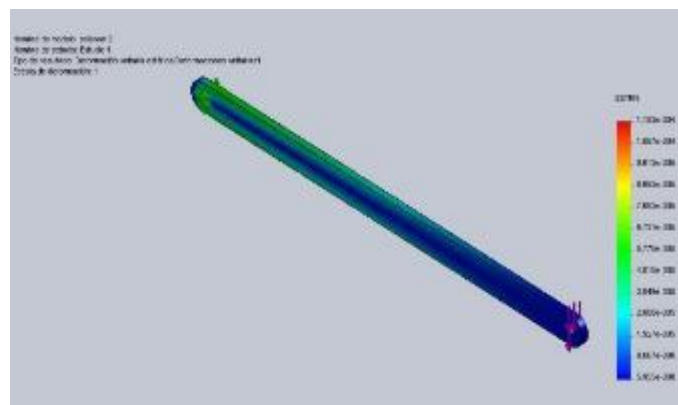


Figura 2.37: Deformaciones unitarias del acoplador

Fuente: Software SolidWorks

- Análisis de tensiones de eslabón manivela (Punto G-H) usando SolidWorks.

Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Sólido 1(Saliente-Extruir2)	[SW]AISI 1020 Acero laminado en frío	0.108414 kg	1.37756e-005 m ³

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2.05e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	8e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7870	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.2e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	51.9	W/(m.K)	Constante
Calor específico	486	J/(kg.K)	Constante

Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga
Fuerza-1 <manivela>	Fuerza -22.6 N normal a plano de referencia con respecto a la referencia seleccionada Arista < 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante	Valor Calculado	Cumple
Todo el sólido	-0.000191	22.6007	0.000370	22.6007 N	22.6 N	OK

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.	Ubicación (mm)	Valor calculado (Vc)	Valor recomendado (Vr)	Vc < Vr
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0.00122871 (MPa)	3.72733 (MPa)	(2.89, 8.47, 2.65)	19.10 MPa	-	-
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	0.00315478 mm	(91.73, -0.003, 3)	-	-	-
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria	4.46195e-008	1.54488e-005	(2.58, 8.67, 1.20)	5.76 e-5 mm = 0.0057 %	0.213%	ok

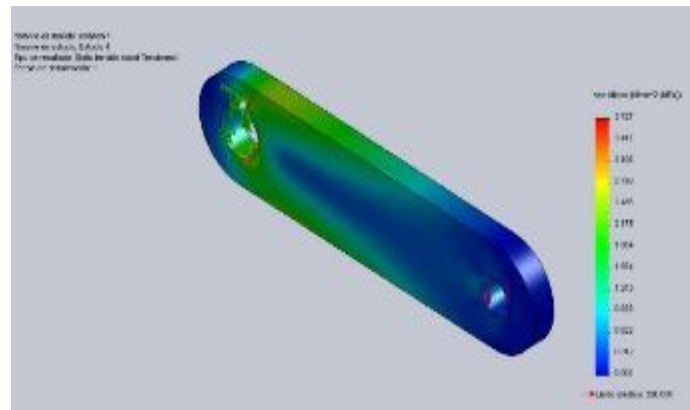


Figura 2.38: Tensiones en la manivela.

Fuente: Software SolidWorks

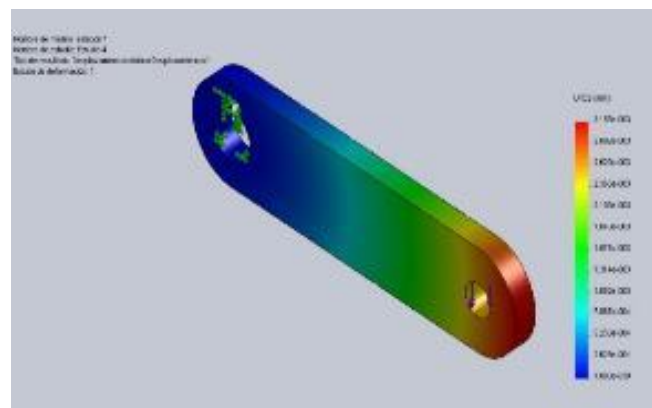


Figura 2.39: Desplazamientos en la manivela

Fuente: Software SolidWorks

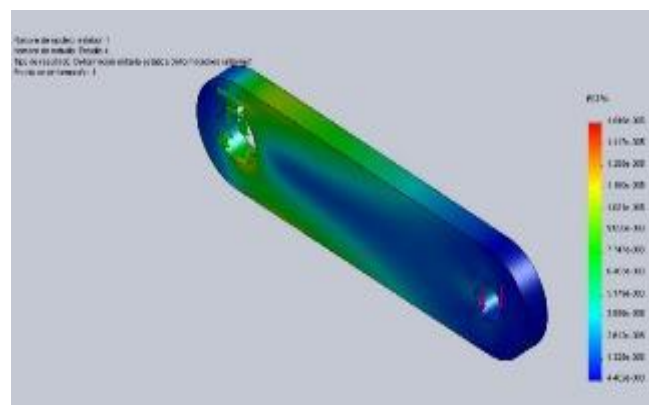


Figura 2.40: Deformaciones unitarias en la manivela

Fuente: Software SolidWork

2.2 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL BRAZO MECÁNICO.

Esté motor estará acoplado al eje del eslabón manivela, del sistema del brazo mecánico, con una velocidad de 5 rpm.

Velocidad en el eje del motor

$$W \text{ manivela} = 5 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} * \frac{\text{min}}{60 \text{seg}} = 0.524 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Potencia de motor.

La siguiente ecuación 2.3 sirve para calcular la potencia del motor eléctrico y multiplicar por un factor que cubrirá el número de arranques por hora FS que será de 1.5.

$$P \text{ motor} = [(T_{\text{max brazo}} + T_{\text{adicional}}) * W_{\text{eslabón1}}] * FS \quad \text{Ec. 2.3}$$

El torque máximo del brazo se obtiene del análisis de fuerzas del sistema de brazo mecánico que corresponde a la Tabla 2.5 (análisis de esfuerzos del punto A - H), seleccionando el valor más crítico que es de 7265.9 N.mm. Y su torque adicional se obtiene de la sumatoria de masas de eslabones multiplicado por la distancia del eslabón manivela (Punto G-H) que es de 0.7923 m.

$$T \text{ adicional} = F * d \quad \text{Ec. 2.4}$$

Calculando la fuerza del sistema.

$$F = m * g$$

$$F = 5 \text{Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 49.05 \text{N}$$

Calculamos el torque adicional aplicando la ecuación 2.4

$$T_{\text{adicional}} = 49.04 * 0.7923$$

$$T_{\text{adicional}} = 38.855 \text{ Nm}$$

Reemplazando valores en la Ecuación 2.3 se obtiene:

$$P_{\text{motor}} = (7.3 + 38.9) \text{ Nm} * 5 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{60} * \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P_{\text{motor}} = (24.57 \text{ Watt}) * F_s$$

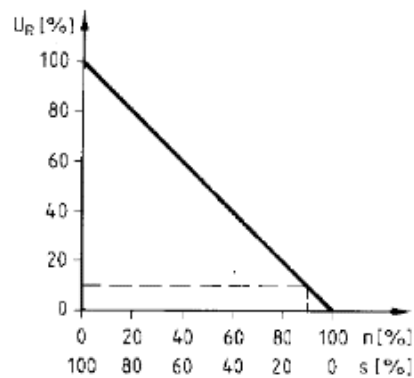
$$P_{\text{motor}} = 24.57 * 1.5$$

$$P_{\text{motor}} = 36.835 \text{ Watt} * \frac{\text{Hp}}{746 \text{ Watt}}$$

$$P_{\text{motor}} = 0.0494 \text{ Hp}$$

Deslizamiento del motor:

El deslizamiento (Figura 2.41) es una de las características más importantes de una máquina de inducción. Se denomina con la letra (s).



**Figura 2.41: La tensión rotórica (U_R) es proporcional al deslizamiento s .
una Tensión de 10% corresponde a un deslizamiento del 10%.**

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

El deslizamiento se calcula con la ecuación 2.5:

$$s = \left(\frac{ns - n}{ns} \right)$$

Ec. 2.5

Donde:

s = deslizamiento.

n_s = velocidad sincrónica.

n = velocidad de rotor = WR

$$s = \left(\frac{1800\text{rpm} - 5\text{rpm}}{1800\text{rpm}} \right) * 100(\%)$$

$$s = 99.72\%$$

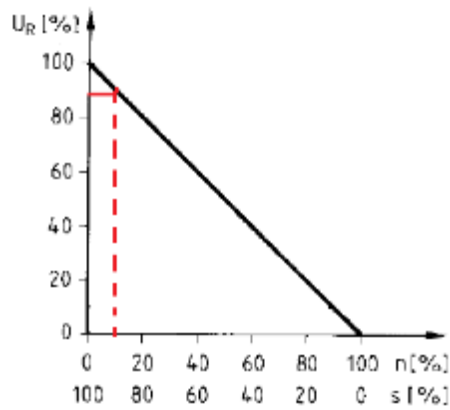


Figura 2.42: Punto de operación del motor electrico .

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

El deslizamiento del 99.72% corresponde a un 99.72% de la tensión retórica, la cual servirá para conocer el consumo de tensión en el rotor tal como se muestra en la Figura 2.42.

Velocidad del rotor.

$$n = n_s * (1 - s) \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$n = (1800) * (1 - 0.939)$$

$$n = 5\text{rpm}$$

Número de polos del motor.

$$\text{Número de polos} = \left(\frac{120 * f}{ns} \right)$$

Ec. 2.7

$$\text{Número de polos} = \left(\frac{120 * 60\text{Hz}}{1800\text{rpm}} \right) = 4 \text{ polos}$$

Requerimientos para seleccionar el motor:

La Tabla 2.7 indica los requisitos y valores mínimos para la selección del motor eléctrico

Tabla 2.7 Parámetros de selección del motor eléctrico del brazo mecánico

Tipo de Motor	Asíncrono
Voltaje (Trifásico)	220 Vac
Frecuencia (hz)	60
Número de polos	4
Potencia (hp)	0.049(Hp)
Construcción.	IM B3
Curva de Par mecánico	Tipo C o D
Aislamiento	F
Tipo de servicio.	S3
Clase de protección	IP 55
Arranques por hora	78.26

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

Motor disponible en el Mercado.

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia h %	Factor de potencia Cos f	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m2	Peso kg
			HP	KW		220V A	440V A								
25000001108	1LA7 070-1YC60	71M	0,1	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1610	1,71	1,8	2,8	0,0006	1,7
25000001109	1LA7 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5

Figura 2.43: Características del motor eléctrico del brazo mecánico seleccionado.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos.

Se ha seleccionado un MOTOR TRIFÁSICO 1800 RPM 0,4 HP 220/400V 1LA7 072-4YC60. (Figura 2.43).

2.3 DISEÑO DEL EJE GIRATORIO.

Finalidad.

Sostener el dispensador cerámico con un apoyo de 4 puntos, para lograr obtener un bañado de esmalte interno del dispensador cerámico.

Este a la vez va a girar a una velocidad de 90 rev/min y por el interior del eje giratorio se instalará una tubería PVC de $\frac{1}{2}$ plg (12.7mm), por el cual fluirá el esmalte.

2.3.1 ANÁLISIS DE TENSIONES

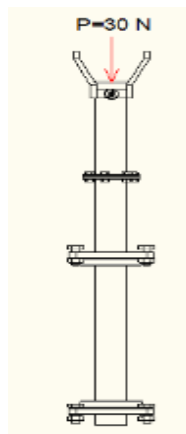


Figura 2.44: Fuerza aplicada al soporte giratorio.

Fuente: Los Autores

El eje hueco va a soportar un peso de 30 N que es un peso promedio de los dispensadores cerámicos que tiene la empresa novel.

Diseño del eje.

Para el diseño del eje giratorio se utilizara la teoría de columnas (carga crítica), se va a considerar que la viga se encuentra empotrada únicamente

en la parte inferior, el eje que se necesita es un eje hueco cilíndrico, el tipo de material aplicar se aprecia en los datos donde se detalla las propiedades mecánicas.

Datos

$$L = 745 \text{ mm}$$

Material: AISI 1020

$$FS = 8$$

$$E = 207 \text{ GPa}$$

$$A = 945.61 \text{ mm}^2$$

$$S_y = 296 \text{ MPa}$$

$$D = 50 \text{ mm}$$

$$d = 36 \text{ mm}$$

$$FS = N = 8 \text{ carga repetida}$$

$K = 2.1$ constante para columna empotrada en un solo punto

Cálculos

Tabla 2.8 Cálculo para el dimensionamiento del eje giratorio

Descripción	Ecuación	Resultado
Longitud efectiva	$L_e = K.L$	$L_e = 1564.5 \text{ mm}$
Radio de giro de sección circular	$r = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{4}$	$r = 8.674 \text{ mm}$
Relación de esbeltez	$SR = \frac{L_e}{r}$	<u>$SR = 180.35$</u>
Constante de columna	$C_c = \sqrt{\left(\frac{2\pi^2 E}{S_y}\right)}$	$C_c = 117$
Carga de pandeo crítica ($SR > C_c$ Aplicar ecuación de Euler)	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(SR)^2}$	$P_{cr} = 59.4 \text{ KN}$
Carga Permisible	$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$	$P_a = 7.42 \text{ KN}$

Fuente: Los autores

Se concluye que el diseño de la columna del eje giratorio puede soportar una carga menor a 7.42 kN, en este caso la carga que se va aplicar al eje es de 30 N, por lo que se asegura que no existirá pandeo ni deformación en el eje, cumpliendo con un factor de seguridad de 8.

Análisis de tensiones usando SolidWorks

En un análisis de tensiones del eje giratorio se observa que existe una tensión máxima de 0.0348 Mpa y existe un desplazamiento de 8.326e-5mm se lo puede apreciar en la Figura 2.45 y Figura 2.46

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	1.38007e-007 (MPa)	0.0348 (MPa)
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	8.3264e-005 mm

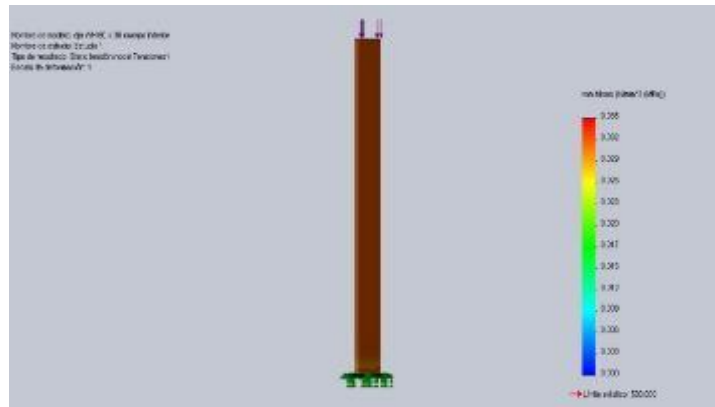


Figura 2.45: Eje WH 50 x 36 mm – Tensiones.

Fuente: Software SolidWorks

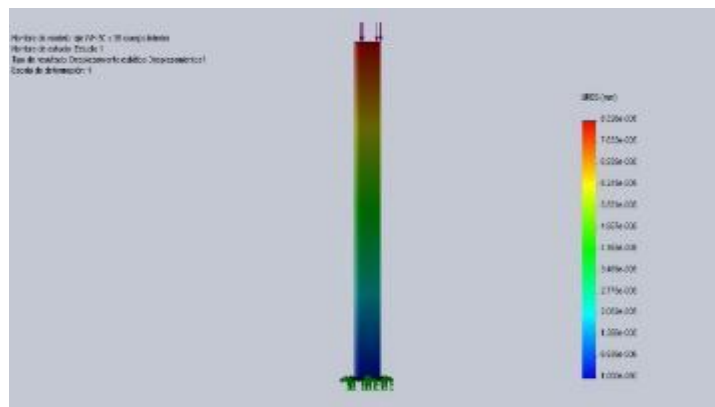


Figura 2.46: Eje WH 50 x 36 mm – Desplazamientos.

Fuente: Software SolidWorks

2.3.2 SELECCIÓN DE LAS CORREAS EN V.

Finalidad

La correa en V (Figura 2.47), cumplirá la función de transmitir el movimiento al eje giratorio WH que tendrá una polea y la banda se acoplara a otra polea ubicada en el eje del motor eléctrico, cuya velocidad de operación es de 80 rpm.

Como se puede observar la velocidad que se requiere es muy baja, se ha tomado la decisión de realizar los cálculos de diseño a una velocidad de 500 rpm para tener un rango de trabajo óptimo.

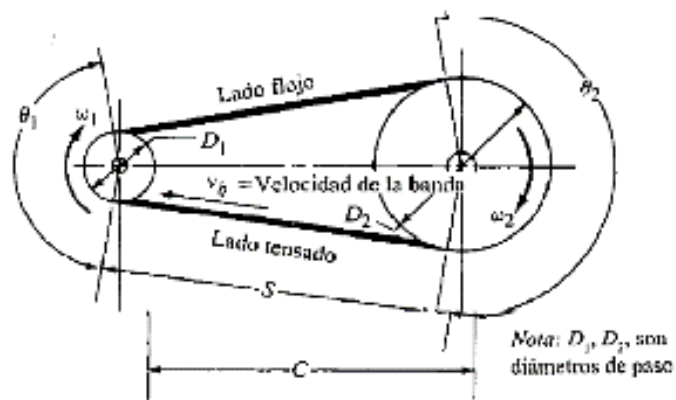


Figura 2.47: Características de un sistema de transmisión por bandas.

Fuente: Catálogo Correas en V.

Cálculos:

Masas.

En la Figura 2.48 se describe las masas que actúan sobre el eje giratorio, obteniendo un total de 12 kg.

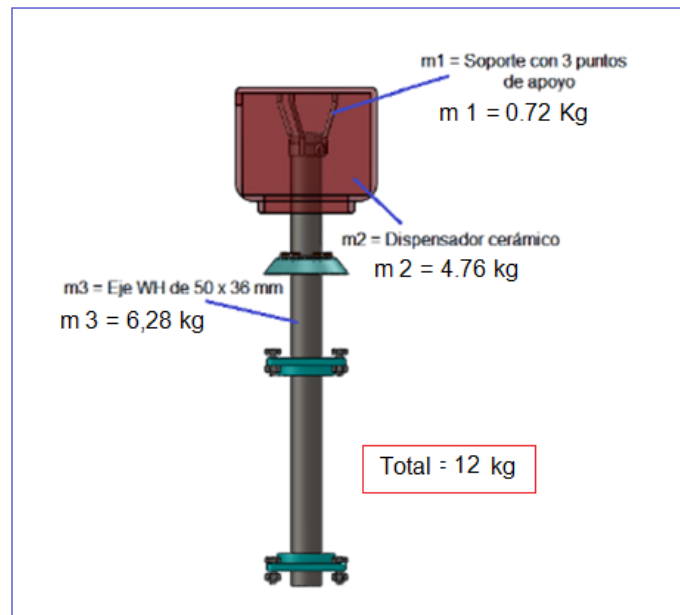


Figura 2.48: Designación de masas del eje giratorio.

Fuente: Software SolidWorks

Fuerza.

Para obtener la fuerza se utiliza la ecuación 2.8 donde se especifica un producto del peso (P) por la gravedad (g).

$$F = P * g \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$F = P * g$$

$$F = 12(\text{Kg}) * 9.81(\text{m} / \text{s}^2)$$

$$F = 117.72\text{N}$$

Torque eje giratorio.

Para obtener el torque se utiliza la ecuación 2.9 donde se especifica el producto de la fuerza (F) por el radio (r), para este caso utilizaremos el radio de 0.025 m que corresponde a la distancia del dispensador.

$$T = F * r \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$T_{\text{eje}} = 117.72(\text{N}) * 0.025\text{m}$$

$$T_{\text{eje}} = 2,943\text{Nm}$$

Velocidad angular del eje.

$$\omega = 500 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{seg}} = 52.3599 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Potencia requerida.

$$P = T_{\text{eje}} \times \omega \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$P = (2.943) \text{Nm} * (52.3599) \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P = 154.0952(\text{Watt})$$

$$P = 154.0952(\text{watt}) * \frac{\text{Hp}}{746 \text{Watt}}$$

$$P = 0.207 \text{Hp}$$

Potencia de diseño.

