



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLA CORRUGADA CON INTERFAZ GRAFICA (HMI), EN EL ÁREA DEL TRANSFERIDOR DEL TREN DE LAMINACIÓN UNO DE LA EMPRESA NOVACERO S.A. PLANTA INDUSTRIAL LASSO”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

**ALEX WLADIMIR MUSO AMORES
JAIME PATRICIO TORO RUBIO**

Latacunga, Octubre del 2012

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)

ING. FREDDY SALAZAR (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“Diseño e implementación de un sistema de control automático para el conteo y separación de varilla corrugada con interfaz grafica (HMI), en el área del transferidor del tren de laminación uno de la empresa Novacero s.a. planta industrial Lasso”** realizado por los señores: MUSO AMORES ALEX WLADIMIR y TORO RUBIO JAIME PATRICIO ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Octubre del 2012.

Ing. Oscar Arteaga

DIRECTOR

Ing. Freddy Salazar

CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS, MUSO AMORES ALEX WLADIMIR
TORO RUBIO JAIME PARICIO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“Diseño e implementación de un sistema de control automático para el conteo y separación de varilla corrugada con interfaz grafica (HMI), en el área del transferidor del tren de laminación uno de la empresa Novacero s.a. planta industrial Lasso”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, 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, Octubre del 2012.

MUSO AMORES ALEX WLADIMIR

CI: No.- 0503265324

TORO RUBIO JAIME PATRICIO

CI: No.- 0503274847

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS, MUSO AMORES ALEX WLADIMIR

TORO RUBIO JAIME PATRICIO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“Diseño e implementación de un sistema de control automático para el conteo y separación de varilla corrugada con interfaz grafica (HMI), en el área del transferidor del tren de laminación uno de la empresa Novacero s.a. planta industrial Lasso”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Octubre del 2012.

MUSO AMORES ALEX WLADIMIR

CI: No.- 0503265324

TORO RUBIO JAIME PATRICIO

CI: No.- 0503274847

AGRADECIMIENTO

“No existen cosas imposibles, solo personas incapaces”.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al personal administrativo y operativo de NOVACERO S.A. PLANTA INDUSTRIAL LASSO por la confianza y el apoyo que se nos han brindado durante el desarrollo de este proyecto principalmente a los Ingenieros Guillermo Miño, Eduardo Páez, Geovanny Santacruz, y Francisca Borja. Quienes nos han dado la oportunidad de tener en nuestra vida profesional el conocimiento y la experiencia que son recursos invaluableles.

A la Escuela Superior Politécnica del Ejército, por los conocimientos adquiridos en nuestra formación profesional, y a los Ingenieros Oscar Arteaga y Freddy Salazar, por su acertada dirección y recomendaciones durante el desarrollo del proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres Alonso y Nancy por ser un ejemplo de lucha y superación; por su inmenso amor, paciencia y comprensión; mi profundo respeto.

A mis hermanos Darwin, Javier, Marisol y Evelyn, por el gran cariño que nos tenemos, siendo un apoyo fundamental en mi vida.

Para todos ellos, mi eterno agradecimiento y mi admiración.

WLADIMIR MUSO

“No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; siempre te ayudare, siempre te sustentare con la diestra de mi justicia.”

Isaías 40: 10

Gracias Dios por darme la vida con todas mis facultades y sentidos, agradezco a mi abuelo JULIO RUBIO por haberme enseñado el valor de la vida, a mis Padres JAIME TORO y PATRICIA RUBIO por darme la paz, el amor, la comprensión y la oportunidad de estudiar para darle un valor agregado a mi existencia, a mi novia Mony por su amor y comprensión en esta etapa de mi vida, a mi tía María por su apoyo incondicional y sus acertados consejos, a mis familiares y amigos por su apoyo y palabras de aliento en los buenos y malos momentos.

JAIME TORO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN	xxi
PRESENTACIÓN.....	xxii
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS TEORICOS	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ÁREA MECÁNICA	2
1.2.1 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE VARILLA DE ACERO	3
a. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ACERO.....	3
a.1 FASE DE FUSIÓN	4
a.2 FASE DE AFINO.....	4
b. SISTEMA DE LAMINACIÓN DEL ACERO	5
b.1 CALENTAMIENTO	6
b.2 TREN DE LAMINACIÓN	6
1.2.2 SISTEMAS PARA EL CONTEO DE VARILLAS DE ACERO	8
a. SISTEMA MECÁNICO	8
b. SISTEMA ÓPTICO DE CONTEO.....	9
1.2.3 SISTEMA HIDRÁULICO Y NEUMÁTICO	10
a. SISTEMA HIDRÁULICO.....	10
b. SISTEMA NEUMÁTICO	11
1.2.4 ACTUADORES	12
a. ACTUADORES NEUMÁTICOS.....	13
b. DISTRIBUIDORES	13

c.	COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDRÁULICO.....	14
c.1	BOMBA	14
c.2	MOTOR HIDRÁULICO.....	15
c.3	DEPÓSITO.....	16
c.4	ACONDICIONADORES DEL ACEITE	16
c.5	RED DE DISTRIBUCIÓN	17
c.6	ELEMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL.....	17
1.3	DISPOSITIVOS DE CONTROL	17
1.3.1	SENSORES	17
a.	SENSORES FOTOELÉCTRICOS	18
a.1	SENSOR ÓPTICO REFLEXIVO	19
b.	SENSOR INDUCTIVO	21
1.2.2	ARRANCADOR SUAVE	22
1.3.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	22
a.	DESCRIPCIÓN DE UN PLC	23
b.	CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS PLC	24
1.4	SISTEMAS DE CONTROL	25
1.4.1	APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	27
1.4.2	SISTEMAS HMI (Interfaz Hombre Máquina).....	27
1.4.3	AUTOMATIZACIÓN.....	28

CAPÍTULO 2 – DISEÑO DEL SISTEMA MÉCANICO Y ELÉCTRICO

2.1	PARAMETROS DE DISEÑO	31
2.1.1	CONDICIONES FÍSICAS	31
a.	DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFERIDOR E INSTALACIÓN DEL PROYECTO	32
2.1.2	CAPACIDAD DE EJECUCIÓN DE CONTEO CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	34
a.	CAPACIDAD DE CARGA DE VARILLA EN REPOSO	35
2.2	DISEÑO MECÁNICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	37
2.2.1	DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LAS UÑAS	

DE IGUALADO Y PARO DE MATERIAL A LA ENTRADA DEL MODULO DEL CONTADOR	38
a. SELECCIÓN DEL PISTÓN DE ACCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE LAS UÑAS DE ENTRADA	40
b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS UÑAS DE ENTRADA.....	45
2.2.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LAS UÑAS DE RETIRO DE MATERIAL A LA SALIDA DEL MODULO DEL CONTADOR.....	55
a. SELECCIÓN DEL PISTÓN DE ACCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE LAS UÑAS DE SALIDA.....	57
b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS UÑAS DE SALIDA	61
2.2.3 CONSUMO DE AIRE EN EL SEPARADOR DE VARILLA CORRUGADA	69
2.2.4 ELEMENTO DE CONTROL FINAL DE LOS ACTUADORES DEL MECANISMO	72
2.2.5 SELECCIÓN DE RACORES Y MANGERA DE CONDUCCIÓN NEUMÁTICA.....	75
a. DISEÑO DEL PULMON ACUMULADOR DE PRESIÓN	76
2.2.6 DISEÑO DE LAS BASES DE SUJECCIÓN DE LOS PISTONES DE ENTRADA Y DE SALIDA.....	77
2.2.7 DISEÑO DEL EJE DE BALANCEO DE LAS UÑAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	83
2.2.8 DISEÑO DEL BUJE PARA EL EJE DE SOPORTE DE LAS UÑAS DE ENTRADA Y DE SALIDA	89
2.2.9 DISEÑO DEL SEPARADOR INICIAL	90
2.2.10 DISEÑO DE LAS MATRICES DE CONTEO.....	93
a. DISEÑO DE LA MATRIZ DE CONTEO 1	95
b. DISEÑO DE LA MATRIZ DE CONTEO 2	104

c. DISEÑO DE LA MATRIZ DE CONTEO 3	111
2.2.11 DISEÑO DEL SOPORTE FRONTAL	125
2.2.12 SELECCIÓN DE RODAMIENTO DEL SOPORTE FRONTAL	127
2.2.13 DISEÑO DEL EJE DE TRACCIÓN POSTERIOR	127
2.2.14 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE SOSTÉN TRASERO	131
2.2.15 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL IMPULSOR MECÁNICO.....	133
2.2.16 SELECCIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA	135
2.2.17 CÁLCULO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA.	137
2.2.18 CIRCUITO DE CONTROL HIDRÁULICO	138
2.2.19 ESTRUCTURA DEL MÓDULO DEL CONTADOR	141
2.3 CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICO..	142
2.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES.....	142
a. SELECCIÓN DE CONDUCTORES.....	143
b. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	144
2.3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO	144
a. SELECCIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	145
a.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PLC S7-300	145
b.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PS 307	148
c. 1 SIMATIC MICRO MEMORY CARD	149
d.1 PC ADAPTADOR USB	149
2.3.3 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN	149
2.3.4 SELECCIÓN DE SENSORES.....	152
a. SELECCIÓN DEL SENSOR FOTOELÉCTRICO	152
b. SENSOR INDUCTIVO.....	153
2.3.5 SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI	153
2.4 BLOQUES DE PROGRAMACIÓN PLC Y PANEL HMI.....	155
2.4.1 CONTROL TRANSFERIDOR MANUAL-AUTOMATICO	158
2.4.2 CONTROL CONTADOR DE VARILLA	159
2.4.3 CONTROL SEPARADORES	167
2.4.4 CONTROL BOTADORES	168
2.4.5 CONTROL TACOMETRO.....	168

2.4.6 CONTROL INDICADORES PAROS EMERGENTES	169
--	-----

CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

3.1 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN..	172
3.1.1 IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA CONTADOR DE BARRAS	172
3.1.2 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA NEUMÁTICO	175
3.1.3 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA HIDRÁULICO	177
3.1.4 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA ELECTRICO MOTRIZ	178
3.1.5 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL CONTADOR DE BARRAS	180
3.2 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CONTADOR DE BARRAS	182

CAPÍTULO 4 – PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN	185
4.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANALISIS DE PRODUCCIÓN ..	186
4.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	192
4.4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO	193
4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	195

CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	196
5.2 RECOMENDACIONES	198
BIBLIOGRAFÍA.....	200
GLOSARIO DE TERMINOS	203
ANEXOS.....	205

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Figura 1.1: Proceso de fabricación del acero.....	3
Figura 1.2: Proceso de fundición del acero.....	4
Figura 1.3: Cilindros de laminación para secciones circulares	5
Figura 1.4: Procesamiento de acero al caliente	6
Figura 1.5: Desbaste 1 del Tren de Laminación	7
Figura 1.6: Stands 9, 10, 11, 12 y 13 del Tren de Laminación.....	8
Figura 1.7: Tornillo Sin Fin Helicoidal	9
Figura 1.8: Elementos básicos para el funcionamiento de un sistema hidráulico.	10
Figura 1.9: Componentes dentro de un sistema neumático básico	11
Figura 1.10: Actuador Neumático	13
Figura 1.11: Válvula neumática direccional 5/2	14
Figura 1.12: Partes constitutivas de una central hidráulica.....	15
Figura 1.13: Motor hidráulico	16
Figura 1.14: Sensor optico de un solo cuerpo de la marca SICK.....	18
Figura 1.15: Haz de luz de un sensor óptico.....	19
Figura 1.16: Modo reflectivo deteccion por retorno del haz	20
Figura 1.17: Componentes de un Sensor Inductivo	21
Figura 1.18: Arrancador Suave WEG SOFT STARTER SSW-03.....	22
Figura 1.19: Controlador Lógico Programable S7 300.....	23
Figura 1.20: Diagrama de bloque de un PLC.....	23
Figura 1.21: Esquema general de un sistema de control.....	26
Figura 1.22: Diagrama general de un HMI	28
Figura 1.23: Elementos constitutivos de una parte operativa	29
Figura 1.24: Instrumentación en aplicaciones industriales.....	29

CAPÍTULO 2 - DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELÉCTRICO

Figura 2.1: Zona de transferencia y conteo de material.....	32
Figura 2.2: Contador y separador de varilla corrugada.....	33

Figura 2.3: Estado actual de la zona del transferidor	33
Figura 2.4: Cama de varilla a la salida de la cizalla de corte en frio	35
Figura 2.5: Obtención de una cama plana de varilla en el transferidor, debido a la variación de velocidad en las cadenas	36
Figura 2.6: Geometría de diseño de la uña de entrada.....	38
Figura 2.7: Funcionalidad de la uña de entrada.....	38
Figura 2.8: Punto inicial del desplazamiento del mecanismo de la uña de entrada.....	39
Figura 2.9: Punto final del desplazamiento del mecanismo de la uña de entrada.....	39
Figura 2.10: Peso por secciones longitudinales del material	40
Figura 2.11: Fuerzas que determinan el mecanismo y el actuador.....	40
Figura 2.12: Fuerzas y distancias principales en la uña de entrada	42
Figura 2.13: Cilindro de diámetro de embolo 63 mm y 120 mm de carrera... ..	45
Figura 2.14: Fuerzas que actúan sobre la uña de entrada	46
Figura 2.15: Diagrama de cuerpo libre (uña de entrada)	47
Figura 2.16: Diagrama de fuerzas cortantes (uña de entrada)	47
Figura 2.17: Diagrama de momento flector (uña de entrada)	48
Figura 2.18: Dimensiones del corte de la uña de entrada (esfuerzo máximo).....	49
Figura 2.19: Circulo de Mohr's en base a los esfuerzos de la uña de entrada.....	52
Figura 2.20: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la uña de entrada.....	54
Figura 2.21: Análisis de deformacion elastica de la uña de entrada	54
Figura 2.22: Factor de seguridad de la uña de entrada	55
Figura 2.23: Geometría de diseño de la uña de salida	55
Figura 2.24: Funcionalidad de la uña de salida	56
Figura 2.25: Punto inicial del desplazamiento del mecanismo de la uña de salida.. ..	56

Figura 2.26: Punto final del desplazamiento del mecanismo de la uña de salida	57
Figura 2.27: Fuerzas que determinan el dispositivo de movimiento del pistón..	58
Figura 2.28: Fuerzas y distancias principales en la uña de salida	59
Figura 2.29: Cilindro de diámetro de embolo 63 mm y 150 mm de carrera.....	61
Figura 2.30: Fuerzas que actúan sobre la uña de salida	62
Figura 2.31: Diagrama de cuerpo libre (uña de salida)	64
Figura 2.32: Diagrama de fuerzas cortantes (uña de salida)	64
Figura 2.33: Diagrama de momento flector (uña de salida)	64
Figura 2.34: Dimensiones del corte de la uña de entrada (esfuerzo máximo).....	65
Figura 2.35: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la uña de entrada.....	67
Figura 2.36: Análisis de deformacion elástica de la uña de salida.....	68
Figura 2.37: Factor de seguridad de la uña de salida	68
Figura 2.38: Símbolo de la electroválvula 5/2	74
Figura 2.39: Circuito general de la función neumática en la aplicación ...	75
Figura 2.40: Pulmón acumulador de presión	76
Figura 2.41: Fuerzas que actúan sobre el sostén de los pistones	77
Figura 2.42: Diagrama de cuerpo libre (sostén de los pistones).....	78
Figura 2.43: Diagrama de fuerzas cortantes (sostén de pistones).....	78
Figura 2.44: Diagrama de momento flector (sostén de pistones)	78
Figura 2.45: Corte transversal del sostén de los pistones	79
Figura 2.46: Análisis de esfuerzos y puntos críticos del sostén de los pistones.	82
Figura 2.47: Desplazamiento en la deformación del sostén de los pistones..	83
Figura 2.48: Factor de seguridad del sostén de los pistones.....	83

Figura 2.49: Fuerzas aplicadas sobre el eje de balanceo de las uñas de entrada y salida.....	84
Figura 2.50: Diagrama de cuerpo libre del eje de rotación de las uñas ...	84
Figura 2.51: Diagrama de fuerzas cortantes (eje de rotación)	85
Figura 2.52: Diagrama de momento flector (eje de rotación)	85
Figura 2.53: Análisis de esfuerzos y puntos críticos del eje de rotación de las uñas	88
Figura 2.54: Desplazamientos del eje de rotación de las uñas	88
Figura 2.55: Factor de seguridad del eje de rotación de las uñas.....	89
Figura 2.56: Buje soporte de ejes de rotación	90
Figura 2.57: Posición inicial del separador	91
Figura 2.58: Posición final del separador	91
Figura 2.59: Análisis de esfuerzos y puntos críticos del separador inicial	92
Figura 2.60: Deformación de la pieza separador inicial en función de sus esfuerzos	92
Figura 2.61: Factor de seguridad separador inicial	93
Figura 2.62: Descripción de los pasos en la matriz de conteo	95
Figura 2.63: Matriz de conteo 1	95
Figura 2.64: Geometría del perfil del producto en función del perfil de la matriz de conteo 1	96
Figura 2.65: Diagrama de fuerzas y momentos aplicados en la matriz de conteo 1	96
Figura 2.66: Propiedades físicas matriz de conteo uno	98
Figura 2.67: Diagrama de fuerzas cortantes (matriz 1).....	98
Figura 2.69: Diagrama de torques (matriz 1)	99
Figura 2.70: Corte longitudinal (matriz 1).....	99
Figura 2.71: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la matriz 1	103
Figura 2.72: Deformación de la matriz 1 en ejecución de su función.....	104
Figura 2.73: Factor de seguridad matriz 1	104
Figura 2.74: Matriz de conteo 2	105

Figura 2.75: Geometría del perfil del producto en función del perfil de la matriz de conteo 2	105
Figura 2.76: Diagrama de fuerzas y momentos aplicados en la matriz de conteo 2	106
Figura 2.77: Corte longitudinal (matriz 2)	106
Figura 2.78: Propiedades físicas matriz 2	107
Figura 2.79 Diagrama de fuerzas cortantes (matriz 2)	107
Figura 2.80: Diagrama de momento flector (matriz 2)	108
Figura 2.81: Diagrama de torques (matriz 2)	108
Figura 2.82: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la matriz 2	110
Figura 2.83: Deformación de la matriz 2 en ejecución de su función	111
Figura 2.84: Factor de seguridad matriz 2	111
Figura 2.85: Matriz de conteo 3	112
Figura 2.86: Geometría del perfil del producto en función del perfil de la matriz 3	112
Figura 2.87: Diagrama de fuerzas y momentos aplicados en la matriz de conteo 3	112
Figura 2.88: Corte longitudinal (matriz 3)	113
Figura 2.89: Propiedades físicas (matriz 3)	114
Figura 2.90: Diagrama de fuerzas cortantes (matriz 3)	114
Figura 2.91: Diagrama de momento flector (matriz 3)	114
Figura 2.92: Diagrama de torques (matriz 3)	115
Figura 2.93: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la matriz 3	117
Figura 2.94: Deformación de la matriz 3 en ejecución de su función	117
Figura 2.95: Factor de seguridad Matriz 3	118
Figura 2.96: Temperatura del material en el transferidor	121
Figura 2.97: Geometría del soporte frontal	125
Figura 2.98: Análisis de esfuerzos del soporte frontal	126
Figura 2.99: Deformación del soporte frontal	126
Figura 2.100: Factor de seguridad soporte frontal	127
Figura 2.101: Geometría eje de tracción posterior	128

Figura 2.102: Análisis de esfuerzos del eje de tracción posterior	130
Figura 2.103: Deformación del eje de tracción posterior.....	130
Figura 2.104: Factor de seguridad del eje de tracción posterior	131
Figura 2.105: Propiedades físicas ensamble acople matriz.....	131
Figura 2.106: Diagramas de fuerzas cortantes ensamble acople matriz	132
Figura 2.107: Chumacera de piso 212.....	132
Figura 2.108: Acoplamiento motor hidráulico Matriz	134
Figura 2.109: Bomba 25V21A 1C20	136
Figura 2.110: Curva de la bomba 25V21A 1C20 en función de RPM vs caudal.....	137
Figura 2.111: Plano hidráulico contador de barras	139
Figura 2.112: Chasis de sostén de elementos del modulo de conteo....	141
Figura 2.113: Partes principales del PLC S7-300 (CPU 313C).....	146
Figura 2.114: Características del PLC SIEMENS S7-300.....	147
Figura 2.115: Micro memory card	149
Figura 2.116: Configuración PC Adapter USB	149
Figura 2.117: Pantalla de inicio del STEP 7	150
Figura 2.118: Área de trabajo del STEP 7	151
Figura 2.119: Accesorios del Sensor WL160-F440.....	152
Figura 2.120: Distribución de pines en el sensor WL160-F440	153
Figura 2.121: Pantalla KTP600 Basic color DP.....	155
Figura 2.122: Diagrama de flujo contador de barras.....	156
Figura 2.123: Dispositivos de control y red de comunicación	157
Figura 2.124: Distribución tablero de control	157
Figura 2.125: Función FC3 control del transferidor.....	158
Figura 2.126: Indicador de operación manual en el panel de control.....	159
Figura 2.127: Función FC5 control del contador de varilla.....	160
Figura 2.128: Pantalla principal “PAG PRINCIPAL”	160
Figura 2.129: Pantalla “SELECCIÓN MATRIZ”	161
Figura 2.130: Pantalla “MATRIZ 1”	161
Figura 2.131: Pantalla “MATRIZ 2”	162

Figura 2.132: Pantalla “MATRIZ 3”	162
Figura 2.133: Pantalla “EJECUCION”	163
Figura 2.134: Indicadores intermitentes del funcionamiento del transferidor y contador de varilla	163
Figura 2.135: Receta para varilla corrugada de 12 mm	164
Figura 2.136: Parámetros de manejo de señales análogas PLC S7 300.....	166
Figura 2.137: Función FC1 control de los separadores	167
Figura 2.138: Función FC4 control de los botadores	168
Figura 2.139: Función FC6 control de tacómetro.....	168
Figura 2.140: Función FC2 indicadores paros emergentes	169
Figura 2.141: Asignaciones de memoria en la palabra alarmas	169
Figura 2.142: Indicador de paro	170
Figura 2.143: Advertencia de emergencia	170
Figura 2.144: Advertencia de paro de separadores	171
Figura 2.145: Advertencia de paro de bomba	171

CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

Figura 3.1: Estado inicial de la zona de trabajo	175
Figura 3.2: Elaboración de mesas camino de rodillos.....	173
Figura 3.3: Camino de cadenas arrastradores móviles.....	173
Figura 3.4: Camino de rodillo y cimentación sur	174
Figura 3.5: Montaje del chasis del módulo de conteo	174
Figura 3.6: Montaje uñas y mecanismo de separación.....	175
Figura 3.7: Montaje y alineación del módulo de conteo	175
Figura 3.8: Accionamiento neumático para los mecanismos articulados.....	176
Figura 3.9: Pulmón acumulador, mecanismo separador.....	176
Figura 3.10: a) Central hidráulica antes, b) central hidráulica con la implementación final del proyecto.....	177
Figura 3.11: Motor hidráulico, impulsor de la matriz	178

Figura 3.12: Motores impulsores de los mecanismos a) camino de rodillos central, b) transferidor sur	178
Figura 3.13: Variadores de frecuencia (control motores camino de rodillos central y transferidor sur)	179
Figura 3.14: Caja de distribución de guardamotores camino de rodillos y transferidor sur.....	179
Figura 3.15: Arrancador suave (motor del sistema hidráulico).....	180
Figura 3.16: Montaje del tablero de control.....	180
Figura 3.17: Tablero de control instalado.....	181
Figura 3.18: Tablero de control	181
Figura 3.19: Posicionamiento del sensor de conteo en función del módulo.....	182
Figura 3.20: Implementación de la zona del transferidor sur	183
Figura 3.21: Contador de varilla corrugada.....	183
Figura 3.22: Contador y separador de varilla corrugada.....	184

CAPÍTULO 4 – PRUEBAS Y RESULTADOS

Figura 4.1: Producción en el proceso de corte (PRODUCCIÓN CIZALLA) y conteo manual (PRODUCCIÓN MANUAL)	187
Figura 4.2: Salida de material transferidor sur	188
Figura 4.3: Comparación de producción antes y después de implementar el proyecto	191
Figura 4.4: Comparación de producción en el proceso de corte en frío (cizalla) y en el contador de barras.....	192

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2 - DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELÉCTRICO

Tabla 2.1: Velocidades máximas de los pistones en función del diámetro del embolo	44
Tabla 2.2: Tipos de matrices respecto a los productos	93
Tabla 2.3: Peso de los elementos sobre la matriz	94
Tabla 2.4: Acabado superficial.....	119
Tabla 2.5: Modos de carga para los valores de K_c	120
Tabla 2.6: Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.....	121
Tabla 2.7: Factor de confiabilidad.....	122
Tabla 2.8: Iteración de los factores de concentración de esfuerzo K_t y K_{ts}	123
Tabla 2.9: Descripción técnica bomba 25V21A 1C20.....	136
Tabla 2.10: Propiedades aceite RANDO 68	140
Tabla 2.11: Elementos requeridos para arrancar la CPU 313C.....	146
Tabla 2.12: Opciones del selector en la CPU 313C.....	147
Tabla 2.13: Diagnostico de errores para el PS 307 (10A).....	148
Tabla 2.14: Parámetros físicos de funcionamiento, contador de barras	165
Tabla 2.15: Parámetros digitalizados, contador de barras.....	166

CAPÍTULO 4 – PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 4.1: Tiempos de producción real del proceso (cizalla de corte en frío).....	189
Tabla 4.2: Tiempo de producción en el transferidor.....	186
Tabla 4.3: Producción ideal contador y separador de barras.....	187
Tabla 4.4: Tabla de tiempos muertos entre cama de material según la matriz de conteo	189
Tabla 4.5: Tiempos de producción real del proceso	190
Tabla 4.6: Costo mano de obra.....	194

RESUMEN

La presente tesis consiste en el **“Diseño e implementación de un sistema de control automático para el conteo y separación de varilla corrugada con interfaz grafica (HMI), en el área del transferidor del tren de laminación uno de la empresa Novacero s.a. planta industrial Lasso”**. Previa la implementación del proyecto, el área del transferidor cuenta con un sistema manual de conteo por parte de los operadores y un sistema de deslizamiento semiautomático. Donde el sistema avanza cuando los operadores terminan el conteo.

El sistema propuesto para la automatización de la zona de transferencia, trata del conteo automático por medio de sensores ópticos y el acarreamiento de un sistema mecánico para los distintos productos de varilla corrugada, además de la separación del material contado, por medio de un mecanismo articulado en paquetes de una tonelada, el sistema será controlado por una interfaz de operación HMI con un panel de visualización del proceso en tiempo real.

La forma de operación de la maquina es por medio de recetas que son creadas y memorizadas en el PLC, y asignadas de forma manual por medio del panel de control, de esta manera se puede establecer el control de toda la zona de una manera sincronizada, tomando en cuenta todos los parámetros físicos de la máquina.

El sistema registrará el número de paquetes que se realizarán en cada campaña de producción especificando las características del producto por medio del panel controlador, el sistema planteado funcionará de manera autónoma lo que agilizará el proceso reduciendo el tiempo de producción y los errores existentes por la intervención del personal operativo.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto describe todo lo referente a la automatización industrial haciendo énfasis en la interacción de las distintas ramas de ejecución para la solución de problemas en la línea de fábrica, como en este caso facilitar un conteo continuo sin interrupciones ni errores en el proceso.

En el capítulo I, se muestra una breve introducción sobre automatismos, procesos en plantas siderúrgicas y parámetros físicos que intervienen sobre la ejecución del proceso, de esta manera se puede tener una idea generalizada sobre el problema, para escoger el mejor camino para encaminar la solución.

El capítulo II, presenta como una introducción el análisis referencial de la producción que se quiere alcanzar con la implementación del equipo además del estudio matemático de las partes mecánicas, su eficiencia y factibilidad, de misma manera se describe el funcionamiento, instalación y modo de operación del contador y separador de barras nombrando las ideas básicas y fundamentales del programa.

En el capítulo III, se muestra paso a paso la instalación del proyecto en la zona designada mostrando de manera tangible la potencialidad de un proyecto MECATRÓNICO, de manera operativa al 100% en una línea de fabrica, además se muestra el costo, beneficio y rentabilidad del contador de barras.

El capítulo IV, presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas después de haber concluido el proyecto.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde el principio de la humanidad, el afán por tener una vida más cómoda ha llevado al hombre a crear una serie de maquinas y herramientas las cuales ayuden a disminuir el esfuerzo físico. Con la evolución de la ciencia y la tecnología se han creado maquinas y herramientas que hasta unos cuantos siglos atrás se creían imposibles de fabricar, pero la exigencia del hombre ha ido cada vez mas allá de sus propias limitaciones, es así, que hoy en día se busca la manera de simplificar aun más su trabajo.

El hierro se encuentra en grandes cantidades en la corteza terrestre formando parte de diversos minerales (óxidos, minerales hidratados, carbonatos, sulfuros, silicatos, etc.). Desde tiempos prehistóricos, el hombre ha aprendido a preparar y procesar estos minerales por medio de operaciones de lavado, triturado y clasificado, calcinado y granulado, para fundir los minerales y obtener hierro y acero.

En la actualidad, la industria del acero ha experimentado una evolución tecnológica que ha favorecido la creación de nuevas capacidades de producción mediante la instalación de hornos eléctricos de arco (EAF, electric arc furnace) alimentados con chatarra de acero reciclada en pequeñas acerías, además de implementos tecnológicos que agilitan y facilitan la elaboración de materiales elaborados a partir de la fundición.

La producción de acero es indicativa de la prosperidad de una nación y constituye la base para la producción en serie de muchas otras industrias como la construcción naval, la construcción de edificios y la fabricación de automóviles, maquinaria, herramientas y equipamiento doméstico.

El siguiente documento presenta la investigación e implementación de un sistema automático para el conteo de varilla de acero en la planta de laminadora NOVACERO S.A. Actualmente la planta está diseñada de manera que el producto terminado sea contado en forma manual antes de que se ingrese a las atadoras para amarrar los paquetes y entregar el producto terminado por lotes determinados. Con el fin de salvaguardar la integridad de los operarios, se necesita modernizar su sistema actual de conteo de varillas en el proceso de laminación y embalaje por lotes, con el propósito de evitar el menor contacto de los operarios con las varillas, ya que estas resultan ser un peligro, puesto que se encuentran a altas temperaturas, tienen filos expuestos, y la manipulación permanente de estas puede ocasionar lesiones con el paso de los años. El sistema manual de conteo perjudica directamente a los tiempos de proceso, ya que al existir mayor interrelación entre el operario y el proceso existe gran probabilidad de error.