Se selecciona multiplicando la potencia requerida (P) por el factor de servicio (FS), el FS se lo obtiene de la Tabla 1 [16]. Con una carga uniforme y un servicio continuo FS = 1.3:

$$P_d = P * FS \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$P_d = (0.207 \text{Hp}) \times (1.3)$$

$$P_d = 0.2691(\text{Hp})$$

Selección del tipo de correa.

Seleccionar el tipo de correa con la potencia de diseño y la velocidad más alta (500 rpm), se utiliza el esquema de la página 19[16]. Se selecciona la correa:

8 mm PolyChain GT2

Relación de velocidad.

$$i = \frac{n1}{n2} = \frac{D2}{D1} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$i = \frac{R}{N} = \frac{n1}{n2} = \frac{682}{500} = 1.364$$

Selección del diámetro de ruedas y tipo de banda.

Seleccionar los diámetros de la rueda conductora (R) y la rueda conducida (N) y la distancia entre centros con la ayuda de la tabla de la página 26 [16].

Sprocket Combinations				Speed Ratio	Center Distance, inches			
DriveR		DriveN			8MGT-640 P.L. 25.20 80 Teeth	8MGT-720 P.L. 28.35 90 Teeth	8MGT-800 P.L. 31.50 100 Teeth	8MGT-886 P.L. 35.28 112 Teeth
Number of Grooves	Pitch Diameter (Inches)	Number of Grooves	Pitch Diameter (Inches)					
22	2.206	30	3.008	1.364	8.5	10.07	11.65	13.54
33	3.308	45	4.511	1.364	6.43	8.01	9.59	11.48
Length Factor*					0.79	0.83	0.87	0.91

Figura 2.49: Valores seleccionados para ruedas de espigas.

Fuente: Catálogo Correas en V.

La distancia entre centros es de 8.5 plg con un factor de longitud de 0.79 plg y la Banda seleccionada es (8MGT-640 - P.L 2520 – 80 Teeth) tal como se describe en la Figura 2.49.

Velocidad de la cinta.

No debe exceder los 6500(ft/min).

$$V(\text{ft / min}) = \frac{(DR(\text{in}) * n1(\text{rpm}))}{3.82} \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$V(\text{ft/min}) = \frac{2.206(\text{in}) * 682(\text{rpm})}{3.82}$$

$$V = 393.846(\text{ft/min}) \leq 6500(\text{ft/min}) \triangleright \text{OK}$$

Selección del ancho de banda adecuada.

$$P_{\text{mod}}(\text{Hp}) = [(P_{\text{nominal de ancho}} + P_{\text{adicional}}) * FL] \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

FL = factor de longitud

Se ha seleccionado de la tabla de la página 52[16], con 690 rpm y 22 ranuras de la Rueda R.

$$P(\text{Hp})_{\text{mod}} = (3.42 + 0.24) * 0.79$$

$$P_{\text{mod}} = 2.8914 \text{Hp}$$

La potencia modificada excede la potencia de diseño por lo tanto el ancho de la banda es la correcta y es de 12 mm.

Comprobación de los Valores de los diámetros en la página 66, del catálogo de selección[16]

Tabla 2.9 Diámetros estándar de ruedas de espigas.

	Número de la rueda de espigas.	Tipo	Bushing
DRIVE R	8MX-22S-12	AF-1	1008
DRIVE N	8MX-30S-12	AF-1	1108

Fuente: Catálogo Correas en V.

Comprobación de la distancia entre centros C.

$$D2 < C < 3(D2 + D1)$$

$3.008 < 8.5 < 15.65 \text{ -- } \rightarrow \text{ Si cumple}$

Angulo de contacto.

$$X1 = \text{Sen}^{-1} \left[\frac{(D2 - D1)}{2C} \right] \tag{Ec. 2.15}$$

$$X1 = \text{Sen}^{-1} \left[\frac{(3.008 - 2.206)}{2 * 8.5} \right]$$

$X1 = 2.704^\circ$

$\theta1 = 180 - 2X1 \text{ - } \rightarrow \theta1 > 120^\circ$ Ec. 2.16

$\theta1 = 180 - 2X1 \text{ - } \rightarrow \theta1 > 120^\circ$

$\theta1 = 174.6^\circ \text{ - } \rightarrow \text{ok}$

Torque ejercido por banda.

Las transmisiones por correas (Figura 2.50) son transmisiones por fricción y flexibles, lo que le permite transmitir el movimiento de la polea conductora a la conducida, con la potencia deseada, gracias a la fuerza de rozamiento que surge en el contacto entre la polea y correa[17]. La Figura 2.51 describe el diagrama de cuerpo libre de un sistema de transmisión por correas.

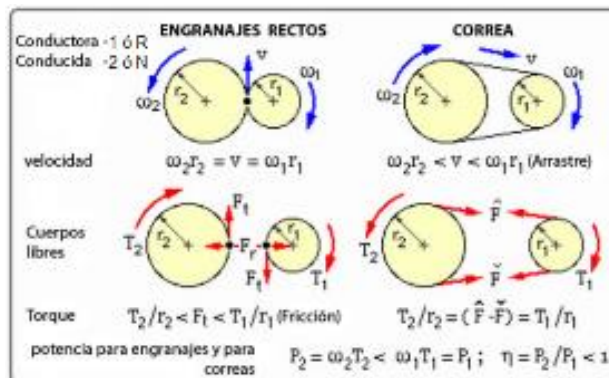


Figura 2.50: Cuerpo libre del sistema de transmisión de engranajes y Correa.

Fuente: Transmisiones por Correas

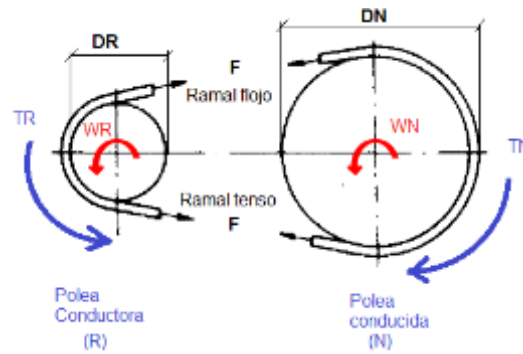


Figura 2.51: Cuerpo libre de la correa del sistema de eje giratorio.

Fuente: Transmisiones por Correas

Donde:

	Denominación	Fórmula	Valores Calculados
i	Relación de transmisión	$i = \left(\frac{DN}{DR}\right) = \left(\frac{WR}{WN}\right)$	1,634
DR	Diámetro polea conductora	-	2.206 in
DN	Diámetro de la polea conducida	-	3.008 in
WR	Velocidad polea conductora	-	109.12 rpm
WN	Velocidad de la polea conducida	-	80 rpm
TR	Torque rueda conductora	$TR = \frac{Pd \text{ (Watt)}}{WR \text{ (rad/seg)}}$	17.568 Nm
TN	Torque rueda conducida	$TN = \frac{Pd \text{ (Watt)}}{WN \text{ (rad/seg)}}$	23.963 Nm
F	Fuerza de Rozamiento	$F = \left[\frac{TR * 2}{DR}\right], F = \left[\frac{TN * 2}{DN}\right]$	627.429 N
To	Tensión inicial	$To = \frac{TR + TN}{2}$	20.7655 Nm

2.3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA EJE GIRATORIO.

Esté motor estará acoplado a la polea conductora, cuya función será transmitir movimiento al eje giratorio.

Potencia del motor.

Se utiliza la ecuación 2.17 para calcular la potencia del motor eléctrico y multiplicar por un factor que cubrirá el número de arranque por hora (FS igual a 1.5).

$$P_{\text{motor}} = (T_e + T_R) \cdot \omega_R$$

Ec. 2.17

$$P_{\text{motor}} = (2.943 + 17.568)\text{Nm} \cdot 109.12\text{rpm} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P_{\text{motor}} = (234.38\text{Watt}) \cdot F_s$$

$$P_{\text{motor}} = 234.38 \cdot 1.5$$

$$P_{\text{motor}} = 351.57\text{Watt} \cdot \frac{\text{Hp}}{746\text{Watt}}$$

$$P_{\text{motor}} = 0.4712\text{Hp}$$

Deslizamiento del motor.

El deslizamiento (Figura 2.52) es una de las características importantes de una máquina de inducción, se denomina con la letra (s).

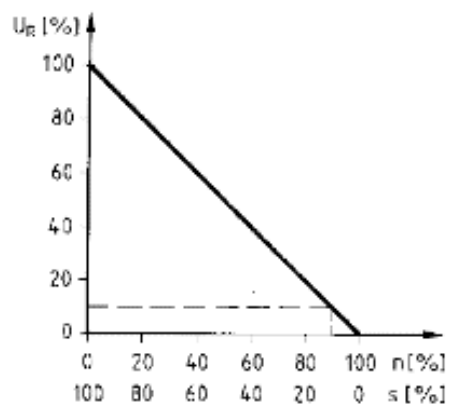


Figura 2.52: La tensión rotórica (U_R) es proporcional al deslizamiento s. una tensión de 10% corresponde a un deslizamiento del 10%.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

$$s = \left(\frac{n_s - n}{n_s} \right)$$

Ec. 2.18

Donde:

s = Deslizamiento.

n_s = Velocidad sincrónica.

n = Velocidad de rotor = ω_R

$$s = \left(\frac{1800\text{rpm} - 109.12\text{rpm}}{1800\text{rpm}} \right) * 100(\%)$$

$$s = 93.9\%$$

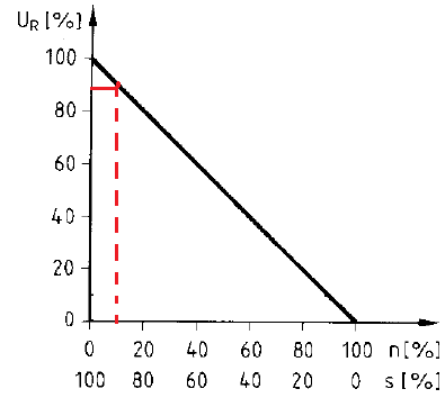


Figura 2.53: Punto de operación del motor eléctrico eje giratorio.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

El deslizamiento del 93.9% corresponde a un 93.9% de la tensión rotórica, la cual servirá para conocer el consumo de tensión en el rotor (Figura 2.53).

Velocidad del rotor.

$$n = n_s * (1 - s) \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$n = (1800) * (1 - 0.939)$$

$$n = 109.12\text{rpm}$$

Número de polos del motor.

$$\text{Número de polos} = \left(\frac{120 * f}{n_s} \right) \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$\text{Número de polos} = \left(\frac{120 * 60\text{Hz}}{1800\text{rpm}} \right) = 4 \text{ polos}$$

Requerimientos para seleccionar el motor: En la Tabla 2.10 se muestra las características técnicas del motor seleccionado para el eje giratorio.

Tabla 2.10 Parámetros de selección del motor eléctrico del eje central giratorio.

Tipo de Motor	Asíncrono
Voltaje (Trifásico)	220 Vac
Frecuencia (hz)	60
Número de polos	4
Potencia (hp)	0.5 (Hp)
Construcción.	IM V6
Curva de Par mecánico	Tipo C o D
Aislamiento	F
Tipo de servicio.	S3
Clase de protección	IP 55
Torque a 109.12 rpm	20.511Nm
Arranques por hora	78.26

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos

Motor disponible en el mercado.

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Codigo	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		T.S.	In		Eficiencia η	Factor de potencia Cos φ	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cl. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m ²	Peso kg
			HP	KW		220V A	440V A								
25000001108	1LA7 070-4YC60	71M	0,4	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
25000001109	1LA7 070-1YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,21	1,3	2,7	0,0006	5,5
25000001110	1LA7 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6

Figura 2.54: Características del motor eléctrico central giratorio seleccionado.

Fuente: Catalogo Selección de Motores Asíncronos.

Se ha seleccionado un MOTOR TRIFÁSICO 1800 RPM, 0,5 HP; 220/400V 1LA7 070-4YA60 (Figura 2.54).

2.4 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DE VELOCIDAD DE LOS DOS MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN.

2.4.1 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD PARA EL CONTROL DEL BRAZO MECÁNICO Y DEL EJE GIRATORIO.

Para el control de los motores eléctricos de brazo mecánico y del eje central giratorio se ha seleccionado los VARIADORES DE VELOCIDAD SINAMICS G110 (Figura 2.55).



Figura 2.55: Variador de Velocidad Sinamics G100.

Fuente: Catálogo VSD Siemens.

La potencia adecuada para los variadores debe ser mayor a la potencia de los motores.

Para lo cual se detalla la información que será de mucha importancia para su instalación y uso, pesquisa como: Puesta en servicio, modos de control, estructura de parámetros del sistema, posibilidades de diagnóstico, datos técnicos y opciones disponibles del VSD (Variador de velocidad) SINAMICS G110.

Instrucciones de uso del variador SINAMICS G110.

Los variadores SINAMIGS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad de motores trifásico. Los diferentes modelos que se suministran la marca SIEMENS cubren un margen de potencia de 120W a 3,0KW en redes monofásicas.

Los valores de parámetros para el SINAMICS G110 se puede modificar con el panel básico de operaciones BOB (basic Operator Panel) o bien mediante la interface en serie universal (USS).

Características principales del variador.

- Fácil de instalar.
- Puesta en marcha sencilla
- Puesta en servicio rápida.
- Puede funcionar en modelos de alimentación IT (modelos sin filtro)
- 1 entrada digital con separación galvánica.
- 3 entradas digitales sin separación galvánica.
- 1 entrada analógica AIN: 0-10V (solo en la variante analógica) se puede utilizar como cuarta entrada digital.
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor.
- Las informaciones de estado y alarmas se visualizan en el panel BOB (obtenible como opción).
- BOB opcional con funcionalidad de copia de parámetros para juegos de los mismos.
- Interface interna RS485 (Solo en la variante USS).
- Kit de conexión para el enlace PC-convertidor (RS232)

Funciones.

- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido.
- Limitación rápida de corriente (fast current limit FCL) para funcionamiento seguro sin desconexión por fallo de freno combinado.
- Freno por inyección de corriente continuo integrado.
- Frecuencias fijas.
- Función de potenciómetro motorizado.
- Tiempos de aceleración y desaceleración ajustables
- Característica V/f multipunto.

- Control con 2 hilos/ 3 hilos.
- Re arranque automático después de cortes de red.

Características de protección.

- Protección sobretensión / subtensión.
- Protección de sobre temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.
- Protección de cortocircuito.
- Protección contra la pérdida de estabilidad (vuelco) del motor.

Diagrama de bloque.

El control de velocidad del motor se lleva a cabo a través de las entradas analógicas en la variante analógica o a través de la interface RS 485 en la variante USS (Figura 2.56 y Figura 2.57).

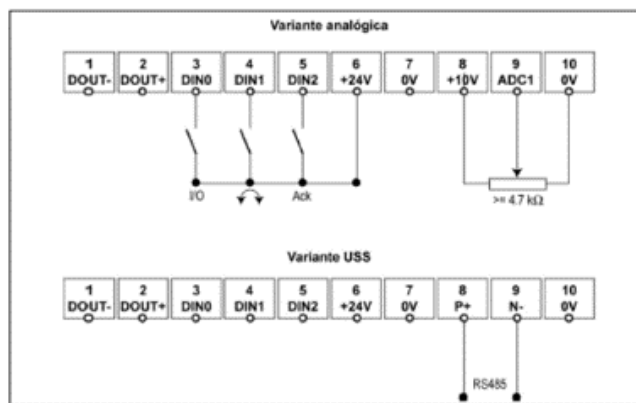


Figura 2.56: Servicio Estándar, variante analógica.

Fuente: Catálogo VSD Siemens.

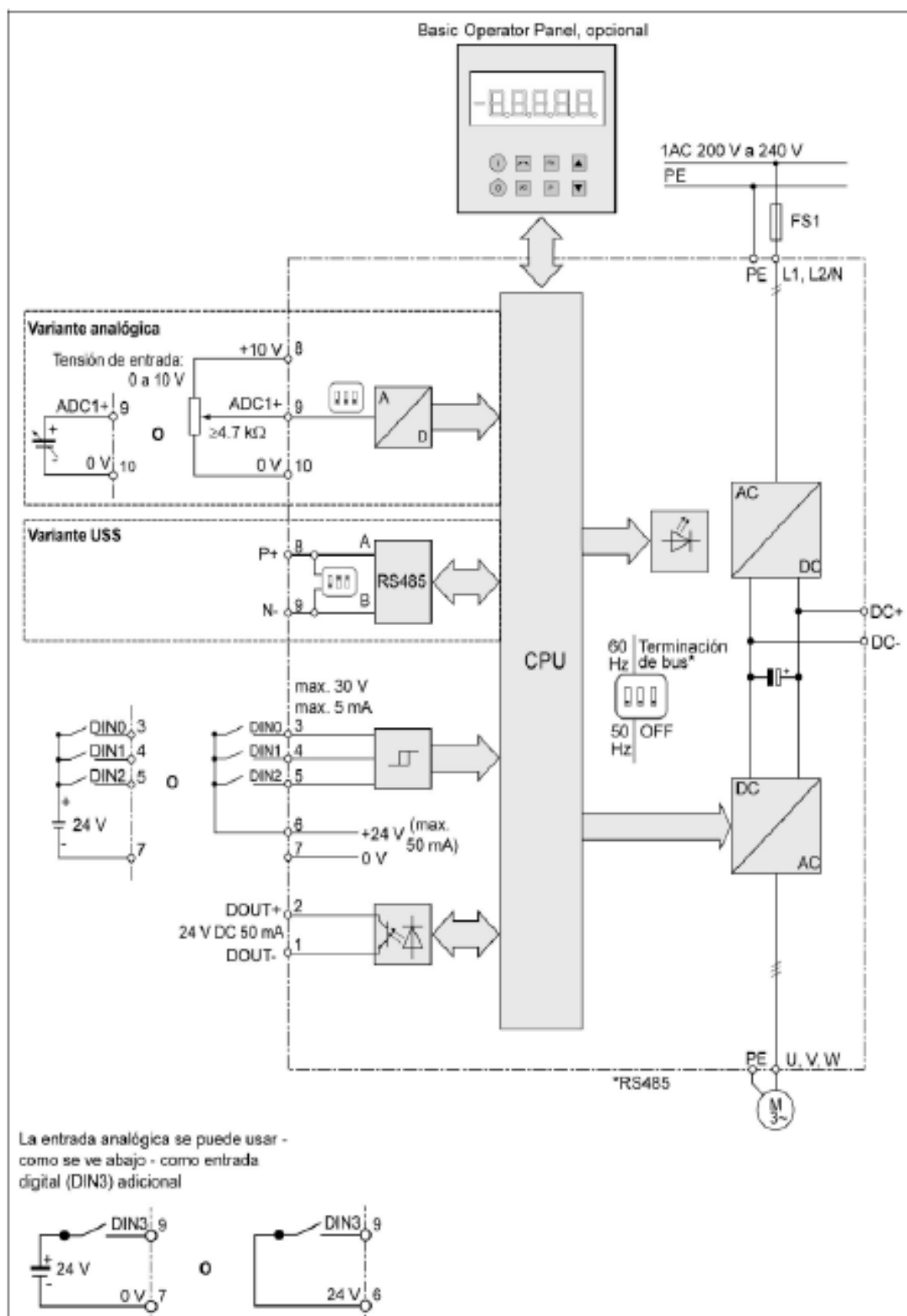
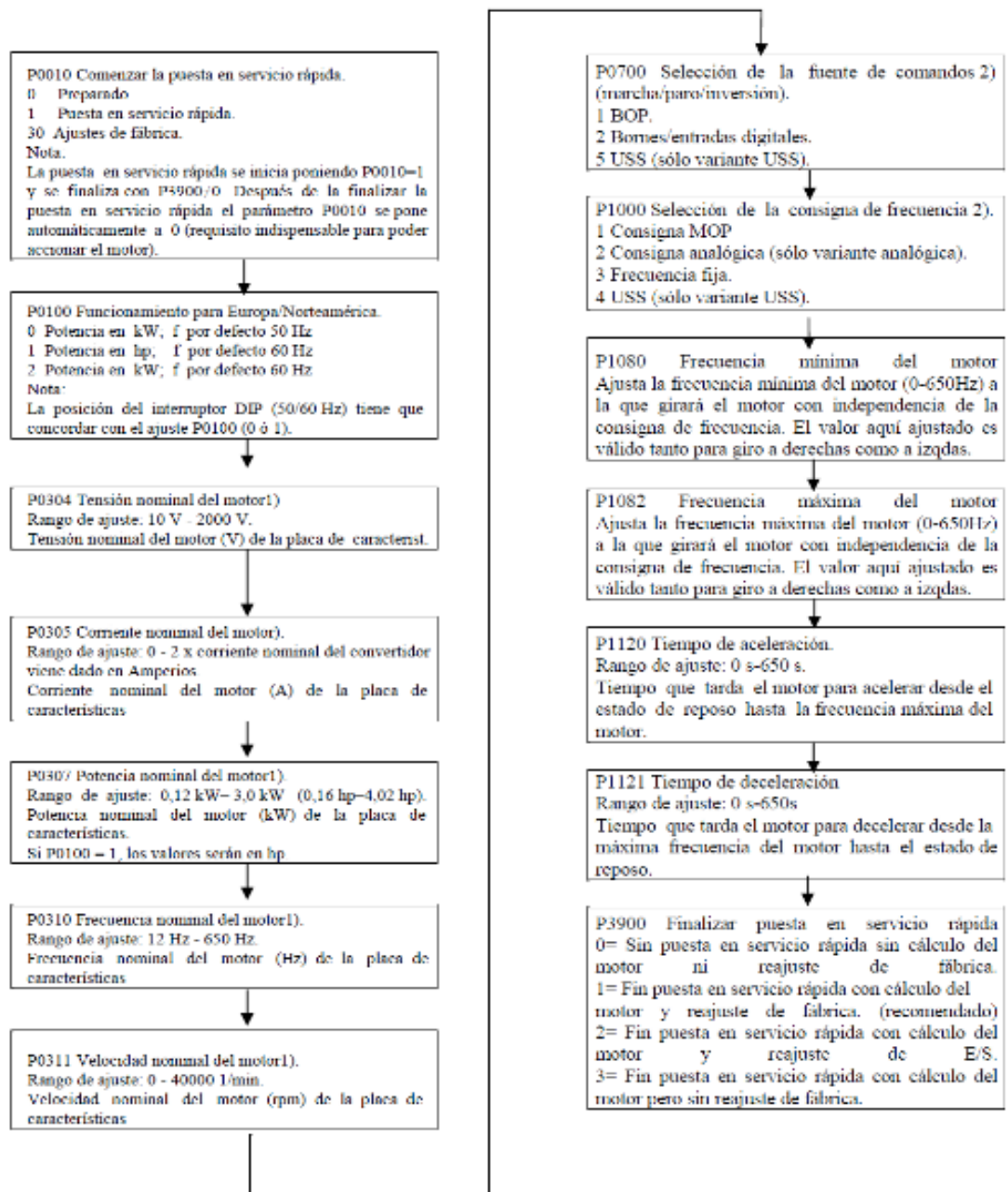


Figura 2.57: Diagrama de Bloques de SINAMICS G110.

Fuente: Catálogo VSD Siemens.

Diagrama de flujo para puesta en servicio rápida (nivel de acceso

1- P0003 =1).



1) Parámetros relacionados con el motor. Consulte la placa de características del motor.

2) Son parámetros que contienen una lista más detallada de posibles ajustes para su uso en aplicaciones específicas. Consulte la Lista de parámetros.

Fuente: Catálogo VSD Siemens.

2.5 DISEÑO NEUMÁTICO.

Mediante el diseño neumático, se establece cual es el cilindro neumático adecuado, que permita la movilidad exacta del esmalte cerámico hacia el interior del dispensador y a la vez dimensionar la línea de aire a presión para el funcionamiento de la pistola automática que realizará el esmaltado externo, basándonos principalmente en los parámetros de diseño de sistemas de aire comprimido.

Para el esmaltado interno del dispensador cerámico se utilizará un sistema compuesto por un cilindro neumático de doble efecto acoplado a un diafragma hermético que contendrá el esmalte, los componentes serán dimensionados y seleccionados en este apartado.

2.5.1 SISTEMA NEUMÁTICO.

Se colocará una fuente neumática mediante un compresor y que posea un tanque de almacenamiento, gracias a ésta fuente se hará uso de la presión del aire para el funcionamiento del cilindro neumático y la pistola automática, el accionamiento de estos elementos se decidió que sea neumático debido a que la energía del aire comprimido es la mejor cuando se trata de velocidad de una acción o de la producción, con una aplicación industrial de 8 bares (120 psi) para este caso.

De acuerdo a lo establecido en el diseño mecánico, se necesita un cilindro neumático de doble efecto, que posea amortiguación regulable delantera y trasera para evitar el choque brusco tanto en la expulsión como en el retorno del vástago.

El cilindro neumático y la pistola automática son accionados mediante electroválvulas 5/2 (5 vías, 2 posiciones) una para cada componente.

Debido a la presión que se va a manejar, y con la finalidad de tener un movimiento del cilindro acorde a nuestras necesidades, se necesita una válvula reguladora de caudal.

Para la conexión del sistema neumático, se utilizará mangueras que son de goma u otro material como plástico, acopladores o racores que sirven para unir las mangueras en el cilindro y electroválvulas.

Para la simulación del sistema neumático se hará uso del programa computacional FluidSIM del fabricante FESTO.

2.5.2 DIMENSIONADO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS NEUMÁTICOS.

a. CILINDRO NEUMÁTICO PARA EL ESMALTADO INTERNO.

Para el dimensionado del actuador lineal se requiere conocer el valor de la carga o efecto útil a realizar. Se puede tener una carga lineal, en cuyo caso se debe conocer o poder estimar el valor de la fuerza que dicha carga opone al movimiento. A continuación se realizan los cálculos de masa y peso para cada uno de los elementos mediante el uso de las ecuaciones[18] 2.21 y 2.22.

Las tablas 2.11, 2.12 y 2.13 muestran las características técnicas del esmalte cerámico, diafragma y soporte base del diafragma respectivamente.

Tabla 2.11 Características Técnicas del Esmalte Cerámico.

TIPO DE ESMALTE	Blanco y Transparente
VISCOSIDAD	80 ± 5 K.U.
DENSIDAD	1,16 ± 0,02 kg/lit
VOLUMEN	7 litros

Fuente: Los Autores

Cálculos:

$$m = \rho * V \quad \text{Ec. 2.21}$$

Donde:

ρ = densidad (kg/lit)

m = masa (kg)

V = volumen (lit)

$$m_1 = \rho * V = 1,16 \text{ kg/lit} * 7\text{lit}$$

$$m_1 = 8,12 \text{ kg}$$

$$W = m * g \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

W = peso (N)

m= masa (kg)

g = gravedad (m/s^2)

$$W_1 = m * g = 8,12 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W_1 = 79,65 \text{ N}$$

Tabla 2.12 Características Técnicas del Diafragma.

MATERIAL	NBR - Nitrilo
MASA	0,91463 kg
VOLUMEN	795,33 cm^3
DIÁMETRO SUPERIOR (A)	200 mm
DIÁMETRO INFERIOR (B)	80 mm
ALTURA TOTAL (C)	30 mm
ESPESOR (D)	4 mm

Fuente: Los Autores

La figura 2.58 muestra el diafragma seleccionado con su carcasa metálica la misma que va almacenar el esmalte cerámico para su posterior expulsión:

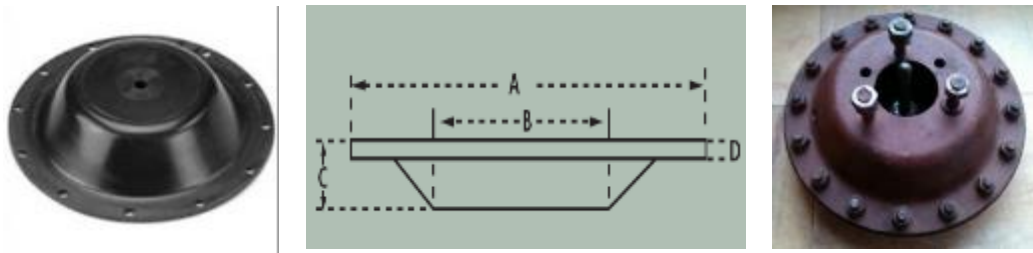


Figura 2.58: Diafragma y carcasa seleccionados.

Fuente: www.cauchosvikingo.com

Cálculos:

$$W_2 = m * g = 0,91463 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W_2 = 8,9 \text{ N} \approx 9 \text{ N}$$

Tabla 2.13 Características Técnicas del Soporte Base del Diafragma.

MATERIAL	Acrílico
MASA	0,11706 kg
VOLUMEN	97,55 cm ³
ESPESOR	8 mm

Fuente: Los Autores

Cálculos:

$$W_3 = m * g = 0,11706 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W_3 = 1,15 \text{ N}$$

$$m_{\text{TOTAL}} = m_{\text{esmalte}} + m_{\text{diafragma}} + m_{\text{soporte base}}$$

$$m_{\text{TOTAL}} = 8,12 \text{ kg} + 0,91463 \text{ kg} + 0,11706 \text{ kg}$$

$$m_{\text{TOTAL}} = 9,15 \text{ kg}$$

$$F_{\text{NETA}} = W_{\text{TOTAL}} = W_1 + W_2 + W_3 = 79,65 \text{ N} + 9 \text{ N} + 1,15 \text{ N}$$

$$F_{\text{NETA}} = W_{\text{TOTAL}} * \text{Factor de seguridad} = 89,8 \text{ N} \approx 90 \text{ N} * 2,5 = 135 \text{ N}$$

La fuerza neta que el cilindro neumático tiene que vencer es de 135 N.

2.5.3 SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO

En el cálculo de la fuerza requerida para impulsar el esmalte cerámico contenido en el diafragma, se obtuvo que la fuerza necesaria es:

$$F_{\text{NETA}} = 135 \text{ N}$$

$$\text{Carrera} = 50 \text{ mm}$$

Conocida la fuerza neta a una presión de diseño de 6 bares, se selecciona los diámetros del vástago y embolo que deberá tener el cilindro neumático con la ayuda de la Tabla 2.14.[19]

Tabla 2.14 Tamaños Normalizados de cilindros y longitudes de carrera.

Ø VASTAGO [mm]	Ø EMBOLO [mm]	FUERZA NETA [N] a P=6 bar	LONGITUDES DE CARRERAS NORMALIZADAS [mm]
—	6	15	10, 25, 40, 80
4	12	60	10, 25, 40, 80, 140, 200
6	16	106	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300
10	25	260	25, 40, 80, 140, 200, 300
12	35	509	70, 140, 200, 300
16	40	665	40, 80, 140, 200, 300
18	50	1039	70, 140, 200, 300
22	70	2037	70, 140, 200, 300
25	100	4156	70, 140, 200, 300
30	140	8146	70, 140, 200, 300
40	200	16625	70, 140, 200, 300
50	250	25977	70, 140, 200, 300


Fuente: Los Autores

Para facilitar la selección del cilindro neumático se hace uso del software Festo Part Manager[20] ingresando los datos tal como se muestra en las Figuras 2.59, 2.60, 2.61, 2.62:



Figura 2.59: Ingreso al software y selección del tipo de cilindro.

Fuente: Software Festo Part Manager



tiempo de posicionamiento esperado	quiero alcanzar este tiempo de posicionamiento:	1 s
Regulación básica del cilindro	<input checked="" type="checkbox"/> ... con válvula de estrangulación de retención	
	Longitud de carrera requerida	50 mm
	Ángulo de instalación	90 deg
Alimentación de aire comprimido	Dirección del movimiento	<input checked="" type="radio"/> extender <input type="radio"/> retirar
	Presión de funcionamiento	6 bar
Regulaciones de la carga	Largo del tubo flexible	2 m
	Equipo de mantenimiento -> Válvula	2 m
	Válvula - Cilindro	2 m
	Masa en movimiento	9,15 kg
	fuerza de impacto adicional	0 N
fuerza de fricción adicional	0 N	

Figura 2.60: Ingreso de los parámetros del sistema base para la selección.

Fuente: Software Festo Part Manager

	Tipo	Num. artículo	Conexión	Carrera [mm]
	ADN-32-50-I-P-A	538285	1/8	50
	ADN-32-50-I-PPS-A	572652	1/8	50
	DNC-32-50-PPV	163321	1/8	50
	DNC-32-50-PPV-A	163317	1/8	50

Figura 2.61: Artículo seleccionado por el software.

Fuente: Software Festo Part Manager

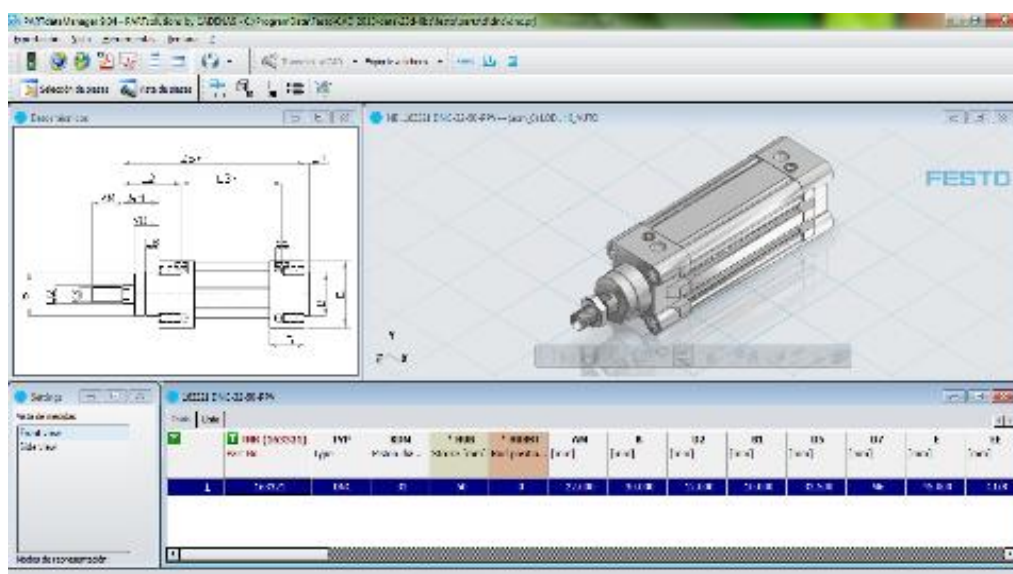


Figura 2.62: Modelo CAD del Cilindro Neumático seleccionado.

Fuente: Software Festo Part Manager

En la Tabla 2.16 se describe las características técnicas del cilindro neumático seleccionado por el software de diseño Festo Part Data Manager 2013.

Tabla 2.15 Características Técnicas del Cilindro Neumático seleccionado.

TIPO	Doble Efecto
CARRERA (c)	50 mm
DIÁMETRO DEL EMBOLO (D)	32 mm
DIÁMETRO DEL VÁSTAGO (d)	12 mm
CONEXIÓN NEUMÁTICA	G1/8

Fuente: Los Autores

CONSUMO DE AIRE POR EL CILINDRO NEUMÁTICO

Considerando una velocidad media estándar para cilindros neumáticos (0,1-1,5m/s) de 0,15 m/s **[21]**. El Caudal a la salida del vástago del cilindro neumático se calcula con la ecuación 2.23.

$$Q = v * A \quad \text{Ec. 2.23}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

v = Velocidad (m/s)

A = Área del cilindro (m²)

$$Q = v * \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Q = v * \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Q = 0,15 \text{ m/s} * \frac{\pi(0,032)^2 \text{m}^2}{4}$$

$$Q = 1,20 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 7,2 \text{ lt/min}$$

El Caudal a la entrada del vástago del cilindro neumático es:

$$Q = v * A$$

$$Q = v * \frac{\pi * (D - d)^2}{4}$$

$$Q = 0,15 \text{ m/s} * \frac{\pi(0,032 - 0,012)^2 \text{m}^2}{4}$$

$$Q = 4,7 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 2,82 \text{ lt/min}$$

Aproximadamente realizara 2 ciclos por minuto, por tanto la frecuencia será:

$$f = \frac{2}{60} = 0,033 \text{ s}^{-1}$$

Es decir trabaja el 3,33 % del tiempo mientras que el 96,67% está parado. Por tanto el consumo del cilindro viene dado por la ecuación 2.24:

$$C = 2(s * n * q) \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde:

C = Consumo de aire total en litros/minuto.

q = Consumo de aire por centímetro para un cilindro de 32 mm. (Anexo A-1)

s = Carrera en centímetros.

n= Numero de carreras por minuto.

$$C = 2(5 * 4 * 1,04)$$









$$C = 41,6 \text{ lt/min}$$

b. SELECCIÓN DE PARTES Y ACCESORIOS DEL CILINDRO NEUMÁTICO

El software FestoPart Manager 2013 a más de ayudar a seleccionar el cilindro, permite seleccionar los accesorios y piezas correspondientes al actuador neumático (Tabla 2.16) con su respectivo modelo CAD¹ (Figura 2.63), dando a conocer sus dimensiones y características técnicas según el fabricante FESTO:

¹ CAD= Diseño Asistido por Computador

Tabla 2.16 Lista de piezas para el cilindro neumático seleccionado.

<input type="checkbox"/>	Tipo	Denominación	Núm. artículo
<input type="checkbox"/>	 DNC-32-50-PPV	Cilindros normalizados	163321
<input type="checkbox"/>	 GRLA-1/8-QS-8-D	Válvula de estrangulación y anti-retorno	193145
<input type="checkbox"/>	 PUN 8X1,25 BL	Tubo de material sintético	159688
<input type="checkbox"/>	 QS-1/8-8	Racor rápido roscado	153004
<input type="checkbox"/>	 VUVG-L14-B52-T-G18-1P3	Electroválvula	568500
<input type="checkbox"/>	 U-1/8	Silenciadores	2307
<input type="checkbox"/>	 QS-1/8-8	Racor rápido roscado	153004
<input type="checkbox"/>	 PUN-8X1,25-BL	Tubo de material sintético	159688

Fuente: Software Festo Part Manager

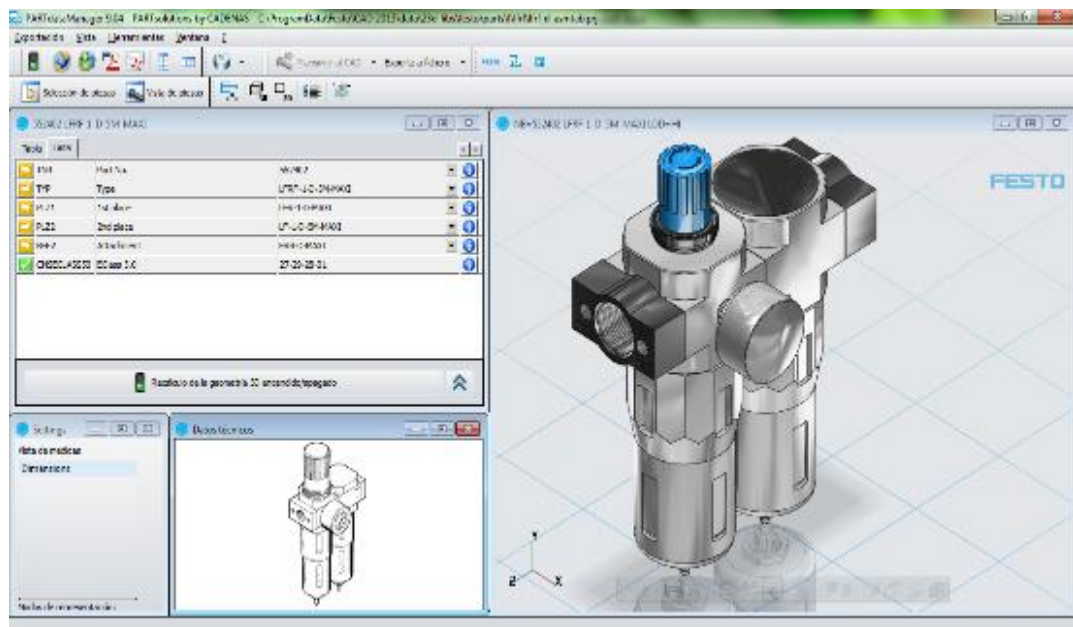


Figura 2.63: Modelo CAD de los accesorios para el cilindro neumático.