1.2 ÁREA MECÁNICA

El diseño de elementos de máquinas es parte integral del más extenso y general del diseño mecánico. Los diseñadores y los ingenieros de diseño crean aparatos o sistemas que satisfagan necesidades especificadas. En el caso típico, los aparatos mecánicos comprenden piezas móviles que transmiten potencia y ejecutan pautas específicas del movimiento. El diseño mecánico es el proceso de diseño o selección de componentes mecánicos para conjuntarlos y lograr una función deseada. Naturalmente, los elementos de máquinas deben ser compatibles, acoplarse bien entre si y funcionar en forma segura y eficiente. El diseñador no solo debe considerar el desempeño del elemento del diseño, sino también los elementos con que debe interactuar, para de esta manera tener armonía en la línea de producción tomando como factor patrón el tiempo que intervienen en cada uno de los procesos.

1.2.1 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE VARILLA DE ACERO¹

a. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ACERO

El acero es sin duda el material de ingeniería más utilizado por la humanidad. El nombre de acero engloba un amplio grupo de materiales que en muchos casos tienen aplicaciones específicas y en general tienen en el tratamiento térmico una etapa imprescindible para su utilización. Se denomina acero, a la aleación de Hierro (Fe) y Carbono (C). A esta aleación básica, se suele adicionar otros elementos que confieren al acero propiedades especiales. A continuación se presenta el diagrama general del proceso de fabricación del acero.

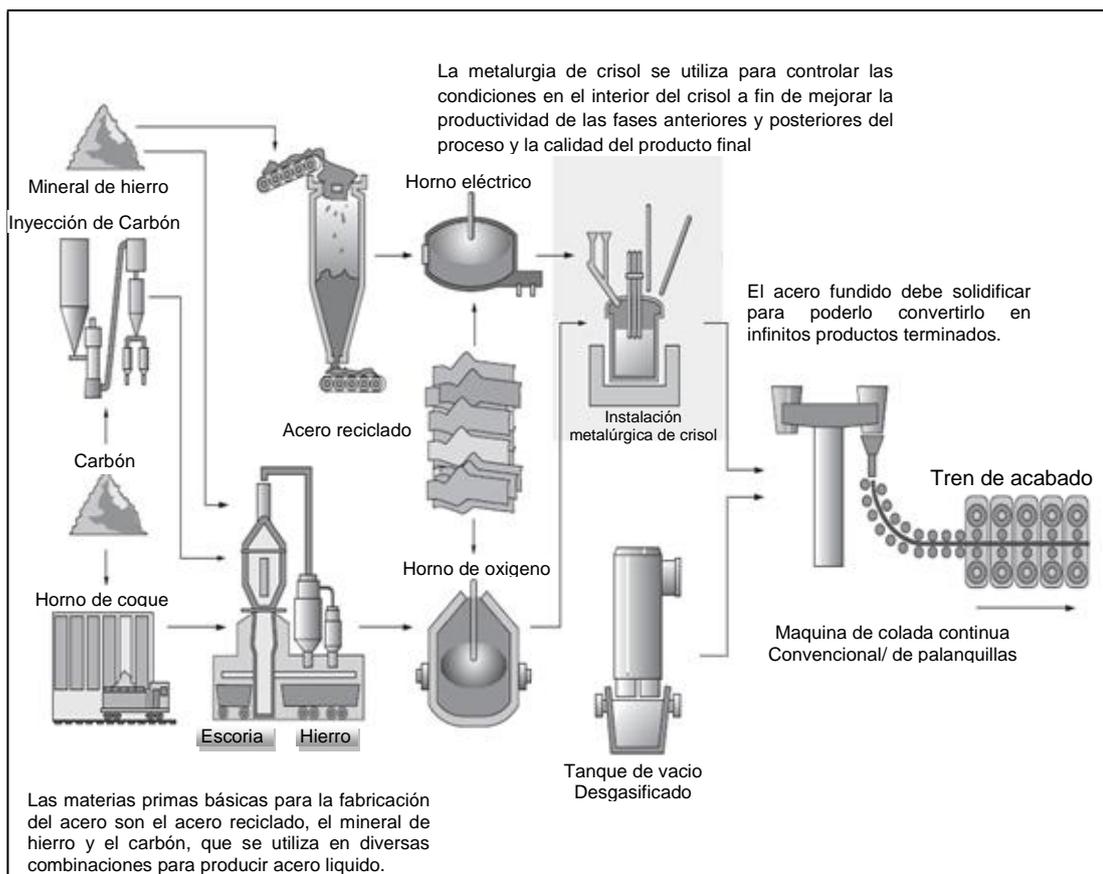


Figura 1.1: Proceso de fabricación del acero

¹ <http://www.ipac.es/acero/fabricacion.asp>

El proceso industrial, completamente ecológico, utiliza como materia prima fundamental chatarras, fundiéndolas en una acería constituida por un horno eléctrico, para obtener acero denominado palanquilla. El proceso de fabricación se divide básicamente en dos fases: la fase de fusión y la fase de afino.

a.1 FASE DE FUSIÓN

Una vez introducida la chatarra en el horno y los agentes reactivos y escorificantes (principalmente cal) se desplaza la bóveda hasta cerrar el horno y se bajan los electrodos hasta la distancia apropiada, haciéndose saltar el arco hasta fundir completamente los materiales cargados. El proceso se repite hasta completar la capacidad del horno, constituyendo este acero una colada.

a.2 FASE DE AFINO

El afino se lleva a cabo en dos etapas. La primera en el propio horno y la segunda en un horno cuchara. En el primer afino se analiza la composición del baño fundido y se procede a la eliminación de impurezas y elementos indeseables (silicio, manganeso, fósforo, etc.), y realizar un primer ajuste de la composición química por medio de la adición de ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios (cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc.).



Figura 1.2: Proceso de fundición del acero

b. SISTEMA DE LAMINACIÓN DEL ACERO²

El laminado es el proceso de reducir el espesor (o modificar la sección transversal) de una pieza larga (palanquilla) mediante fuerzas de compresión aplicadas a través de un juego de rodillos que giran a la misma velocidad pero en sentido contrario.

El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, la palanquilla se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de cilindros metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los cilindros va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.



Figura 1.3: Cilindros de laminación para secciones circulares

En cada pasada, al disminuir la sección aumenta la longitud y, por consiguiente, cada caja debe absorber una longitud mayor que la anterior. Para compensar esta circunstancia, la velocidad de giro de los cilindros va aumentando proporcionalmente en las sucesivas cajas. El proceso de laminado en caliente debe seguir una secuencia: 1) calentamiento de la palanquilla, y 2) pasar por el tren de laminación, para conseguir el producto final.

² <http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/3043/TrenesDeLaminacion.pdf>

b.1 CALENTAMIENTO

Las instalaciones de calentamiento son hornos de empuje, en las cuales la materia prima es elevada a altas temperaturas, 1230 °C, normalmente, esta temperatura de laminación depende de la geometría de la palanquilla, calidad del acero, o producto a procesar. El principal factor que se debe controlar en el proceso de laminado en caliente, es la temperatura a la cual se está calentando el acero. Si el calentamiento es insuficiente el metal será más difícil de trabajar debido a que posee una menor ductilidad y maleabilidad, propiedades que se le confieren al calentarlos a una temperatura adecuada.

A continuación se describe el proceso para llegar a su producto terminado de varillas.

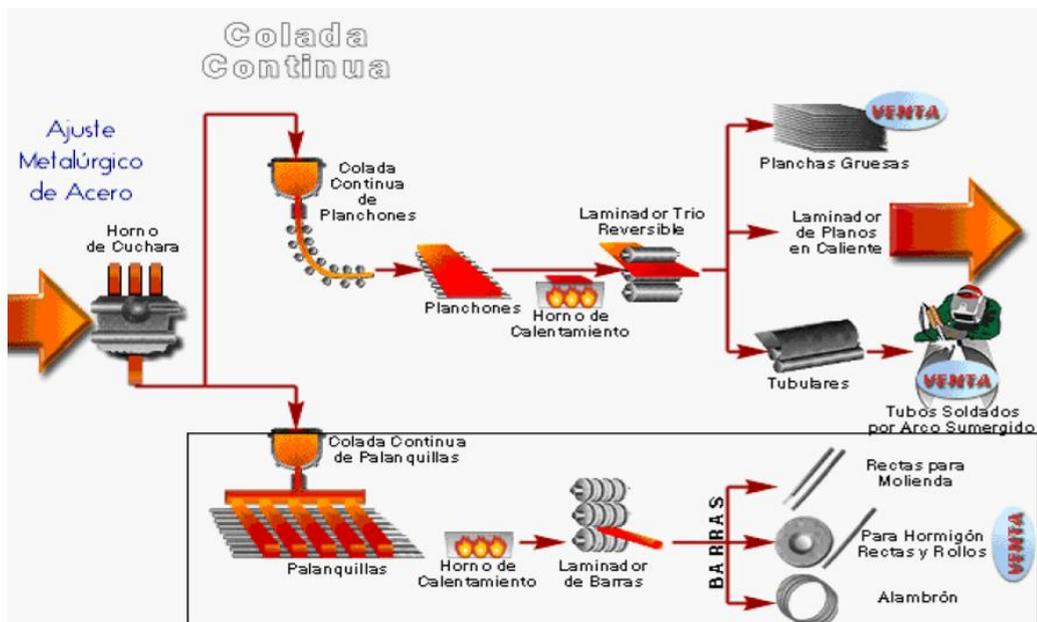


Figura 1.4: Procesamiento de acero al caliente

b.2 TREN DE LAMINACIÓN

El tren de laminación en caliente es usado como su nombre lo indica para procesos de laminación de metales. Se denomina así al conjunto de cajas

y elementos auxiliares como motores de accionamiento de los cilindros, caminos de rodillos comandados para entrada y salida del material, cizallas, escarpadoras, etc. Hay cajas dispuestas unas a continuacion de otras, con separacion tal que el perfil se esta laminando se encuentra simultaneamente bajo la accion de dos o mas de ellas. En cada pasada, al disminuir la seccion aumenta la longitud y, por consiguiente, cada caja debe absorber una longitud mayor que la anterior. Para compensar esta circunstancia, la velocidad de giro de los cilindros va aumentando proporcionalmente en las sucesivas cajas.



Figura 1.5: Desbaste 1 del Tren de Laminación

El tren de laminacion se divide en tres etapas:

- **Tren de desbaste** Donde la palanquilla sufre una primera pasada muy ligera para romper y eliminar la posible capa de cascarilla formada durante su permanencia en el horno.
- **Tren intermedio** Formadas en distintas cajas en las que se va conformando por medio de sucesivas pasadas la seccion. El equipo elemental para laminar se conoce como “caja de laminación”, consta de una estructura que sirve de chasis y de unos cilindros que realizan la laminación.



Figura 1.6: Stands 9, 10, 11, 12 y 13 del Tren de Laminación

- **Tren acabador** Donde el producto experimenta su última pasada y obtiene su geometría de corrugado. Según requerimientos y estándares de calidad en los diferentes diámetros de producción.

1.2.2 SISTEMAS PARA EL CONTEO DE VARILLAS DE ACERO

De acuerdo con la investigación y estudios realizados dentro del campo de la siderúrgica, específicamente con los diversos sistemas o tipos para el conteo de varilla, se encontraron algunas formas y métodos implementados en diferentes ámbitos industriales, los cuales se detallan a continuación.

a. SISTEMA MECÁNICO

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía. En los sistemas mecánicos se utilizan distintos elementos relacionados para transmitir un movimiento, como son eslabones, mecanismos, poleas, cadenas, motores eléctricos etc., como el movimiento tiene una intensidad

y una dirección, en ocasiones es necesario cambiar esa dirección y/o aumentar la intensidad, y para ello se utilizan mecanismos apropiados para esta aplicación.



Figura 1.7: Tornillo sin fin helicoidal

La transmisión consiste en un sinfín, en el eje de alta velocidad, que tiene el aspecto general de una rosca de tornillo. La parte óptica es la que se encarga del conteo de la varilla con la utilización de sensores de presencia, los cuales son encargados de recibir las señales que ocasionan al momento de cortar el haz de luz entre los sensores. Al momento de completar el conteo el sensor emite una señal para detener al motor, activar las cadenas, separar las varillas y llevarlas a la zona de atado.

b. SISTEMA ÓPTICO DE CONTEO

El sistema óptico de conteo (S.O.C) es un sistema desarrollado con el objetivo de poder contar de una manera eficiente, exacta y fácil las varillas de hierro que se producen en una empresa de acero. Es una tecnología que integra aplicaciones informáticas, ópticas y electrónicas, el cual permite mejorar la producción, bajar costos e incrementar la seguridad laboral. Se utiliza especialmente en control de calidad, la manipulación de materiales la ordenación por calidades, la calibración de aparatos y la monitorización de procesos. El sistema óptico de conteo funciona con los siguientes elementos:

1.2.3 SISTEMA HIDRÁULICO Y NEUMÁTICO³

a. SISTEMA HIDRÁULICO

La hidráulica, ha jugado un papel importante en cuanto a la automatización y transmisión de energía. La ventaja que implica la utilización de la energía hidráulica es la posibilidad de transmitir grandes fuerzas, empleando para ello pequeño elementos y la facilidad de poder realizar maniobras de mando y reglaje. A pesar de estas ventajas hay también ciertos inconvenientes debido al fluido empleado como medio para la transmisión. Esto debido a las grandes presiones que se manejan en el sistema las cuales posibilitan el peligro de accidentes, por esto es preciso cuidar que los empalmes se encuentren perfectamente apretados y estanco.

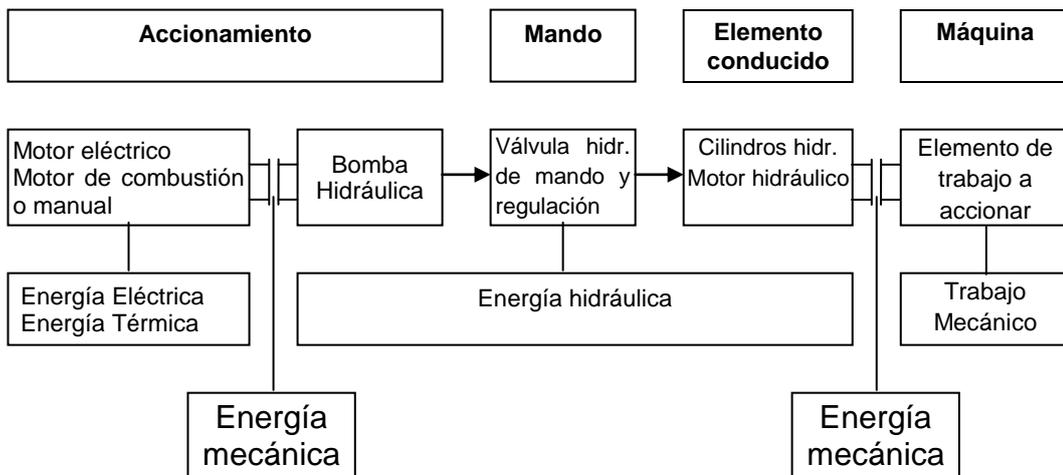


Figura 1.8: Elementos básicos para el funcionamiento de un sistema hidráulico.

Como características de los sistemas hidráulicas tenemos:

- Transmisión de grandes fuerzas a tamaño relativamente reducido.
- El funcionamiento bajo carga completas es posible ya desde el reposo.

³ <http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%202.pdf>

- La variación continua (mando y regulación) de velocidad, par de giro o fuerza.
- Simple protección contra sobrecargas.
- Adecuadas para desarrollos de movimientos rápidos y también extremadamente lentos y controlables.
- Sistema de accionamiento simples centrales y transformación descentralizada de energía hidráulica en energía mecánica.
- Acumulación de energía con gases.

b. SISTEMA NEUMÁTICO

Los sistemas neumáticos utilizan como fluido el aire comprimido que es suministrado por una estación productora cuyo principal componente es el compresor que aspira aire a la presión atmosférica y lo comprime a una presión más elevada. El compresor recibe el movimiento de un motor eléctrico o de uno de combustión. Las principales características de un compresor son el caudal y la presión máxima que puede suministrar. Las redes de aire comprimido suelen trabajar entre los 3 y los 10 bares. (Para el diseño se trabaja con una presión estándar de 6 bares).

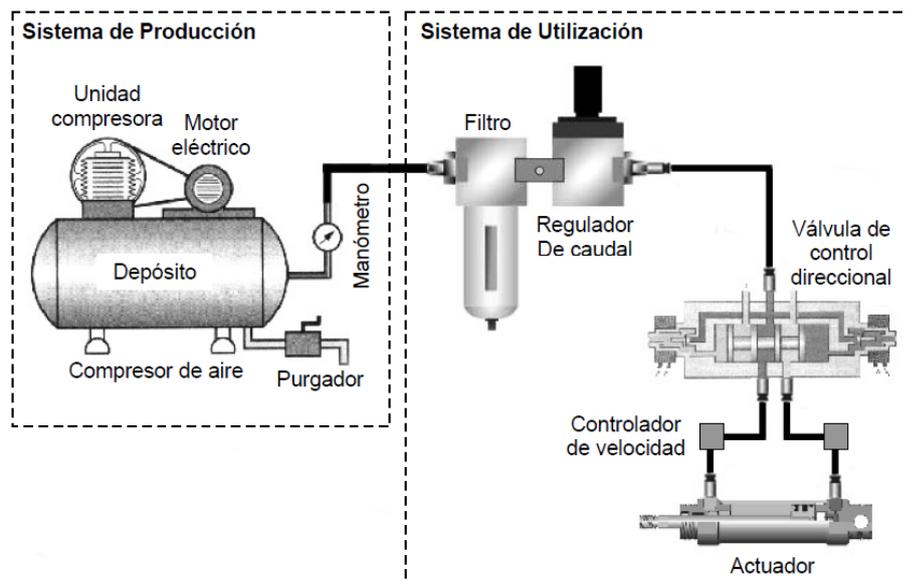


Figura 1.9: Componentes dentro de un sistema neumático básico

Las ventajas que presenta el uso de la neumática dentro del proyecto son: los bajos costos de sus componentes, la facilidad de diseño e implementación y los pequeños esfuerzos que se puede desarrollar con las bajas presiones con que se trabaja (típico 6 bar) lo que constituye un factor de seguridad. Los sistemas neumáticos se complementan con los sistemas eléctricos y electrónicos lo que permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad, involucrando directamente la utilización de válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera.

1.2.4 ACTUADORES⁴

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Existen varios tipos de actuadores como son:

- Electrónicos
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>

a. ACTUADORES NEUMÁTICOS

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Son componentes neumáticos que mediante el uso del aire comprimido, generan un movimiento rectilíneo de avance y retroceso de un mecanismo. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar un elemento, o simplemente sujetarlo.



Figura 1.10: Actuador Neumático

b. DISTRIBUIDORES

Son dispositivos que aseguran la apertura y el cierre de una o varias vías de flujo, se representan por medio de cuadrados. Los conductos y conexiones terminan generalmente en la posición cero. Las demás posiciones se obtienen mediante el desplazamiento de los contenedores cuadrados hasta conducir los conductos adyacentes. Dos de las características principales que posibilitan su clasificación son el número de vías y el número de posiciones, definidos a continuación.



Figura 1.11: Válvula neumática direccional 5/2

Vías, llamamos así al número de bocas de conexión del elemento de distribución. Pueden tenerse válvulas de 2, 3, 4, 5 ó más vías. No es posible un número de vías inferior a dos.

Posiciones, se refiere al número de posiciones estables del elemento de distribución. Las válvulas más comunes 2 ó 3 posiciones, aunque algunos modelos particulares pueden tener más.

Las válvulas direccionales se designan de acuerdo al número de vías y al número de posiciones de la forma siguiente:

N° Vías / N° Posiciones

2/2 dos vías / dos posiciones

4/2 cuatro vías / dos posiciones

5/2 cinco vías / dos posiciones

c. COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDRÁULICO⁵

c.1 BOMBA

La bomba hidráulica convierte energía mecánica en energía hidráulica. Es un dispositivo que toma energía de una fuente (por ejemplo, un motor eléctrico) y la convierte a una forma de energía hidráulica. La bomba toma aceite de un dispositivo de almacenamiento (por ejemplo, un tanque) y lo envía como un flujo al sistema hidráulico.

⁵ PARKER Training, Tecnología Hidráulica Industrial

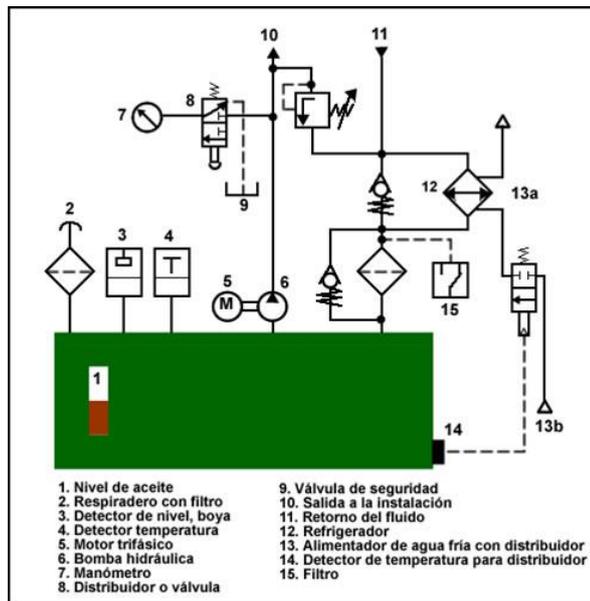


Figura 1.12: Partes constitutivas de una central hidráulica

Todas las bombas producen flujo de aceite de igual forma. Se crea un vacío a la entrada de la bomba. La presión atmosférica, más alta, empuja el aceite a través del conducto de entrada a las cámaras de entrada de la bomba. El volumen de la cámara disminuye a medida que se acerca a la salida. Esta reducción del tamaño de la cámara empuja el aceite a la salida. La bomba solo produce flujo (galones por minuto, litros por minuto, centímetros cúbicos por revolución, etc.), que luego es usado por el sistema hidráulico. La bomba no produce presión, la presión se produce por acción de resistencia al flujo, la resistencia puede producirse a medida que el flujo pasa por las mangueras, orificios, conexiones, cilindros, motores o cualquier elemento del sistema que impida el paso libre del flujo al tanque.

c.2 MOTOR HIDRÁULICO

El motor hidráulico convierte la energía hidráulica en energía mecánica. El motor hidráulico usa el flujo de aceite enviado por la bomba y lo convierte en un movimiento rotatorio para impulsar otro dispositivo (mandos finales, diferencial, transmisión, rueda, ventilador, otra bomba, etc.)



Figura 1.13: Motor hidráulico

c.3 DEPÓSITO

Su misión es recuperar el fluido después de usarlo y mantener un nivel adecuado al uso de la instalación. La principal función del tanque hidráulico es almacenar aceite, aunque no es la única. El tanque también debe eliminar el calor y separar el aire del aceite. Los tanques deben tener resistencia y capacidad adecuadas, y no deben dejar entrar la suciedad externa. Los tanques hidráulicos generalmente son herméticos.

c.4 ACONDICIONADORES DEL ACEITE

Son dispositivos que nos permiten mantener el aceite en unas condiciones de limpieza adecuadas al uso de los elementos de la instalación, de tal manera, que alarga la vida de esta.

El Filtro, es el encargado de retirar del aceite las partículas sólidas en suspensión (trozos de metal, plásticos, etc.). El aceite puede filtrarse en cualquier punto del sistema. En muchos sistemas hidráulicos, el aceite es filtrado antes de que entre a la válvula de control. Para hacer esto se requiere un filtro de presión. Colocado el filtro en la línea de retorno tiene también sus ventajas, una de las mayores es su habilidad de atrapar material que entran al sistema desde los cilindros. El sistema impedirá

que entre suciedad en la bomba, cualquiera de los dos tipos de filtros en las tuberías debe equiparse con una válvula de derivación.

c.5 RED DE DISTRIBUCIÓN

Debe garantizar la presión y velocidad del aceite en todos los puntos de uso. En las instalaciones oleohidráulicas, al contrario de las neumáticas, es necesario un circuito de retorno de fluido, ya que se vuelven a utilizar una y otra vez, también es necesario procesar la sobre presión en las líneas para mantener el equipo. El material utilizado suele ser acero o plástico reforzado y depende de su uso.

c.6 ELEMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL

Son los encargados de regular el paso del aceite desde las bombas a los elementos actuadores. Estos elementos, que se denominan válvulas, pueden ser activados de diversas formas: manualmente, por circuitos eléctricos, neumáticos, hidráulicos o mecánicos. Las clasificaciones de estas válvulas se puede hacer n tres grandes grupos: de dirección, antiretorno y de presión y caudal.

1.3 DISPOSITIVOS DE CONTROL

1.3.1 SENSORES⁶

Los sensores son dispositivos electrónicos diseñados para transformar las magnitudes de las variables físicas del entorno en señales que puedan ser interpretadas por sistemas de centrales de control, por lo tanto son transductores que convierten una característica física en otra diferente para ser más fácilmente interpretada. Los sensores entregan información sobre el proceso y el ambiente en el cual está interactuando, al computador (cerebro) del proceso. El programa computacional del proceso decide que hacer basándose en esa información y en sus propias instrucciones de tareas de alto nivel.

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

a. SENSORES FOTOELÉCTRICOS⁷

Son elementos que mediante la emisión y recepción de un haz de luz, generalmente infrarroja, detectan cualquier elemento que provoque la interrupción de dicho haz. Pueden ser en el espectro de la luz visible o invisible, y la señal emitida puede llevar algún tipo de modulación, por ejemplo, ser una onda cuadrada de 5kHz., que se demodula en el receptor, para evitar accionamientos intempestivos, debido por ejemplo a reflejos de la luz visible. De esa manera permiten ser usados a la intemperie a la luz del día, por ejemplo en control perimetral de cercos.

La construcción de este tipo de sensores, se encuentra basada en el empleo de una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos LED, diodos láser etc..) y una célula receptora de dicha señal, como pueden ser fotodiodos, fototransistores o LDR etc. Los sensores fotoeléctricos, tienen como función principal la detección de todo tipo de objetos independientemente de la distancia, ellos son generalmente utilizados como detectores de posición.



Figura 1.14: Sensor óptico de un solo cuerpo de la marca SICK

El sensor óptico está constituido de las siguientes partes:

- **Fuente:** Origina un haz luminoso, usualmente con un LED, que puede tener un amplio rango en el espectro (incluyendo luz visible infrarrojo).

⁷ http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_I/contenido_menu/Unidad_III/Contenido/pagina7/pagina7.htm

Para la mayoría de las aplicaciones se prefieren las radiaciones infrarrojas pues son las que mayor porcentaje de luz emite y disipan menos calor.

- **Receptor:** Recibe el haz luminoso de la fuente, usualmente es un fotodiodo o un foto transistor. El fotosensor debe estar acoplado espectralmente con el emisor, esto significa que el fotodiodo o el fototransistor que se encuentra en el detector deben permitir mayor circulación de corriente cuando la longitud de onda recibida sea igual a la del LED en el emisor.



Figura 1.15: Haz de luz de un sensor óptico

- **Lente:** Tienen la función de dirigir el haz de luz tanto en el emisor como en el receptor para restringir el campo de visión, esto trae como consecuencia aumentar la distancia de detección. El área de la base del cono de haz emitido por el LED y el lente aumenta a mayor distancia.

En función de las prestaciones de los sensores fotoeléctricos se destaca principalmente el reflexivo con las siguientes características:

a.1 SENSOR ÓPTICO REFLEXIVO

El emisor y el receptor se colocan en el mismo sitio uno al lado del otro y en frente de ellos se coloca una superficie reflexiva. El haz de luz emitido

choca contra el reflector para ser registrado por el receptor. La detección ocurre cuando pasa el objeto impidiendo el haz de luz llegue hasta el receptor. Esta configuración, que es la de uso común, tiene la ventaja de que el emisor y el receptor vienen en el mismo empaque y utilizan el mismo ducto para el cableado, pero las distancias de detección son varias veces menor que en la configuración de transmisión directa.

La superficie donde choca el haz está formada por reflectores especiales o cintas reflexivas diseñadas para que el haz regrese al fotointerruptor, aun estando desalineado, y esto es una ventaja sobre el uso de espejos en donde el haz debe indicar de forma perpendicular.

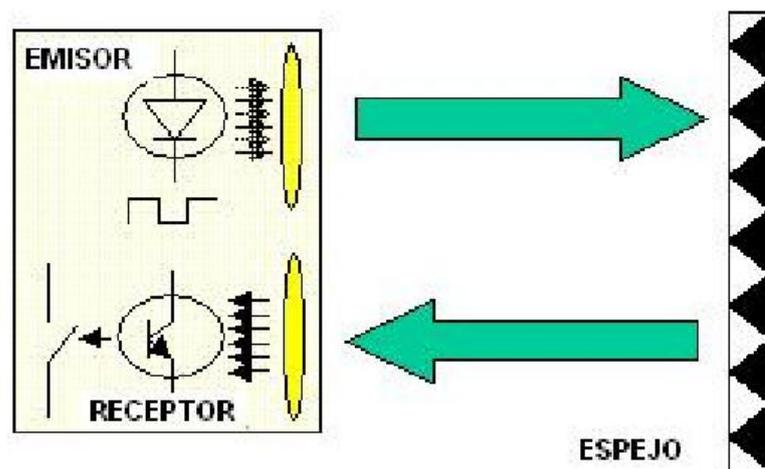


Figura 1.16: Modo reflectivo detección por retorno del haz

Ventajas

- ✓ Más económico que el Sistema Barrera, ya que el cableado es más sencillo.
- ✓ Distancia de detección moderada.
- ✓ Fácil instalación.

Desventajas

- ✓ Es capaz de detectar reflejos. indeseables de objetos brillantes.
- ✓ Menor margen.
- ✓ Menor alcance de detección que el sistema barrera.

b. SENSOR INDUCTIVO⁸

Este tipo de sensores se basan en el cambio de inductancia que provoca un objeto metálico en un campo magnético. Los sensores de este tipo constan básicamente de una bobina y de un imán. Cuando un objeto ferromagnético penetra o abandona el campo del imán el cambio que se produce en dicho campo induce una corriente en la bobina. Los detectores inductivos permiten detectar sin contacto objetos metálicos a una distancia de 0 a 60mm.