Fuente: Software Festo Part Manager

c. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL CIRCUITO NEUMÁTICO

Para la simulación y optimización de datos del sistema neumático se utilizó el FestoPart Manager 2013, obteniendo así el diagrama del circuito neumático (Figura 2.64) y los resultados de la simulación (Figura 2.65), como se muestran a continuación:

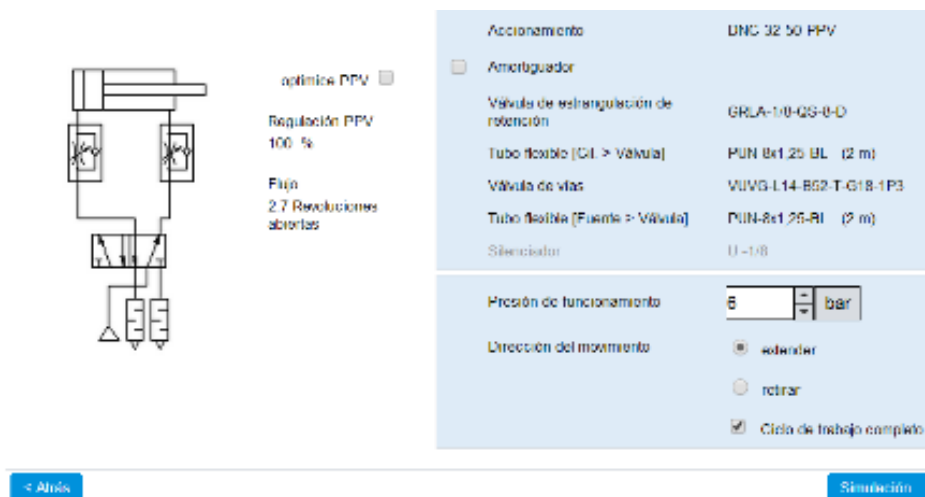


Figura 2.64: Circuito Neumático del sistema.

Fuente: Software Festo Part Manager

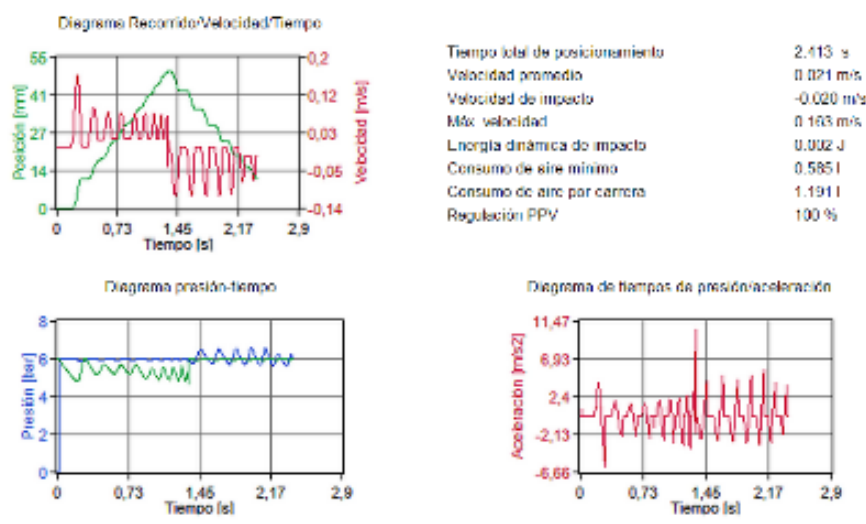


Figura 2.65: Simulación de los Diagramas del Cilindro Neumático.

Fuente: Software Festo Part Manager

d. SELECCIÓN DEL COMPRESOR

Tomando como datos el caudal a la salida del vástago del cilindro neumático y el caudal a la salida de la boquilla de la pistola automática, se realiza la sumatoria entre los 2 caudales.

$$\sum \text{caudal total} = (Q_{\text{cilindro}} + Q_{\text{pistola}})$$

$$\sum \text{caudal total} = (7,2 + 30) = 37,2 \text{ lts/min}$$

Para seleccionar un compresor se hace referencia a varias situaciones que se debe tomar en cuenta como:

- Clasificación de aire comprimido de acuerdo a las aplicaciones que se le vaya a dar a dicho aire (Anexo A-2).
- Pérdidas de presión por acoples y filtros, se considera un 3%.

$$P_{pa} = 37,2 * 0,03 = 1,11 \text{ lts/min}$$

- Pérdidas de presión por fugas, se considera una pérdida del 10%.

$$P_{pf} = 37,2 * 0,1 = 3,72 \text{ lts/min}$$

- Coeficiente de utilización, viene dado por la suma del porcentaje de trabajo de los cilindros:

$$\sum \text{coeficiente de utilización} = (P1 + P2)$$

$$\sum \text{coeficiente de utilización} = (3,33 + 3,33)$$

$$\sum \text{coeficiente de utilización} = 6,66 \%$$

- Coeficiente de simultaneidad para construcciones varias es de 25%.

$$C_s = 37,2 * 0,25 = 9,3 \text{ lts/min}$$

- Incremento de seguridad recomendado es de 10%.

$$I_s = 37,2 * 0,1 = 3,72 \text{ lts/min}$$

Por tanto:

$$Q_{t\text{requerido}} = 1,11 + 3,72 + 9,3 + 3,72 = 17,85 \text{ lts/min}$$

La empresa NOVEL tiene en sus instalaciones una unidad compresora la misma que será utilizada para el abastecimiento de aire comprimido a los elementos neumáticos de la máquina esmaltadora; esta unidad cumple con los requerimientos de diseño necesarios para un buen funcionamiento del proyecto.

En la Tabla 2.17 se muestra las características del compresor seleccionado.

Tabla 2.17 Características del Compresor.

VELOCIDAD DEL CABEZAL	3500 RPM
CAUDAL	283 lt/min
PRESIÓN MÁXIMA	10 Bar
CAPACIDAD TANQUE	80 Galones
VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO	3~220 V – 60 HZ
MOTOR	5 HP

Fuente: Los Autores

2.6 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA EL SISTEMA DE CORTINA DE AGUA

2.6.1 CÁLCULOS PARA SELECCIÓN DE LA BOMBA

Se debe tener en cuenta ciertos datos dependiendo de la ubicación de la máquina en este caso la máquina esmaltadora se encuentra en la ciudad de Latacunga donde la presión es de 540 mm de Hg y la temperatura promedio es de 15 °C.

La Figura 2.66 muestra la disposición de los elementos que forman parte del sistema de bombeo de agua.

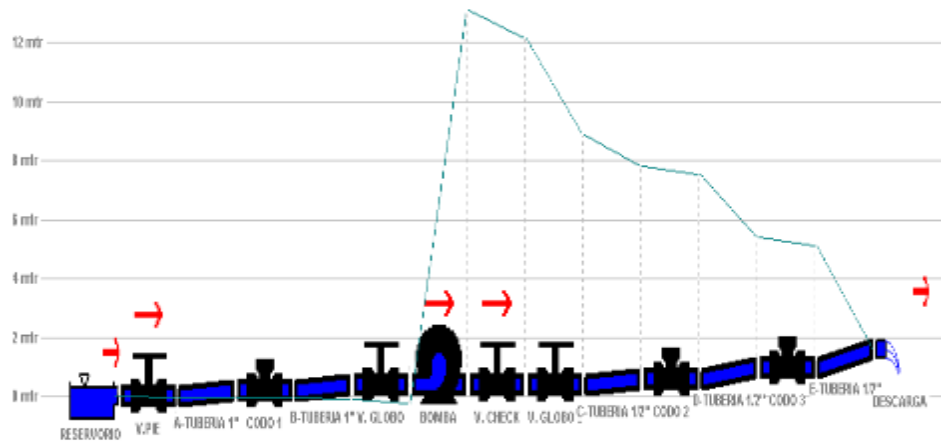


Figura 2.66: Esquema y Simulación del Sistema de Bombeo.

Fuente: Software Hydroflo

Parámetros de Diseño

Para el cálculo y diseño se emplearon los siguientes datos:

- Agua a 15°C: $Q = 20$ lt/min (Caudal); $\rho = 1000$ kg/m³ (Densidad); $\nu = 1,15 \times 10^{-6}$ m²/s (Viscosidad Cinemática).
- Longitud en la succión: $L_1 = 0,8$ m
- Longitud en la descarga: $L_2 = 2,5$ m
- Elevación en 1: $z_1 = 0$
- Elevación en 2: $z_2 = 1,6$ m

A continuación se presenta el procedimiento de diseño y selección de la bomba:

Primero se debe calcular la carga total que se tendrá en la bomba para así poder saber cuál es la potencia necesaria de la misma.

La fórmula para calcular la carga dinámica total de la bomba viene dada por la Ecuación 2.25:

$$h_a = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L \quad \text{Ec. 2.25}$$

Donde:

$p_2 - p_1 = 0$ (Los recipientes están abiertos)

$z_1 = 0$ (Nivel de referencia)

$v_2 - v_1 = 0$

Subíndice 1: Parámetros en la Línea de succión de la bomba.

Subíndice 2: Parámetros en la Línea de descarga de la bomba.

Por lo tanto queda: $h_a = z_2 + h_L$

Donde: $z_2 = 1,6 \text{ m}$

Cálculo de pérdidas en el sistema (h_L)

Cálculo de pérdidas en los Accesorios (h_{L1}): El cálculo respectivo se lo hace con la Ecuación 2.26.

$$h_{L1} = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.26}$$

Para pérdidas en los accesorios observar la Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Resistencia de Válvulas y Acoplamientos.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos-Mott R.

Accesorios:

Línea de succión: Tubería PVC de 1 pulgada.

Válvula de pie: $K_1 = 420f_T$

Válvula de globo: $K_2 = 340f_T$

Codo estándar 90°: $K_3 = 30f_T$

Línea de descarga: Tubería PVC de 1/2 pulgada.

Válvula de verificación: $K_4 = 100f_T$

Válvula de globo: $K_5 = 340f_T$

2 Codos estándar 90°: $K_6 = 30f_T * (2)$

T estándar: $K_7 = 20f_T$

ft para tubería de 1 pulgada PVC:

$D_1 = 1 \text{ pulgada} - \text{espesor (Tabla 2.19)}$

$D_1 = 25,4\text{mm} - 3,38\text{mm} = 22,02\text{mm} = 0,022\text{m}$

$$A_1 = \frac{\pi * D_1^2}{4} = \frac{\pi * (0,022)^2}{4} = 0,00038 \text{ m}^2$$

$\epsilon = 3 \times 10^{-7} \text{ m (Tabla 2.21)}$

$$\frac{D_1}{\epsilon} = 73333$$

La Tabla 2.19 muestra los tamaños de tubería seleccionados y en la Tabla 2.20 se describe el valor de rugosidad de la tubería, estos valores permitirán el cálculo para el diseño hidráulico.

Tabla 2.19 Dimensiones de Tubería de PVC.

<i>Tabla de Espesores</i>		
Diámetro Nominal	Espesores según ASTM D 1785	
	SCH 40 (psi)	SCH 80 (psi)
1/2"	2.77 (600)	3.73 (850)
3/4"	2.87 (480)	3.91 (690)
1"	3.38 (450)	4.55 (630)
2"	3.91 (280)	5.54 (400)

Fuente: Catalogo Tubería Plastigama

Tabla 2.20 Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos-Mott R.

De la Figura 2.67: $f_t = 0,009$

Válvula de pie: $K_1 = 420f_t = 420(0,009) = 3,78$

Válvula de globo: $K_2 = 340f_t = 340(0,009) = 3,06$

Codo estándar 90°: $K_3 = 30f_t = 30(0,009) = 0,27$

$K_1 + K_2 + K_3 = 7,11$

La Ecuación 2.27 permite realizar el cálculo de la velocidad tanto en la tubería de succión como en la de descarga del sistema de bombeo en función del caudal y área de la tubería.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad \text{Ec. 2.27}$$

$v_1 = 0,87 \text{ m/s}$. Puesto que $A_1 = 0,00038 \text{ m}^2$ y $Q = 20 \text{ lt/min}$:

$$v_1 = \frac{20 \text{ lt/min}}{0,00038 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{60000 \text{ l/min}} = 0,88 \text{ m/s}$$

$$h_{L1}' = 7,11 \frac{(0,88)^2}{2(9,81)} = 0,28 \text{ m}$$

ft para tubería de 1/2 pulgada PVC:

$D_2 = 1/2 \text{ pulgada} - \text{espesor (Tabla 2.19)}$

$D_2 = 12,7 \text{ mm} - 2,77 \text{ mm} = 9,93 \text{ mm} = 0,00993 \text{ m}$

$$A_2 = \frac{\pi * D_2^2}{4} = \frac{\pi * (0,00993)^2}{4} = 0,000077 \text{ m}^2$$

$\epsilon = 3 \times 10^{-7} \text{ m (Tabla 2.20)}$

$$\frac{D_2}{\epsilon} = 33100$$

De la Figura 2.67: $f_t = 0,0099$

Válvula de verificación: $K_4 = 100f_t = 100(0,0099) = 0,99$

Válvula de globo: $K_5 = 340f_t = 340(0,0099) = 3,37$

2 Codos estándar 90° : $K_6 = 30f_t \cdot (2) = 30(0,0099)(2) = 0,59$

T estándar: $K_7 = 20f_t = 20(0,0099) = 0,2$

$K_4 + K_5 + K_6 + K_7 = 5,15$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$v_2 = 4,32 \text{ m/s}$. Puesto que $A_2 = 0,000077 \text{ m}^2$ y $Q = 20 \text{ lt/min}$:

$$v_2 = \frac{20 \text{ lt/min}}{0,000077 \text{ m}^2} \cdot \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{60000 \text{ l/min}} = 4,32 \text{ m/s}$$

$$h_{L1}'' = 5,15 \frac{(4,32)^2}{2(9,81)} = 4,89 \text{ m}$$

$$h_{L1} = h_{L1}' + h_{L1}'' = 0,28 \text{ m} + 4,89 \text{ m} = 5,17 \text{ m}$$

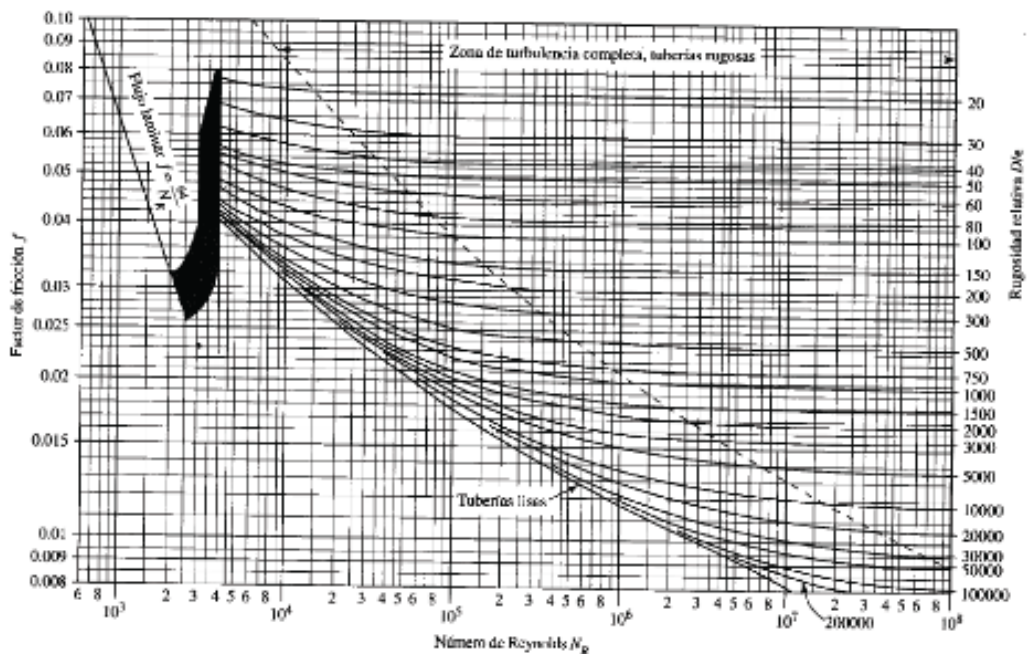


Figura 2.67: Diagrama de Moody.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos-Mott R.

Cálculo de pérdidas en la Tubería (h_{L2})

Tubería de 1 pulgada PVC en la succión

Cálculo de Número de Reynolds: Se procede a clasificar si el flujo de agua es turbulento o laminar utilizando la Ecuación 2.28.

$$N_R = \frac{v_1 D_1}{\nu} \quad \text{Ec. 2.28}$$

$$N_R = \frac{0,87 \text{ m/s} * 0,022 \text{ m}}{1,15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_R = 16643$$

Con el número de Reynolds mayor a 4000 se concluye que hay flujo turbulento.

Cálculo de Rugosidad Relativa:

Se ocupa la Tabla 2.20 para calcular la rugosidad $\epsilon = 3 \times 10^{-7} \text{ m}$

$$\frac{D_1}{\epsilon} = \frac{0,022}{3 \times 10^{-7}} = 73333$$

Cálculos de coeficientes de fricción:

f por la Figura 2.67 = 0,027

$h_{L2}' = f(L_1/D_1)(v_1^2/2g)$. Donde $v_1^2/2g$ (Carga de Velocidad en la succión)

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{(0,87 \text{ m/s})^2}{2(9,81) \text{ m/s}^2} = 0,039 \text{ m}$$

$$h_{L2}' = 0,027(0,8/0,022)(0,039)$$

$$h_{L2}' = 0,038 \text{ m}$$

Tubería de 1/2 pulgada PVC en la descarga

Cálculo de Número de Reynolds:

$$N_R = \frac{v_2 D_2}{\nu} = \frac{4,32 \text{ m/s} * 0,00993 \text{ m}}{1,15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_R = 37302$$

Con el número de Reynolds mayor a 4000 se concluye que hay flujo turbulento.

Cálculo de Rugosidad Relativa:

Ocupamos la Tabla 2.20 para calcular la rugosidad $\epsilon = 3 \times 10^{-7} \text{ m}$.

$$\frac{D_2}{\epsilon} = \frac{0,00993}{3 \times 10^{-7}} = 33100$$

Cálculos de coeficientes de fricción:

f por la Figura 2.67 = 0,0223

$h_{L2}'' = f(L_2/D_2)(v_2^2/2g)$. Donde $v_2^2/2g$ (Carga de Velocidad en la descarga)

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{(4,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81) \text{ m/s}^2} = 0,951 \text{ m}$$

$$h_{L2}'' = 0,0223(2,5/0,00993)(0,951)$$

$$h_{L2}'' = 5,34 \text{ m}$$

$$h_{L2} = h_{L2}' + h_{L2}''$$

$$h_{L2} = 0,038 \text{ m} + 5,34 \text{ m} = 5,37 \text{ m}$$

$$h_{Ltotal} = h_{L1} + h_{L2}$$

$$h_{Ltotal} = 5,17 \text{ m} + 5,37 \text{ m}$$

$$h_{Ltotal} = 10,54 \text{ m}$$

$$h_a = z_2 + h_L$$

$$h_a = 1,6 \text{ m} + 10,54 \text{ m}$$

$$h_a = 12,14 \text{ m (Carga Total sobre la bomba)}$$

Sabiendo ahora la carga total sobre la bomba y el caudal que es 20 l/min, se procede a seleccionar la bomba.

Para la determinación de la potencia del motor de la bomba que será empleado en el suministro de agua se aplica la Ecuación 2.29:

$$P_{teórica} = h_a * \rho * g * Q \quad \text{Ec. 2.29}$$

$$P_{teórica} = 12,14m * \frac{1000kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,000333 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{teórica} = 39,66 \text{ watt}$$

Potencia teórica de la bomba y considerando que 1hp= 746 W:

$$HP = \frac{39,66}{746} = 0,053$$

Considerando que en las operaciones existen rangos de eficiencia, se determinará por lo tanto la potencia real, considerando lo siguiente:

$$P_{Real} = \frac{P_{teórica}}{(\%)}$$

Donde: %= eficiencia

Para este caso la eficiencia será 80% (por desgaste en rodamientos, desgaste en escobillas) este dato no se encuentra en la placa del motor.

$$P_{Real} = \frac{0,053HP}{0,8} = 0,066 \text{ HP}$$

2.6.2 Selección de la Bomba

Para la selección de bombas mediante curvas, al tener un caudal bajo no se encuentra tablas con curvas en ese rango que indique eficiencia y NPSH para profundizar más cálculos que ayude a ver mejor el comportamiento del sistema.

Pero se puede obtener tablas de distribuidores de bombas que ayudan a verificar los datos obtenidos mediante cálculos y justificar así el uso de la bomba que se ocupa en el sistema (Ver Figura 2.68 y Tabla 2.21).

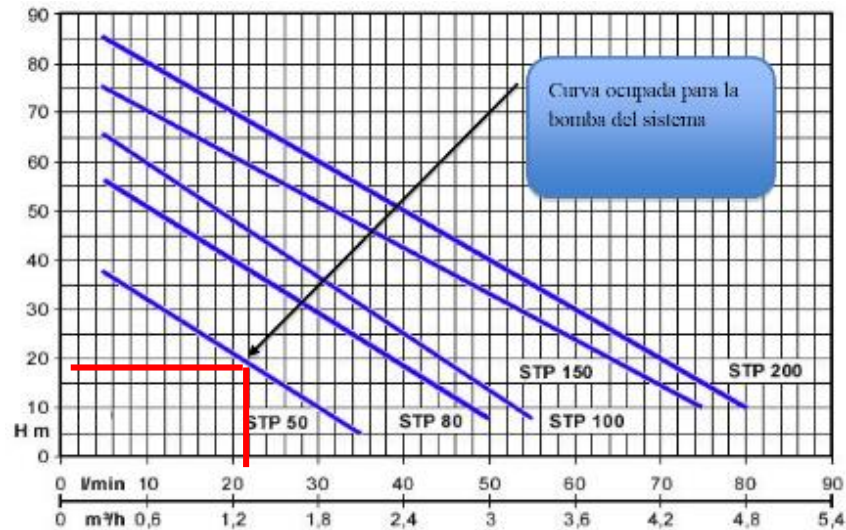


Figura 2.68: Curva de Rendimiento.

Fuente: Catálogo Bombas Hidráulicas TRUPER

Tabla 2.21 Rendimiento.

Tipo		P ₂		Capacitor		Corriente			Q=	Caudal									
Monofásica	Trifásica	Nominal				Amp.			m³/h	0,3	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8	
1	2					1~	3~		l/1'	5	10	20	30	40	50	60	70	80	
60 Hz	60 Hz	Kw.	HP	µF	V _c	127	230	440	H=	Carga Dinámica Total (m)									
STP 50	STP 50 T	0,37	0,5	8	450	4,8	1,9	0,95	(m)	37,5	32	21	10						
STP 80	STP 80 T	0,6	0,8	14	450	7,5	2,4	1,2		56	51	40	30	18,5	8				
STP 100	STP 100 T	0,75	1,0	20	450	10,8	4,0	2		65	59	47,5	36	25	13				
STP 150	STP 150 T	1,1	1,5	35	450	18	6,0	3		75	70	61	52	42,5	33	24	15		
STP 200	STP 200 T	1,5	2,0	40	450	23	7,2	3,6		85	80	70	60	50	40	30	20	10	

Fuente: Catálogo Bombas Hidráulicas TRUPER

La tabla 2.22 da a conocer las características técnicas de la bomba seleccionada para el bombeo de agua en el sistema de cortina de agua de la máquina esmaltadora.

Tabla 2.22 Características de la Bomba seleccionada.

Potencia Eléctrica	½ HP
Alimentación Eléctrica	110V – 60Hz
Corriente Nominal	5A
Velocidad	3450 RPM
Designación	1x1x3½
Capacidad Máxima	20 galones/min a 2.5 A
Peso Total	55 lb
Protección Eléctrica	IP 44
Tipo	Hidráulica Centrífuga

Fuente: Los Autores

La Figura 2.69 muestra la bomba centrífuga seleccionada que se empleara para el Sistema de Cortina de Agua.



Figura 2.69: Bomba Seleccionada.

Fuente: Los Autores

2.7 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL BLOWER AIREADOR

2.7.1 Cálculos para selección del Blower Aireador

El blower aireador es un extractor de aire tipo centrífugo, este elemento será instalado en la parte superior de la cabina con el propósito de extraer y filtrar el aire con partículas de esmalte contenido en su interior para su posterior evacuación fuera de la planta y evitar inhalación por parte de los operarios.

Por tanto a continuación se selecciona el blower aireador adecuado para mencionado trabajo:

Dimensiones del Área de extracción:

Altura (h)= 0,85 m

Ancho (a)= 0,85 m

Profundidad (p)= 1,02 m

Cálculo de Volumen de extracción: se utiliza la ecuación 2.30.

$$\text{Volumen} = \text{Área} * \text{Altura}$$

$$\text{Volumen} = a * p * h \quad \text{Ec. 2.30}$$

$$\text{Volumen} = (0,85 * 1,02 * 0,85) \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 0,73695 \text{ m}^3$$

El blower aireador deberá extraer aproximadamente $0,73695 \text{ m}^3/\text{seg}$ cuyo valor equivale a $2653,02 \text{ m}^3/\text{h}$.

Para el dimensionamiento respectivo del blower extractor se utiliza las siguientes ecuaciones[22] tal como se muestra a continuación:

Cálculo del Diámetro de la sección de aspiración (D): se utiliza la ecuación 2.31:

$$D = 0,636 \sqrt{\frac{Q}{v_o}} \quad \text{Ec. 2.31}$$

Donde:

Q= Cantidad de aire a extraer en m^3/seg

v_o = velocidad de entrada de aire al ventilador ($\sim 8\text{m}/\text{seg}$)

$$D = 0,636 \sqrt{\frac{0,73695}{8}}$$

$$D = 0,1930 \text{ m} = 19,30 \text{ cm}$$

Cálculo del diámetro del rodete (D_1): se utiliza la ecuación 2.32 para calcular el diámetro interior del rodete:

$$D_1 = 1,5D \quad \text{Ec. 2.32}$$

$$D_1 = 1,5(0,1930)$$

$$D_1 = 0,2895 \text{ m}$$

$$D_2 = 2D_1$$

$$D_2 = 2(0,2895)$$

$$D_2 = 0,579 \text{ m}$$

Donde:

D_1 = Diámetro interior del rodete

D_2 = Diámetro exterior del rodete

Cálculo de número de revoluciones (n): se utiliza la ecuación 2.33:

$$n = 60 \frac{v}{\pi \cdot D_2} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Donde:

n= número de r.p.m

v= velocidad tangencial de la hélice en m/seg (Tabla 2.24)

En la Tabla 2.23 se selecciona la velocidad tangencial del extractor según el lugar de instalación.

Tabla 2.23 Velocidad tangencial de la hélice para aspiradores de aire.

	Grado de intensidad de ruido	Lugares de aplicación de los aspiradores
1	Velocidad tangencial de la hélice, hasta 25 m/seg.	Hospitales, espectáculos, cafés, casinos, habitaciones, viviendas, restaurantes y en locales donde sea recomendable silencio
2	Velocidad tangencial de la hélice, de 25 a 60 m/seg	Almacenes, fábricas, talleres, cocinas, despachos generales y en cualquier espacio o local cerrado que admita ruidos de mediana intensidad.
3	Velocidad tangencial de la hélice, de 50 m/seg. en adelante	Grandes almacenes, fundiciones, industrias pesadas o insalubres que admiten sonidos intensos

Fuente: Libro Neumática-José Roldan Viloria

Se asume una velocidad tangencial de la hélice de 50 m/seg para el cálculo:

$$n = 60 \frac{v}{\pi \cdot D_2}$$

$$n = 60 \frac{50}{\pi \cdot 0,579}$$

$$n = 1657,45 \text{ r.p.m}$$

Cálculo de Velocidad Tangencial del rodete (n_1): se utiliza la ecuación 2.34:

$$n_1 = 3,6 \sqrt{p} \quad \text{Ec. 2.34}$$

Donde:

p = presión atmosférica en mm de columna de agua (mm c.d.a) = 560 mmHg = 7610 mm c.d.a

n_1 = velocidad tangencial del rodete en la extremidad exterior de las paletas en m/seg

$$n_1 = 3,6 \sqrt{7610}$$

$$n_1 = 314,04 \text{ m/seg}$$

Cálculo de potencia del motor del Extractor Centrífugo (P)

Para determinar la potencia que deberá tener el blower aireador se utiliza la ecuación 2.35 [23]:

$$P = \frac{Q \cdot p}{75 \cdot \mu} \quad \text{Ec. 2.35}$$

Donde:

P = potencia en CV

Q = caudal de aire m^3/seg

μ = rendimiento (entre 0,4 y 0,5)

p = presión estándar para extractores de aire (5-25 mm c.d.a)

Datos:

p = 560 mm Hg - 15°C (Latacunga)

Q = 0,73695 m^3/seg

Cálculos:

$$P = \frac{0,73695 * 25}{75 * 0,5}$$

$$P = 0,4913 \text{ CV} = 0,49 \approx 1/2 \text{ HP}$$

2.7.2 Selección del Blower Aireador

Mediante los datos calculados en el apartado 2.7.1, se seleccionó el blower aireador adecuado (Figura 2.70) utilizando catálogos de fabricantes (Figura 2.24); la Tabla 2.25 describe las características técnicas del Blower (extractor).

Tabla 2.24 Datos del Fabricante Republic Regenerative Blowers.

Model	Phase/Stage	Motor (HP)	Current (A)@110V	Current (A)@220V	Sound Level (dB)	Rated Pressure (in. H ₂ O)	Rated Vacuum (in. H ₂ O)	Air flow (cfm)	Weight (lbs.)
HRB-101	1	0.50	9.0	4.5	64.00	47.00	40.00	50.00	31.00
HRB-201	1	1.00	12.0	6.0	66.00	47.00	44.00	102.00	46.00
HRB-301	1	2.00	23.0	11.5	75.00	71.00	63.00	141.00	73.00
HRB-401	1	3.00	30.0	15.0	75.00	110.00	79.00	141.00	78.00
HRB-501	1	3.00	31.0	15.5	76.00	83.00	79.00	212.00	82.00

Fuente: Catálogo Republic Regenerative Blowers

Tabla 2.25 Características del Blower Aireador seleccionado.

Extracción de Aire	2600 m ³ /h
Diámetro de extracción	33 cm
Presión de Aspiración	47 in H ₂ O
Potencia del motor	½ HP
Tipo ventilador	Centrifugo
Corriente	4,5A @ 220v
Flujo de Aire	50 cfm
Nivel de Ruido	64 dB
Peso	31 lb

Fuente: Catálogo Republic Regenerative Blowers



Figura 2.70: Blower aireador seleccionado.

Fuente: Los Autores

2.8 DISEÑO ELÉCTRICO

2.8.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE EL SISTEMA ELÉCTRICO

La Tabla 2.26 muestra las cargas que se debe considerar para el cálculo eléctrico en base a los datos de placa de cada elemento.

Tabla 2.26 Cargas que actúan en el sistema eléctrico.

	POTENCIA (HP)	CORRIENTE (A)
motor eje giratorio	1/2	1,9
motor brazo mecánico	1/2	1,9
motor blower aireador	1/2	3,5
motor bomba hidráulica	1/2	5

Fuente: Placa de Características-Motores

Se toma como referencia un voltaje de alimentación trifásico de 220V y frecuencia de 60 Hz para el diseño eléctrico.

2.8.2 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS

a. Selección de conductores para los motores

a.1. Motor del Eje Giratorio y Brazo Mecánico

$$I = \frac{P}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \quad \text{Ec. 2.36}$$

$$I_n = \frac{0,5 \cdot 746}{0,63 \cdot \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,81}$$

$$I_n = 1,91 \text{ A} \cdot 2 = 3,82$$

La corriente que consumen los dos motores es 3,82 A.

a.2. Motor de la Bomba y del Blower Aireador

Para los 2 motores de ½ HP (Bomba, Blower) según la tabla del fabricante la corriente a 220V es 5 A y 3,5 A respectivamente, por lo tanto la sumatoria de corrientes es de 8,5 A.

$$\sum I_{\text{motores}} = 3,82 + 8,5 = 12,32 \text{ A}$$

Se utiliza conductores de calibre # 3x14 AWG THHN FLEXIBLE (Anexo A-3) para el conexionado de los 4 motores actuantes en el sistema eléctrico, teniendo en cuenta que la carga que consume más corriente es de la bomba hidráulica con 5A a 110V (Tabla 2.26).

b. Selección del conductor para el alimentador

$$I = I_{\text{motor mayor}} + \sum I_{\text{motores}} + \sum I_{\text{cargas adicionales}}$$

$$I = 5 + 12,32 + 4,5$$

$$I = 21,82 \text{ A}$$

Cabe mencionar que las cargas adicionales se refieren a lámparas indicadoras, electroválvulas e iluminación de la máquina esmaltadora.

Se utiliza conductores de calibre # 3x12 AWG THHN FLEXIBLE (Anexo A-3) para la alimentación de corriente eléctrica.

c. Selección de elementos de protección

c.1. Protección para el alimentador

$$I = I_{\text{motor mayor}} + \sum I_{\text{motores}} + \sum I_{\text{otras cargas}}$$

$$I = 5 + 12,32 + 4,5$$

$$I = 21,82 \text{ A}$$

Se utiliza un Breaker termomagnético de 20 A marca siemens cuyas características se detalla en el Anexo A-4.

c.2. Protección para las derivaciones

Se dimensiona las protecciones para las derivaciones con la corriente a plena carga (I_{cp}) del motor más significativo, en este caso la corriente nominal de la bomba hidráulica (5A):

$$I_{Prot.} = I_{cp}$$

$$I_{Prot.} = 5A$$

Se utiliza un Breaker termomagnético de 10 A marca siemens (Anexo A-4).

c.3. Selección del guardamotor

Un guardamotor es un breaker termomagnético, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobreintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

Por consideración técnica de los fabricantes se recomienda un ajuste del 125% de la corriente nominal del motor, por lo cual para los motores principales del eje giratorio y del brazo mecánico se obtiene el siguiente valor:

$$I = 1,25 * I_n$$

$$I = 1,25 * 1,91 = 2,38A$$

Se selecciona un guardamotor marca siemens (Anexo A-5) con regulación de corriente 2.2 - 4A; el mismo se muestra en la Figura 2.71.



Figura 2.71: Guardamotor Siemens Sirius 3RV.

Fuente: Catálogo SIEMENS

c.4. Selección del contactor

Para seleccionar el contactor se hace referencia a la mayor intensidad de 5A (Bomba Hidráulica), hay que considerar que el contactor es de servicio ligero con un factor de seguridad del 125%.

Por lo tanto con una corriente de 5A, voltaje de 220V se puede elegir el contactor adecuado.

Se selecciona un contactor marca siemens (Anexo A-6) con tipo de servicio AC3, tripolar a 110-220V/13A; el mismo se muestra en la Figura 2.72.



Figura 2.72: Contactor Siemens Sirius.

Fuente: Catálogo SIEMENS

2.8.3 SELECCIÓN DE ACCESORIOS

Los accesorios a utilizar tanto para el control y señalización de la máquina esmaltadora se describen en la siguiente Tabla 2.27.

Tabla 2.27 Accesorios de control y señalización.

ACCESORIO	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Selector	Marca: Camsco Modelo: SKOS-ED33 Equipamiento: 2 contactos NA Voltaje de operación: 220V N° Posiciones: 3	
Pulsadores	Marca: Camsco Modelo: FPB-EA1 Equipamiento: 1NA+1NC Voltaje de operación: 220V Colores: Verde, Rojo	
Paro de emergencia	Marca: Siemens Color: Rojo Voltaje de operación: 220V Contactos: 1NA+ANC	

Fuente: Catálogo de Fabricantes Siemens y Camsco

2.8.4 SELECCIÓN DE ELECTROVÁLVULAS

Para el accionamiento del cilindro de doble efecto se utiliza una Electroválvula de 5 vías-2 posiciones (Figura 2.73) la cual va a permitir el avance y retroceso del vástago del pistón, se eligió este tipo de electroválvula ya que permite un mejor control sobre el cilindro y proporciona mayor fuerza de empuje en relación a la presión de trabajo, las características técnicas se muestran en la Tabla 2.28.

Tabla 2.28 Características Electroválvula.

Modelo	Festo Amisco
Voltaje de operación	110VAC
Max. Presión de trabajo	135 PSI (7kgf/cm ²)
Temperatura de trabajo	5-60°C (41-140°F)
Conexión	G1/8

Fuente: Catálogo FESTO PART MANAGER

**Figura 2.73: Electroválvula 5/2 Festo Amisco.**

Fuente: Los Autores

El accionamiento de la pistola automática se realiza con una electroválvula de 3 vías dos posiciones ya que únicamente necesita realizar un solo trabajo, la apertura y cierre del paso de aire presurizado para el posterior esmaltado externo de los dispensadores cerámicos.

2.8.5 SELECCIÓN DE LA PISTOLA AUTOMÁTICA

El elemento principal en el sistema de esmaltado externo es la pistola automática, este elemento es el encargado de pulverizar el esmalte cerámico por toda la superficie externa del material cerámico (dispensadores, baldosas, floreros, etc).

Para la selección de la pistola automática se toma en cuenta las características del material a pulverizar (Tabla 2.29), en este caso se utilizan

dos tipos de esmalte: esmalte cerámico Transparente 1101 (TR) y esmalte cerámico Blanco 2001 (BL).

Tabla 2.29 Características de Esmaltes Cerámicos.

Características	Esmalte TR	Esmalte BL
Acabado	Brillante	Brillante
Viscosidad	80±5 K.U	80±5 K.U
Densidad	1,16±0,02 Kg/l	0,975±0,025 Kg/l
Contenido sólido en peso	71±1%	64±1%
Contenido sólido en volumen	66±1%	64±1%
Modo de Aplicación	Brocha, rodillo y pistola	Brocha, rodillo y pistola
Indicaciones de Seguridad	Toxico y abrasivo	Toxico y abrasivo

Fuente: KROMACRIL-Esmalte cerámico 1101

Se procede a seleccionar la pistola automática, esta pistola tiene las siguientes características:

- Altísima calidad de acabado.
- Pistola automática convencional, ideal para robots y máquinas especiales.
- Posee pasos especiales (aguja y mecanismos) en carburo de tungsteno para productos altamente abrasivos.
- Sectores de aplicación: Metal, Plástico, Automotriz, Cerámica.
- Datos Técnicos:
 - ✓ Consumo de aire= 370 L/min
 - ✓ Dimensiones= 152x83x73 mm
 - ✓ Peso= 710 g.
 - ✓ Presión de trabajo= 6-10 Bar
 - ✓ Tamaño de Abanico= 5-30 cm

La Figura 2.74 muestra la pistola automática marca SAGOLA modelo 4041 seleccionada.



Figura 2.74: Pistola Automática seleccionada.

Fuente: www.sagola.com

El esmalte líquido a pulverizar se almacena en un calderín (Figura 2.75) a una presión máxima de 5 bar, al accionarse la pistola esta absorbe todo el esmalte almacenado para su posterior pulverizado con aire comprimido.



Figura 2.75: Calderín de presión SAGOLA.

Fuente: www.sagola.com

2.8.6 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

El funcionamiento de la maquina esmaltadora se basa principalmente en la operación de 2 motores, el primer motor del eje giratorio (1/2HP) y el segundo motor del brazo mecánico (1/2HP) por consiguiente con los datos de la placa de características (Figura 2.76) de los motores se selecciona el variador de velocidad adecuado (Figura 2.77) que proporcionará las rpm exactas en cada motor según su aplicación.



Figura 2.76: Placa de Características Motor Siemens.

Fuente: Los Autores

Se selecciona un Variador de velocidad marca Siemens (Anexo A-7) con las siguientes características mostradas en la Tabla 2.30:

Tabla 2.30 Características Variador de velocidad.

Modelo	Serie 6SL SINAMINCS G110
Potencia	1HP/0,75kW
Tensión de alimentación	Monofásica 200-240VAC+/- 10%
Frecuencia de salida	0-650 Hz, resolución 0.01Hz
Tipo de protección	IP20
Temperatura de operación	Max. 40°C-50 ^a C
Factor de sobrecarga	150% durante 50°C
Entrada/Salida Digitales	3/1
Entrada/Salida Analógicas	1/-
Cable de conexión	14-12 AWG
Protección recomendada	Fusible 16 A
Corriente de Entrada	10 A
Corriente de Salida	3.9 (40°C)

Fuente: Catálogo SIEMENS



Figura 2.77: Variador de velocidad Sinamics G110.

Fuente: Catálogo SIEMENS.pdf

Con los datos de placa del motor (Figura 2.76) se selecciona una caja reductora la misma que ayuda a generar el suficiente torque de rotación para el brazo mecánico.

La siguiente Tabla 2.31 describe las características técnicas de la caja reductora seleccionada:

Tabla 2.31 Características de la caja reductora.