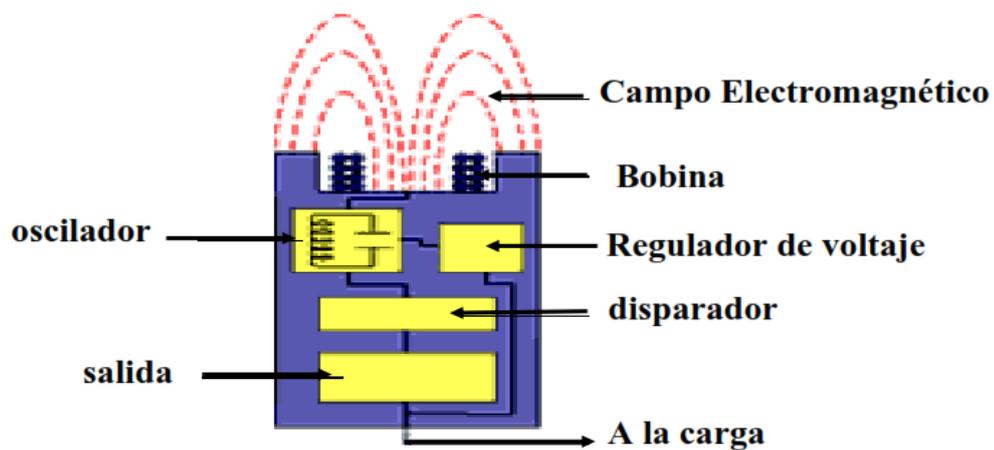


Figura 1.17: Componentes de un Sensor Inductivo

El principio de funcionamiento de este tipo de sensor se da cuando se coloca una placa metálica en el campo magnético del detector, las corrientes inducidas constituyen una carga adicional que provoca la parada de las oscilaciones. Esto aumenta la carga en el sensor, disminuyendo la amplitud del campo electromagnético, el circuito de disparo monitorea la amplitud del oscilador y a un nivel predeterminado, conmuta el estado de la salida del sensor. Conforme el objetivo se aleja del sensor, la amplitud del oscilador aumenta, a un nivel predeterminado, el circuito de disparo conmuta el estado de la salida del sensor de nuevo a su condición normal.

⁸ OMRON, "Sensores Inductivos, Capacitivos y Fotoeléctricos", Diapositivas Procontic, 2005

1.3.2 ARRANCADOR SUAVE⁹

El arrancador se usa para iniciar o detener un motor entallar la forma de onda de voltaje, por lo tanto, la reducción de la tensión de cada fase de un motor y aumentando gradualmente el voltaje hasta que el motor se levanta a pleno voltaje / velocidad de todos a una frecuencia fija. Es similar a una resistencia primaria o primaria reactancia de arranque, ya que está en serie con la alimentación del motor. El perfil del aumento de la tensión depende de la aplicación. La tensión se reduce y controlado por tres pares de rectificadores controlados de silicio-back-to-back "(SCR), que son un tipo de tiristor de alta velocidad. Un arrancador toma el lugar de un contactor y también puede tomar el lugar de un relé de sobrecarga en una aplicación de motor estándar de partida.



Figura 1.18: Arrancador Suave WEG SOFT STARTER SSW-03

1.3.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

El Controlador Lógico Programable (PLC) nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos

⁹ <http://www.inverter-china.com/blog-es/articles/motor-soft-starter/What-is-a-soft-starter.html>

auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra. Ver la Figura 1.23.



Figura 1.19: Controlador Lógico Programable S7 300

a. DESCRIPCIÓN DE UN PLC¹⁰

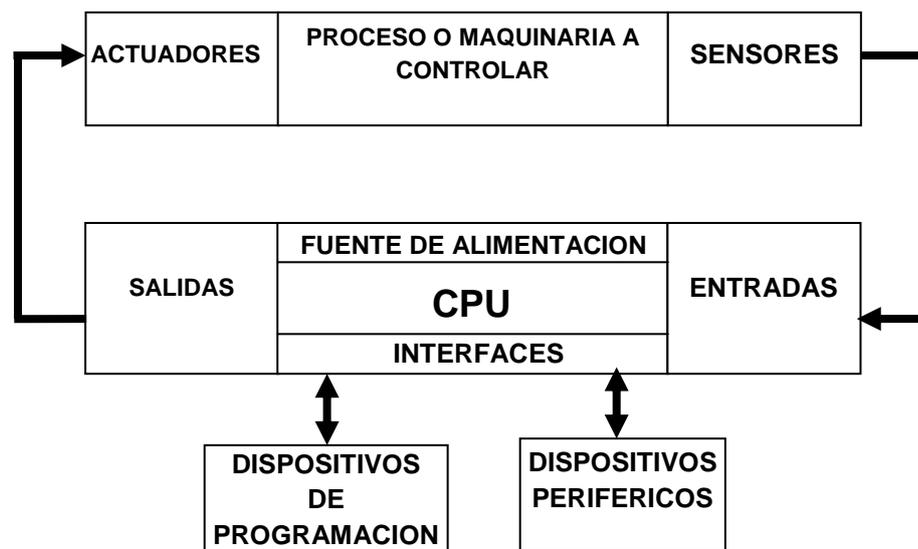


Figura 1.20: Diagrama de bloque de un PLC

¹⁰ http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/plcautomatizacion/

El Programador Lógico Controlable (PLC's), es un dispositivo electrónico, diseñado para controlar en tiempo real dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos, y/o secuenciales. Es un sistema de control de estado sólido que monitorea el estado de dispositivos como son los inputs. Controla el estado de los dispositivos conectados como outputs. Está basado en un programa escrito que es almacenado en una memoria.

Sus principales beneficios son:

- Menor cableado, reduce costos y tiempos de parada de planta.
- Reducción del espacio en los tableros.
- Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio.
- Flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del proceso.

b. CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS PLC

Hoy la tecnología ofrece PLC's acorde las necesidades de cada usuario y cada aplicación.

Para automatizaciones de pequeña escala como:

- Dosificadores.
- Alimentadores para máquinas.
- Montacargas.
- Lavadoras industriales y de automóviles.
- Calefacción, vidrieras, etc.,

Para automatizaciones de mediana complejidad se utilizan por lo general PLC's compactos, donde se necesitan de señales analógicas y comunicación como:

- Máquinas inyectoras de plástico, goma etc.
- Cintas transportadoras, etc.

Para automatizaciones de mayor complejidad se utilizan PLC's modulares como:

- Supervisión remota de subestaciones de energía, estaciones de bombeo, plantas potabilizadoras de agua etc.
- Líneas de producción en la industria automotriz.
- Sistemas de control de luces en aeropuertos.
- Procesos molienda en la industria cementera, etc.

Para automatizaciones donde la complejidad del proceso requiere gran velocidad de procesamiento del programa, manejo de lazos de control, alta prestación en múltiples protocolos de comunicación, elevada cantidad de entradas/salidas controladas en forma remota y descentralizada, se utilizan por lo general grandes PLC's modulares como:

- Automatización de una planta siderúrgica, de un oleoducto, de una refinería, de una planta minera completa, de una planta de extracción de aceites, etc.

1.4 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Ser fácilmente manejable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- Sensores. Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- Controlador. Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- Actuador. Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

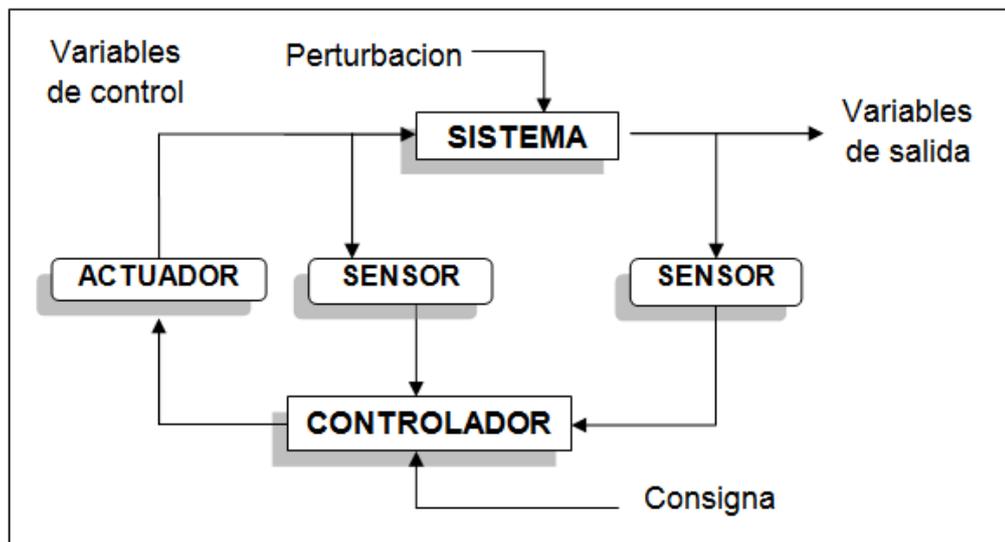


Figura 1.21: Esquema general de un sistema de control

Actualmente, cualquier mecanismo, sistema o planta industrial presenta una parte actuadora, que corresponde al sistema físico que realiza la acción, y otra parte de mando o control, que genera las órdenes necesarias para que esa acción se lleve o no a cabo.

En Automática se sustituye la presencia del ser humano por un mecanismo, circuito eléctrico, circuito electrónico o, más modernamente por un ordenador. El sistema de control será, en este caso automático.

1.4.1 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

En la actualidad los sistemas automáticos juegan un gran papel en muchos campos, mejorando nuestra calidad de vida:

En los procesos industriales:

- Aumentando las cantidades y mejorando la calidad del producto, gracias a la producción en serie y a las cadenas de montaje.
- Reduciendo los costes de producción.
- Fabricando artículos que no se pueden obtener por otros medios.

Para los avances científicos: Un claro ejemplo lo constituyen las misiones espaciales. Para los avances tecnológicos: por ejemplo en automoción es de todos conocidos los limpiaparabrisas inteligentes, etc.

1.4.2 SISTEMAS HMI (Interfaz Hombre Máquina)

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI (en adelante HMI) o de monitoreo y control de supervisión.

Las señales del procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

Características de un HMI:

- Desarrollos a medida. Se desarrollan en un entorno de programación gráfica como VC++ Visual Basic, Delphi, etc.

- Paquetes comprados de HMI. Son paquetes de software que contemplan la mayoría de las funciones estándares de los sistemas SCADA. Ejemplos son FIX, WinCC, Wonderware, etc.
- Incorporan protocolos para comunicarse con los dispositivos de campo más conocidos.
- Tienen herramientas para crear bases de datos dinámicas.
- Permiten crear y animar pantallas en forma sencilla.
- Incluyen gran cantidad de librería de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como: motores, tanques, indicadores, interruptores, etc.

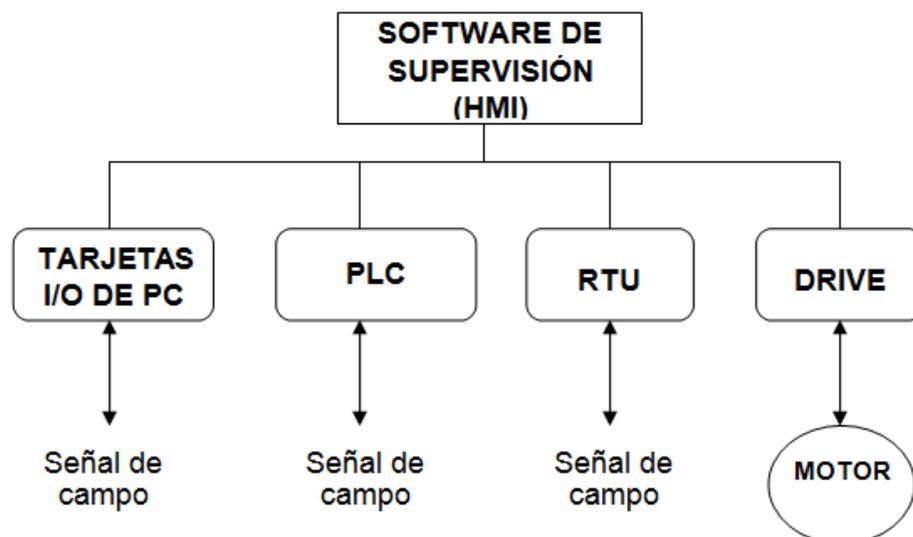


Figura 1.22: Diagrama general de un HMI

1.4.3 AUTOMATIZACIÓN¹¹

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando

¹¹ CEKIT S.A., “Electrónica Industrial y Automatización”, Tomo 2, Colombia, 2002

- Parte Operativa

La Parte de Mando suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómatas programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.



Figura 1.23: Elementos constitutivos de una parte operativa

La clave de estos sistemas de control son las comunicaciones, tanto para el operador de planta como para el gestor de planta. Tras haberse desarrollado sistemas de control, regulación y sincronismo cada vez más integrados, con pocos elementos, pero comunicados entre sí y totalmente coordinados, se evoluciona al control integrado total.



Figura 1.24: Instrumentación en aplicaciones industriales

El concepto de sistema de control actual debe ser tal que se integre en un "Master" cada uno de los diferentes subsistemas de control. Y esto se consigue de una única forma: las comunicaciones. Se debe plantear una topología de bus de comunicaciones entre los diferentes PLC de forma que el PLC o PC "Maestro" pueda recibir información y enviar órdenes de acuerdo con el programa de control, monitorización y gestión definido para la planta. Se generaliza el uso de los sistemas SCADA de gestión y monitorización de plantas de cogeneración. Mediante estos sistemas se dispone de la potencia y funcionalidad de los PC para visualización de la planta mediante detallados y muy presentables gráficos, pantallas de gestión de alarmas, gestión de históricos de datos, pantallas de rendimientos energéticos (contadores de energía eléctrica, contadores de energía térmica producida, contaje de gas consumido etc.).

El sistema SCADA comunica el PC con el PLC o los PLC's de la planta y con otros dispositivos (analizadores de redes, relés de protección multifunción etc.) dotados de comunicaciones. Los medios normalizados y protocolos de comunicaciones son variados, y sus características de velocidad y fiabilidad son también variadas. Desde el básico RS232C o RS485 a la sofisticada pero cada día más estandarizada red Ethernet, pasando por las redes de comunicaciones PROFIBUS FMS, protocolos de comunicaciones MODBUS, y periféricas distribuidas para buses de campo (PROFIBUS DP, INTERBUS, DEVICE NET, CAN BUS etc.). Cada vez más se están imponiendo estos buses de campo gracias a su contrastada fiabilidad, y cada vez más dispositivos incorporan conectividad con estos buses de campo que simplifican las instalaciones desde el punto de vista de cableados, tarjetas acondicionadoras de señales y programación.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELÉCTRICO

2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y la implementación de un sistema de control automático para el conteo y separación de varilla corrugada con interfaz grafica (HMI)¹², en el área del transferidor¹³ del tren de laminación 1 de la empresa NOVACERO S.A. PLANTA INDUSTRIAL LASSO. En la actualidad el área del transferidor cuenta con un sistema manual de conteo por parte de los operadores y un sistema de deslizamiento semiautomático. Donde el sistema avanza cuando los operadores terminan el conteo y la separación es manual.

El sistema propuesto para la automatización de esta zona se trata del conteo automático por medio de sensores ópticos y el acarreamiento de un sistema mecánico para los distintos productos de varilla corrugada y la separación por medio de un mecanismo articulado en paquetes de una tonelada, el sistema será controlado por una interfaz de operación HMI con un panel de visualización del proceso en tiempo real y de la selección del producto que en ese momento se encuentre produciendo el tren de laminación. El sistema registrará el número de paquetes que se realizarán en cada en cada campaña especificando las características del producto por medio del programa en el PLC, el sistema planteado funcionará de manera autónoma¹⁴.

2.1.1 CONDICIONES FÍSICAS

El contador y separador de varilla corrugada se construirá basándose en la necesidad de optimizar los tiempos de producción salvaguardando la

¹² Interface hombre maquina

¹³ Lugar de transporte transversal de la varilla dentro de un área

¹⁴ Independiente de cualquier otro sistema

integridad de los trabajadores del área y proveer de un mejor servicio a sus clientes con calidad y peso justo por parte de la empresa.

a. DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFERIDOR E INSTALACIÓN DEL PROYECTO

Para la implementación del proyecto se realizara un camino de rodillos en donde, por medio de un sistema de cadenas móviles se sacara el material hacia los TRANSFERIDORES NORTE Y SUR planteados y diseñados para la implementación del contador de varilla en cada uno de estos módulos, en función al ritmo de producción, se ha trazado y posteriormente aprobado la distribución de una zona de producto terminado que se detalla en el ANEXO A. En la Figura 2.1 se indica la distribución de las zonas planteadas de manera general.

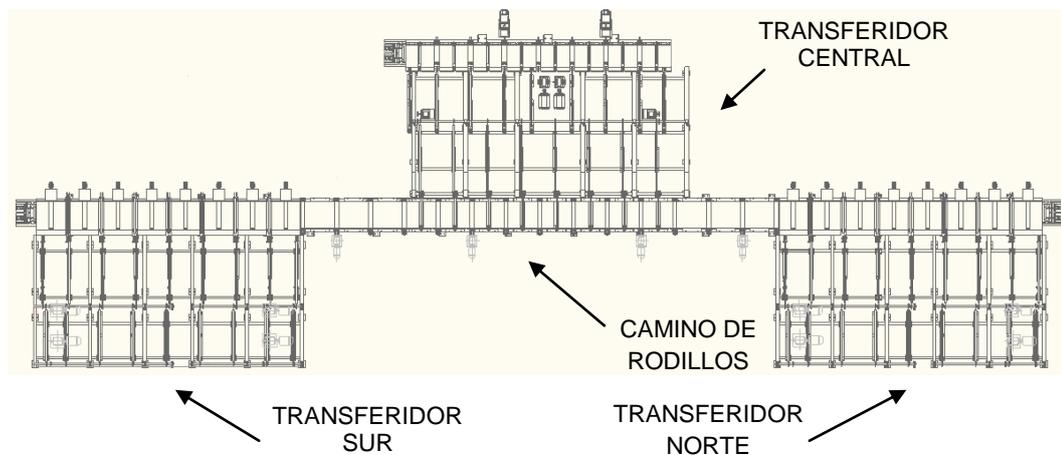


Figura 2.1: Zona de transferencia y conteo de material

La razón es proporcionar dos zonas por donde pueda fluir de mejor manera el material y en el caso de tener una falla en cualquiera de los dos módulos, se pueda producir con el alternante activo.

El separador se implementara por una extensión de 12 m, al terminar el primer modulo del transferidor, y el contador se montara en el extremo sur del separador en un área de 1 m², que será montado sobre el chasis de la maquina.

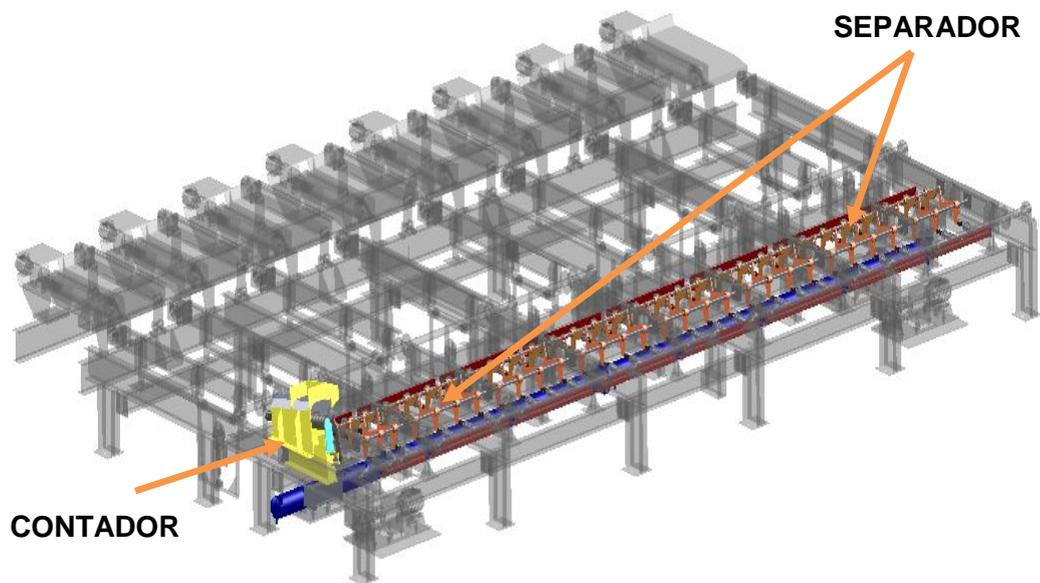


Figura 2.2: Contador y separador de varilla corrugada

Para cambios eventuales en el sistema el módulo de conteo será desmontable y normalizado a la altura del transferidor en cualquier punto de este, con sus respectivas adaptaciones en los caminos de cadenas, para alcanzar la flexibilidad que exige la fabrica.



Figura 2.3: Estado inicial de la zona del transferidor

Con respecto a la figura 2.3, que se presenta se puede ver el estado actual de la zona del transferidor. Con la cual se pueden comparar los cambios que se efectuaran con la implementación del proyecto, al construir un transferidor más, al lado sur de la nave, como se indico en la figura 2.1.

2.1.2 CAPACIDAD DE EJECUCIÓN DE CONTEO CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Para alcanzar el objetivo y agilizar el conteo y la separación de varilla corrugada¹⁵ se presenta los siguientes parámetros propuestos, para el análisis de mejoramiento en los tiempos de producción comparados antes y después de la implementación del proyecto, refiriéndose a la velocidad de conteo directamente dependiente de las RPM¹⁶ del motor acoplado a la matriz guía y del desplazamiento lateral de las barras en las cadenas del transferidor.

Se fijarán parámetros estándar para el cálculo de mejora de producción que servirán como fuentes para estimar un tiempo aproximado en el procesamiento de una tonelada de material elaborado dentro del tren de laminación.

En la tabla que se indica en el ANEXO B - 1, se muestra en la novena columna el tiempo de producción referencial para iniciar los cálculos de diseño tomando en cuenta todos los tiempos que intervienen en el proceso, incluyendo los tiempos de separación y las RPM de revolución del motor que se muestran en la quinta y segunda columna respectivamente. Con estos datos se orientara el diseño para cumplir la verificación de la hipótesis planteada, eliminando los problemas y automatizando la zona de conteo para eliminar las paras de producción por este factor en la línea de fabricación de varilla corrugada.

¹⁵ Contracción o encogimiento que forma una superficie áspera

¹⁶ Revoluciones por minuto

a. CAPACIDAD DE CARGA DE VARILLA EN REPOSO

Para obtener mayor eficiencia de conteo se debe tener una cama de varilla totalmente plana y ordenada, sin elementos que distorsionen la posición del material antes de ser contado, para esto se debe superar la velocidad de conteo con respecto a la velocidad de producción del tren de laminación, para no tener aglomeraciones de material en el transferidor de varilla en reposo, como se muestra en la figura 2.4. En esta zona que se encuentra dentro de la línea de producción, el tránsito del material debe ser fluido. Además se debe aclarar que el transferidor no es una zona de almacenaje de material, es una zona de transición donde el material no debe permanecer.



Figura 2.4: Cama de varilla a la salida de la cizalla de corte en frio

Para solucionar los problemas de aglutinamiento¹⁷ de material en la mesa del transferidor se trabajara con las velocidades de las dos primeras etapas, manteniendo la velocidad de la primera he incrementado en un 20% la velocidad de la segunda entapa con respecto a la primera, de esta forma se podrá causar un desgaje¹⁸ del grupo de varillas que entran al

¹⁷ Cohesión de materiales en un lugar determinado.

¹⁸ Separación paulatina de elementos de un mismo gajo o grupo.

módulo de conteo para que de esta manera tener mayor eficiencia en el conteo, al tener una cama plana que entre al contador de manera ordenada y para posteriormente poder aplicar la separación por medio del mecanismo sin tener atascamiento de materia o cruces del mismo en el sistema.

Velocidad lineal primera etapa: 0.8 m/s

Velocidad lineal segunda etapa: 0.96 m/s

Con esta relación podremos obtener el efecto que se ve en la Figura 2.5.

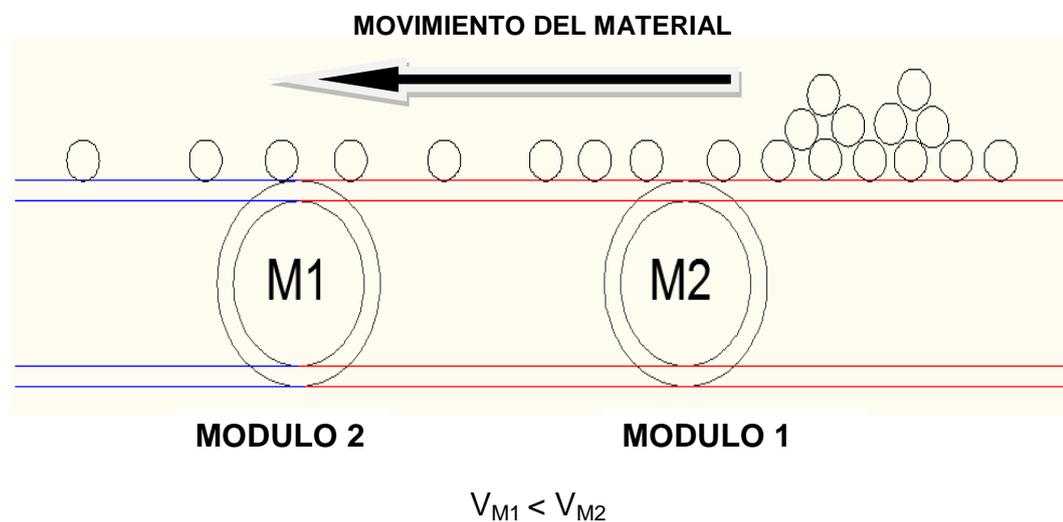


Figura 2.5: Obtención de una cama plana de varilla en el transferidor, debido a la variación de velocidad en las cadenas

En caso de que los módulos de conteo y separación sufran algún percance y los tiempos de ejecución aumenten se debe calcular la capacidad de almacenamiento de material en reposo indicados en la tabla del ANEXO B - 2, sobre el transferidor sur antes del modulo de conteo, es decir el material en espera del proceso.

En donde la longitud de reposo de material es constante para todos los productos igual a 5 metros en función de este parámetro y el diámetro del material se tiene la capacidad de la mesa indicada en la quinta columna.

2.2 DISEÑO MECÁNICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para el diseño del mecanismo de separación del paquete de varilla corrugada se debe tomar en cuenta principalmente la masa que es constante para todos los productos, ya que se realizan paquetes de una tonelada, además de la disposición en el área de trabajo para seleccionar el mecanismo que va a activar el sistema.

Según las características de la pieza y la funcionalidad que tiene esta dentro del mecanismo sabiendo que las cargas en algunos casos pueden sobrepasar levemente la masa especificada anteriormente, es decir la carga se consideraría como incierta, tomando en cuenta todos estos parámetros se especifica que el factor de seguridad¹⁹ para la pieza es de 4.

Los mecanismos²⁰ de los separadores serán accionados mediante pistones²¹ con una fuente de energía neumática debido a las velocidades de ejecución que deberán alcanzar, para cumplir con el tiempo establecido en el proceso.

El proceso de separación es accionado en un tiempo constante, determinado por el periodo de ejecución del mecanismo, que no difiere con el cambio de producto.

El conteo se realizara por medio con un tornillo sin fin, de hilo especial que mediante la rotación acarreará el material que será contado por medio de un sensor óptico, que procesará las señales en un controlador.

Posteriormente tendremos los datos en un panel de control que registrará los procedimientos de la máquina en función de la producción del tren y el producto que se esté laminando, además de la velocidad de procesamiento.

¹⁹ Diseño de ingeniería mecánica de Shigley tabla 1 - 1

²⁰ Estructura de un cuerpo natural o artificial, y combinación de sus partes constitutivas

²¹ Actuador que ejecuta su movimiento mediante el ingreso de un fluido a una cámara sellada

2.2.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LAS UÑAS DE IGUALADO Y PARO DE MATERIAL A LA ENTRADA DEL MODULO DEL CONTADOR.

La forma de la uña está dada de la manera que se muestra en la figura 2.6 con la finalidad de retener el material que no será contado y separar del que ya paso por el módulo de conteo.



Figura 2.6: Geometría de diseño de la uña de entrada

En la Figura 2.7 se muestra la utilidad de la uña de entrada al momento de frenar el paso del material sin causar daños en el mismo ni aglomeraciones excesivas en el transferidor.

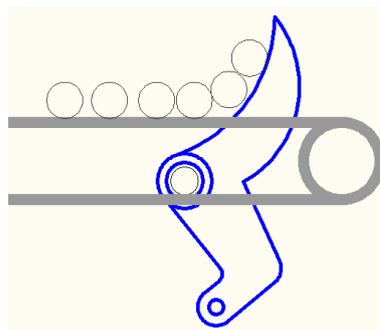


Figura 2.7: Funcionalidad de la uña de entrada

Para obtener la operación que debe realizar la uña de paro de entrada debe recorrer un ángulo de 40° desde su extremo con respecto al eje central, movimiento que será proporcionado por un pistón neumático.