Fabricante	Transtecno G063
Ratio	100
Torque	2.24 – 2.9 N.m
Factor de seguridad	1.15

Fuente: Catálogo TRANSTECNO-Motorreductores

La Figura 2.78 muestra el acoplamiento de la caja reductora y motor trifásico marca Siemens, este sistema permitirá controlar la velocidad y torque del brazo mecánico conjuntamente con el variador de velocidad ya que será necesario regular la velocidad de oscilación del mecanismo de esmaltado externo.



Figura 2.78: Motorreductor del Brazo Mecánico.

Fuente: Los Autores

2.8.7 SELECCIÓN DEL PLC

Debido a la versatilidad, eficiencia y costo en el mercado se ha visto la necesidad de utilizar el MICRO PLC LOGO SIEMENS 230RC (Figura 2.79) el cual permite un control ordenado de los diferentes sistemas que compone la máquina esmaltadora.

Las características principales que ofrece el PLC LOGO SIEMENS son:

- Control
- Fuente de alimentación
- Marcas digitales y analógicas
- Interfaz para módulo de expansión
- Temporizadores
- Interfaz

Las especificaciones técnicas del PLC LOGO seleccionado se detallan a continuación en la Tabla 2.32:

Tabla 2.32 Especificaciones LOGO! 230RC.

LOGO 230RC	CARACTERISTICAS
Marca	Siemens
Tipo	MICRO LOGO
Voltaje de Trabajo	115.....240V
DM	Modulo digital

Fuente: Catálogo SIEMENS

A más del PLC se selecciona un módulo de expansión DM8 230R ya que dispone de las entradas y salidas necesarias para la automatización del proceso de esmaltado. En el Anexo A-8 se detallan los datos técnicos del LOGO 230RC y del módulo de expansión DM8 230R.

En la Tabla 2.33 se muestran las características básicas de MICRO LOGO seleccionado y del módulo de expansión DM8.

Tabla 2.33 Características LOGO 230RC y DM8 230R.

Designación	Alimentación	Entradas	Salidas	Características
LOGO 230 RC	110.....220VAC	8 Digitales	4 Relés de 10A	Con Display Con Reloj
LOGO DM8 230R	110.....220VAC	4 Digitales	4 Relés de 5A	

Fuente: Catálogo SIEMENS.pdf



Figura 2.79: PLC LOGO Siemens 230RC y Modulo de expansión DM8 230R.

Fuente: Catálogo SIEMENS

2.9 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL Y POTENCIA

El sistema de esmaltado de dispensadores cerámicos está conformado por el arranque de 4 motores los cuales tienen la misma potencia, dos de ellos cumplen una función principal en el proceso. El motor del eje giratorio y el motor del brazo mecánico serán accionados en forma directa pero a una relación de velocidad diferente el dispositivo electrónico que nos permitirá esta

opción es el variador de velocidad cuyas características de funcionalidad hacen que sea la mejor opción al momento de regular la velocidad en motores trifásicos.

Para el mecanismo del brazo mecánico a más de un variador de velocidad se necesita una caja reductora que proporcione el torque de rotación suficiente en función de la velocidad del motor, el movimiento de los eslabones que componen el brazo mecánico dependerá de la velocidad y torque del motorreductor.

Ventajas del uso de variadores de velocidad:

- Reducción en el consumo de energía eléctrica por efectos de reducción del pico del par de arranque.
- Mejoramiento de la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos, debido a la posibilidad de aumentar la capacidad de producción incrementando la velocidad del proceso.
- Protección del Motor por contar internamente con sistemas de protección además de permitirle mayor vida útil al motor por reducción de impactos mecánicos a través de la asignación de rampas de aceleración y desaceleración para eventos de arranque y parada.
- Ahorro en mantenimiento, por no contar con piezas mecánicas que puedan sufrir envejecimiento por desgaste mecánico.
- Contar con la posibilidad de funciones de PLC básico, y de frenado dinámico.

La simulación del circuito de potencia se realiza en el software CADe_SIMU el cual dispone de librerías tales como protecciones y accesorios necesarios para realizar el arranque directo a través de un variador de frecuencia.

En la Figura 2.80 se muestra el diagrama de conexión del arranque a utilizar.

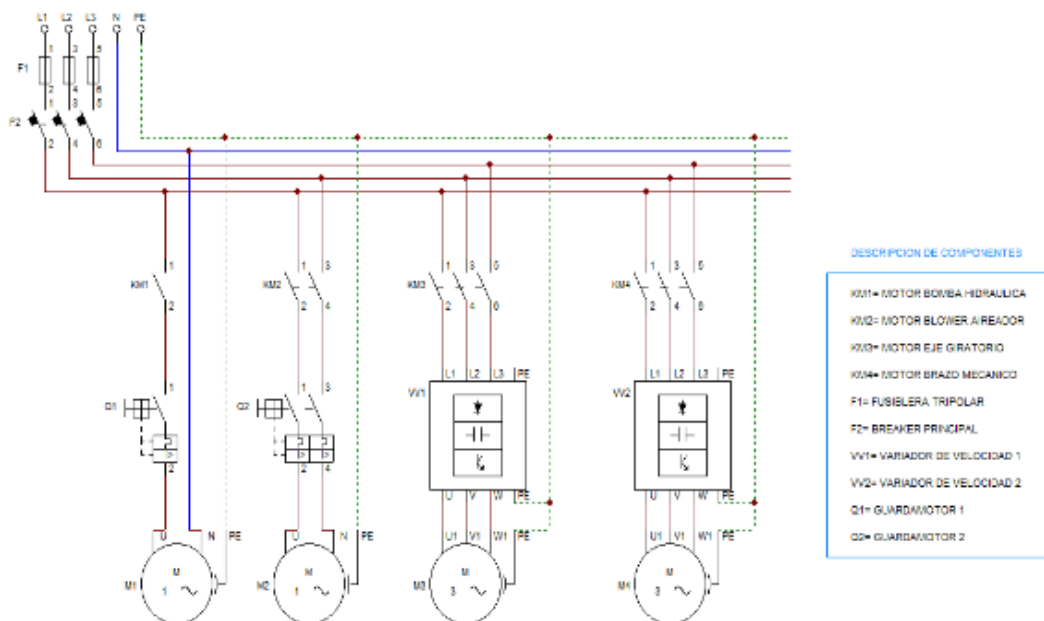


Figura 2.80: Diagrama del circuito de potencia.

Fuente: Software CADe_SIMU.

La figura 2.81 muestra el circuito de control con su respectiva descripción de componentes que serán accionados durante el inicio del proceso de esmaltado.

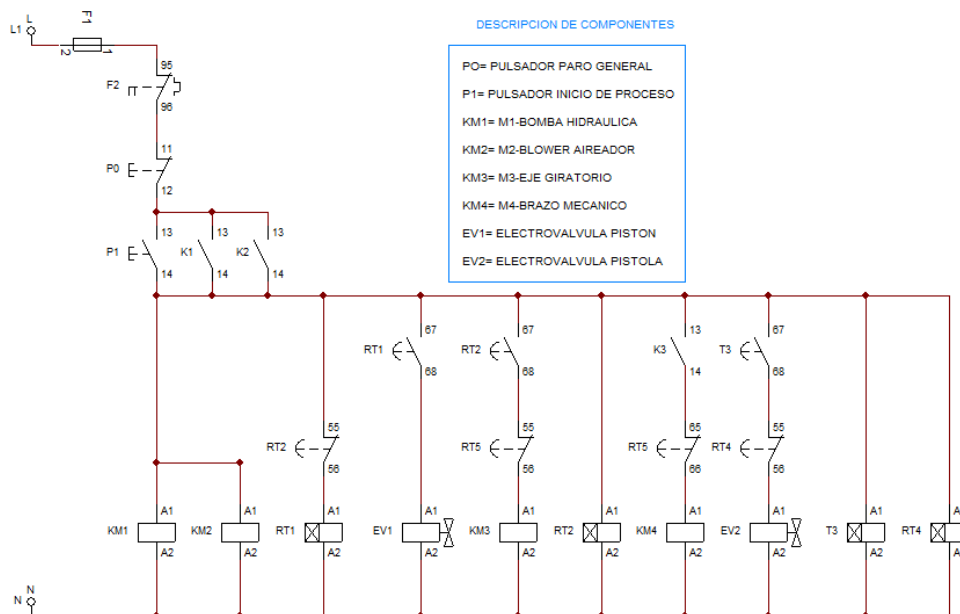


Figura 2.81: Diagrama del circuito de control.

Fuente: Software CADe_SIMU.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

En el presente capítulo se detalla la construcción y montaje de los elementos que conforman la máquina esmaltadora, los elementos seleccionados serán instalados en los sistemas de esmaltado externo e interno apoyándonos en los planos mecánicos (Anexo B) y planos eléctricos (Anexo C).

Los electrodos utilizados para soldar la estructura son E6011 y E6013, con tipos de uniones en T y en escuadra. Las características técnicas de los electrodos se especifican en los Anexos A-9 y A-10.

3.1 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

Para la construcción de la estructura se utilizaron 3 tubos estructurales cuadrados ASTM A-500 de 1-1/2"x2mm (Figura 3.1) y 6 m de longitud, las especificaciones del material se detallan en el Anexo A-11.



Figura 3.1: Tubo estructural cuadrado.

Fuente: Catálogo DIPAC

3.1.1 Trazado y corte del tubo estructural

Se corta el tubo estructural con disco de corte N° 14"x1/8"x1" (Figura 3.2) según las medidas indicadas en el plano mecánico, a continuación en la Tabla 3.1 se describen la longitud de corte de cada uno de los tubos:

Tabla 3.1 Medidas de la tubería cortada.

Medida Tubería Metálica	Longitud de corte	N° de elementos
1_1/2"x2mm	1,75 m	4
1_1/2"x2mm	0,85m	6
1_1/2"x2mm	1,10m	10
1_1/4"x2mm	0,40	10

Fuente: Los Autores



Figura 3.2: Corte de Tubería metálica.

Fuente: Los Autores

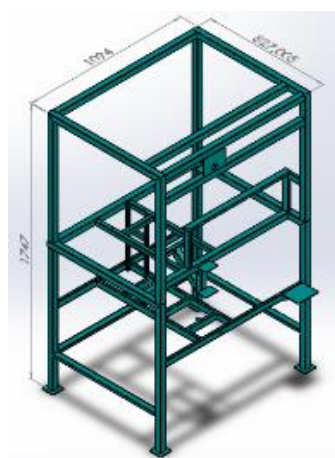


Figura 3.3: Modelo CAD de la estructura de la máquina.

Fuente: Software SolidWorks

Tomando en cuenta las medidas del plano mecánico se procede a unir la estructura con el proceso de soldadura SMAW², posteriormente se pinta con pintura anticorrosiva color verde martillado (Figura 3.4) para proteger al metal ante la oxidación y corrosión producida por ambientes húmedos.



Figura 3.4: Pintado de la estructura de la máquina.

Fuente: Los Autores

Dejamos que la pintura se seque por un lapso de 5 horas para obtener una buena adherencia de la pintura y acabado superficial de la estructura sin grietas, la Figura 3.5 muestra la estructura para la máquina esmaltadora.



Figura 3.5: Estructura de la máquina esmaltadora terminada.

Fuente: Los Autores

² SMAW= Proceso de soldadura por arco eléctrico y electrodo revestido.

3.2 CORTE Y DOBLADO DE LA CUBIERTA

Se utiliza tol galvanizado de 1.5 mm de espesor para implementar la cubierta, se corta y se dobla para luego poder remachar las láminas a la estructura, la cubierta queda terminada tal como se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6: Cubierta de tol instalada en la estructura.

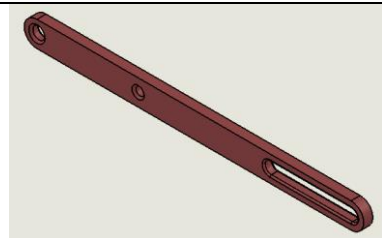
Fuente: Los Autores

Las láminas de tol se sujetan a la estructura metálica de la máquina con tornillos autoperforantes de 1/2 pulgada.

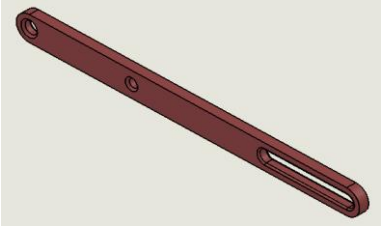
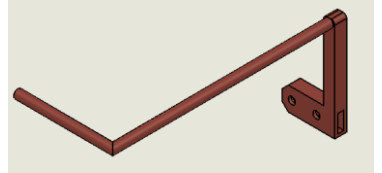
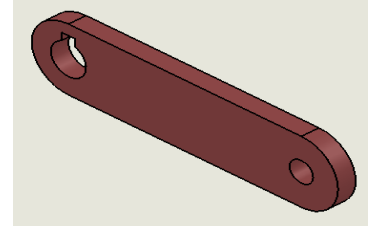
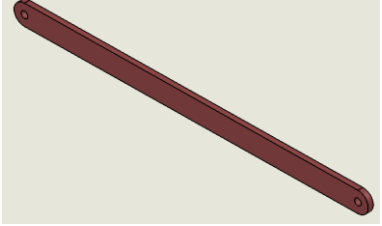
3.3 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL BRAZO MECÁNICO

En la construcción de los eslabones que conforman el brazo mecánico se utiliza platinas de hierro dulce y acero, la Tabla 3.2 describe las medidas y características de los eslabones construidos.

Tabla 3.2 Descripción de Eslabones.

Eslabón	Medidas	Material	Descripción
Balancín A	½ pulg.	Platina Hierro Dulce A36	

CONTINUA 

Eslabón	Medidas	Material	Descripción
Balancín A	½ pulg.	Platina Hierro Dulce A36	
Balancín B	½ pulg.	Varilla circular de Hierro Dulce A36	
Manivela	1 pulg.	Platina Acero AISI 1020	
Acoplador	1 pulg.	Platina Hierro Dulce A36	

Fuente: Los Autores

Se procede al pintado de los eslabones (Figura 3.7) con pintura anticorrosiva color caoba para su posterior montaje en la máquina tal como se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.7: Pintado de los eslabones.

Fuente: Los Autores



Figura 3.8: Montaje de los eslabones.

Fuente: Los Autores

El anclaje de la manivela se lo realiza por medio de una chumacera para rodamiento DIN 625-610.

3.4 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA DE ESMALTADO INTERNO

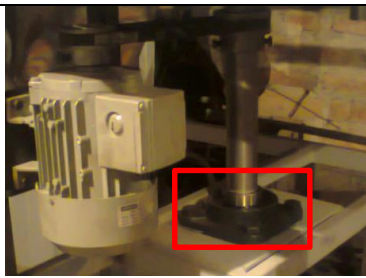
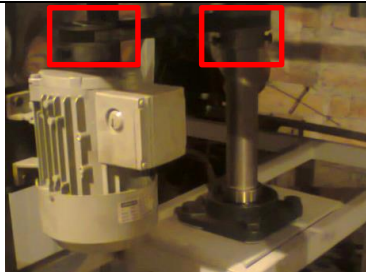


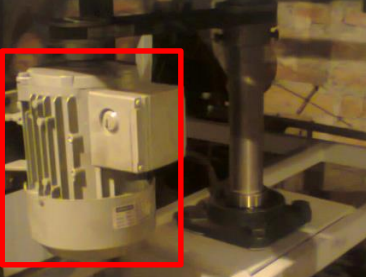

La Tabla 3.3 detalla los elementos que conforman el sistema de esmaltado interno tales como el eje giratorio acoplado a un mecanismo de transmisión de potencia.

Tabla 3.3 Elementos Sistema de Esmaltado interno.

Elemento	Designación	Material	Descripción
Eje Hueco	2"x1"x7/16"	Acero AISI 1045	

CONTINUA



Elemento	Designación	Material	Descripción
Chumacera Axial y Rodamiento	Chumacera UCP204 Rodamiento DIN 625-6010 para eje de 50mm	Hierro Fundido	
Polea Motriz y Polea de accionado	Polea 22-8M-20 Polea 30-8M-20	Aluminio	
Bandeja recolectora	Capacidad de 8 litros	Acero Inoxidable	
Correa dentada	8MGT-640 - P.L 2520 – 80 Dientes	Poliéster	
Motor	Trifásico de C.A y Potencia de ½ HP	Hierro Dulce	
Tubería	½ pulg.	Acero Inoxidable	

Todos los elementos descritos en la anterior tabla se montaron correctamente a la estructura, la chumacera y el motor fueron instalados sobre platinas de acero (Anexo A-12) AISI 304 de 1"x1/8" de espesor con pernos M8x12mm.

El sistema completo del esmaltado interno de los dispensadores se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.9: Sistema de esmaltado interno.


Fuente: Los Autores

3.4.1 Montaje del Mecanismo de Impulsión de Esmalte

Este mecanismo permitirá impulsar el esmalte cerámico contenido en el diafragma a través del movimiento lineal de un actuador neumático.






Los elementos que conforman el mecanismo de impulsión de esmalte se describen en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4 Elementos del Sistema de Impulsión de Esmalte.

Elemento	Designación	Material	Descripción
Diafragma	Diámetro= 200mm Altura= 30mm	NBR Caucho Nitrilo resistente a la abrasión.	

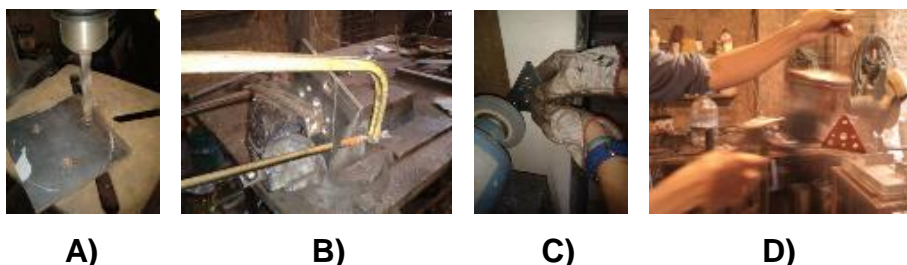
CONTINUA



Elemento	Designación	Material	Descripción
Carcasa del Diafragma	Diámetro= 200mm Altura= 60mm Sujeción= 16 pernos M8x1/2"	Hierro Fundido	
Platina de Anclaje	4"x3/8" de espesor	Acero AISI 1020	
Cilindro Neumático	Doble efecto Diámetro camisa= 32mm Carrera= 50mm	Acero Inoxidable	
Tubería	½ pulg.	PVC (Cloruro de Polivinilo)	
Accesorios: válvula check, válvula tipo bola, codo, unión universal, neplo	½ pulg.	PVC (Cloruro de Polivinilo)	

Fuente: Los Autores

Para la sujeción del diafragma y del pistón neumático se utilizó platinas de 4"x3/8" (Anexo A-12) perforadas con una broca de 8mm, posteriormente se realiza el corte en función de los requerimientos y se le pule en un esmeril, por último se pinta con pintura anticorrosiva, el proceso mencionado se muestra en la Figura 3.10.



A) B) C) D)
Figura 3.10: A).-Perforado B).-Corte C).- Pulido y D).- pintado de Platinas de sujeción.

Fuente: Los Autores

Se sujeta la carcasa metálica del diafragma a una platina con pernos M8x1/2" (Figura 3.11), cabe mencionar que el proceso mostrado en la Figura 3.10 se hace para las demás platinas de sujeción de elementos tales como el Blower, la Bomba, los Motores y demás componentes que conforman la máquina esmaltadora.



Figura 3.11: Sujeción del Diafragma y soporte del pistón.

Fuente: Los Autores

Ya que el esmalte cerámico utilizado en el proceso es de tipo abrasivo se ha seleccionado un diafragma de nitrilo (NBR) con características de elasticidad comprobadas.

Todos los elementos descritos en la tabla 3.4 fueron montados correctamente, las tuberías y accesorios fueron acoplados con teflón y permatex para evitar fugas, se utilizó exactamente 4 m de tubería PVC plastigama de 1/2" para la instalación.

El sistema completo de expulsión de esmalte se muestra en la Figura 3.12.



Figura 3.12: Sistema completo de expulsión de esmalte.

Fuente: Los Autores

3.5 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA DE CORTINA DE AGUA

El sistema de cortina de agua está formado principalmente por el funcionamiento de una bomba hidráulica de ½ HP (Figura 3.13) la misma que permite recircular agua por un circuito de tubería PVC instalada alrededor de un compartimento diseñado para precipitar partículas de esmalte a un depósito del cual se va a recolectar el esmalte para ser reutilizado en el proceso de esmaltado.

En la línea de succión de la bomba se instala una válvula de pie para mantener la bomba cebada, la tubería y accesorios del sistema se acoplan con teflón.

La bomba se sujeta a una platina de 100x200mm con pernos M8x1/2”.



Figura 3.13: Montaje Bomba Hidráulica.

Fuente: Los Autores

El compartimento de precipitación de agua se lo construyó con tol inoxidable de 1.5mm de espesor se lo dobló con una máquina dobladora y se unió con el proceso de soldadura TIG³, la Figura 3.14 muestra el compartimento construido.

³ TIG= Proceso de Soldadura con Electrodo de Tungsteno y Gas de Protección.

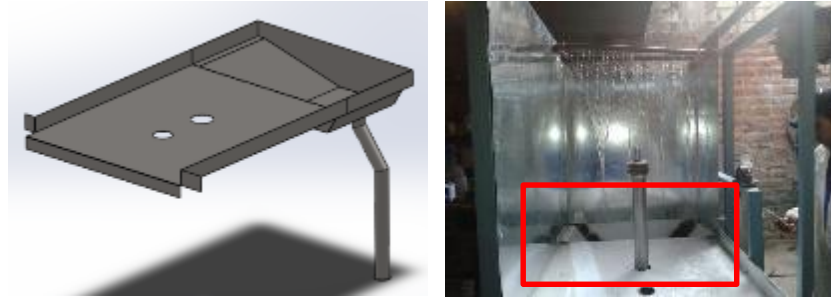


Figura 3.14: Montaje del Compartimento de precipitación de agua.

Fuente: Los Autores

Para aumentar la presión de la cortina de agua se realizaron perforaciones en la tubería de este modo el agua choca con las paredes de la cubierta precipitando partículas de esmalte a un depósito, cabe mencionar que el esmalte precipitado decanta en un depósito por lo tanto el agua que succiona la bomba es totalmente limpia.



Figura 3.15: Montaje del sistema de cortina de agua.

Fuente: Los Autores

En este sistema se adiciona la instalación de un blower aireador (Figura 3.16) cuya principal función es la de extraer partículas de esmalte pulverizado contenido dentro de la cabina y de esta manera asegurar la ergonomía (interacción hombre-máquina-medio de trabajo) dentro de la empresa.

El blower aireador fue instalado en la parte superior de la cabina, el ducto de succión está conectado al compartimento del sistema de cortina de agua y el ducto de descarga va dirigido a un tanque recuperador, de esta forma el ambiente queda libre de partículas de esmalte el cual es perjudicial para el

funcionamiento de los componentes de la máquina y la salud del operario (Revisar Apartado 1.1.10 - Grado de Toxicidad de esmaltes cerámicos).



Figura 3.16: Montaje del Blower Aireador.

Fuente: Los Autores

La Figura 3.16 muestra la instalación del sistema de cortina de agua y extracción de esmalte conjuntamente.



Figura 3.17: Sistema de cortina de agua y extracción de esmalte.

Fuente: Los Autores

3.6 MONTAJE E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico de la máquina esmaltadora cuenta con la presencia de los elementos para realizar las conexiones pertinentes para el proceso automático y cuyo voltaje de trabajo es de 220V.

3.6.1 MONTAJE DEL TABLERO DE MANDO Y CONTROL

El montaje del tablero de control (Figura 3.18) se lo hace de manera que el operador no tenga ningún problema de manejarlo, el tablero tiene las siguientes dimensiones: 36 x 90 x18 cm, el tablero se sujetó a la estructura de la máquina con tornillos autoperforantes de ½”.



Figura 3.18: Tablero de control y de mando.

Fuente: Los Autores

3.6.2 IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE FUERZA

El tipo de arranque para los motores del blower y de la bomba es de forma directa mientras que para los motores del eje giratorio y del brazo mecánico el arranque es suave (por medio de un variador de velocidad). Para la alimentación del breaker principal se utiliza conductor # 3x12 AWG flexible y en las derivaciones se utiliza conductor # 3x14 AWG flexible. En las conexiones realizadas se utilizan terminales tipo U.

La Figura 3.19 muestra detallado la implementación del circuito de fuerza.



Figura 3.19: Tablero del circuito de fuerza.

Fuente: Los Autores

3.6.3 IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE MANDO Y CONTROL

Para el circuito de mando y control (Figura 3.20) se utiliza conductor # 3x18 AWG flexible, tanto para los pulsadores y luces indicadoras que fueron conectados a sus respectivas borneras, de las cuales fueron destinadas tanto entradas como salidas al PLC⁴ (MicroLogo Siemens).



Figura 3.20: Tablero de mando y Control.

Fuente: Los Autores

⁴ PLC= Controlador Lógico Programable

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL ESMALTADO INTERNO DE LOS DISPENSADORES CERÁMICOS.

El sistema de esmaltado interno de los dispensadores cerámicos lo constituye un soporte de 4 puntos y un mecanismo de pistón-diafragma que contiene el esmalte.

Prueba.

El objetivo general de esta prueba es verificar el bañado de esmalte interno en los dispensadores cerámicos. Para esta prueba se utiliza un patrón de muestra y un medidor analógico de espesor de película seca, se mide el espesor en tres puntos internos del dispensador esmaltado; este proceso se lo realiza en 15 piezas cerámicas.

Resultado.

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados de la medición de espesor de esmalte en el recubrimiento interno de dispensadores cerámicos Figura 4.1

Tabla 4.1 Resultados del esmaltado interno.

MEDICIONES DE ESPESOR DE ESMALTE EN LA PARTE INTERNA DEL DISPENSADOR (mm)				
DISPENSADORES	N° MUESTRAS	CUELLO	CUERPO	ASIENTO
TRADICIONAL	PATRÓN DE PRUEBA	0.25	0.25	0.25
	1	0.252	0.253	0.252
	2	0.25	0.250	0.25
	3	0.25	0.247	0.252
	4	0.25	0.252	0.253
	5	0.25	0.253	0.25
ITALIANO	PATRÓN DE PRUEBA	0.25	0.25	0.25
	1	0.25	0.25	0.253
	2	0.252	0.253	0.25
	3	0.253	0.252	0.252
	4	0.252	0.252	0.25
	5	0.253	0.25	0.25
MEDIANO	PATRÓN DE PRUEBA	0.25	0.25	0.25
	1	0.25	0.252	0.253
	2	0.252	0.252	0.25
	3	0.25	0.25	0.25
	4	0.253	0.253	0.252
	5	0.25	0.25	0.25

Fuente: Los Autores



Figura 4.1: Puntos de medición del esmaltado interno.

Fuente: Los autores

En esta prueba se verifica que el espesor máximo de esmalte interno es de 0.253 mm y el espesor mínimo de esmalte interno es 0.247 mm, llegando a la conclusión que el diseño de esmaltado interno de dispensadores es el óptimo para obtener un recubrimiento de esmalte uniforme al patrón de 0.25 mm de espesor de esmalte interno.

4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL ESMALTADO EXTERNO DE LOS DISPENSADORES CERÁMICOS.

El sistema de esmaltado externo de los dispensadores cerámicos lo constituyen un sistema de brazo mecánico, una pistola de pulverización automática y un soporte giratorio donde será ubicado el dispensador, como se lo observa en la Figura 4.2.



Figura 4.2: Proceso de esmaltado externo

Fuente: Los autores

Pruebas.

El objetivo general de esta prueba es verificar el bañado de esmalte externo en los dispensadores cerámicos. Para esta prueba se utiliza un patrón de muestra y un medidor analógico de espesor de película seca, se mide el espesor en tres puntos externos del dispensador esmaltado; este proceso se lo realiza en 15 piezas cerámicas.

Resultados.

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de la medición de espesor de esmalte en el recubrimiento externo de los dispensadores cerámicos (Figura 4.3).

Tabla 4.2 Resultados del esmaltado externo.

MEDICIONES DE ESPESOR DE ESMALTE EN LA PARTE EXTERNA DEL DISPENSADOR (mm)				
DISPENSADORES	N° MUESTRAS	CUELLO	CUERPO	ASIENTO
TRADICIONAL	PATRÓN DE PRUEBA	0.25	0.25	0.25
	1	0.256	0.253	0.247
	2	0.256	0.253	0.248
	3	0.256	0.253	0.247
	4	0.256	0.253	0.247
	5	0.256	0.253	0.24
ITALIANO	PATRÓN DE PRUEBA	0.25	0.25	0.25
	1	0.255	0.253	0.24
	2	0.255	0.253	0.24
	3	0.255	0.253	0.249
	4	0.255	0.253	0.249
	5	0.255	0.253	0.249
MEDIANO	PATRÓN DE PRUEBA	0.25	0.25	0.25
	1	0.256	0.253	0.24
	2	0.256	0.253	0.248
	3	0.256	0.253	0.24
	4	0.256	0.253	0.248
	5	0.256	0.253	0.249

Fuente: Los autores

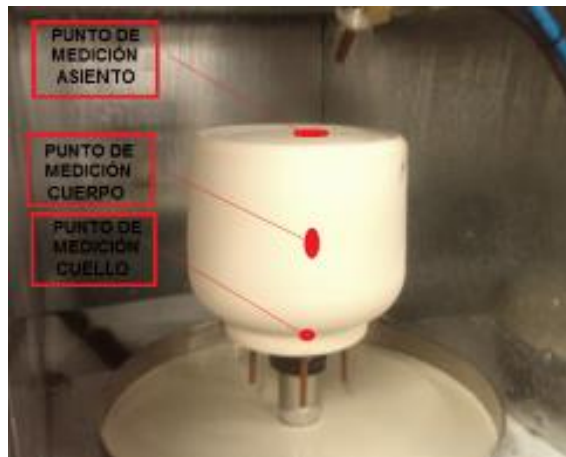


Figura 4.3: Puntos de medición del esmaltado externo.

Fuente: Los autores

En esta prueba se verifica que el espesor máximo de esmalte externo es de 0.256 mm y el espesor mínimo de esmalte externo es 0.24 mm, llegando a la conclusión que el diseño de esmaltado externo de dispensadores es el óptimo para obtener un recubrimiento de esmalte uniforme al patrón de 0.25 mm de espesor de esmalte externo.

4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ESMALTE.

El sistema de recuperación está constituido por una bomba de agua y un Blower aireador (Extractor) cuya función es recuperar las partículas pulverizadas de esmalte que se producen al momento de esmaltar los dispensadores cerámicos de esta forma se evita que las partículas se expandan fuera de la cabina para brindar la seguridad y salud al operador ya que las mismas son tóxicas y pueden afectar las vías respiratorias.

En las pruebas realizadas se observa que el blower absorbe totalmente las partículas de pulverización de esmalte, evitando que salga fuera de la cabina de esmaltado, así asegurando la recuperación de material de esmalte y la salud del operador.

A continuación se muestra el funcionamiento de la cortina de agua en su parte posterior (Figura 4.4) y parte frontal (Figura 4.5) de la cabina esmaltadora.

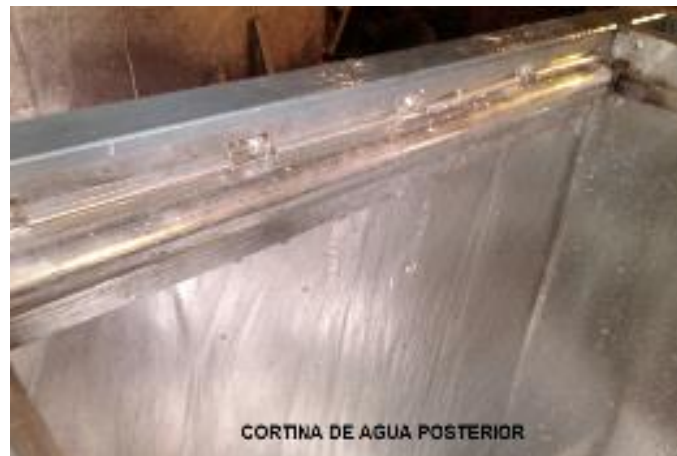


Figura 4.4: Cortina de agua posterior

Fuente: Los autores



Figura 4.5: Cortina de agua frontal

Fuente: Los autores

4.4 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL TIEMPO Y CANTIDAD DE DISPENSADORES CERÁMICOS ESMALTADOS

Antes de ser implementada la maquinaria, el proceso de esmaltado se lo ejecutaba en procesos separados, es decir primero se ejecutaba el esmaltado interno (Figura 4.6) el cual tenía una duración de 10 segundos y por

consiguiente el esmaltado externo (Figura 4.7) se lo ejecutaba usando una pistola de pulverización, este proceso tenía una duración de 74 segundos; cabe mencionar que los procesos mencionados se los realizaba de forma manual en su totalidad.



Figura 4.6: Esmaltado interno

Fuente: Los autores



Figura 4.7: Esmaltado externo

Fuente: Los autores

La cantidad de dispensadores esmaltados antes de la implementación del presente proyecto era alrededor de 150 por día con fallas evidentes en las piezas cerámicas, las fallas eran por acumulación de esmalte lo cual produce agrietamientos y un mal acabado superficial, tal como se observa en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Dispensadores esmaltados con fallas superficiales

Fuente: Los autores

Con la implementación de la máquina esmaltadora (Figura 4.9) actualmente se produce el esmaltado interno y externo de alrededor de 350 dispensadores cerámicos por día, con los siguientes tiempos de esmaltado:

- Tiempo de esmaltado interno (3 segundos)
- Tiempo de esmaltado externo (30 segundos)

Se concluye que los beneficios que brinda la máquina esmaltadora son:

- Elevación de producción
- Reducción del grado de contaminación en el ambiente
- Ahorro de material en el esmaltado de dispensadores
- Reducción de esfuerzo físico del operador

Todos los parámetros antes mencionados contribuirán de buena manera para el desarrollo de la empresa.



Figura 4.9: Prueba final de funcionamiento

Fuente: Los autores

CAPÍTULO V

ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero tiene como finalidad demostrar que existen recursos suficientes para llevar a cabo el proyecto, el mismo que tendrá un beneficio. Conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad en forma eficiente, segura y rentable.

5.1 ANÁLISIS DE COSTOS

a. Materiales Mecánicos

La siguiente Tabla 5.1 describe el valor de todos los materiales mecánicos utilizados en el sistema.

Tabla 5.1 Costo de componentes mecánicos.

COSTO DE MATERIAL MECÁNICO				
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Tubo cuadrado de 1-1/2" x 2 mm (tubo de 6m)	3	16,63	49,89
2	Tubo cuadrado de 1-1/4" x 2 mm (tubo de 6m)	1	12,42	12,42
3	Tubo cuadrado de 3/4" x 1.5 mm	0,5	7,23	3,615
4	Tubo rectangular de 1-1/2 x 3/4 x1,5mm (tubo de 6m)	2	10,59	21,18
5	Plancha Laminada en caliente de 5mm	1	105,9	105,9
6	Angulo AL 1" x 2 mm	4	4,78	19,12
7	Tubo cuadrado de 3/4" x 1.5 mm (tubo de 6m)	1	7,23	7,23
8	Varilla circular Lisa de 12mm	1	5,09	5,09
9	Varilla lisa de 8mm	1	2,48	2,48
10	Platina de 1 x 1/4"	4	6,75	27
11	Platina de 1 x 1/8"	4	5,75	23
12	Rodamiento 6004	4	4,24	16,96
13	Rodamiento 6010	2	17,41	34,82
14	Rodamiento 6301	2	4,24	8,48
15	Chumacera para rodamiento 6010	1	15,4	15,4
16	Tornillo punta broca 1 x 6	60	0,15	9
17	Perno M10x35mm	4	0,6	2,4
18	Perno M6x35mm	10	0,44	4,4
19	Carcasa de Acero para Diafragma	1	60	60
20	Bandeja de acero Inoxidable	1	250	250
21	Eje hueco de acero inoxidable 2"	1	48,99	48,99
			TOTAL	727,38

Fuente: Los Autores

b. Materiales Eléctricos

La siguiente Tabla 5.2 describe el valor de todos los materiales eléctricos utilizados en el sistema.

Tabla 5.2 Costo de componentes eléctricos.

COSTO DE MATERIAL ELÉCTRICO				
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Variador de Frecuencia Siemens Sinamincs G110 1HP	2	270,97	541,94
2	Motor Siemens Trifásico 1/2HP, 220/440V	2	168,54	337,08
3	Caja Reductora Ratio 100	1	288,34	288,34
4	Blower Aireador 1/2HP, 110/220V	1	120	120
5	Bomba Hidráulica Truper 1/2HP, 110V	1	70,9	70,9
6	Guardamotor y Contactor Siemens Sirius 110/220V	2	62,3	124,6
7	Breaker Trifásico Siemens 30A	1	17,75	17,75
8	Fusiblera Tripolar 10A	1	4,73	4,73
9	Relé 110/220V con base de 8 pines	2	5,61	11,22
10	PLC Micro LOGO! 230RC, 110/220VAC	1	153,9	153,9
11	Módulo de Expansión LOGO DM8 4DO	1	84,55	84,55
12	Cable de programación PC-LOGO	1	105,45	105,45
13	Cable Flexible #18 AWG (Blanco)	30	0,2	6
14	Cable Flexible #16 AWG	20	0,24	4,8
15	Cable Flexible #14 AWG	40	0,35	14
16	Cable Flexible #12 AWG	4	1,39	5,56
17	Pulsador tipo hongo de Emergencia	1	2,7	2,7
18	Interruptor Selector	1	1,5	1,5
19	Pulsador	3	1,71	5,13
20	Lámpara de Señalización Camsco	3	1,5	4,5
21	Terminal aislado Tipo M, azul	2	3,84	7,68
22	Terminal aislado abierto	45	0,06	2,7
23	Prensa estopa PG13,5	5	0,35	1,75
24	Riel DIN 1/2x5/16"	1	2,23	2,23
25	Borneras 22-10AWG	5	1,67	8,35
26	Canaleta 25x40mm	2	5,38	10,76
27	Gabinete metálico	1	30	30
			TOTAL	1968,12

Fuente: Los Autores

c. Materiales Neumáticos

La siguiente Tabla 5.3 describe el valor de todos los materiales neumáticos utilizados en el sistema.

Tabla 5.3 Costo de componentes neumáticos.

COSTO DE MATERIAL NEUMÁTICO				
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Cilindro Neumático Festo 32x50mm	1	70,56	70,56
2	Calderín de Presión	1	300	300
3	Pistola Automática de presión 4041	1	685,61	685,61
4	Electroválvula 5/2	1	34,54	34,54
5	Electroválvula 3/2	1	26,79	26,79
6	Sistema de Mantenimiento FRL 100CFM 1/4"	1	58,5	58,5
7	Filtro Regulador 1/4"	1	29,46	29,46
8	Regulador de aire 1/4"	1	37,5	37,5
9	Silenciador Plano 1/8"	4	0,63	2,52
10	Racor acople rápido 6mmx1/4"	5	1,25	6,25
11	T Racor acople rápido 1/4"	2	2,41	4,82
12	Acople Compresor-FRL	1	5,97	5,97
12	Neplo 1/4"x1/4"	4	1,34	5,36
13	Neplo 3/8"x3/8"	1	2,23	2,23
14	Neplo 1/2"x1/4"	1	4,02	4,02
15	Neplo hexagonal 1/4"	2	1,19	2,38
16	Bushing 1/2"x1/4"	1	2	2
17	Manguera de poliuretano 1/4" (azul)	10	0,69	6,9
			TOTAL	1285,41

Fuente: Los Autores

d. Costos de Maquinado

La siguiente Tabla 5.4 describe el costo de proceso de maquinado en la realización de la máquina esmaltadora.

Tabla 5.4 Costo de proceso de maquinado.

COSTOS DE MAQUINADO		
N°	MÁQUINA	TOTAL (\$)
1	Soldadura	350
2	Taladro	60
3	Torno	80
4	Moladora	60
5	Dobladora	50
6	Pintura	150
TOTAL		750

Fuente: Los Autores

e. Costo Directo Total

La siguiente Tabla 5.5 describe el costo directo total en la realización de la máquina esmaltadora.

Tabla 5.5 Costo directo total.