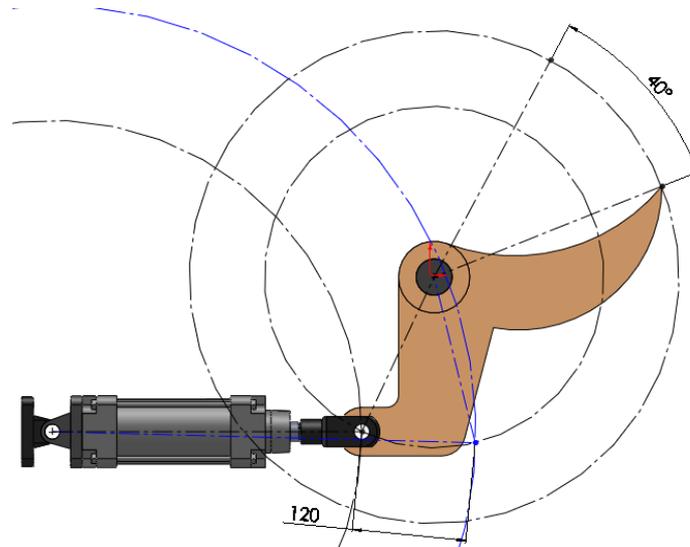


Figura 2.8: Punto inicial del desplazamiento del mecanismo de la uña de entrada

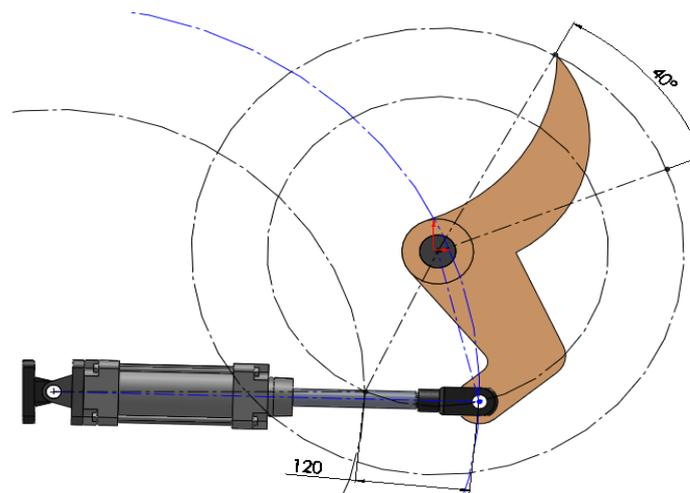


Figura 2.9: Punto final del desplazamiento del mecanismo de la uña de entrada

El recorrido angular que describe la pieza en su extremo, solicita que el pistón debe tener una carrera de 120 mm.

Por la flexión²² del producto se ha determinado que la masa que debe soportar cada uña en su accionamiento, debe ser de 250 Kg valor

²² Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido por la acción de una fuerza que lo deforma elásticamente.

determinado de manera práctica, haciendo que el paquete de varilla se divida en cuatro secciones.

250 Kg	250 Kg	250 Kg	250 Kg
--------	--------	--------	--------

Figura 2.10: Peso por secciones longitudinales del material

a. SELECCIÓN DEL PISTÓN DE ACCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE LAS UÑAS DE ENTRADA.

La presión de aire disponible dentro del tren de laminación, para el accionamiento del sistema es de 6 Bar.

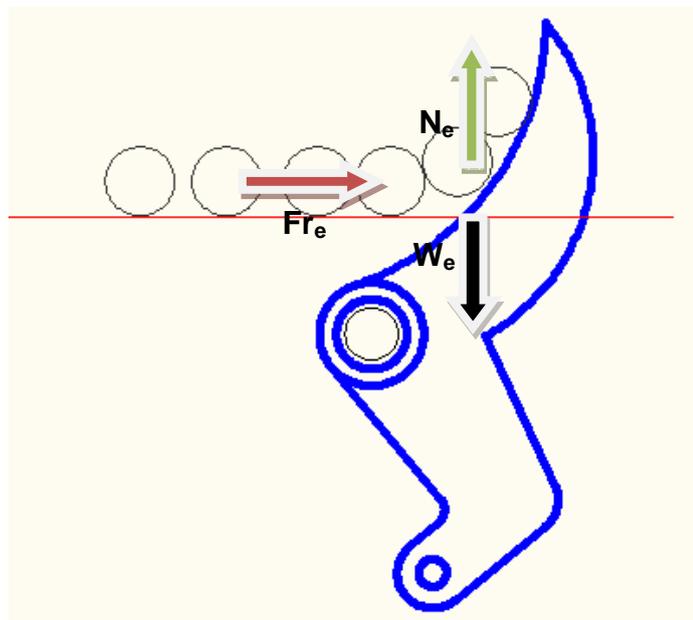


Figura 2.11: Fuerzas que determinan el mecanismo y el actuador

Donde:

W_e = Peso de los elementos en la uña de entrada.

F_{re} = Fuerza de rozamiento de los elementos con respecto a la superficie de arrastre.

N_e = Fuerza normal ejercida por la superficie sobre el cuerpo.

El peso total del paquete de varilla viene dado mediante la siguiente expresión.

$$W = m * g \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

W = Peso del objeto (N).

m = Masa del objeto (Kg).

g = gravedad 9.8 m/s².

$$W = 1000 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 9800 \text{ N}$$

Una vez obtenido el peso encontramos la fuerza de rozamiento mediante la siguiente expresión.

$$Fr = N * \mu \quad \text{Ec 2.2}$$

Donde:

Fr = Fuerza de rozamiento (N).

N = Fuerza normal (N).

$\mu^{23} = 0.19$ (acero sobre fundición de hierro estático seco)

La fuerza normal es igual al peso del cuerpo debido a que, la fuerza normal es la reacción de la superficie sobre el cuerpo.

$$N = W$$

$$Fr = 9800 \text{ N} * 0.19$$

$$Fr = 1862 \text{ N aproximado } 2000 \text{ N}$$

²³ Coeficiente de rozamiento Maquinas prontuario n. Larburu, tabla 7.4

La fuerza de rozamiento calculada se divide para cuatro secciones como se había señalado anteriormente.

$$Fr_{XS} = 500 \text{ N}$$

Donde:

Fr_{XS} = Fuerza de rozamiento por sección (N).

Con estos datos determinaremos la fuerza que se requiere para el accionamiento del sistema mediante la siguiente relación, tomando en cuenta que los momentos son iguales.

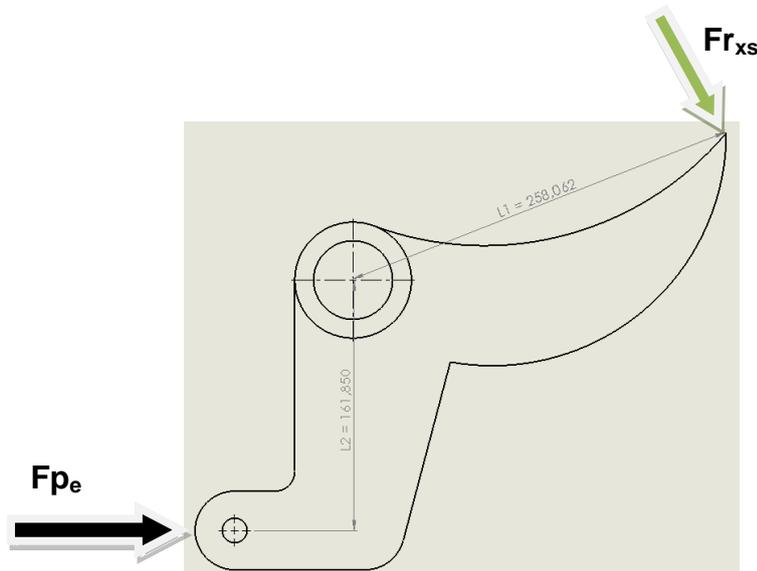


Figura 2.12: Fuerzas y distancias principales en la uña de entrada

Donde:

F_{pe} = fuerza del pistón de entrada (N).

L_1 y L_2 = distancias de los extremos puntuales de ejecución de la fuerza al eje de movimiento (mm).

$$\frac{F_{pe}}{Fr_{XS}} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$F_{pe} = 797.23 \text{ N}$$

Considerando los datos F_{pe} y la presión del aire disponible calculamos el diámetro del émbolo²⁴ del pistón, mediante la siguiente expresión.

$$P = \frac{F}{\pi\phi^2/4} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

P = Presión (Pa).

F = Fuerza (N).

ϕ = Diámetro del émbolo (m).

Con los datos obtenidos tenemos que:

$$\phi = 41.13 \text{ mm}$$

Según la tabla de METAL WORK presente en el ANEXO C - 1, del pistón serie ISO 15552 la aproximación confiable es el cilindro de diámetro 50 mm, por razones de estandarización de elementos en la planta se ha escogido el cilindro diámetro 63 mm. La velocidad requerida para la operación es de 0.75 segundos por acción de salida, sin importar el tiempo de entrada del pistón siempre y cuando el sistema se restablezca antes de la ejecución total del proceso, la verificación del sistema viene dada por las siguientes expresiones.

Teniendo como datos:

$$\theta_e = 40^\circ = 0.698 \text{ rad}$$

$$T_e = 0.75 \text{ segundos}$$

Donde:

θ_e = Recorrido angular de la uña de entrada.

²⁴ Cello de impulsión del dispositivo donde se ejerce toda la fuerza en función del área del mismo

T_e = Tiempo de ejecución de salida del pistón.

Con estos datos calculamos la velocidad angular ω_e :

$$\omega_e = \frac{\theta_e}{T_e} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$\omega_e = 0.9307 \text{ rad/seg}$$

Con la multiplicación de la velocidad angular con la longitud del brazo de la uña determinaremos la velocidad lineal V_e a la cual deberá accionarse el pistón.

$$L_2 = 161.85 \text{ mm}$$

$$V_e = \omega_e * L_2 \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$V_e = 0.1506 \text{ m/s}$$

El pistón deberá ejecutar su carrera a una velocidad de 0.1506 m/s que en comparación con la siguiente tabla 2.1 se determinara que el tipo de pistón cumple con los requerimientos.

Tabla 2.1: Velocidades máximas de los pistones en función del diámetro del embolo

Diámetro (mm)	Velocidad máx. (m/s)
10 – 12 – 16	2,6
20 – 25 – 32	2,6
40	2,5
50	2
63	1,5
80	1,1
100	0,9
125	0,7
160	0,6

La velocidad de retroceso del pistón por la selección de los materiales será igual a la velocidad de salida sin que su exactitud importe por lo cual no se tendrá un control exacto en el pilotaje²⁵ de la válvula.

La velocidad V_e es menor a la especificada en la tabla 2.1 lo que quiere decir que el pistón ejecutara de manera correcta su función.

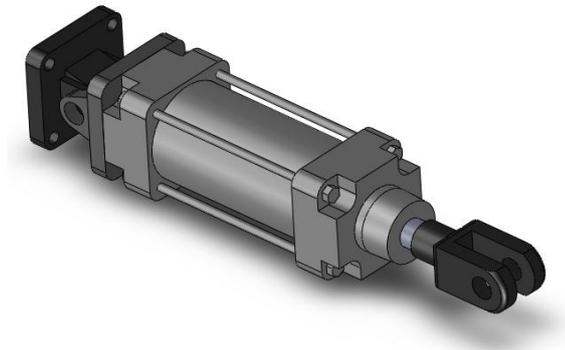
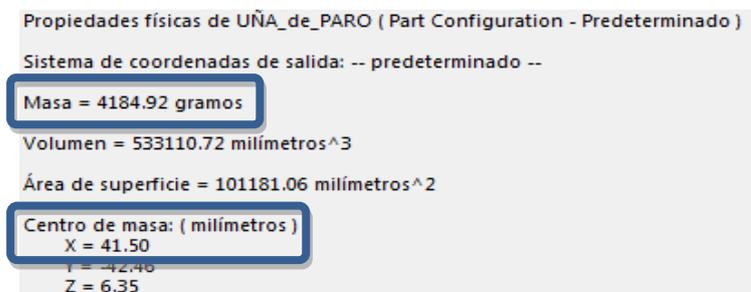


Figura 2.13: Cilindro de diámetro de émbolo 63 mm y 120 mm de carrera

b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS UÑAS DE ENTRADA.

Tomando en cuenta el tipo de sistema como se ha señalado el factor de seguridad mínimo deberá ser de 4, a la uña por sus características se le analizara como una viga que se encuentra en voladizo. Se tomara también la masa y el centro de masa de la pieza para su análisis de esfuerzos en base al programa de diseño SolidWorks²⁶.



²⁵ Control de manipulación de un dispositivo

²⁶ Software de diseño y simulación mecánica

Fuerzas que actúan sobre la uña de entrada, con la función de detener el material.

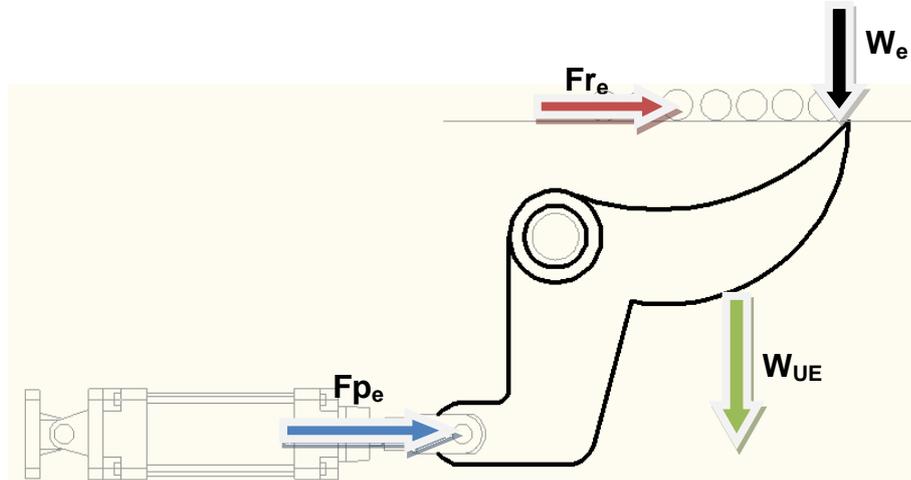


Figura 2.14: Fuerzas que actúan sobre la uña de entrada

Donde:

W_e = Peso de los elementos en la uña de entrada (N).

Fr_e = Fuerza de rozamiento de los elementos con respecto a la superficie de arrastre (N).

Fp_e = Fuerza ejercida por el pistón (N).

W_{UE} = Peso de la uña de entrada (N).

Para el análisis del sistema se tomo el esfuerzo máximo cogiendo la fuerza ejercida por el pistón que se determinada mediante la Ec. 2.3.

$$Fp_e = 1870.74 \text{ N}$$

Para hacer el análisis de la viga transferiremos la fuerza máxima del pistón Fp_e al extremo que ejecuta la acción mediante la siguiente relación.

$$\frac{Fp_e}{P_1} = \frac{L1}{L2}$$

$$P_1 = 1265.15 \text{ N}$$

Donde:

P_1 = fuerza cortante en el extremo de la uña (N).

Se debe tomar en cuenta el peso del material determinado con la Ec. 2.1.

$$W_{UA} = 41.05 \text{ N}$$

Donde:

W_{UA} = peso de la uña de entrada (N).

Como se menciona anteriormente se analizará la pieza como una viga en voladizo como se muestra en la figura 2.15, donde se localizará P_1 como la fuerza en el extremo, $W_{UA} = P_2$, en relación a la grafica y está ubicado a 41,5 mm con respecto al extremo fijo, valor indicado en las propiedades físicas de la pieza.

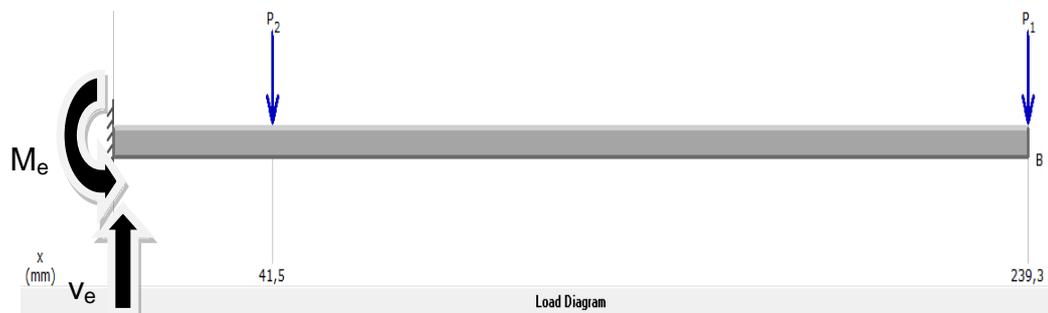


Figura 2.15: Diagrama de cuerpo libre (uña de entrada)

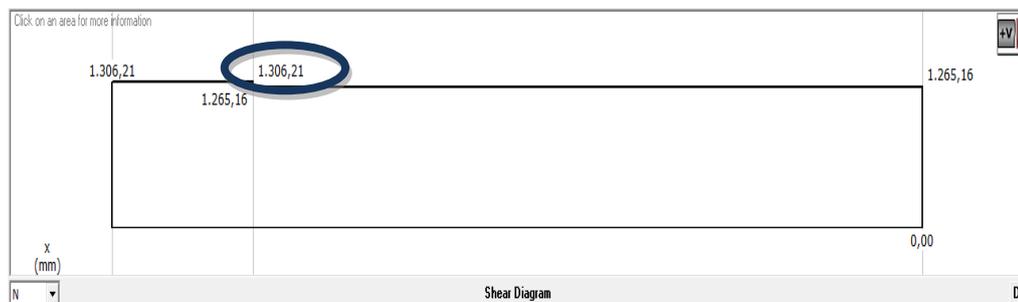


Figura 2.16: Diagrama de fuerzas cortantes (uña de entrada)

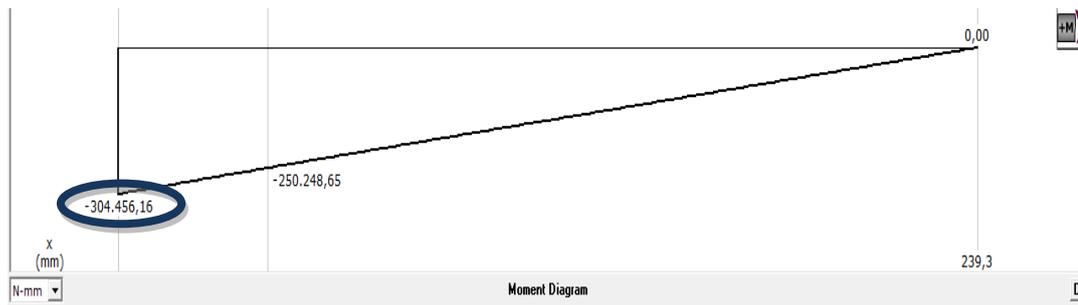


Figura 2.17: Diagrama de momento flector (uña de entrada)

Para comprobar los valores indicados en las graficas de los momentos máximos realizaremos la sumatorias de fuerzas y momentos de la siguiente manera.

Sumatoria de fuerzas.

$$+ \rightarrow \Sigma F_x = 0 ; \text{ No existen fuerzas en el eje x.}$$

$$+ \uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$V_e = P_1 + P_2$$

$$V_e = 1306.21 \text{ N}$$

Donde:

V_e = fuerza cortante máxima (N).

Sumatoria de momentos.

$$+ \curvearrowright \Sigma M = 0$$

$$M_e = M_1 + M_2$$

$$M_e = 304.42 \text{ Nm}$$

Para determinar el factor de seguridad realizaremos los siguientes cálculos, tomando en cuenta la sección transversal de la pieza que se indica en la figura 2.18.

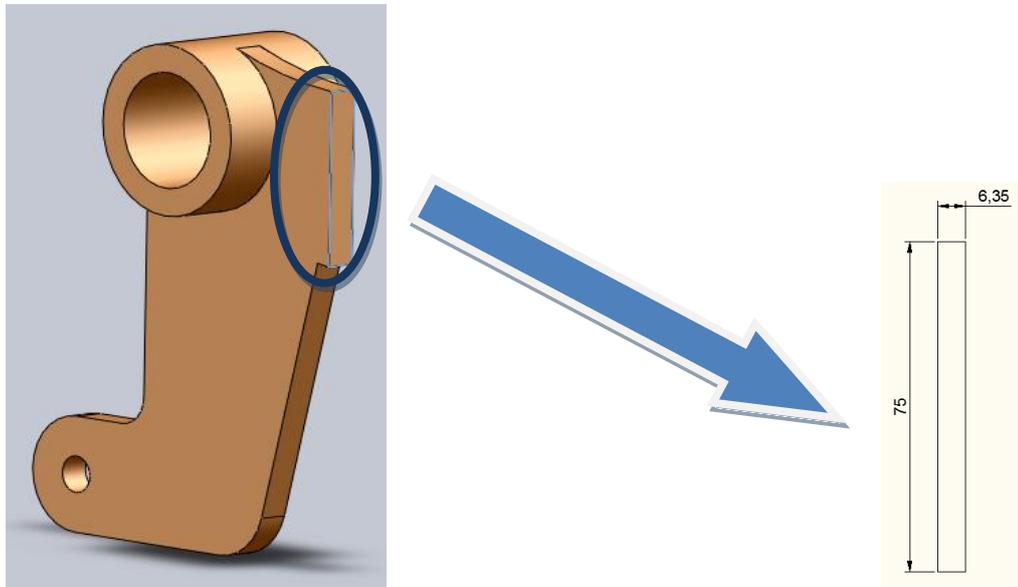


Figura 2.18: Dimensiones del corte de la uña de entrada (esfuerzo máximo)

$h_e = 75 \text{ mm}$ Altura de la uña de entrada

$b_e = 6.35 \text{ mm}$ Ancho de la uña de entrada

La sección asignada es aproximada dependiendo el esfuerzo máximo de donde se realiza la pieza.

En función a la aplicación de la pieza se tiene que está sometida a esfuerzo flector y esfuerzo de corte que son determinados mediante las siguientes expresiones.

El esfuerzo flector viene dado por:

$$\sigma_{flex} = \pm \frac{M_e}{Z} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

σ_{flex} = Esfuerzo flector (MPa)

M_e = Momento máximo (Nm)

Z = Módulo resistente de sección (m^3)

De donde tenemos que el valor de M es el valor máximo señalado en la figura 2.17 y el factor Z viene dado por la siguiente expresión.

$$Z = \frac{b \times h^2}{6} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

b = base de la sección rectangular (m)

h = altura de la sección rectangular (m)

Los datos antes señalados los tenemos en la figura 2.18.

De donde tenemos que:

$$Z = \frac{(6.35 * 10^{-3}m) \times (0.075 m)^2}{6}$$

$$Z = 5.95 \times 10^{-6} m^3$$

Con los datos determinados se tiene que el esfuerzo flector es igual a:

$$\sigma_{\text{flex}} = \pm \frac{304.42 \text{ Nm}}{5.95 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\text{flex}} = \pm 51.13 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante viene dado por la siguiente expresión:

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{3V_e}{2A} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

V_e = Fuerza cortante máxima (N)

A = Área de la sección transversal de la viga (m^2)

El valor de V_e está indicado en la figura 2.16, que es la fuerza máxima que actúa en el punto señalado.

Donde se tiene que el esfuerzo cortante es de:

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{3(1306.21)\text{N}}{2(4.76 \times 10^{-4})\text{m}^2}$$

$$\tau_{\text{corte}} = 4.1 \text{ MPa}$$

En base a los esfuerzos calculados determinaremos los esfuerzos normales mediante las ecuaciones 2.9 y 2.10:

$$\sigma_{\text{comp}} = \sigma_{\text{c-t}} + \sigma_{\text{flex}} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$\sigma_{\text{trac}} = \sigma_{\text{c-t}} - \sigma_{\text{flex}} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

σ_{comp} = Esfuerzo normal de compresión (MPa).

σ_{trac} = Esfuerzo normal de tracción (MPa).

$\sigma_{\text{c-t}}$ = Esfuerzo de compresión - tracción (MPa) = 0.

En función a los parámetros obtenidos de los esfuerzos y tomando en cuenta que en este caso no existe $\sigma_{\text{c-t}}$ se tiene que:

$$\sigma_{\text{comp}} = 51.13 \text{ MPa} = \sigma_X$$

$$\sigma_{\text{trac}} = -51.13 \text{ MPa} = \sigma_X$$

De la misma manera determinaremos el esfuerzo cortante a partir de la ecuación 2.11.

$$\tau_{xy} = \tau_{\text{corte}} - \tau_{\text{torsión}} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde:

τ_{xy} = Esfuerzo cortante (MPa).

$\tau_{\text{torsión}}$ = Esfuerzo torsor (MPa).

De la ecuación 2.11 tenemos que:

$$\tau_{xy} = 4.1 \text{ MPa}$$

Tomando en cuenta que en este caso no existe esfuerzo torsor, por las fuerzas que actúan sobre la geometría de la pieza.

Con los parámetros de los esfuerzos normales y cortantes calculados accedemos al software MDSolid para calcular el círculo de Mohr's²⁷.

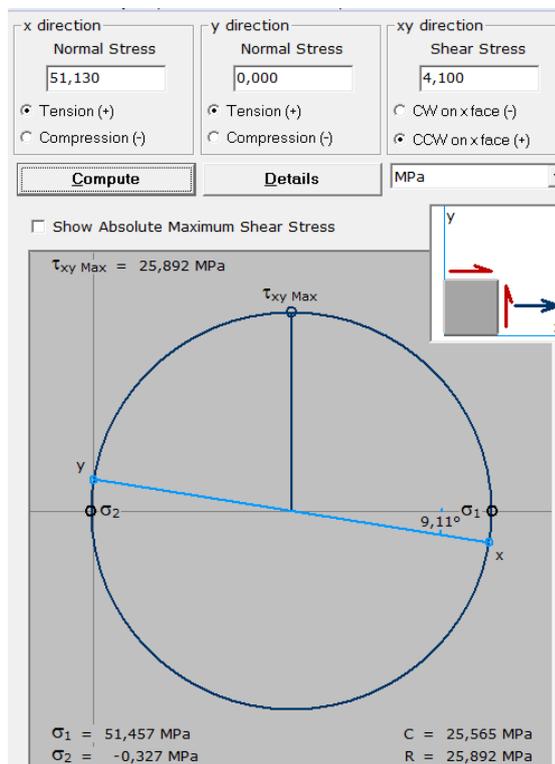


Figura 2.19: Círculo de Mohr's en base a los esfuerzos de la uña de entrada

²⁷ Método gráfico para expresar las relaciones desarrolladas en la sección y visualiza el estado de esfuerzo en un punto.

Con los resultados obtenidos del círculo de Mohr's, determinaremos el factor de seguridad en función del criterio de Von Mises²⁸, con la siguiente expresión.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

σ' = esfuerzo de Von Mises (MPa)

σ_1 = esfuerzo normal máximo (MPa)

σ_2 = esfuerzo normal mínimo (MPa)

Teniendo que el esfuerzo de Von Mises es igual a:

$$\sigma' = \left(\sqrt{51.457^2 - (51.457 * (-0.327)) + (-0.327)^2} \right) \text{MPa}$$

$$\sigma' = 51.62 \text{ MPa}$$

El material seleccionado para la elaboración de la pieza es acero ASTM A36, con las características de la tabla, que se indicada en el ANEXO D - 1. En función al esfuerzo de Von Mises y el límite elástico, determinaremos el factor de seguridad con el que operara la pieza dentro del sistema, mediante la siguiente expresión.

$$FS = \frac{Sy}{\sigma'} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad (sin unidades).

Sy = Limite de tracción del material (MPa)

²⁸ [Criterio de resistencia estática](#), aplicado a materiales [dúctiles](#), según el cual, el material no fluirá en el punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da.

Teniendo como resultado un factor de seguridad según la expresión de:

$$FS = 4.84$$

El valor determinado es permisible y suficiente para el funcionamiento de la pieza en el sistema. Para la comprobación del funcionamiento de la pieza se ha realizado una verificación en el software de diseño SolidWorks, en donde mediante el análisis esfuerzos podremos determinar en una escala de colores los puntos más críticos, donde que el color rojo señala la parte más crítica, como se muestra en la figura 2.20.

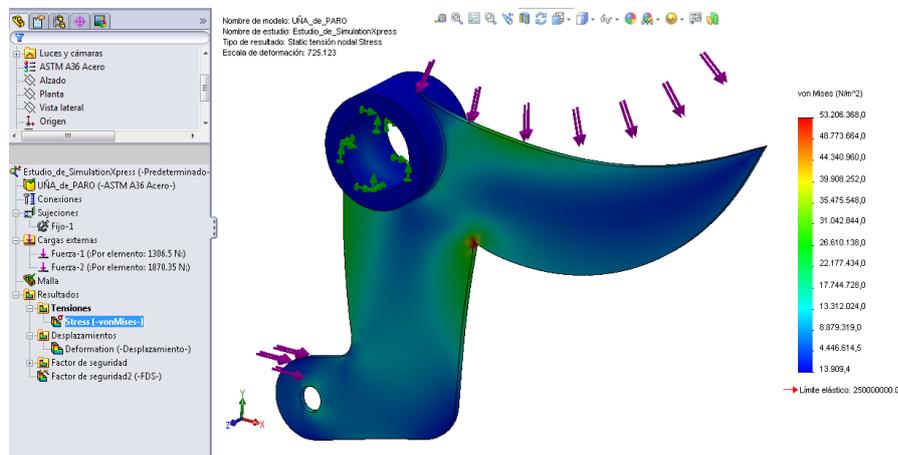


Figura 2.20: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la uña de entrada

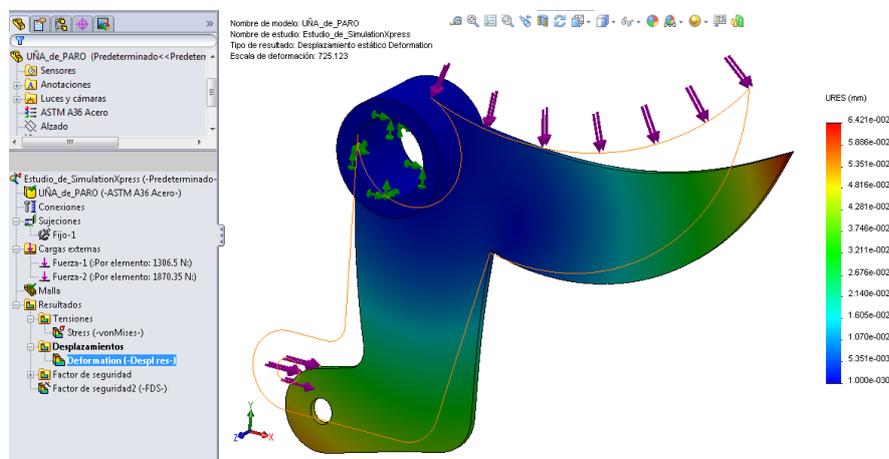


Figura 2.21: Análisis de deformación elástica de la uña de entrada

La deformación máxima de la pieza se puede identificar en las zonas que se encuentran marcadas con color rojo, con su respectiva escala de deformación que se encuentra en la parte derecha de la figura 2.21.