COSTO DIRECTO TOTAL	
Componentes Mecánicos	727,38
Componentes Eléctricos	1968,12
Componentes Neumáticos	1285,41
Componentes de proceso de maquinado	750
Costos de Montaje	400
TOTAL	5130,91

Fuente: Los Autores

La inversión inicial de la máquina esmaltadora suma un costo directo total de \$5130,91 dólares americanos.

f. Costos de Operación

Consta del consumo de energía que va a tener la máquina y a la mano de obra de los operarios. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

$$E = \frac{P \times 746W}{\eta} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$E = \frac{0,5 \times 746W}{0,8}$$

$$E = 0,466 \text{ [Kw]}$$

El costo para el [Kwh] tiene un promedio de 0,092ctv, por lo tanto el costo de cada hora será 0,0428 \$/h, como la máquina tendrá un trabajo de 4 horas diarias el costo del consumo eléctrico es:

$$\begin{aligned}\text{Costo Diario} &= 0,0428 \frac{\$}{\text{h}} \times 4 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 0,17 \frac{\$}{\text{día}} \\ \text{Costo Mensual} &= 0,17 \frac{\$}{\text{día}} \times 12 \frac{\text{día}}{\text{mes}} = 2,04 \frac{\$}{\text{mes}} \\ \text{Costo Anual} &= 2,04 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 24,48 \frac{\$}{\text{año}}\end{aligned}$$

Adicional a estos cálculos se debe tomar en cuenta el gasto de un operador que trabaja con un sueldo básico de \$ 318 con el aporte al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldo.

Para el aporte al IESS se tiene un porcentaje del 12,15% del sueldo básico:

$$\text{Aporte al IESS} = \$ 318 \times 12,15\% = \$ 38,63$$

El décimo tercero se lo cancela cada 24 de diciembre, lo cual equivale al período desde el 1 de diciembre del año anterior hasta el 30 de noviembre del año en curso.

$$\text{Décimo Tercero} = \frac{356,63 \times 12}{12} = \$ 356,63$$

Este pago se lo hace hasta el 15 de agosto de cada año en lo respecta a las regiones sierra y oriente recibiendo así un valor del salario mínimo que está en vigencia de \$ 240.

$$\text{Décimo cuarto} = \$ 240$$

Por lo tanto el sueldo anual de un operador será el siguiente:

$$\text{Sueldo anual} = \$ 318 \times 12 + \$ 356,63 + \$ 240 + \$ 38,63 = \$ 4451,26$$

El gasto de funcionamiento anual tiene como valor el siguiente:

$$\text{Gasto de funcionamiento anual} = \$ 24,48 + \$ 4451,26 = \$ 4475,74$$

5.2 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

5.2.1 FLUJO DE CAJA

Para realizar el flujo de caja se tiene que hacer una proyección estimada de 5 años, considerando los siguientes puntos:

- Las ventas estimadas para el primer año en la empresa “NOVEL” según datos de la misma es de \$18000.
- La tasa de interés del producto empresarial es de 9,53% (Ver la tabla 5.6)
- La empresa tiene previsto un aumento del 8% anual de producción.

Tabla 5.6 Tasa de interés para producto empresarial.

1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES	
Tasas Referenciales	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	8.17
Productivo Empresarial	9.53
Productivo PYMES	11.20
Consumo	15.91
Vivienda	10.64
Microcrédito Acumulación Ampliada	22.44
Microcrédito Acumulación Simple	25.20
Microcrédito Minorista	28.82

Fuente: Banco Central del Ecuador.

Se prevé realizar un financiamiento de \$ 6000 para la construcción de la máquina esmaltadora. Con estos datos se puede realizar la amortización de préstamo anual como se puede observar en la figura 5.1.

CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS											
importe	6.000										
años	5										
comisión de apertura	0,00%										
interés nominal	9,53%										
periodo de pago	1										
tipo amortización	2										
cuotas constantes											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PAGOS TOTALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRINCIPAL</td> <td>6.000,00</td> </tr> <tr> <td>INTERESES</td> <td>1.715,40</td> </tr> <tr> <td>COMISIÓN</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>7.715,40</td> </tr> </tbody> </table>		PAGOS TOTALES		PRINCIPAL	6.000,00	INTERESES	1.715,40	COMISIÓN	0,00	TOTAL	7.715,40
PAGOS TOTALES											
PRINCIPAL	6.000,00										
INTERESES	1.715,40										
COMISIÓN	0,00										
TOTAL	7.715,40										
coste efectivo	9,53%										
www.economia-excel.com											
años	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente						
0					6.000,00						
1	1.771,80	571,80	1.200,00	1.200,00	4.800,00						
2	1.657,44	457,44	1.200,00	2.400,00	3.600,00						
3	1.543,08	343,08	1.200,00	3.600,00	2.400,00						
4	1.428,72	228,72	1.200,00	4.800,00	1.200,00						
5	1.314,36	114,36	1.200,00	6.000,00	0,00						

Figura 5.1: Amortización de Prestamos

Fuente: Los Autores

Con estos parámetros se puede realizar el flujo de caja con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel, como se muestra en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Tasa de interés para producto empresarial

FLUJO DE CAJA						
VALORES	ANOS	ANOS	ANOS	ANOS	ANOS	ANOS
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN INICIAL	(6.000,00)					
INGRESOS POR VENTA DE DISPENSADORES		18.000,00	19.440,00	20.995,20	21.415,10	23.128,30
EGRESOS:						
INTERES PRÉSTAMO (9,53%)		(571,16)	(456,93)	(342,70)	(228,46)	(114,23)
AMORTIZACIÓN DEUDA		(1.200,00)	(1.200,00)	(1.200,00)	(1.200,00)	(1.200,00)
COSTO DE OPERACIÓN		(14.242,52)	(14.242,52)	(14.242,52)	(14.242,52)	(14.242,52)
FLUJO DE CAJA	(6.000,00)	1.986,32	3.540,55	5.209,98	5.744,12	7.571,55

Fuente: Los Autores

5.2.2 VALOR PRESENTE NETO (VPN)

Es el valor presente neto del flujo de caja proyectada para los cinco años de evaluación del proyecto.

$$VPN = -k_o + \sum_{i=1}^n \frac{fCi}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

k_o = Inversión o Capital

fCi = Flujo de Caja de año i

D = Tasa de descuento real utilizada

i = Numero de Periodos de vida del proyecto

$$\begin{aligned}
 VPN = & -6000 + \frac{1986,32}{(1 + 0,0953)^1} + \frac{3540,55}{(1 + 0,0953)^2} + \frac{5209,98}{(1 + 0,0953)^3} \\
 & + \frac{5744,12}{(1 + 0,0953)^4} + \frac{7571,55}{(1 + 0,0953)^5} \\
 & \mathbf{VPN = \$ 11523,84}
 \end{aligned}$$

El valor del VPN calculado mediante los flujos de caja de la tabla es de \$11523,84. El VPN tiene un valor positivo por lo cual el proyecto es factible realizarlo.

La tasa de rendimiento requerida fue establecida mediante los indicadores que se presentan a continuación:

- Riesgo país
- Tasa de inflación anual
- Tasa de interés pasiva

$$TMAR = \text{riesgo país \%} + \text{inflación anual \%} + \text{interes pasiva \%}$$

$$TMAR = 6,24 \% + 1,71 \% + 4,53 \%$$

$$TMAR = 12,48 \%$$

5.2.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es aquella tasa de descuento que reduce a cero el valor presente neto (VPN). Lo cual la TIR representa el porcentaje máximo de ganancia que se aspira obtener. En la tabla 5.8 se muestra los valores del TIR que hacen cero a la VPN.

Tabla 5.8 Valores TIR.

TIR (%)	VPN (\$)
54,95	1,09
54,96	0
54,97	-1,07

Fuente: Los Autores

Con los datos de la tabla 5.8 se calcula el valor real de la TIR de la siguiente manera:

$$TIR = TIR_A + (TIR_p - TIR_A) \frac{VPA}{VPA - VPP}$$

$$TIR = 0,5495 + (0,5497 - 0,5495) \frac{1,09}{1,09 + 1,07}$$

$$TIR = 0,5496 = 54,96\%$$

El proyecto va a rendir en un 54,96%.

Como la TIR es mayor que la tasa de rendimiento requerida (TMAR) de la inversión, por esta razón se considera que el proyecto es viable ejecutarlo.

5.2.4 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Representa la rentabilidad que origina el proyecto por cada dólar invertido. Con los datos de la Tabla 5.9 se obtiene este valor.

Tabla 5.9 Relación Costo – Beneficio.

AÑOS	FCN	FCNA	FCNAA
1	1986,32	1813,49	1813,49
2	3540,55	2951,24	4764,73
3	5209,98	3964,94	8729,67
4	5744,12	3991,08	12720,75
5	7571,55	4803,07	17523,82
		17523,82	

Fuente: Los Autores

$$R \frac{C}{B} = \frac{\sum FCNA}{I} \quad \text{Ec. 5.3}$$

$$R \frac{C}{B} = \frac{17523,82}{6000}$$

$$R \frac{C}{B} = 2,92$$

Donde:

FCN= Flujo de Caja Neto

Por cada dólar invertido en la construcción de la máquina esmaltadora se recupera \$ 2,92 de ingreso.

a. Recuperación de la Inversión

El periodo de recuperación es el tiempo que se tarda en ser recuperada la inversión inicial.

$$PR = \frac{I-FCAA}{FCAP} \times 12 \text{ meses} \quad \text{Ec. 5.4}$$

$$PR = \frac{6000 - 4764,73}{3964,94} \times 12 \text{ meses}$$

$$PR = 3,73 \text{ meses}$$

$$PR = 2 \text{ Años, } 3 \text{ Meses y } 22 \text{ Días.}$$

En la tabla 5.10 se muestran los valores de comparación que determinan que el proyecto es viable.

Tabla 5.10 Valores Límite para que un proyecto sea viable.

TÉCNICA DE EVALUACIÓN	RANGO
VPN,\$	VPN>0
TIR, %	TIR%>TMAR%
PRI, AÑOS	PRI<n
RBC	RBC>1

Fuente: Los Autores

En la tabla 5.11 se pueden observar los valores obtenidos de este análisis financiero realizado al proyecto.

Tabla 5.11 Valores límites obtenidos para el proyecto.

TÉCNICA DE EVALUACIÓN	RANGO
VPN,\$	\$ 11523,84 >0
TIR,%	64,96%>12,48%
PRI, AÑOS	2 años<5años
RBC	2,92>1

Fuente: Los Autores

5.2.5 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FINANCIERO

- El VAN obtenido de \$ 11523,84 permite tener una decisión correcta, lo que ratifica que la viabilidad del proyecto es positivo. Teniendo una TIR de 54,96% la cual es mayor que la TMAR de 12,48% de la inversión, dando así que el proyecto está altamente viable.
- La inversión realizada para el proyecto tiene un periodo de recuperación de 2 años con 3 meses, por lo cual es de gran satisfacción a la empresa “NOVEL”, lo que garantiza seguir implementado este tipo de proyectos de automatización y construcción.
- Los datos que se obtuvieron y comparándolos con los valores límites aceptables, se llega a la conclusión de que el proyecto es viable para la empresa “NOVEL” con un periodo de recuperación de corto plazo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

- La composición química de los esmaltes cerámicos generalmente están constituidos por la combinación de óxidos tales como: Alúmina (Al_2O_3), Silicato de Zirconio ($ZrSiO_4$), Oxido de Estaño (SnO_2), Oxido de Titanio (TiO_2), Oxido de plomo (PbO), Oxido de Boro (B_2O_3), Oxido de Calcio (CaO), Oxido de Bario (BaO), Oxido de silicio (SiO_2) y Oxido de Zinc (ZnO); a estos se les añade materiales refractarios: el caolín, el cuarzo, el feldespato y la arcilla, lo que dan origen al esmalte cerámico y sus cantidades dependerán del grado de opacidad y transparencia del mismo.
- Con la aplicación de esmalte en los dispensadores cerámicos se logra impermeabilidad, facilidad de ser limpiados, difícil de ser rayados e insolubilidad al agua.
- La empresa Novel para el proceso de esmaltado de dispensadores cerámicos ocupa el esmalte opaco en un 60% y 40% en esmalte transparente.
- El sistema de esmaltado externo de dispensadores cerámicos está compuesto por los siguientes componentes: un mecanismo de brazo mecánico, una pistola de pulverización automática y un soporte giratorio.
- El sistema de esmaltado interno de dispensadores cerámicos está compuesto por los siguientes componentes: un soporte de 4 puntos y un mecanismo de pistón-diafragma el cual contiene el esmalte.
- El sistema de recuperación de esmalte está compuesto por una bomba de agua, un Blower aireador (Extractor) y un tanque de recuperación.
- El diseño de la bancada de la máquina se lo realizó bajo un estudio de Solidworks, en el cual cada elemento puede soportar un esfuerzo de 13 kg, y en el peor de los casos existe una tensión máxima de

5,86 Mpa y una deflexión de $7,268e-002$ con un factor de seguridad de 3.

- Para poder diseñar el brazo mecánico se utiliza la teoría de Síntesis de generación de funciones, obteniendo como resultado un ángulo de 105.195° que cubre el eslabón seguidor a partir de la posición inicial, hasta su posición final, el cual asegura el recorrido óptimo alrededor de los dispensadores según su diseño.
- El esmaltado interno de los dispensadores depende de la fuerza que ejerce el cilindro neumático (135N) a una presión de 6 bares para crear una presión en el diafragma y que este impulse el fluido por una tubería.
- El eje giratorio está diseñado para soportar un peso de 30 N este mecanismo cuenta con un factor de seguridad de 8.
- Los dos motores eléctricos de 0.5 hp, están conectados a un variador de velocidad Sinamics G110 de 1HP independientemente, con el fin de tener al eje giratorio a una velocidad de 165 rpm y el brazo mecánico a una velocidad de 12 rpm.
- En el diseño de las líneas de presión de aire se necesita un compresor de 10 Bares y de 5 Hp, la cual me asegura que el sistema operara correctamente, el sistema consta de una pistola neumática, un tanque presurizado y un pistón neumático.
- Con las pruebas realizadas del bañado de esmalte interno y externo de 15 dispensadores se logró observar que el acabado es uniforme, obteniendo así la satisfacción del cliente, logrando un espesor promedio de esmaltado interno de 0.753533 mm y el espesor promedio de esmaltado externo de 0.754066 mm
- Entre los beneficios que presenta al implementar la máquina esmaltadora está: Aumento en la cantidad de dispensadores cerámicos (300/día), reducción del grado de contaminación en el ambiente, ahorro de material en el esmaltado de dispensadores, reducción de esfuerzo físico del operador y por sobre todo el desarrollo de la empresa Cerámica Novel.

- Mediante el Análisis Financiero se llega a la conclusión de que el proyecto es viable para la empresa “NOVEL” con un periodo de recuperación de corto plazo (2 Años-3meses).
- Se diseñó los planos mecánicos (Anexo B), los mismos que se utilizaron para la construcción y montaje de los componentes de la máquina esmaltadora.
- Se diseñó los planos eléctricos de fuerza y control (Anexo C), los mismos que se utilizaron para el funcionamiento de la máquina esmaltadora.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que para el diseño y selección de materiales primero se debe investigar si es factible adquirirlos en el mercado.
- Al momento de poner en funcionamiento el equipo se debe tener las medidas de seguridad e ir verificando las presiones de los sistemas para evitar accidentes.
- Para alargar la vida útil de la pistola automática se recomienda realizar su limpieza cada vez que se la utilice realizando el método de descompresión.
- Se debe tener cuidado al momento de colocar los diferentes tamaños de dispensadores cerámicos en el soporte de 4 puntos, el mismo que se debe regular con el fin de lograr el esmaltado interno y evitar accidentes.
- Se recomienda dejar accionado el paro de emergencia para que no exista manipulaciones de la máquina al finalizar la jornada de trabajo.
- Una vez terminada la jornada de trabajo se debe realizar la limpieza de todo el sistema, drenar el esmalte de la bandeja recolectora y del diafragma, lavar con agua el tanque de presión, esto evitara que el esmalte se adhiera a los componentes y su posterior deterioro.

- Para que opere correctamente el sistema neumático se recomienda mantener al compresor dentro de un rango de presión de 80 a 100 psi.
- Las presiones de aire tanto del tanque presurizado como el de la línea de control de la aguja y la línea de pulverización de la pistola aerográfica es muy importante mantenerlos constantes para el óptimo rendimiento del sistema neumático.

BIBLIOGRAFÍA Y NETGRAFÍA

- [1] I.Nebot-Díaz, "Nuevas tecnologías para el sector cerámico de Castellón desarrollo de." Athenea, 2000.
- [2] "Introducción a las pastas y esmaltes cerámicos." Disponible en URL:<http://quimica.ugto.mx/revista/9/PASTAS%20Y%20ESMALTES.htm>. [consulta 15 de febrero del 2013]
- [3] S. I. J.I. vicentiz, "Esmaltes Cerámicos." Disponible en URL: http://www.vicentiz.com/Acrobat/info_parcial/esmaltes/esmaltes.pdf, 2008. [consulta 15 de febrero del 2013]
- [4] M. C. Escrig, "Clasificación de esmaltes cerámicos," Disponible en URL:<http://www.ieselcaminas.org/apuntes/ceramica/composiciones/Esmaltes%20ceramicos.pdf>, 2007. [consulta 15 de febrero del 2013]
- [5] "Composición química de los vidrios y esmaltes." , " Disponible en URL:http://ceramica.wikia.com/wiki/Escritos_selectos_de_Seger,_Volumen_II:_Composici3n_qu3mica_de_los_vidrios_y_esmaltes. [consulta 07 de Abril del 2013]
- [6] "Preparación y Aplicación de esmaltes cerámicos." Disponible en URL: <http://centrodeinvestigaciec.blogspot.com/2010/11/quimica-de-la-ceramica.html>. [consulta 07 de Abril del 2013]
- [7] "Defectos en piezas cerámicas." Disponible en URL: http://www.vicentiz.com/Acrobat/info_parcial/esmaltes/esmaltes.pdf [consulta 07 de Abril del 2013]
- [8] "Introducción a la Neumática." Disponible en URL: isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema3-2.pdf. [consulta 10 de junio del 2013]
- [9] "Neumática, Compresores." Disponible en URL: <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html> [consulta 10 de junio del 2013]
- [10] "Válvulas Neumáticas." Disponible en URL:<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica16.htm>. [consulta 10 de junio del 2013]
- [11] "Pistolas Aerográficas." Disponible en

- URL: <http://www.elchapista.com/>. [consulta 5 de julio del 2013]
- [12] “Síntesis de mecanismos.” Disponible en
URL: [http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/cinematica-y-dinamica-de-maquinas/cinematica-y-dinamica-de-maquinas/Tema IV 1 Teoria.pdf](http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/cinematica-y-dinamica-de-maquinas/cinematica-y-dinamica-de-maquinas/Tema%20IV%201%20Teoria.pdf)
[consulta 5 de agosto del 2013]
- [13] R. L. Mott, Resistencia de Materiales, 5 Edición. México, 2009.
- [14] F. y J. E. . Beer, Mecánica de Materiales, 2 Edición. Colombia, 1993.
- [15] “Círculo de Mohr.” Disponible en:
URL: <http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/circulos.pdf>.
[consulta 5 de agosto del 2013]
- [16] “Correas en V.” Disponible en:
URL:http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http://www.gates.com/downloads/download_common.cfm?file=PolyChainBrochure1.pdf&folder=brochure&ei=vJO2UePPBoPA9QTqoYGgAg&usg=AFQjCNGjJ1OJXp6R_tcyWzwn0JiWXBiVvQ&bvm=bv.47534661,d.eWU. [consulta 5 de agosto del 2013]
- [17] “Transmisiones por Correas.” Disponible en:
URL:http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_correas2. [consulta 5 de agosto del 2013]
- [18] R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, 6 Edición. México, 2006.
- [19] “Selección de Cilindros Neumáticos.” Disponible en:
URL: http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo2/C2_indice.htm.
[consulta 9 de septiembre del 2013]
- [20] “Festo Corporation.” Disponible en:
URL: http://www.festo.com/cms/es_es/9530.htm.
- [21] S. Millan, Automatización Neumática y Electroneumática, 8 Edición. 2009.
- [22] J. R. Viloría, Neumática, Hidráulica, Electricidad Aplicada, 4 Edición. España, 2008.
- [23] J. R. Viloría, Ventiladores Industriales, 4 Edición. España, 2003.

ANEXOS