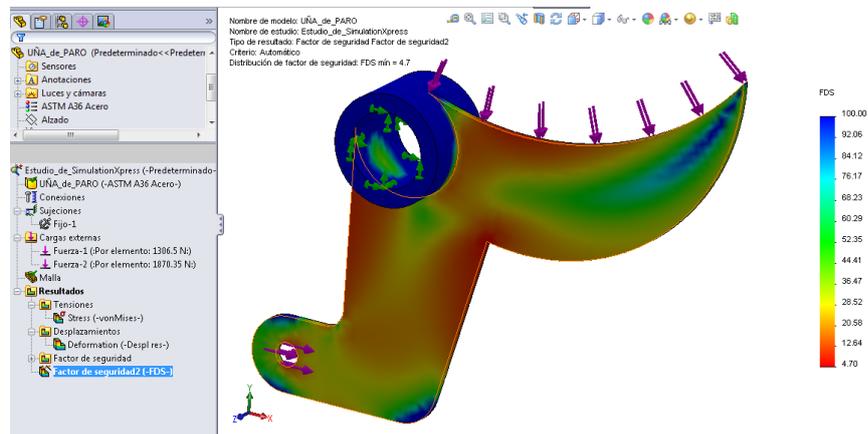


Figura 2.22: Factor de seguridad de la uña de entrada

Con el factor de seguridad calculado en comparación con el obtenido mediante la simulación de esfuerzos en el software tenemos valores aproximados. El factor de seguridad en la simulación es de 4.7.

2.2.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LAS UÑAS DE RETIRO DE MATERIAL A LA SALIDA DEL MODULO DEL CONTADOR.

La geometría que presentan las uñas de salida está dada de tal forma que recoja el peso del material y la encarrile a la siguiente etapa del contador en un grupo compacto.

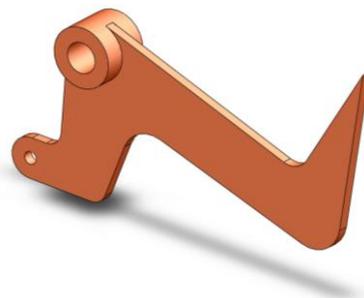


Figura 2.23: Geometría de diseño de la uña de salida

En la figura 2.24, se muestra gráficamente la funcionalidad de la uña de salida en el sistema ya que su tarea dentro del sistema es acarrear la varilla que ya fue contada en un solo paquete y transferirla hacia el siguiente paso de ejecución en el proyecto. Una vez que la pieza cumplió con su ciclo debe retornar a su posición inicial sin interferir con las tareas que ejecutara el contador, en los tiempos señalados para su ejecución.

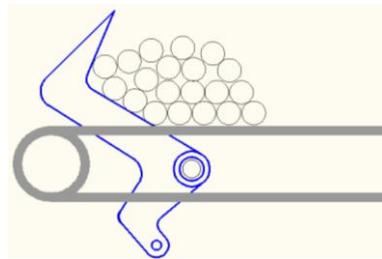


Figura 2.24: Funcionalidad de la uña de salida

Para que la uña de salida ejecute su función debe recorrer un ángulo de 50° . Para lo cual el mecanismo será accionado por un pistón que debe proporcionar un desplazamiento lineal de 150 mm.

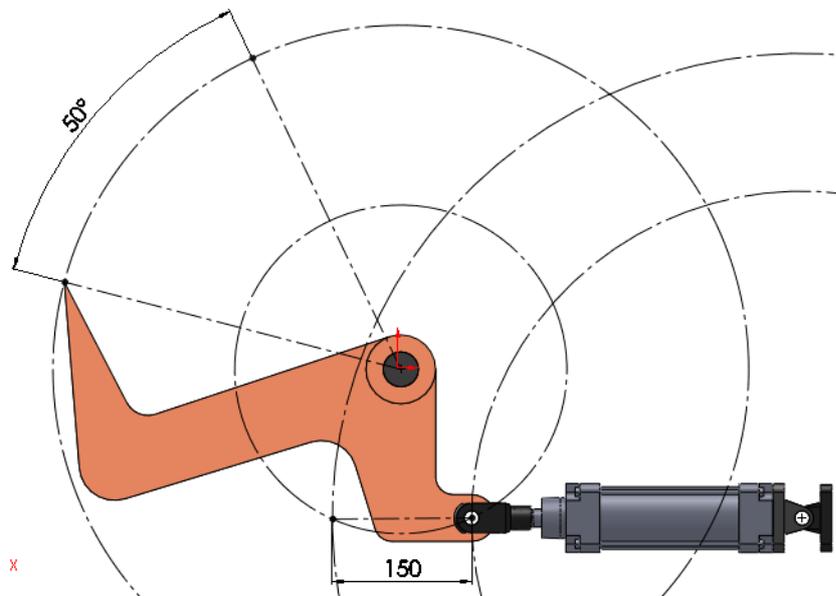


Figura 2.25: Punto inicial del desplazamiento del mecanismo de la uña de salida

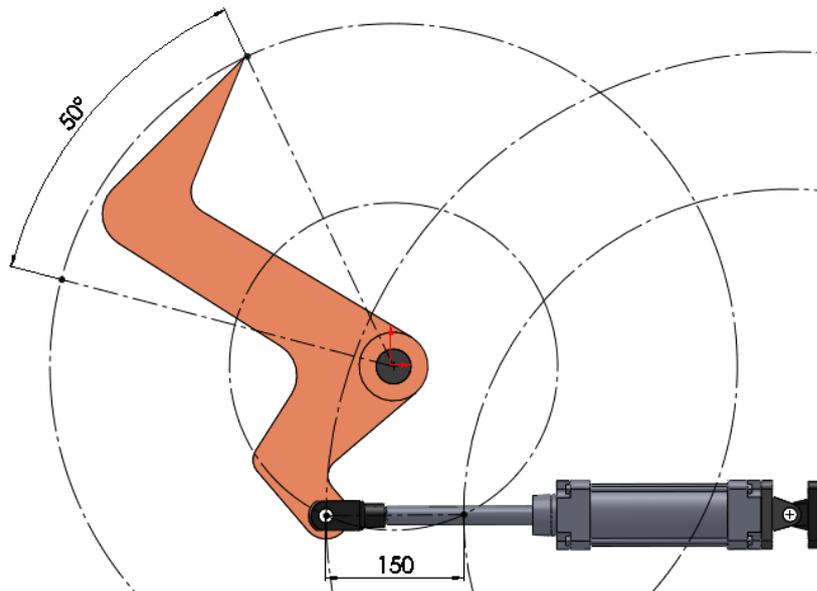


Figura 2.26: Punto final del desplazamiento del mecanismo de la uña de salida

Con el desplazamiento señalado se asegura la transferencia del producto hasta el siguiente módulo, para que se realice posteriormente el empaquetado.

El paquete contado será de una tonelada en todos los productos de varilla corruga para lo cual se seccionara el paquete en 4 partes al igual que en el caso de la uña de entrada referenciando a cada sección con un peso de 250 Kg, debido a la flexión del material en su caso extremo que es la varilla corrugada de 36 mm de diámetro.

a. SELECCIÓN DEL PISTÓN DE ACCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE LAS UÑAS DE SALIDA.

Al igual que en la uña de entrada se dispone de una presión de aire de 6 Bar. Para el accionamiento del pistón en la figura 2.27 haremos referencia a las cargas que debe soportar la pieza y que delimitaran el pleno funcionamiento de la misma con la selección adecuada del dispositivo de movimiento.

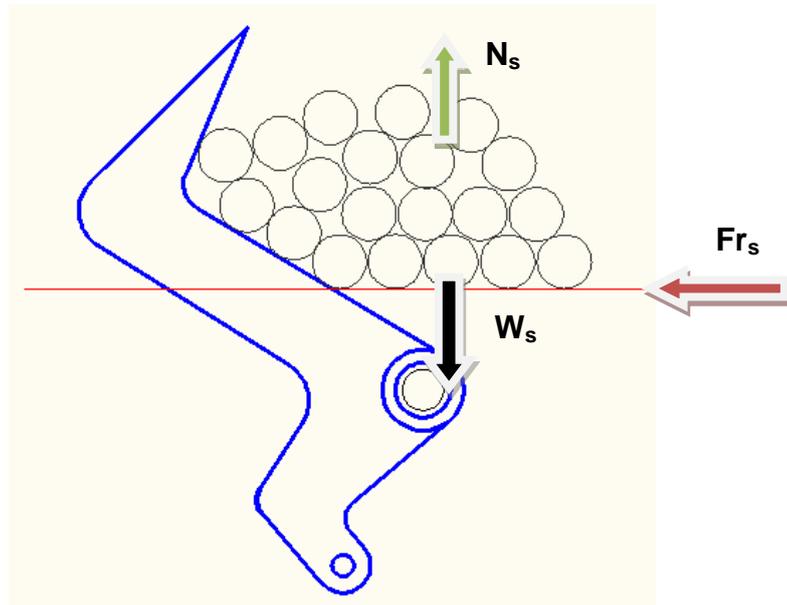


Figura 2.27: Fuerzas que determinan el dispositivo de movimiento del pistón

Donde:

W_s = peso de los elementos en la uña de salida (N).

F_{rs} = fuerza de rozamiento de los elementos con respecto a la superficie de arrastre (N).

N_s = fuerza normal ejercida por la superficie sobre el cuerpo (N).

Por medio de la ecuación del peso señalada anteriormente, calculamos el peso del paquete de varilla.

$$W_s = 9800 \text{ N}$$

La fuerza normal es igual al peso del cuerpo debido a que, la fuerza normal es la reacción de la superficie sobre el cuerpo.

$$N_s = W_s$$

Con los datos obtenidos y señalados obtenemos la fuerza de rozamiento, con los parámetros establecidos tomando en cuenta que la varilla se

desliza sobre hierro seco, tomando el mismo coeficiente de rozamiento como parámetro para el siguiente calculo.

$$F_{rs} = 1862 \text{ N aproximado } 2000 \text{ N}$$

Dividimos la fuerza de rozamiento obtenida para cuatro secciones del paquete que actuaran sobre cada uña en ejecución de su trabajo, debido a la flexión del material.

$$F_{r_{xs}} = 500 \text{ N}$$

Con estos datos determinaremos la fuerza que deberá aplicar el pistón para la ejecución del mecanismo, en función de sus características y esfuerzos aplicados sobre la pieza.

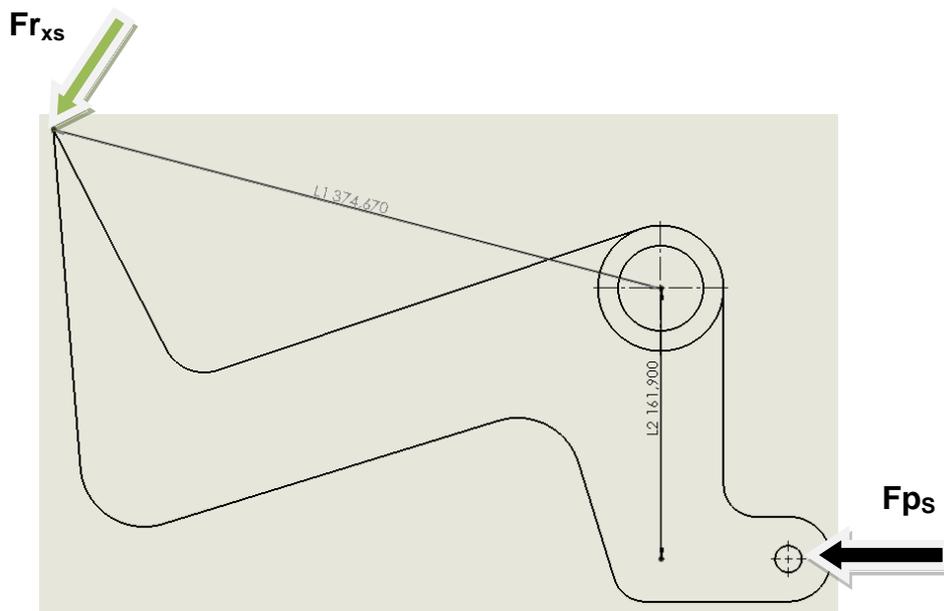


Figura 2.28: Fuerzas y distancias principales en la uña de salida

Donde:

F_{ps} = fuerza del pistón de salida (N).

$L1$ y $L2$ = distancias de los extremos de puntales de ejecución de la fuerza al eje de movimiento (mm).

Tomando en cuenta que los momentos son iguales entablamos la siguiente relación para encontrar la fuerza del pistón de salida.

$$\frac{Fp_s}{Fr_{xs}} = \frac{L1}{L2}$$

$$Fpe = 1157.1 \text{ N}$$

Con los datos de la presión y fuerza que debe ejercer el pistón para el mecanismo con la fórmula de presión determinamos el diámetro del embolo del pistón.

$$\emptyset = 49.55 \text{ mm}$$

En base al manual de METAL WORK presente en el ANEXO C - 1 del pistón serie ISO 15552 se tomo una aproximación confiable para la designación del diámetro del embolo del pistón estándar en 63 mm.

La velocidad requerida para la operación es de 0.75 segundos por acción de salida, la verificación del sistema viene dada por las siguientes expresiones.

Teniendo como datos:

$$\theta_s = 50^\circ = 0.873 \text{ rad}$$

$$Ts = 0.75 \text{ segundos}$$

Donde:

θ_s = Recorrido angular de la uña de salida.

Ts = Tiempo de ejecución de salida del pistón.

Con los datos señalados anteriormente calcularemos la velocidad angular ω_s de la uña de salida, con la ecuación 2.4.

$$\omega_s = 1.164 \text{ rad/seg}$$

Con la multiplicación de la velocidad angular con la longitud del brazo de la uña determinaremos la velocidad lineal V_s a la cual deberá accionarse el pistón, por la extensión del brazo del mecanismo igual a 161.9 mm, con la ecuación 2.5.

$$V_s = 0.1883 \text{ m/s}$$

El pistón deberá salir a una velocidad de 0.1883 m/s para ejecutar la acción del mecanismo en un tiempo establecido para cumplir con el periodo de separación.

Con referencia a la tabla 2.1 que indica las velocidades máximas del pistón referenciamos al diámetro de 63 mm con su velocidad máxima mayor a la velocidad de ejecución del pisto seleccionado.

La velocidad de entrada del pistón no es gravitante tomando en cuenta que el sistema debe estar retraído totalmente para empezar el nuevo ciclo en el tiempo estimado.

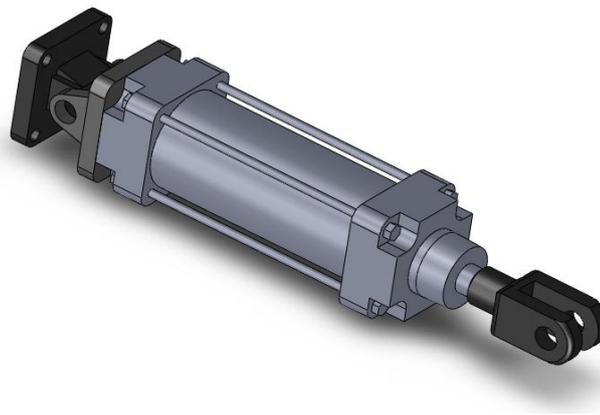
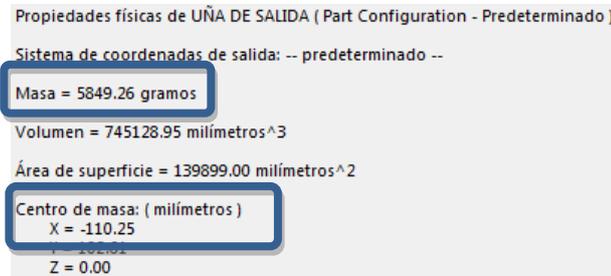


Figura 2.29: Cilindro de diámetro de embolo 63 mm y 150 mm de carrera

b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS UÑAS DE SALIDA.

En base a las características del sistema se conserva el factor de seguridad igual o mayor a 4 y los datos para el análisis de esfuerzos se

toma referencia en las características de la pieza, en el software SolidWorks.



Fuerzas que actúan sobre la uña de salida, con la función de transferir al material hasta el siguiente modulo.

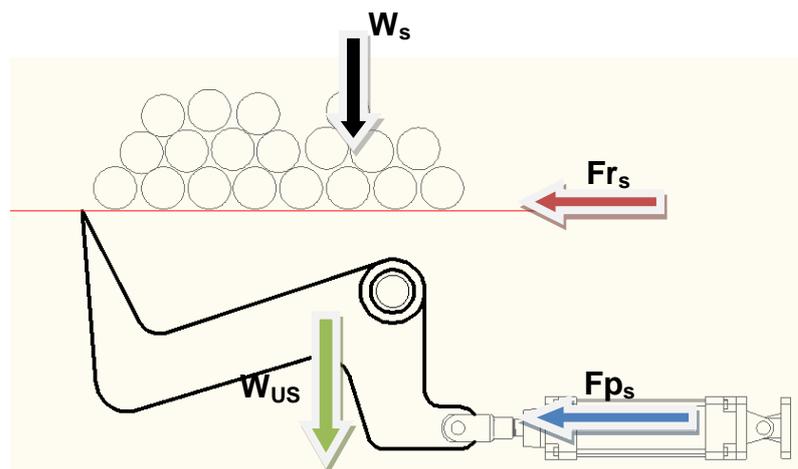


Figura 2.30: Fuerzas que actúan sobre la uña de salida

Donde:

W_s = peso de los elementos en la uña de salida (N).

F_{rs} = fuerza de rozamiento de los elementos con respecto a la superficie de arrastre en la salida del contador (N)

F_{p_s} = fuerza ejercida por el pistón (N)

W_{US} = peso de la uña de salida (N)

Con el diámetro estándar del cilindro y la ecuación 2.3, determinamos la fuerza del pistón ejercida sobre los elementos que ya fueron contados y que necesitan ser desplazados al siguiente paso.

$$F_{p_s} = 1870.74 \text{ N}$$

Para hacer el análisis de la viga transferiremos la fuerza máxima del pistón F_{p_s} al extremo que ejecuta la acción mediante la siguiente relación.

$$\frac{F_{p_s}}{P_1} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$P_1 = 836.71 \text{ N}$$

Donde:

P_1 = fuerza cortante en el extremo de la uña (N).

Para el análisis del diagrama de cuerpo libre de la pieza debemos tomar en cuenta el peso de la viga, en base a la ecuación 2.1 dándonos como resultado.

$$W_{US} = 57.38 \text{ N}$$

Donde:

W_{US} = peso de la uña de salida (N).

La pieza se analizara como una viga en voladizo como se muestra en la figura 2.31, $W_{US} = P_2$ en relación a la grafica y está ubicado a 110.25 mm con respecto al extremo fijo.

Con el software MDsolid²⁹ determinaremos los diagramas de cortantes y momentos flectores como se muestra en las figuras 2.32 y 2.33 respectivamente.

²⁹ Software de simulación de esfuerzos.

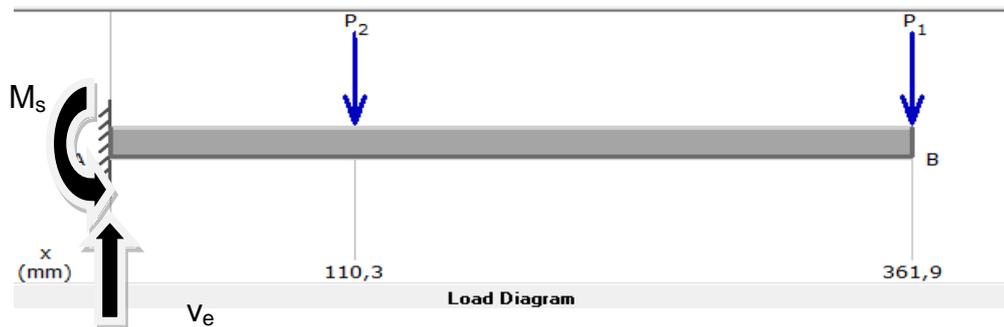


Figura 2.31: Diagrama de cuerpo libre (uña de salida)

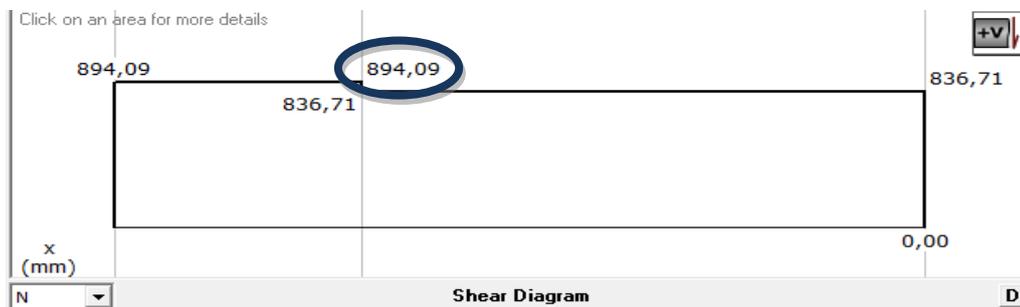


Figura 2.32: Diagrama de fuerzas cortantes (uña de salida)

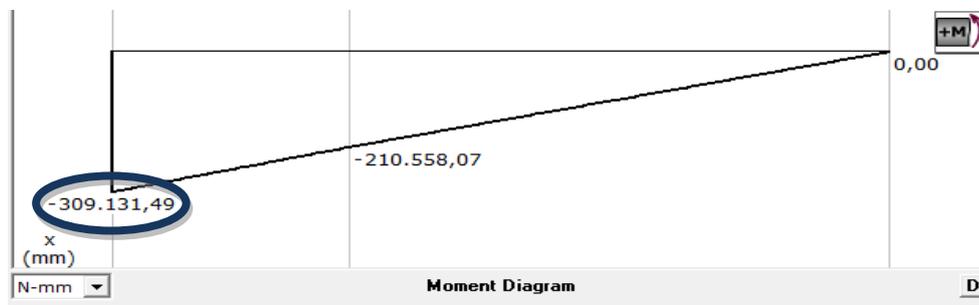


Figura 2.33: Diagrama de momento flector (uña de salida)

Para comprobar los valores indicados en las graficas de los momentos máximos, realizaremos la sumatorias de fuerzas y momentos.

Sumatoria de fuerzas.

$$+ \rightarrow \Sigma F_x = 0 ; \text{ No existen fuerzas en el eje } x.$$

$$+ \uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$V_s = P_1 + P_2$$

$$V_e = 894.09 \text{ N} = P_s$$

Donde:

V_s = fuerza cortante máxima (Newton).

Sumatoria de momentos.

$$+ \curvearrowright \Sigma M = 0$$

$$M_s = M_1 + M_2$$

$$M_s = 309.13 \text{ Nm}$$

Para determinar el factor de seguridad con el que trabajara el elemento dentro del sistema, realizaremos los siguientes cálculos.

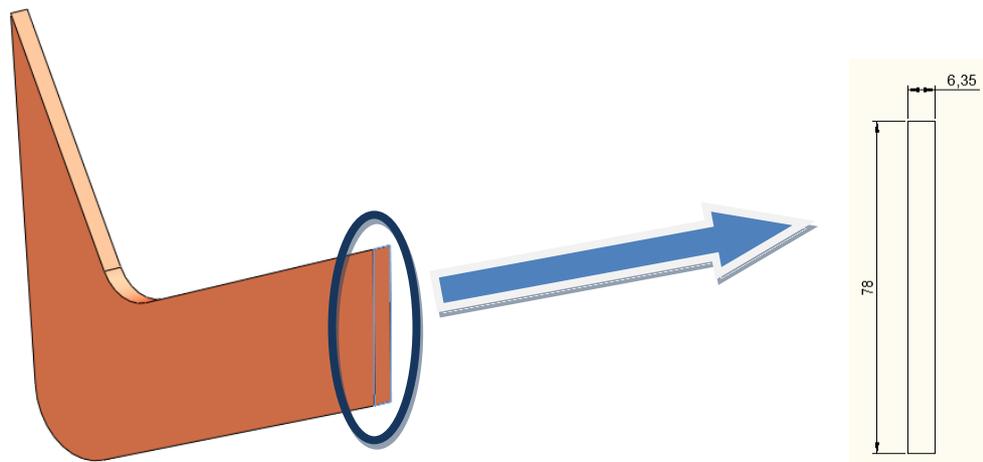


Figura 2.34: Dimensiones del corte de la uña de entrada (esfuerzo máximo)

$h_s = 78 \text{ mm}$ Altura de la uña de salida

$b_s = 6.35 \text{ mm}$ Ancho de la uña de salida

Al igual que el separador de entrada la pieza está sometida a esfuerzo flector y de corte.

Mediante la ecuación 2.7 calcularemos el modulo resistente de sección de la pieza con los datos que se muestran en la figura 2.35.

$$Z = \frac{(6.35 * 10^{-3} \text{m}) \times (0.078 \text{m})^2}{6}$$

$$Z = 6.44 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

Con los parámetros calculados y determinados en la figura 2.33, determinamos el esfuerzo flector mediante la ecuación 2.6, dando como resultado.

$$\sigma_{\text{flex}} = \pm \frac{309.13 \text{ Nm}}{6.44 \times 10^{-6} \text{m}^2}$$

$$\sigma_{\text{flex}} = \pm 48 \text{ MPa}$$

Por medio de la ecuación 2.8 determinaremos el esfuerzo cortante a la que está sometida la pieza dando como resultado.

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{3(894.09) \text{N}}{2(4.95 \times 10^{-4}) \text{m}^2}$$

$$\tau_{\text{corte}} = 2.7 \text{ MPa}$$

En función de los esfuerzos calculados, determinaremos los esfuerzos normales mediante las ecuaciones 2.9 y 2.10, tomando en cuenta que la pieza no está sometida a tracción ni a compresión dando como resultado.

$$\sigma_{\text{comp}} = 48 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\sigma_{\text{trac}} = -48 \text{ MPa} = \sigma_x$$

De la misma manera determinaremos el esfuerzo cortante a partir de la ecuación 2.11. Tomando en cuenta que la pieza no está sometido a esfuerzo torsor.

$$\tau_{xy} = 2.7 \text{ MPa}$$

Con los parámetros de los esfuerzos normales y cortantes calculados, con la ayuda del círculo de Mohr's encontramos los esfuerzos principales de la UÑA DE SALIDA que se indican en el ANEXO E.

De los parámetros obtenidos en el círculo de Mohr's determinaremos el factor de seguridad en función del criterio de Von Mises, mediante la ecuación 2.12.

$$\sigma' = \left(\sqrt{48,151^2 - (48,151 * (-0,151)) + (-0,151)^2} \right) \text{MPa}$$

$$\sigma' = 48,23 \text{ MPa}$$

En función del criterio de Von Mises obtenido y las características del material establecidos en la tabla del ANEXO D - 1, calcularemos el factor de seguridad mediante la ecuación 2.13. Tomando en cuenta que es el mismo material que le de la uña de entrada.

$$FS = 5.18$$

En la figura 2.35 se indica el diagrama de esfuerzos del material mediante simulación, tomando en cuenta todos los factores físicos.

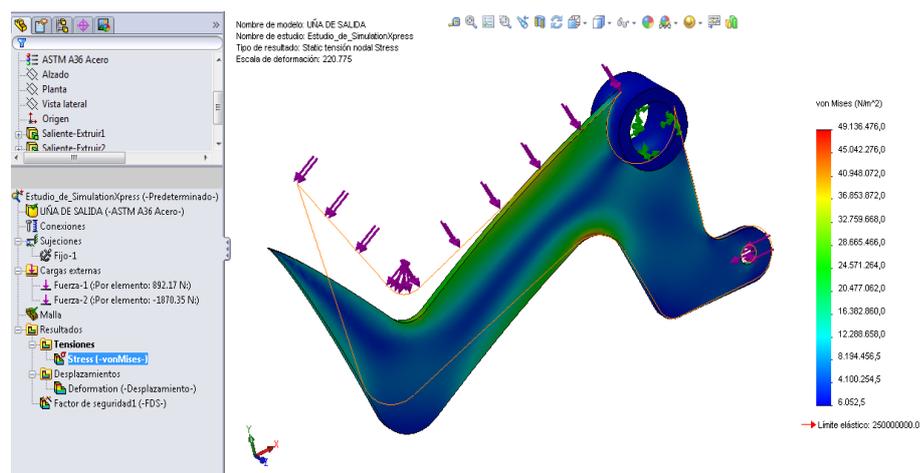


Figura 2.35: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la uña de entrada

En la figura 2.36 se muestra la deformación de la pieza en una escala de colores en donde el color rojo muestra la deformación máxima.

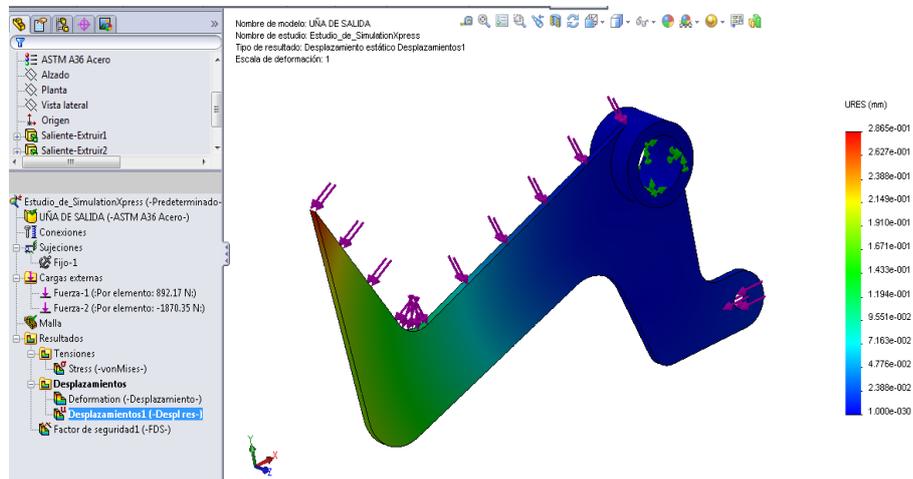


Figura 2.36: Análisis de deformación elástica de la uña de salida

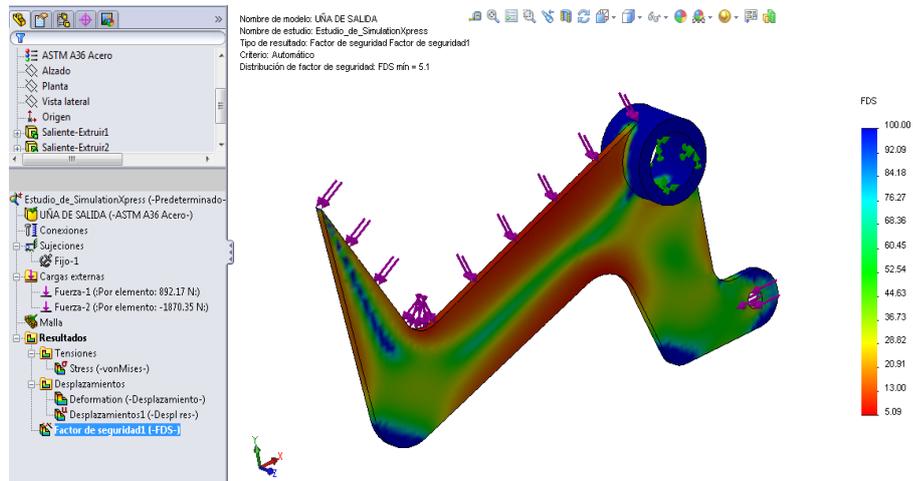


Figura 2.37: Factor de seguridad de la uña de salida

En la figura 2.37 se puede determinar el factor de seguridad mediante el software de diseño en donde nos indica que es igual a 5.1 aproximado al valor calculado lo que nos indica que los cálculos están bien realizados y la pieza va a desempeñar un trabajo seguro, dentro de los parámetros de diseño establecidos.

2.2.3 CONSUMO DE AIRE EN EL SEPARADOR DE VARILLA CORRUGADA.

Para el separador de la varilla se utilizara una fuente neumática la cual dotará de velocidad al sistema en los tiempos requeridos, de la que tendremos una presión de 6 Bar en la línea de entrada al transferidor y contador, los factores impulsan a un consumo de aire detallado en las siguientes operaciones.

Para el pistón de 150 mm de carrera se tiene dos consumos de salida y entrada del vástago, por medio de la siguiente expresión de volumen de un cilindro.

$$V = \frac{\pi}{4} * L_{carrera} * \emptyset^2 \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

$L_{carrera}$ = carrera del pistón (m).

\emptyset = diámetro de la cámara del pistón (m).

Aplicando la ecuación al sistema determinaremos el volumen de la cámara del pistón al ejecutarse la salida del émbolo.

$$VS_{SALIDA} = 4.67587 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

En la ejecución del segundo tiempo del pistón que es la entrada, calcularemos el volumen tomando en cuenta la cavidad del vástago que según los manuales se tiene que el diámetro es igual a 20 milímetros.

$$VS_{VASTAGO} = 4.7124 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Al restar el VS_{SALIDA} con respecto al volumen $VS_{VASTAGO}$, se tendrá el volumen de retracción del pistón dando como resultado.

$$VS_{ENTRADA} = VS_{SALIDA} - VS_{VASTAGO}$$

$$VS_{ENTRADA} = 4.20463 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Al tomar un valor de consumo total de aire VS_{TOTAL} por ejecución del accionamiento del pistón en todo su ciclo se debe sumar VS_{SALIDA} y $VS_{ENTRADA}$.

$$VS_{TOTAL} = VS_{SALIDA} + VS_{ENTRADA}$$

$$VS_{TOTAL} = 8.8805 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Al volumen total de consumo de aire por ejecución del pistón en sus dos etapas, se debe multiplicar por 28 unidades que servirán para el accionamiento de las uñas de entrada dando un volumen de consumo VS_{TE} de.

$$VS_{TE} = VS_{TOTAL} * 28$$

$$VS_{TE} = 0.02487 \text{ m}^3$$

De la misma forma y utilizando la misma ecuación analizaremos el volumen de consumo de aire en los pistones que accionan el mecanismo de entrada del material.

Como primera parte calcularemos el consumo para la salida del pistón VE_{SALIDA} . Tomando en cuenta que el diámetro en los mecanismos de entrada y de salida son los mismos.

$$VE_{SALIDA} = 3.7407 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

De la misma manera calculamos el volumen que ocupa el vástago dentro de la cavidad de la cámara $VE_{VASTAGO}$.

$$VE_{VASTAGO} = 3.77 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Para obtener el volumen de consumo de aire en la retracción del pistón $VE_{ENTRADA}$ se debe aplicar la diferencia mencionada anteriormente.

$$VE_{ENTRADA} = VE_{SALIDA} - VE_{VASTAGO}$$

$$VE_{ENTRADA} = 3.3637 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Para obtener el consumo total de aire en los dos estados del pistón se debe sumar VE_{SALIDA} y $VE_{ENTRADA}$ para obtener VE_{TOTAL} .

$$VE_{TOTAL} = VE_{SALIDA} + VE_{ENTRADA}$$

$$VE_{TOTAL} = 7.1044 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

El mecanismo total consta de 28 elementos por lo cual al valor VE_{TOTAL} de se debe multiplicar por 28 para sacar el consumo total VE_{TE} .

$$VE_{TE} = VE_{TOTAL} * 28$$

$$VE_{TE} = 0.01989 \text{ m}^3$$

Al inicio del sistema se tiene un separador inicial que consta de un pistón de carrera de 250 mm y un diámetro del émbolo igual a 63 mm de donde se tiene aplicando los conceptos anteriores que el volumen de consumo de aire es de.

$$VI_{TOTAL} = 1.48 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

El valor total de consumo de aire en el separador de varilla $V_{SEPARADOR}$ resulta de la suma de los valores de cada etapa calculados anteriormente.

$$V_{SEPARADOR} = VS_{TE} + VE_{TE} + VI_{TOTAL}$$

$$V_{SEPARADOR} = 0.04624 \text{ m}^3$$

El ritmo de producción estimada es de 40 toneladas por hora lo que quiere decir que el sistema se accionara 40 veces en una hora por lo cual el consumo de aire es igual.

$$Q_S = V_{SEPARADOR} * 40$$

$$Q_S = 1.8496 \text{ m}^3/\text{hora}$$

2.2.4 ELEMENTO DE CONTROL FINAL DE LOS ACTUADORES DEL MECANISMO.

Para este proyecto se tendrá que diseñar un sistema neumático que controle la secuencia de los pistones de las uñas de paro y de salida respectivamente, para el separador de la varilla corrugada. Se detallara la selección de las electroválvulas, en base a los requerimientos.

La serie seleccionada según el catálogo de la marca Metal Work detallado en el ANEXO C - 2, es la válvula:

SOV 35 SOS OO

Descrita de la siguiente manera:

SOV 35 SOS OO

El sistema requiere de un control eléctrico para la parte mecánica, por lo cual se ha seleccionado válvulas electroneumáticas³⁰.

SOV = electroneumáticas.

Para la selección del racor³¹ se debe entablar las siguientes relaciones, en base a la descripción técnica del ANEXO C - 2, se tiene que el caudal con un racor de ¼" es igual a 750 NI/min a 6 Bar de presión, donde en función del volumen de consumo del cilindro de carrera 150 mm y 120 mm,

Se calculará el caudal para verificar la selección del racor de la válvula. Mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 2.15}$$

³⁰ Dispositivo que maneja como fuente energética el aire comandado de manera eléctrica.

³¹ Pieza metálica con dos roscas internas en sentido inverso que sirve para unir tubos y otros perfiles cilíndricos.

Donde:

Q = Caudal del fluido (m³/s).

V = Volumen del fluido (m³).

t = Tiempo de circulación del fluido en una cavidad (s).

Mediante la ecuación 2.15 tenemos el caudal de aire a la salida del pistón con los dos tipos de carreras señaladas, tomando en cuenta que el tiempo de acción en los dos casos es de 0.75 s, para alcanzar los requerimientos del sistema, tenemos.

$$Q_{150} = 2.25 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} = 37.82 \text{ NI/min}$$

$$Q_{120} = 1.8 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} = 29.93 \text{ NI/min}$$

Para el caso de los separadores utilizaremos una válvula para controlar un pistón de 150 mm de carrera y uno de 120 mm de carrera por lo cual sumaremos los caudales dando nos como resultado:

$$Q_T = 67.75 \text{ NI/min}$$

El valor indicado es menor al limitante que se encuentra en el ANEXO C - 2, lo que quiere decir que la dimensión del racor es adecuado para el sistema.

SOV 35 SOS OO

3 = dimensión del racor ¼".

SOV 35 SOS OO

5 = función 5/2.

El número 5 indica que es una válvula 5/2, esto nos indica que tiene 5 vías 2 posiciones, necesarias para poder obtener un control total sobre el pistón doble efecto que se desea manipular, la distribución de este tipo de válvulas se muestra en la figura 2.38, el control de retorno de la válvula es mecánico por medio de un resorte.

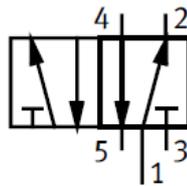


Figura 2.38: Símbolo de la electroválvula 5/2

El control de la válvula se lo realiza por medio de una solenoide que para este caso se escogió a 24 Vdc por la factibilidad de control que se obtiene directamente desde el controlador.

SOV 35 SOS OO

SO = solenoide.

Este parámetro indica que se accionara por medio de un solenoide a la posición determinada.

SOV 35 SOS OO

S = resorte mecánico.

Para el sistema no es necesario tener un control de posición inmediato al retorno de los dispositivos de separación por lo que se ha seleccionado una válvula con retorno por resorte.

SOV 35 SOS OO

OO = 5/2.

Descripción extra de la funcionalidad de la válvula.

2.2.5 SELECCIÓN DE RACORES Y MANGERA DE CONDUCCIÓN NEUMÁTICA.

En base a la toma seleccionada en la válvula y a las características estándar de los pistones se debe seleccionar los siguientes dispositivos de conexión como son los racores y la manguera de conducción neumática, teniendo el circuito de la figura 2.39 de manera general, y la ubicación de los dispositivos dentro del sistema.

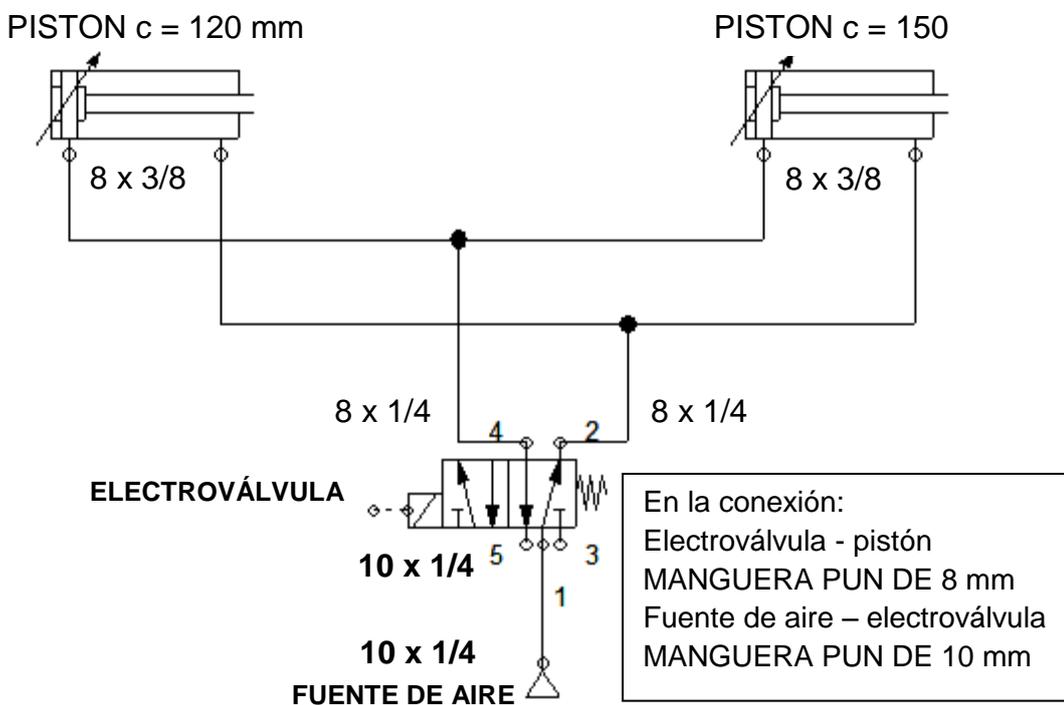


Figura 2.39: Circuito general de la función neumática en la aplicación

En base a las características estándar de los materiales según en el catálogo y tomando en cuenta que no afecte a los requerimientos del sistema se a enlistado los materiales de unión y conductores neumáticos, tomando en cuenta la posición de los elementos del circuito neumático para la selección de la forma de los materiales.

Racor codo	8 x 3/8
Racor codo	8 x 1/4

Racor codo	10 x 1/4
Racores rectos	10 x 1/4
Unión T	8 mm
Manguera PUN	8 mm
Manguera PUN	10 mm

Los elementos mencionados se utilizaran para cada mecanismo nombrado anteriormente.

a. DISEÑO DEL PULMÓN ACUMULADOR DE PRESIÓN.

Debido al consumo de aire que tiene el sistema y a las caídas de presión que existen en la línea principal al accionar el mecanismo se ha implementado un pulmón acumulador de presión, como se muestra en la figura 2.40.

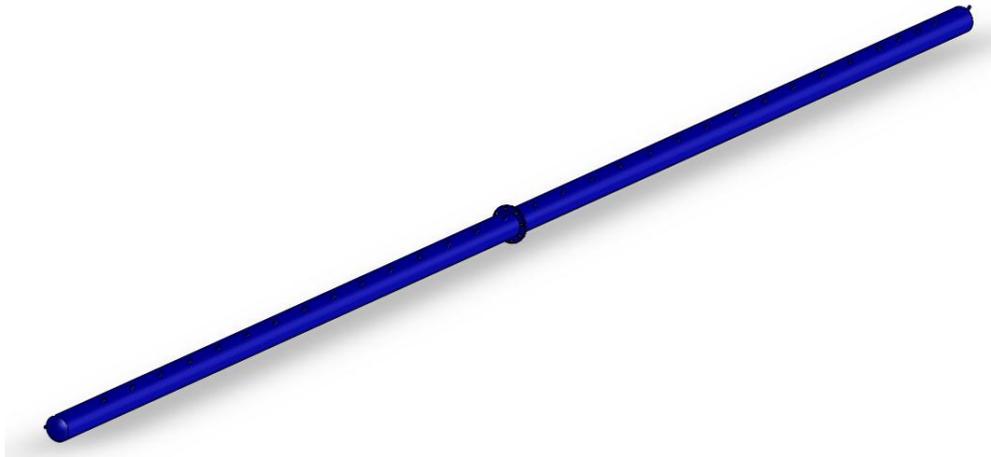


Figura 2.40: Pulmón acumulador de presión

Las dimensiones de los elementos conformantes son dos tubos de 201.7 mm, de 6 m de longitud por un espesor de pared de 8.2 mm, equivalente a un tubo cedula 40, para la construcción del pulmón se han unido dos tubos por medio de una brida. En función de los parámetros la capacidad volumétrica del pulmón es de 0.38 m³.

Como se menciona anteriormente la presión que maneja el sistema es de 6 Bares, el tubo cédula 40 de 201.7 milímetros de diámetro soporta hasta 160 psi equivalentes a 11.03 Bares³².

2.2.6 DISEÑO DE LAS BASES DE SUJECIÓN DE LOS PISTONES DE ENTRADA Y DE SALIDA

Los pistones de entrada y salida se encuentran sujetos a una viga que soporta esfuerzos, resultado de la reacción a la fuerza aplicada en el mecanismo.

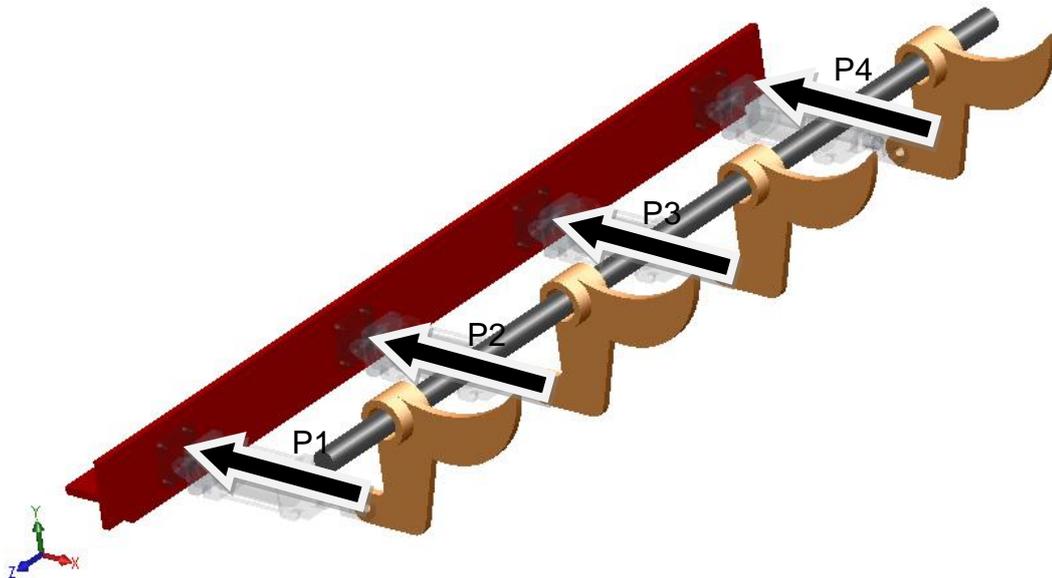


Figura 2.41: Fuerzas que actúan sobre el sostén de los pistones

$$P1 = P2 = P3 = P4 = 1870.34 \text{ N}$$

Los valores de las fuerzas son iguales debido a la reacción que debe ejercer la pieza, para crear el impulso que se requiere para el movimiento del mecanismo. El factor de seguridad establecido para esta pieza tomando en cuenta su funcionalidad es de 2 en función de criterio de factor de seguridad para soportes de elevadores.

³² http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3801

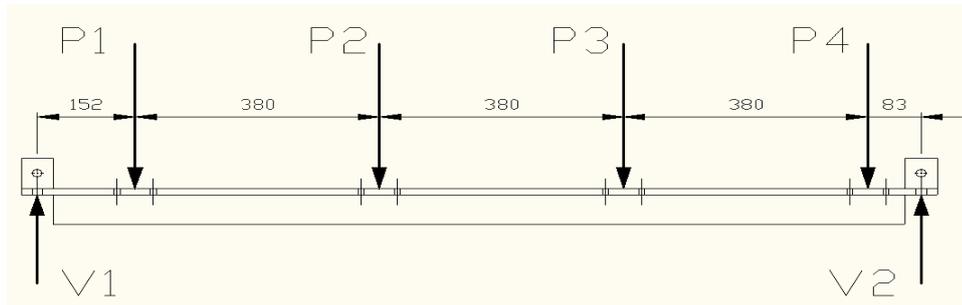


Figura 2.42: Diagrama de cuerpo libre (sostén de los pistones)

A la pieza se la puede relacionar como una viga que se encuentra sujeta en sus extremos con sus fuerzas aplicadas en los puntos señalados, con la ayuda del software MDSolid determinaremos el diagrama de fuerzas y el diagrama de momentos, representados en las figuras 2.43 y 2.44.

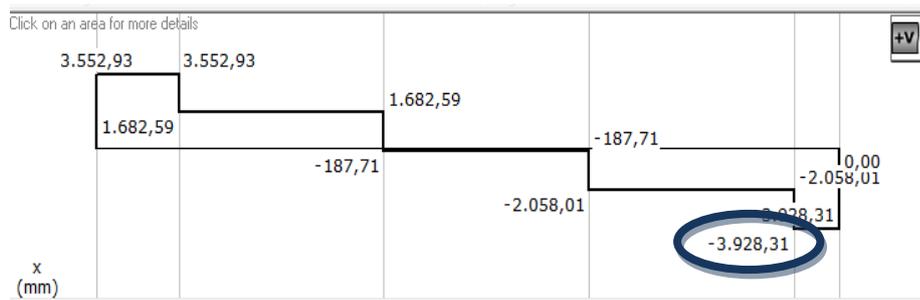


Figura 2.43: Diagrama de fuerzas cortantes (sostén de pistones)

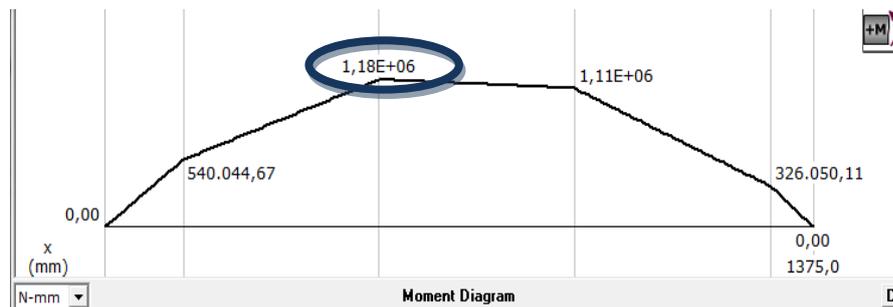


Figura 2.44: Diagrama de momento flector (sostén de pistones)

Una vez obtenido los diagramas de fuerzas cortantes y de momentos flectores realizaremos el análisis con los máximos correspondientes a cada gráfica.

$$V_{\text{máx}} = 3928.31 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 1180 \text{ Nm}$$

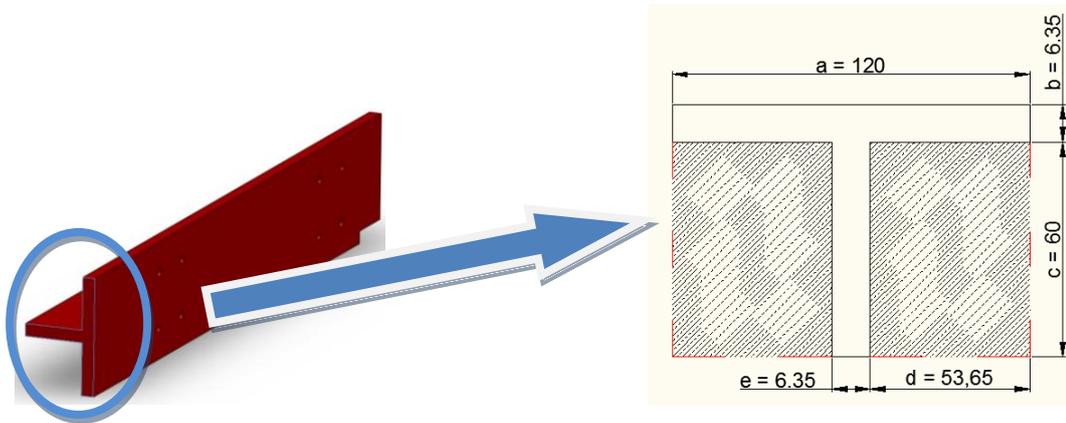


Figura 2.45: Corte transversal del sostén de los pistones

Para empezar con el diseño calcularemos los momentos de inercia³³ tomado en cuenta que es una viga en T compuesta.

$$I_{X_1} = \frac{a \cdot (c+b)^3}{12} \quad \text{Ec.2.16}$$

Donde:

I_{X_1} = Momento de inercia (comprende el perímetro total del perfil de la figura 2.46, con los parámetros establecidos según las dimensiones) (mm^4).

Dando como resultado:

$$I_{X_1} = 2.921 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

De la misma manera utilizaremos la ecuación 2.17 para determinar el momento de inercia de los segmentos resaltados con líneas identificados en la figura 2.45.

³³ Propiedad que tienen los [cuerpos](#) de permanecer en su estado de [reposo](#) o [movimiento](#), mientras no se aplique sobre ellos alguna [fuerza](#).

$$I_{x_2} = 2 * \left[\frac{d * c^3}{12} \right] \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde:

I_{x_2} = Momento de inercia (comprende los segmentos marcados de la figura 2.45, con sus características) (mm^4).

Dando como resultado:

$$I_{x_2} = 2.046 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Para determinar un momento de inercia total I_{x_T} se debe tener la diferencia de los dos calculados en el paso anterior de tal forma que nos quede únicamente de la biga de la estructura.

$$I_{x_T} = I_{x_1} - I_{x_2}$$

$$I_{x_T} = 0.875 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Para el análisis de la pieza se ha dividido en dos secciones su perfil teniendo las siguientes operaciones para expresar los datos de una manera organizada.

COMPONENTES	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	A (mm^2)	$\bar{x}A(\text{mm}^3)$	$\bar{y}A(\text{mm}^3)$
RECTANGULO 1	60	63.175	6.35 * 120	45720	48139.35
RECTANGULO 2	60	30	6.35 * 60	22860	11430
			1143	68580	59569.35

En función de los parámetros obtenidos determinaremos el centro de gravedad de la pieza expresada en (mm).

$$\bar{y}' = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A} = 52.117 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = (c + b) - \bar{y}'$$

$$\bar{y} = 14.23 \text{ mm}$$

Donde:

\bar{y} = centro de gravedad en el eje y (mm)

Con los datos obtenidos calcularemos los esfuerzos a los que se encuentra sometida la pieza, según las fuerzas que actúan sobre la misma.

Mediante la ecuación 2.6 determinamos el momento flector, dando como resultado:

$$\sigma_{flex} = 19.19 \text{ MPa}$$

De la misma manera determinaremos el esfuerzo de corte mediante la ecuación 2.8, dando como resultado:

$$\tau_{cort} = 3.44 \text{ MPa}$$

En función de los esfuerzos calculados a los que se encuentra sometida la pieza, determinaremos los esfuerzos normales mediante las ecuaciones 2.9 y 2.10, tomando en cuenta que la pieza no está sometida a tracción ni a compresión dando como resultado.

$$\sigma_{comp} = 19.19 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\sigma_{trac} = -19.19 \text{ MPa} = \sigma_x$$

De la misma manera determinaremos el esfuerzo cortante a partir de la ecuación 2.11. Tomando en cuenta que la pieza no está sometido a torsión.

$$\tau_{xy} = 3.44 \text{ MPa}$$

Con los parámetros de los esfuerzos normales y cortantes calculados con la ayuda del círculo de Mohr's, calcularemos los esfuerzos principales del SOSTÉN DE LOS PISTONES, con sus valores detallados en el ANEXO E.

En función del criterio de Von Mises establecido en la ecuación 2.12 determinaremos el factor de seguridad, tomando en cuenta que las características del material de la pieza viene dada en la tabla del ANEXO D - 1, con los parámetros obtenidos tenemos que el factor de seguridad es igual:

$$FS = 12.38$$

El factor de seguridad es elevado en comparación a lo requerido, pero se lo utiliza debido a que si se realiza este apoyo con un perfil de menos espesor o geometría no se encuentra apto para el trabajo y en ese caso el factor de seguridad no cumple con lo especificado.

Para comprobar el funcionamiento correcto de la pieza se realizara una simulación tomando en cuenta los parámetros físicos que actúan sobre la misma cuando se encuentra en operación dentro del sistema.

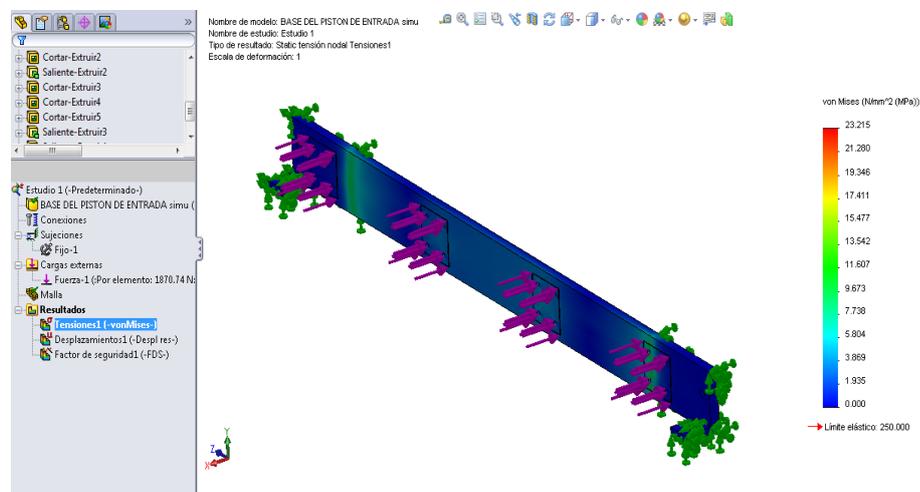


Figura 2.46: Análisis de esfuerzos y puntos críticos del sostén de los pistones.

De la misma manera se puede analizar el desplazamiento de la pieza donde se marca la deformación en una escala de colores siendo el color rojo el desplazamiento máximo en la deformación como se muestran en la figura 2.47.

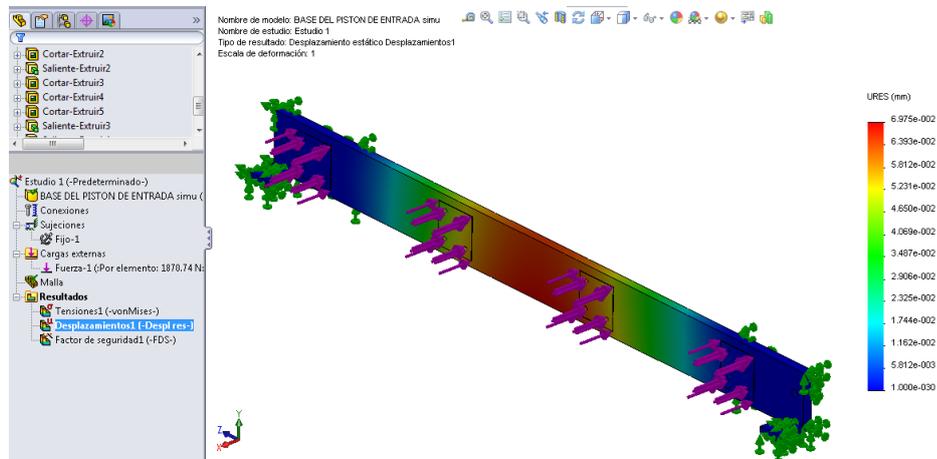


Figura 2.47: Desplazamiento en la deformación del sostén de los pistones

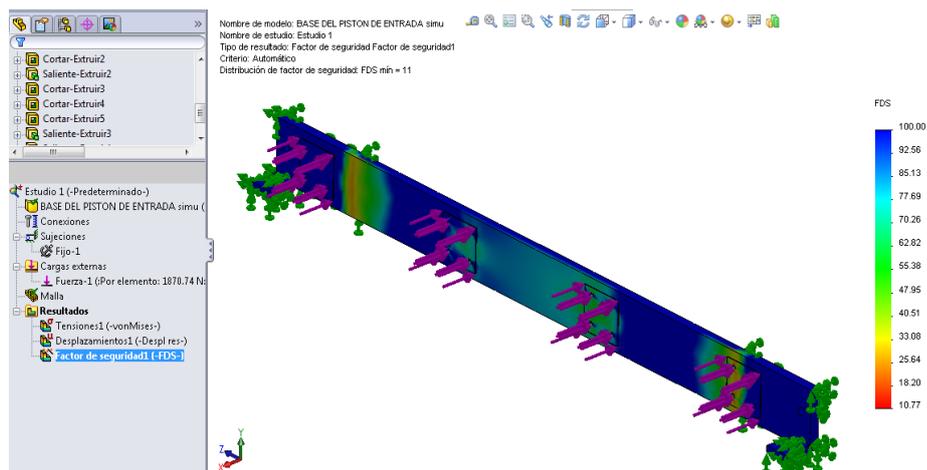


Figura 2.48: Factor de seguridad del sostén de los pistones

El factor de seguridad determinado por el software es de 11 para la pieza, como se muestra en la figura 2.48, corroborando el cálculo realizado.

2.2.7 DISEÑO DEL EJE DE BALANCEO DE LAS UÑAS DE ENTRADA Y SALIDA.

Los ejes forman parte de un punto de equilibrio dentro del mecanismo el cual soporta de forma general una fuerza máxima de 1870.74 N por mecanismo.

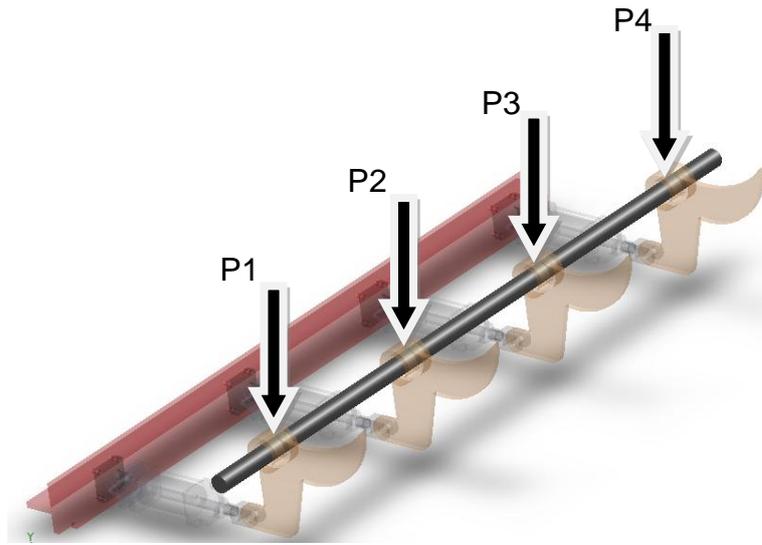


Figura 2.49: Fuerzas aplicadas sobre el eje de balanceo de las uñas de entrada y salida

En cada eje se montan cuatro uñas separadoras con la distribución de fuerzas que se muestran en la figura 2.49.

En la figura 2.50 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje y todas las fuerzas que actúan en el cuerpo.

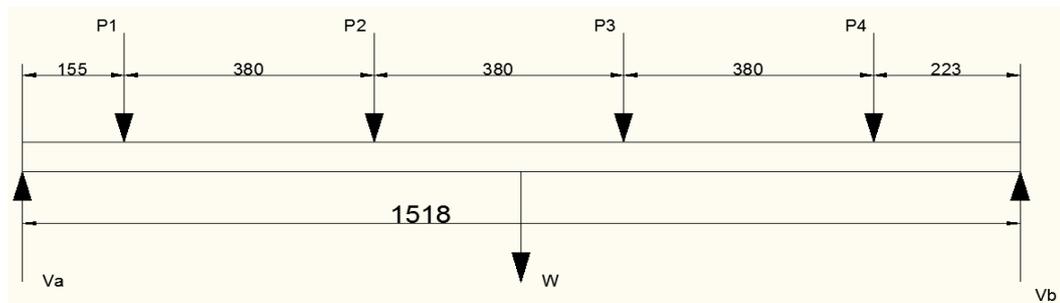


Figura 2.50: diagrama de cuerpo libre del eje de rotación de las uñas

Siendo P1, P2, P3, P4 las fuerzas aplicadas por las uñas sobre la superficie de los ejes, Va y Vb es el sostén del eje en la estructura y W el peso del eje.

$$P1 = P2 = P3 = P4 = 1870.74 \text{ N}$$

La masa del cuerpo en función de las características de diseño se determina por medio del software SolidWork.



En función de la masa y la ecuación 2.1, se tiene que el peso del cuerpo para el análisis de fuerzas es igual a:

$$W = 131.97 \text{ N}$$

La pieza se analizará en función del diagrama, con la ayuda del software MDSolid se determinará la fuerza cortante y el momento máximo, a los que se encuentra sometida la pieza en base a las fuerzas aplicadas estos resultados se presentan en las figuras 2.51 y 2.52, señalando los resultados máximos de fuerzas cortantes y momento flector respectivamente.

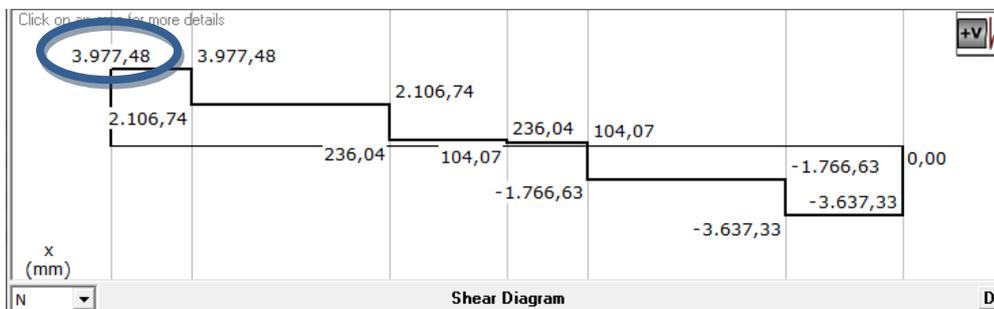


Figura 2.51: Diagrama de fuerzas cortantes (eje de rotación)

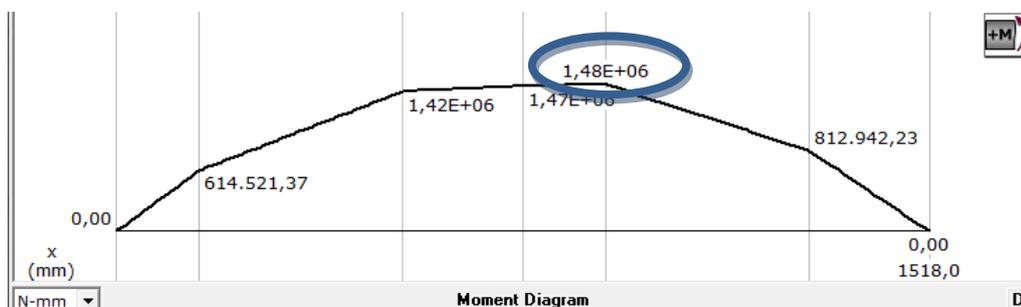


Figura 2.52: Diagrama de momento flector (eje de rotación)

$$V_{\text{máx}} = 3977.48 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 1480 \text{ Nm}$$

Con los parámetros máximos establecidos mediante el análisis de fuerzas y momentos máximos, se tiene determina que la pieza está sometida a flexión y corte.

Para determinar el esfuerzo flector, es necesario calcular el módulo de resistencia de la pieza que viene dado por la ecuación 2.18.

$$Z_c = \frac{\pi * \emptyset^3}{32} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

Z_c = módulo de resistencia para secciones circulares (m^3).

\emptyset = Diámetro de la sección transversal de la pieza (m) = 38.1 mm.

En función de la ecuación 2.18 se tiene el módulo de resistencia de la pieza teniendo un diámetro de 0.05 m es igual a:

$$Z_c = 1.23 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Con el módulo de resistencia y el momento máximo con la ecuación 2.6 determinamos el momento flector teniendo como resultado:

$$\sigma = 120.6 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante para secciones circulares viene dado mediante la ecuación 2.19.

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{4V_{\text{máx}}}{3A} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

$V_{\text{máx}}$ = Fuerza cortante máxima (N).

$A = \text{Área de la sección transversal circular (m}^2\text{)}.$

En consecuencia tenemos que el esfuerzo cortante es igual a:

$$\tau_{\text{corte}} = 2.7 \text{ MPa}$$

Por medio de las ecuaciones 2.9, 2.10 y 2.11 determinaremos los esfuerzos normales y de corte, a los que se encuentra sometida la pieza, dando como resultado:

$$\sigma_{\text{comp}} = -120.6 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\sigma_{\text{trac}} = 120.6 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{xy} = 2.7 \text{ MPa}$$

En función de estos parámetros y con la ayuda del círculo de Mohr's, determinaremos los esfuerzos principales, teniendo los resultados en la que se presenta en el ANEXO E, señalados como EJE DE ROTACIÓN DE LOS SEPARADORES. En base al criterio de Von Mises establecido mediante la ecuación 2.12, determinaremos el factor de seguridad que en este caso el adecuado es de 2 en base a los requerimientos del sistema.

$$\sigma' = 120.63 \text{ MPa}$$

El material seleccionado para la pieza es el acero 1020, con las características que se presentan en la tabla, que se presenta en el ANEXO D - 2, de donde se selecciona el límite de tracción perteneciente al material del cual será elaborada la pieza y el criterio de Von Mises utilizando la ecuación 2.13 se tiene que el factor de seguridad es igual a:

$$\text{FS} = 2.91$$

El factor de seguridad está dentro del rango de funcionamiento para el mecanismo, para corroborar con el resultado obtenido se realizara la simulación en el software SolidWork.

En la figura 2.53 se presenta en el análisis de esfuerzos provocado en la pieza por el accionamiento de las fuerzas que actúan sobre la misma.

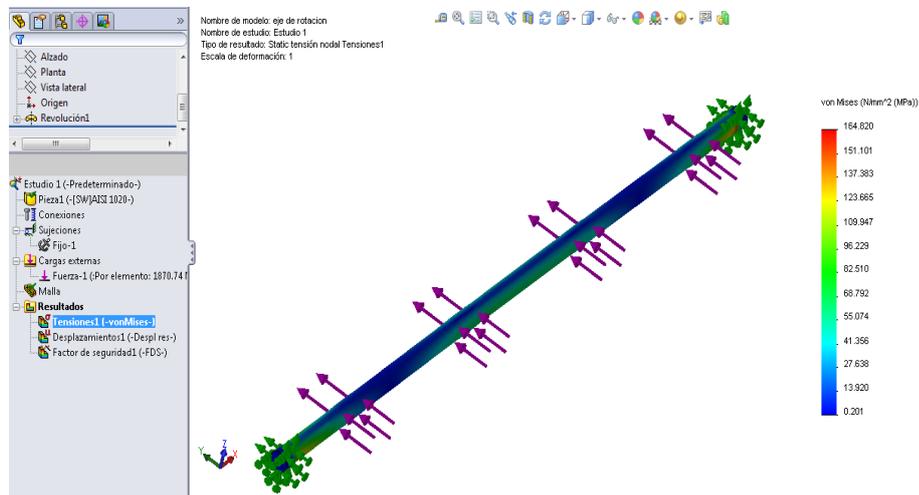


Figura 2.53: Análisis de esfuerzos y puntos críticos del eje de rotación de las uñas

En la figura 2.54 se muestra los desplazamientos que sufre el cuerpo al funcionar en el sistema, en función de las fuerzas aplicadas sobre la pieza. El factor de seguridad que se indica en el programa es de 2.1 aproximado al calculado como se muestra en la figura 2.55, en conclusión los parámetros calculados están acordes con la simulación.

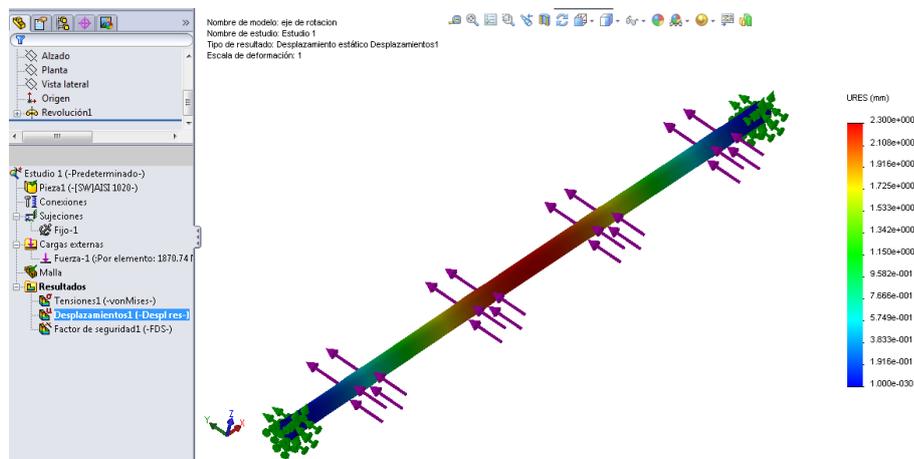


Figura 2.54: Desplazamientos del eje de rotación de las uñas

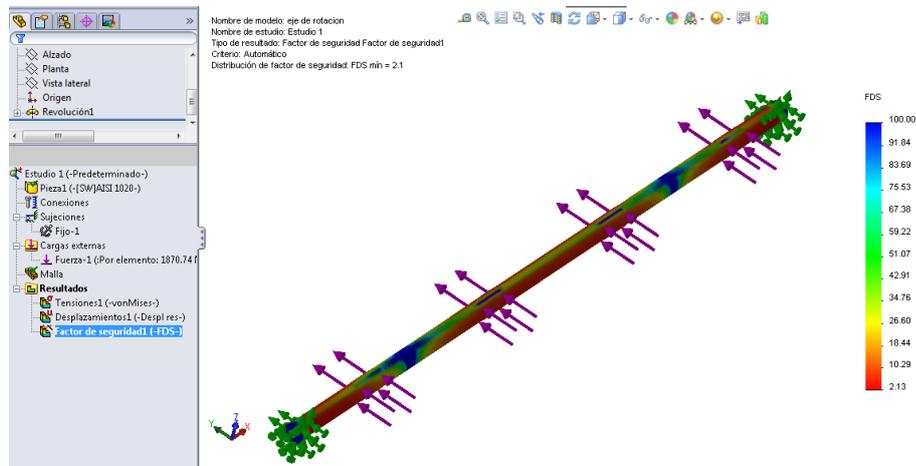


Figura 2.55: Factor de seguridad del eje de rotación de las uñas

2.2.8 DISEÑO DEL BUJE PARA EL EJE DE SOPORTE DE LAS UÑAS DE ENTRADA Y DE SALIDA.

Para el diseño del buje³⁴ que sujetarán el eje de rotación de las uñas se deberá calcular la fuerza de los soportes V_a y V_b del diagrama de cuerpo libre que se presentó en la figura 2.50, de la siguiente manera.

$$+ \curvearrowright \Sigma M = 0$$

$$V_b(1518 \text{ mm}) = (1870.74 \text{ N})(154.5+534.5+914.5+1294.5) \text{ mm}$$

$$V_b = 3571.41 \text{ N}$$

$$+ \uparrow \Sigma F = 0$$

$$V_a + V_b = 4(1870.74 \text{ N})$$

$$V_a = 3911.55 \text{ N}$$

En función al apoyo V_b que es el que más carga debe soportar, se diseñara el buje además este debe representar una superficie tal que compense el esfuerzo que sufre el eje que sostiene el mecanismo de los separadores.

³⁴ Base de soporte de un eje.

El eje de soporte no tiene rotación por lo que el soporte no tendrá una superficie de fricción y no sufrirá desgaste, por lo que la fuerza máxima para el que debe ser diseñado es de 3911.55 N. El buje esta empernado a los caminos de cadenas, en la posición que favorezca al mecanismo para su desplazamiento.

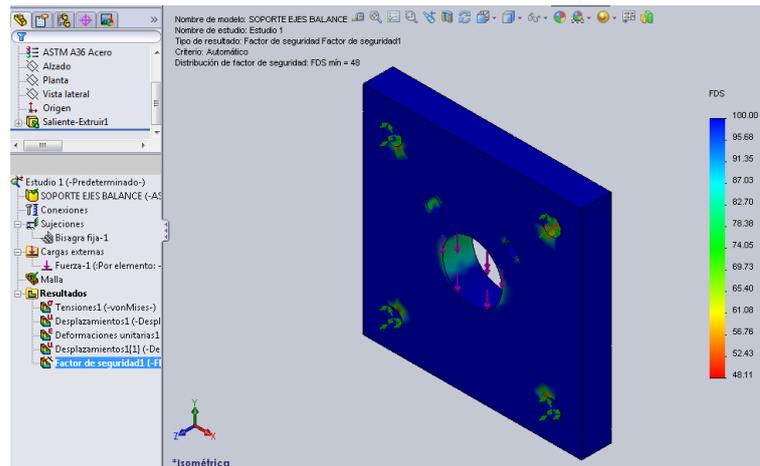


Figura 2.56: Buje soporte de ejes de rotación.

El factor de seguridad es de 48 como se indica en la simulación que describe la figura 2.56, este parámetro es elevado debido a que el buje debe brindar una superficie de soporte al eje del mecanismo de separación que este caso es de 19 mm.

2.2.9 DISEÑO DEL SEPARADOR INICIAL

El objetivo principal del separador inicial es una vez que terminó la matriz el conteo, esta se encarga de marcar el principio de la separación del paquete de varilla corrugada de una tonelada, el cual debe vencer una fuerza de arrastres igual a las uñas de salida que es de 500 N, por lo que el actuador es un cilindro de diámetro 63 mm igual al que se aplica en los mecanismos del separador con la diferencia de que este cilindro tiene una carrera de 120 mm por ser una viga en movimiento el factor de seguridad acorde a la pieza es de 4. El movimiento y desplazamiento que cumple la pieza están descritos en la figura 2.57 y 2.58.

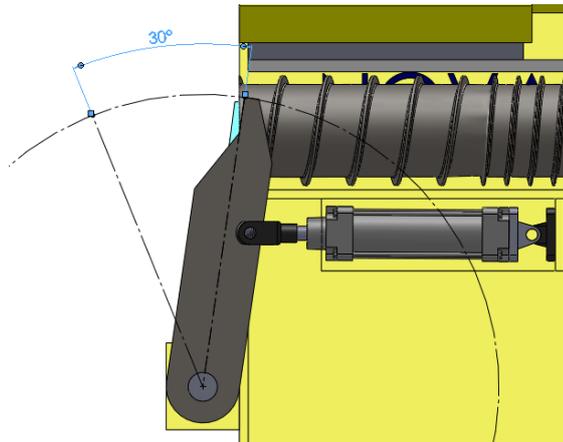


Figura 2.57: Posición inicial del separador

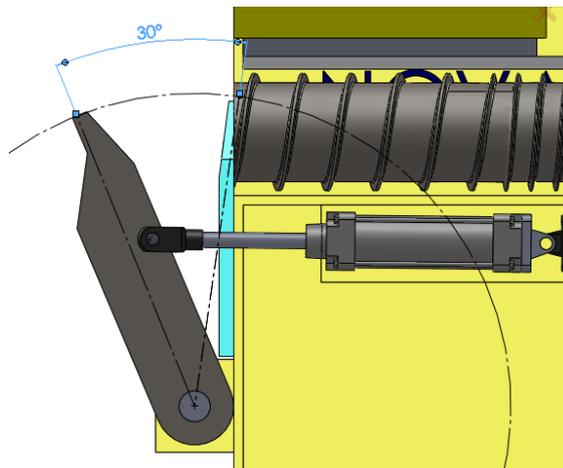


Figura 2.58: Posición final del separador

En base al mecanismo indicado en las figuras 2.57 y 2.58 se tiene el desplazamiento angular de 30° que tiene la pieza en función a un eje de rotación.

El desplazamiento señalado es el adecuado para que se pueda separar las varillas contadas de las que aun se encuentran en proceso, para que como paso siguiente, el separador continuo se accione. Para el análisis de esfuerzos se utilizará el software de diseño SolidWork, tomando en cuenta que los cálculos del sistema son similares a los de las uñas del mecanismo del separador teniendo que cumplir los mismos objetivos.

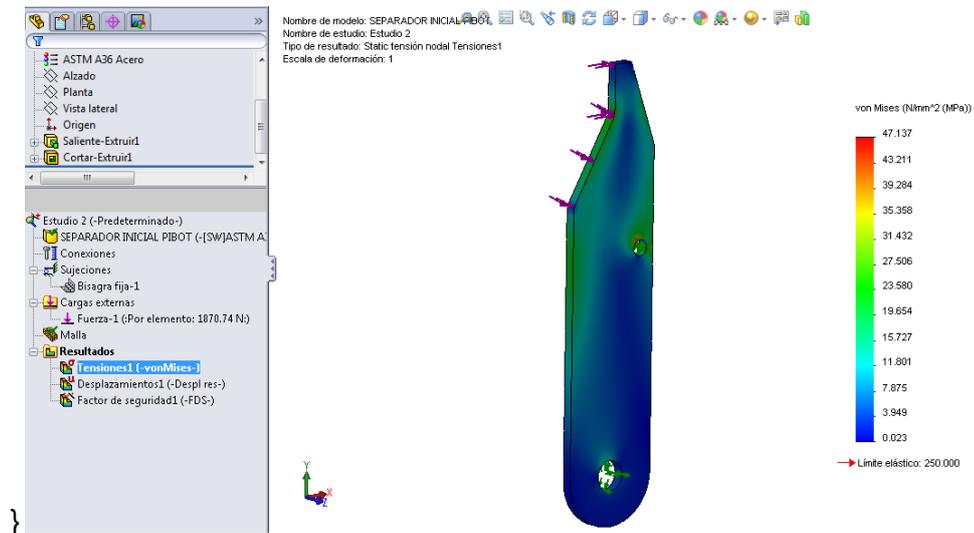


Figura 2.59: Análisis de esfuerzos y puntos críticos del separador inicial

En la figura 2.60 se muestra el desplazamiento que sufre el separador inicial en función de las fuerzas que actúan teniendo señalado de color rojo la parte más crítica, con una escala de colores se determina la afectación de la pieza en la ejecución de su trabajo.

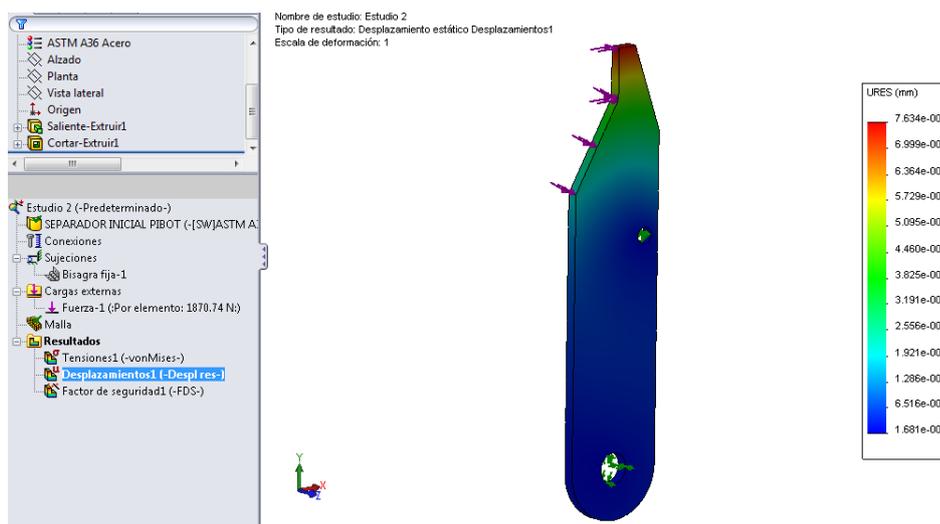


Figura 2.60: Deformación de la pieza separador inicial en función de sus esfuerzos

La figura 2.61, muestra la simulación del factor de seguridad que es igual a 5.3 resultado de aplicar 1870.74 N que es la fuerza total que ejerce el pistón sobre la pieza y que a su vez sería la fuerza máxima que se aplicaría. La pieza tiene un espesor de 12 mm.

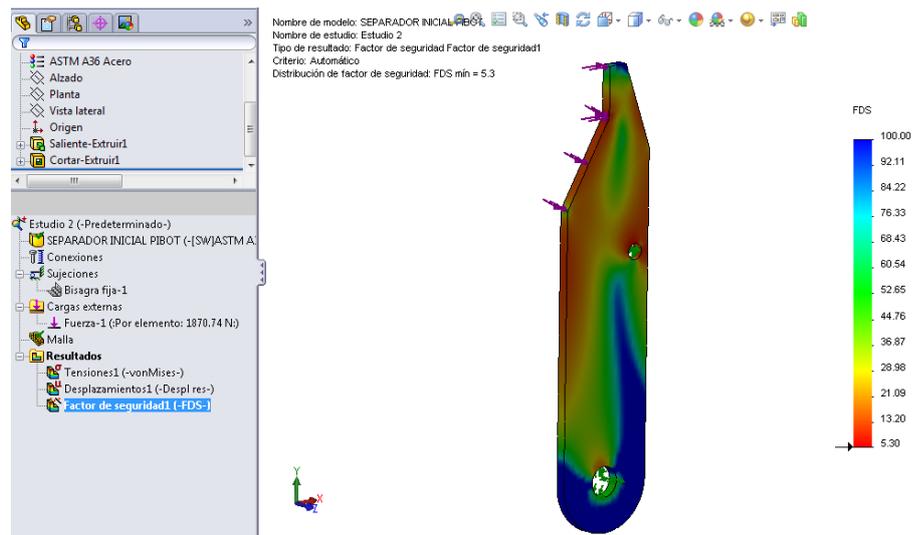


Figura 2.61: Factor de seguridad separador inicial

2.2.10 DISEÑO DE LAS MATRICES DE CONTEO

Para los distintos productos de varilla corrugada se deben realiza tres tipos de matrices tomando en cuenta sus características, principalmente en el diámetro, clasificándolos en tres grupos:

Tabla 2.2: Tipos de matrices respecto a los productos

MATRICES	PRODUCTO
MATRIZ UNO	VC 8, VC 10, VC 12
MATRIZ DOS	VC 14, VC 16, VC 18, VC 20
MATRIZ TRES	VC 22, VC 25, VC 28, VC32, VC 36

De manera general la matriz está constituida por tres tipos de roscas que poseen un mismo perfil de hilo en base al diámetro menor del elemento que se indica en cada grupo.

En la primera parte el hilo es continuo a un paso determinado en función del diámetro del producto, en la segunda parte el hilo cambia de paso incrementándose en un porcentaje enlazado al primero, en la tercera parte es una rosca de paso constante recto donde el paso incrementa considerablemente haciendo que los elementos se tiendan sobre la superficie de la matriz, además se separan lo necesario para realizar el conteo.

Sobre los hilos de la matriz se deposita una varilla a la vez, con la ayuda de un patín deslizante, lo que representa una carga, el soporte total se obtiene al sumar el peso de todos los elementos que se encuentran en cada hilo de la pieza.

El peso que deberá soportar la matriz en los distintos productos se presenta en la tabla 2.3, factor principal, determinante para el diseño de la misma.

Tabla 2.3: Peso de los elementos sobre la matriz

PRODUCTO	DIAMETRO (mm)	AREA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	MASA (Kg)	# de HILOS	PESO EN LA MATRIZ (N)
VC 8	8	5,03E-05	0,000603	4,74	22	255,22
VC 10	10	7,85E-05	0,000942	7,40	22	398,78
VC 12	12	1,13E-04	0,001357	10,65	22	574,24
VC 14	14	1,54E-04	0,001847	14,50	14	497,38
VC16	16	2,01E-04	0,002413	18,94	14	649,64
VC18	18	2,54E-04	0,003054	23,97	14	822,21
VC 20	20	3,14E-04	0,003770	29,59	14	1015,07
VC 22	22	3,80E-04	0,004562	35,81	9	789,58
VC 25	25	4,91E-04	0,005891	46,24	9	1019,60
VC28	28	6,16E-04	0,007389	58,00	9	1278,99
VC 32	32	8,04E-04	0,009651	75,76	9	1670,51

La matriz de conteo tiene como objetivo encaminar a cada unidad de varilla corrugada en sus hilos para separarlos de manera ordenada y en sus pasos finales establecer el conteo, las características del hilo de la matriz, de manera general se indican en la figura 2.62, tomando en cuenta que en la parte final de la matriz se implementara el conteo por la forma del hilo que nos podrá tener un elemento a la vez.

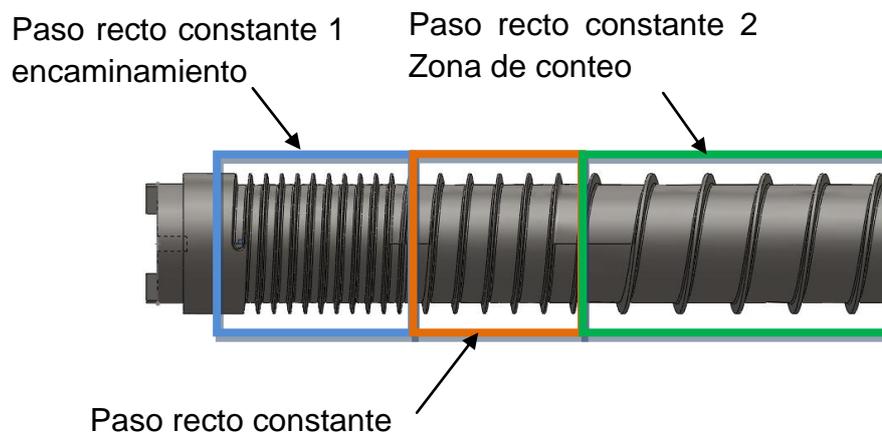


Figura 2.62: Descripción de los pasos en la matriz de conteo

a. DISEÑO DE LA MATRIZ DE CONTEO 1

Para el análisis de la matriz de conteo 1 se tomara principalmente los datos de la tabla 2.3 con las características más importantes del material, en la figura 2.63 se indica la forma y geometría de la pieza.



Figura 2.63: Matriz de conteo 1

El hilo para esta matriz está diseñado según las características del elemento que será contado, tomando principalmente el diámetro del producto que en este caso es desde la varilla corrugada de 8 milímetros de diámetro hasta la varilla corrugada de 12 milímetros de diámetro, como límite máximo y geometría máxima de encaminamiento en la matriz, en la figura 2.64 se puede comparar la geometría de la pieza con respecto a la geometría del hilo de la pieza.

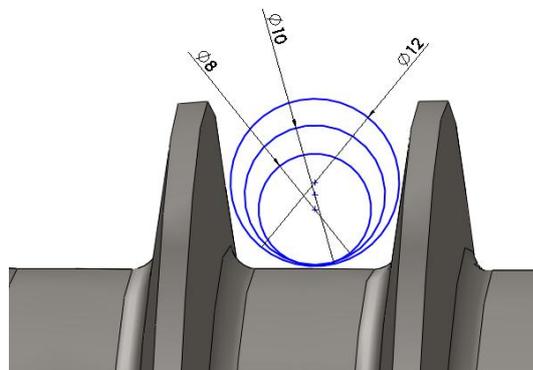


Figura 2.64: Geometría del perfil del producto en función del perfil de la matriz de conteo 1

Para el análisis se muestra el diagrama de fuerzas y momentos presentes en la pieza teniendo en cuenta las características del producto, como se indicara en la figura 2.65.

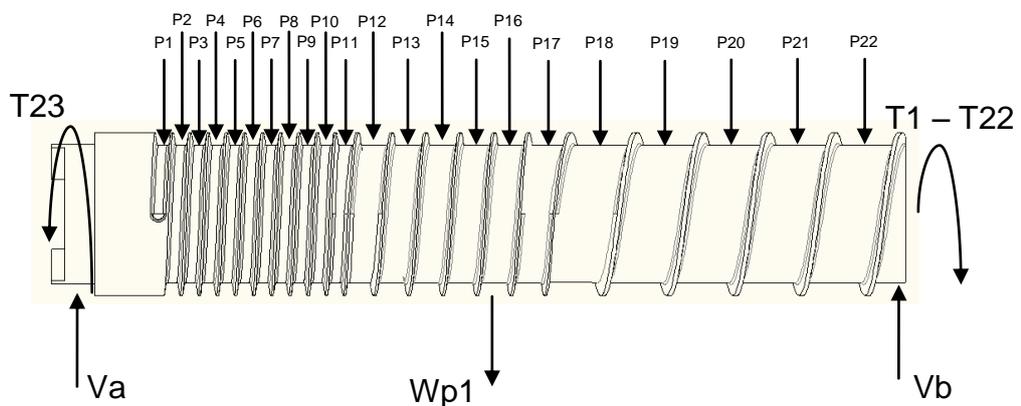


Figura 2.65: Diagrama de fuerzas y momentos aplicados en la matriz de conteo 1

Las fuerzas P1 hasta la P22, es la fuerza que aplica el material que será contado sobre la matriz en cada uno de los hilos de la pieza, por la flexión que tiene el material a ser contado se tiene que $\frac{1}{4}$ del peso por unidad de varilla corrugada recae sobre la matriz dando un valor de 26.12 N por unidad sobre la matriz, valor que se saca de la división del peso máximo para el grupo de conteo de la matriz para el número de unidades, donde:

$$P1 - P22 = 26.12 \text{ N}$$

Esta fuerza normal sobre la superficie de la matriz genera un rozamiento el cual genera una fuerza de rozamiento sobre la pieza, que de acuerdo a las características del sistema se tiene que el coeficiente de rozamiento es de 0.19, donde la fuerza es igual a 4.96 N.

$$Fr1 - Fr22 = 4.96 \text{ N}$$

Las fuerzas de rozamiento establecidas generan un torque en función del radio de roce, que es constante a lo largo de la matriz, mediante la ecuación 2.20.

$$T = F * d_{\text{radio}} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Donde:

T = Torque (Nm).

F = Fuerza aplicada sobre la superficie (N).

d_{radio} = Distancia del centro al extremo de contacto (m).

Al aplicar la ecuación 2.20 con la fuerza indicada y tomando en cuenta que el parámetro d_{radio} es igual a 0.0642 m, de donde tenemos que, el torque por varilla sobre la superficie es igual a 0.32 Nm. Para el torque 23 el valor es el equivalente a la suma de los torques que se generan sobre la pieza debido a la tracción que debe ejercer el motor impulsor sobre la pieza y este valor es igual a 7.01 Nm.

La masa del cuerpo es de 75.57 kg, como se muestra en la figura 2.66, de donde con la ecuación 2.1 determinaremos el factor $Wp1$ que es igual a, 741.34 N, por los efectos de la gravedad.



Figura 2.66: Propiedades físicas matriz de conteo uno

Para el análisis de esfuerzos se ejecutará una simulación de la pieza en el software MDSolid, para determinar el factor de seguridad que en este caso debe ser de 4 por ser un sistema dinámico.

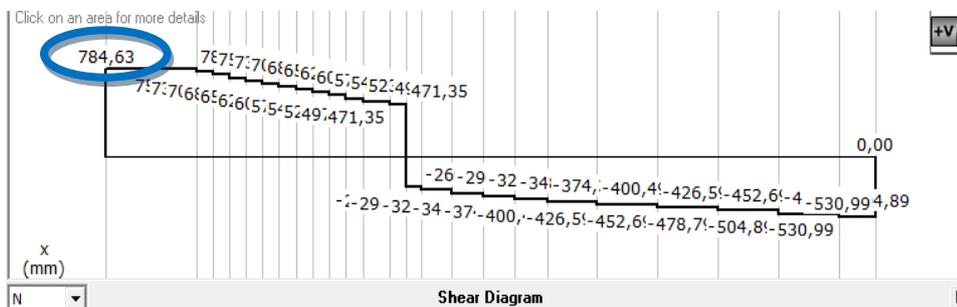


Figura 2.67: Diagrama de fuerzas cortantes (matriz 1)

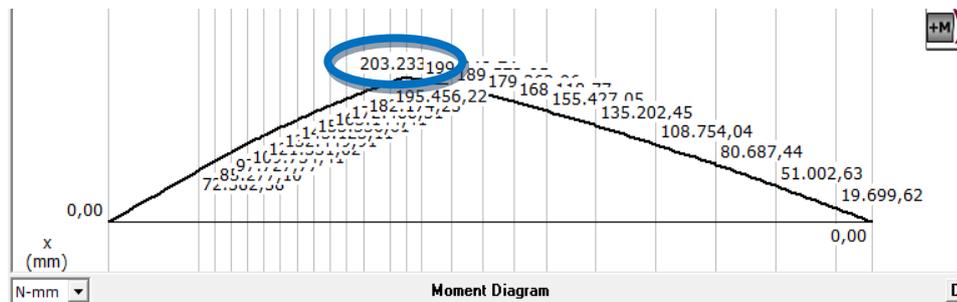


Figura 2.68: Diagrama de momento flector (matriz 1)

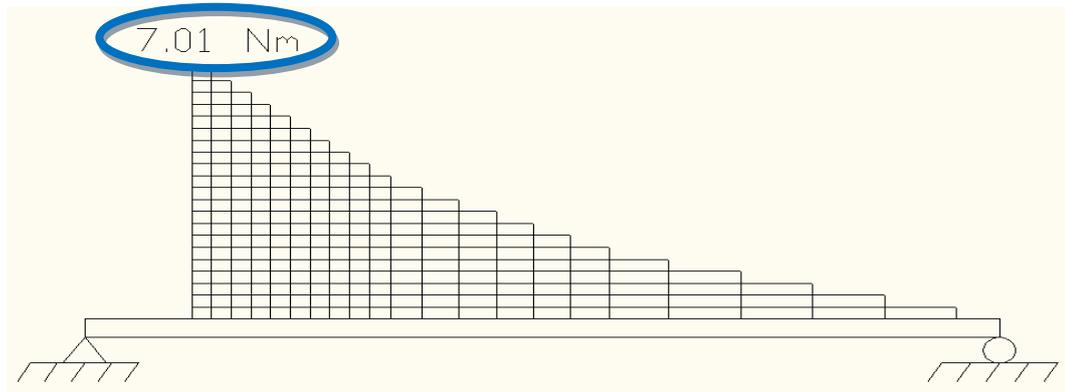


Figura 2.69: Diagrama de torques (matriz 1)

En la figura 2.69 se muestra el diagrama de torques a los que se encuentra sometida la pieza. En función de las graficas y teniendo la fuerza, momento y torque máximo se calcularan los esfuerzos.

$$V_{\text{máx}} = 784.63 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 203.23 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{máx}} = 7.01 \text{ Nm}$$

El diámetro que se tomara en cuenta para los cálculos de los esfuerzos es de 0.1284 m que es el diámetro mínimo de la pieza y donde más esfuerzo se producirá y con el diámetro interior máximo que es de 0.06 m, como se muestra en la figura 2.70.

La razón del vaciado interno es para bajar la inercia que produce la pieza, en oposición al cambio de estado.

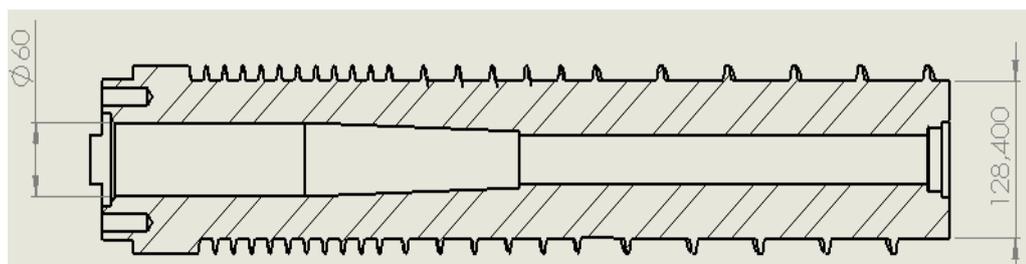


Figura 2.70: Corte longitudinal (matriz 1)

Por medio de la ecuación 2.21 determinaremos el modulo de resistencia.

$$Z = \pi R^2 e \quad \text{Ec. 2.21}$$

Donde:

Z = Modulo de resistencia (m^3).

R = Radio externo del eje (m).

e = Espesor (m).

En función de las características de la matriz de conteo, establecida en la figura 2.70, tenemos que el espesor mínimo donde se produce el mayor esfuerzo, es igual a 0.0342 m. de donde al aplicar la ecuación 2.21 se tiene que el módulo de resistencia es igual a:

$$Z = 4.428 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Por medio de la ecuación 2.6 se calculara el momento flector al que se encuentra sometida la pieza, tomando en cuenta el momento flector aplicado y el modulo de resistencia ya calculado, dando como resultado:

$$\sigma_{flex} = \pm 0.46 \text{ MPa}$$

Mediante la ecuación 2.22, se determinara el esfuerzo cortante máximo a la que se encuentra sometida la pieza.

$$\tau_{cort} = \frac{2V_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

τ_{cort} = Esfuerzo cortante para barras redondas huecas (MPa).

$V_{m\acute{a}x}$ = Fuerza cortante máxima (N).

A = Área transversal (m^2).

Empleando la ecuación 2.22 tenemos que el esfuerzo cortante máximo en la pieza es de:

$$\tau_{\text{cort}} = 0.16 \text{ MPa}$$

Por las varillas que se deslizan por la superficie de la matriz producen una fuerza de rozamiento, la misma que produce un esfuerzo torsor, que por las características de la pieza viene dado por la ecuación:

$$\tau_{\text{torsión}} = \frac{T_{\text{máx}} \cdot r}{J} \quad \text{Ec. 2.23}$$

Donde:

$\tau_{\text{torsión}}$ = Par de torsión (MPa).

r = Radio del eje (m).

J = Segundo momento polar del área (m⁴).

El segundo momento polar viene dado por la ecuación 2.24 que se presenta a continuación:

$$J = \frac{\pi}{32} (d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4) \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde:

J = Momento polar (m⁴)

d_{ext} = Diámetro exterior de la pieza (m).

d_{int} = Diámetro interior de la pieza (m).

De la ecuación 2.24 se tiene que, el momento polar en función de los diámetros indicados en la figura 2.73 es igual a:

$$J = 2.54 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Con este dato se terminara el esfuerzo torsor mediante la ecuación 2.23, dando como resultado:

$$\tau_{\text{torsión}} = 0.018 \text{ MPa}$$

De los esfuerzos de la matriz de conteo 1 obtenidos, mediante las ecuaciones 2.9, 2.10 y 2.11 se tiene que:

$$\sigma_{\text{compresión}} = -0.46 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\sigma_{\text{tracción}} = 0.46 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{xy} = 0.18 \text{ MPa}$$

Al introducir estos parámetros en el círculo de Morh's se tiene los resultados de los esfuerzos principales que se muestran en el ANEXO E señalados como MATRIZ 1.por lo cual el factor de seguridad por medio del criterio de Von Mises, indicado por la ecuación 2.12, es igual a:

$$\sigma' = 0.56 \text{ MPa}$$

El material con el que se construirá la matriz es un acero 4340 por sus características de dureza, el propósito es que resista el material al roce de los elementos que serán contados, las características del material con relación al software SolidWork se muestran en la tabla del ANEXO D - 3.

En base a la ecuación 2.13, y tomando en cuenta en este caso que se debe tomar el límite elástico como numerador de la expresión detallando que el material del que está hecha la matriz es un material duro, con estos valores se tiene que el factor de seguridad es igual a:

$$FS = 1267$$

El factor de seguridad es elevado debido a que no se puede variar la geometría de las matrices principalmente el radio exterior, además el

motivo principal por el cual se escogió este material es por la dureza que presenta el mismo ya que la matriz se encuentra en contacto directo con el material que se desplaza por la superficie, que genera desgaste continuo razón por la cual y por la complejidad de elaboración de la matriz esta debe tener un tiempo de vida útil considerable.

Para corroborar este resultado se realizara la simulación en el programa de diseño mecánico, tomando en cuenta todas las características que detallan a la pieza para sus cálculos, por lo cual tendremos una diferencia entre los valores del factor de seguridad calculado y el simulado debido a la complejidad de la geometría de la pieza necesaria para la aplicación designada.

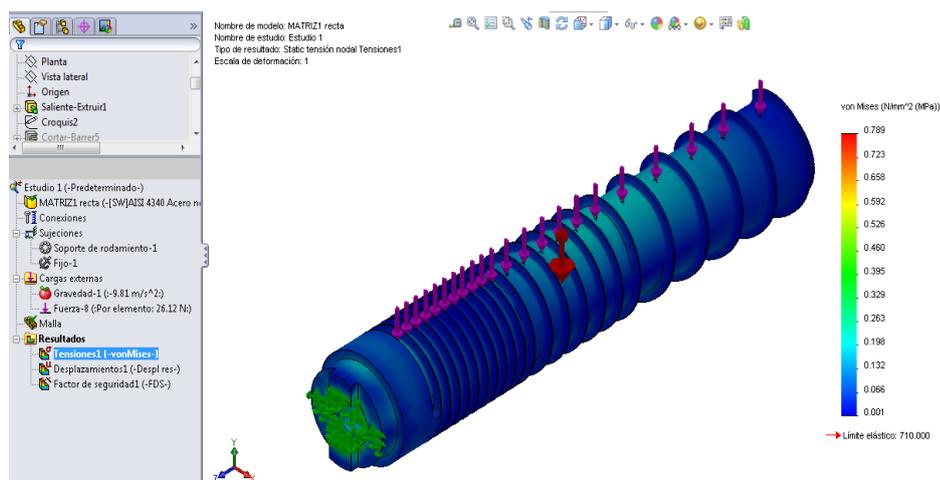


Figura 2.71: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la matriz 1

En la figura 2.72 se muestra la deformación de la pieza, marcada en una escala de colores donde el color rojo indica la deformación máxima indicada numéricamente en la parte derecha.

El software toma en cuenta parámetros especiales que dificultarían los cálculos si se los tomaran de forma manual, por lo que el factor de seguridad con este análisis es de 900, como se muestra en el análisis de la figura 2.73.

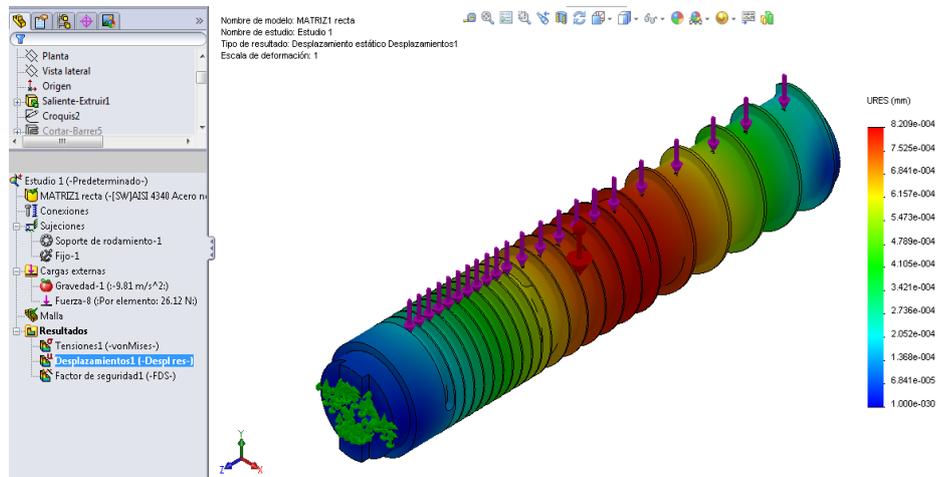


Figura 2.72: Deformación de la matriz 1 en ejecución de su función

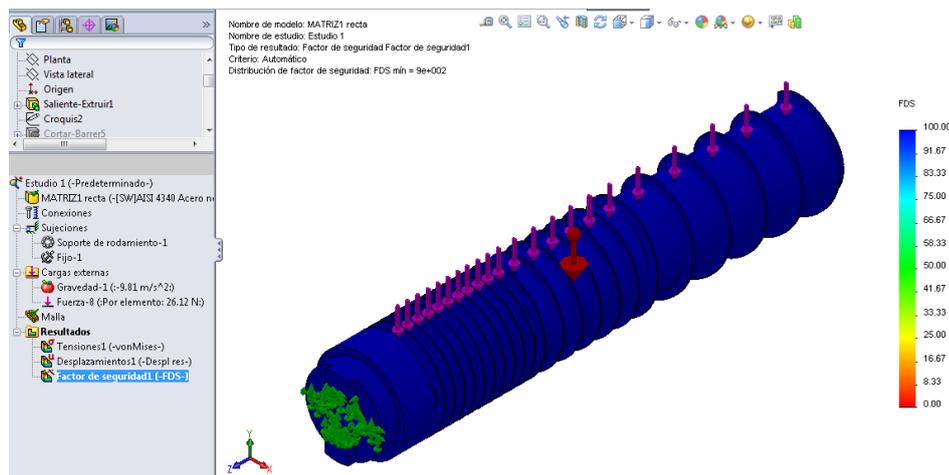


Figura 2.73: Factor de seguridad matriz 1

b. DISEÑO DE LA MATRIZ DE CONTEO 2

Para la matriz de conteo 2, se toman en cuenta los parámetros del producto a los cuales se ejecutará el conteo detallado en la tabla 2.2 enfatizando el diámetro del producto, la forma de la matriz se presenta en la figura 2.74.

Se debe tomar en cuenta que el diámetro exterior de la matriz no debe variar debido al acoplamiento que debe tener esta pieza con el sistema.



Figura 2.74: Matriz de conteo 2

El diámetro menor de varilla corrugada que se someterá a conteo con esta matriz es de 14 mm, y el diámetro mayor es de 20 mm por lo que la geometría del hilo está diseñada de tal forma que encajen los productos señalados para esta matriz, en la figura 2.75 se muestra la parte del hilo del tornillo donde se encamina los productos para el conteo.

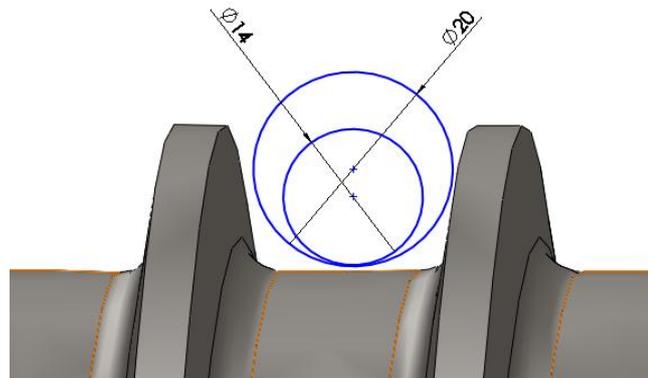


Figura 2.75: Geometría del perfil del producto en función del perfil de la matriz de conteo 2

Para el análisis de la pieza señalaremos todas las fuerzas y torques que actúan con la posición correspondiente, en la matriz 2, detalladas en la figura 2.76.

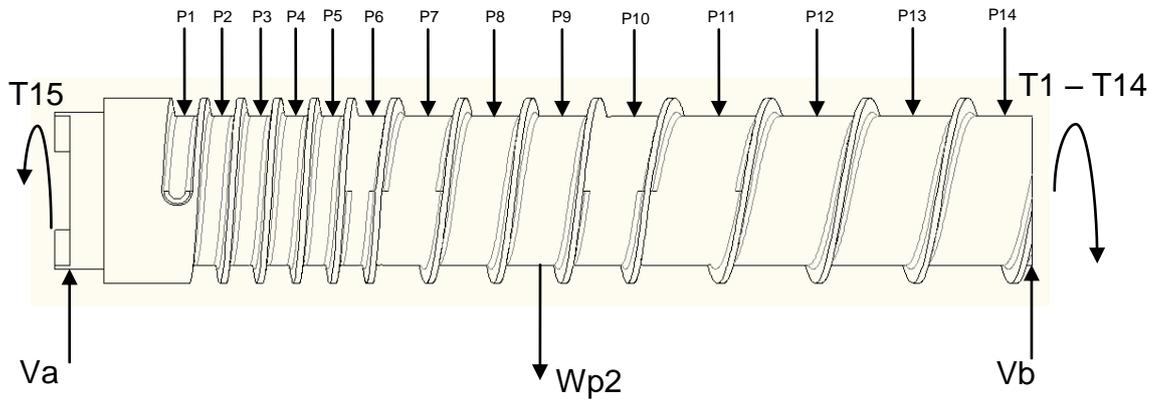


Figura 2.76: Diagrama de fuerzas y momentos aplicados en la matriz de conteo 2

Las fuerzas P1 hasta la fuerza P14 que se aplican sobre la matriz son iguales, estas corresponden al peso del producto por cada hilo dentro de la pieza de conteo, por la flexión que tiene el material en su parte más crítica que es la varilla corrugada de 22, que presenta menos elasticidad donde se ha tomado $\frac{1}{4}$ del peso total de una varilla para aplicar las fuerzas sobre la pieza, siendo este valor igual a:

$$P1 - P14 = 72.5 \text{ N}$$

Esta fuerza genera un rozamiento entre la superficie del elemento con respecto a la superficie de la matriz, el coeficiente de rozamiento es de 0.19, de donde se tiene que el valor de la fuerza de rozamiento es igual a:

$$Fr1 - Fr22 = 13.78 \text{ N}$$

Las fuerzas de rozamiento establecidas generan un torque en función del radio de la pieza que se indica en la figura 2.77.

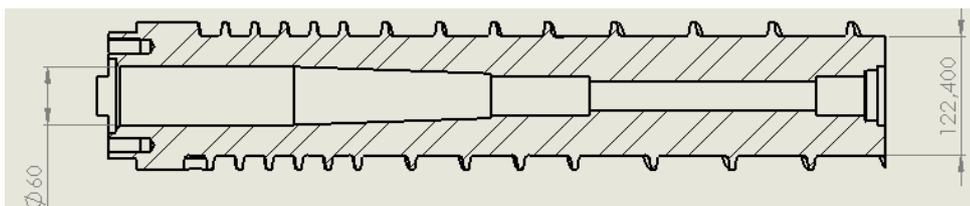


Figura 2.77: Corte longitudinal (matriz 2)

Para el torque 15 el valor es igual a la sumatoria de torques desde T1 hasta T14 dando como resultado un valor de 11.81 Nm, establecido mediante la ecuación 2.20.

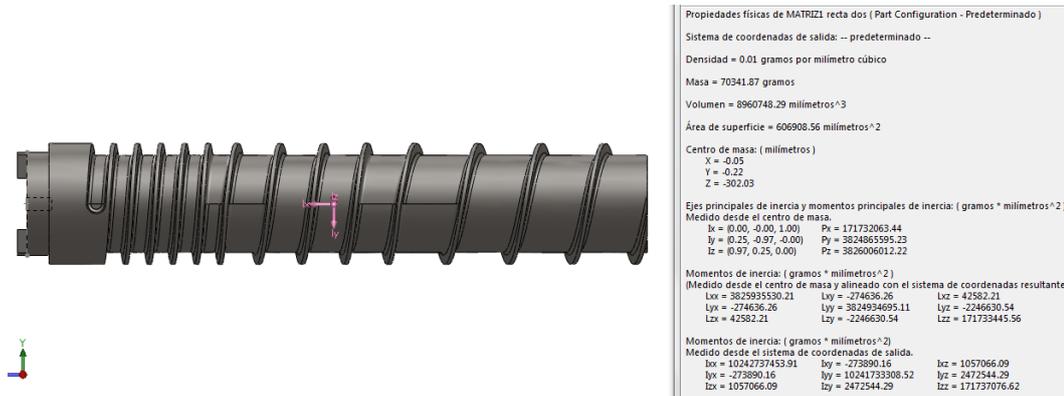


Figura 2.78: Propiedades físicas matriz 2

Tomando en cuenta todos los parámetros se establece el peso de la pieza Wp2, en función de la ecuación 2.1 y teniendo la masa del cuerpo que es de 70.34 Kg, el centro de gravedad se encuentra a 302.3 mm con respecto al extremo izquierdo de la piza que se muestra en la figura 2.77.

$$Wp2 = 689.33 \text{ N}$$

Para el análisis de esfuerzos se ejecutará una simulación en el software MDSolid, el factor de seguridad establecido para el diseño de la matriz 2 es de 4.

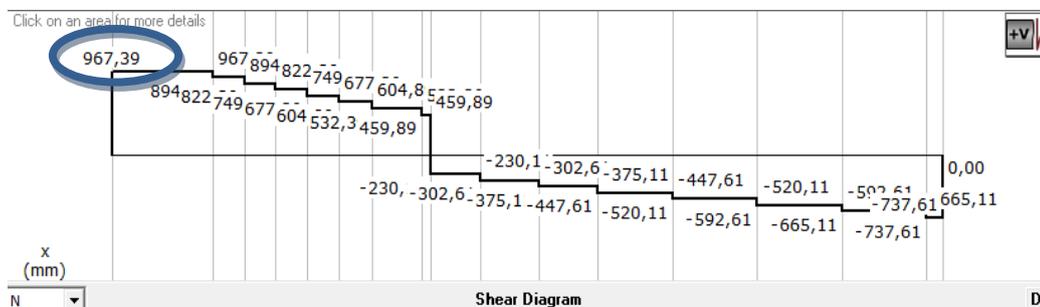


Figura 2.79 Diagrama de fuerzas cortantes (matriz 2)

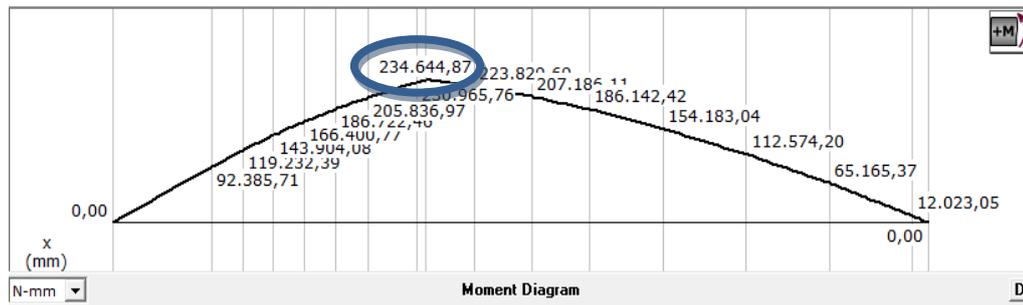


Figura 2.80: Diagrama de momento flector (matriz 2)

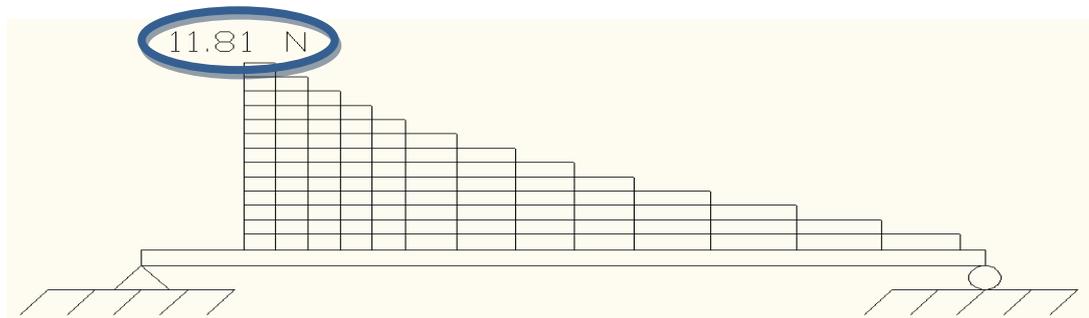


Figura 2.81: Diagrama de torques (matriz 2)

En la figura 2.81 se muestra el diagrama de torques que se aplican sobre la pieza detallando el torque máximo ejercido a reacción de todos los que se aplican para el movimiento.

Con las gráficas de los esfuerzos se determinara la fuerza el momento y torque máximos que se aplican sobre la pieza teniendo que:

$$V_{\text{máx}} = 967.39 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 234.64 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{máx}} = 11.81 \text{ Nm}$$

El diámetro que se tomará en cuenta para los cálculos de los esfuerzos es de 0.0612 metros que es el diámetro mínimo de la pieza y donde más esfuerzo se producirá, como se muestra en la figura 2.77.

Por medio de la ecuación 2.21 obtenemos el módulo de resistencia de la pieza según las características de la misma, con un espesor de 0.0312 m y un radio de 0.0612 m, donde el modulo de resistencia es igual a:

$$Z = 3.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

En función al módulo de resistencia y el momento máximo indicado en la figura 2.81, tenemos que el esfuerzo flector calculado mediante la ecuación 2.6, es igual a:

$$\sigma_{flex} = \pm 0.64 \text{ MPa}$$

En base a la ecuación 2.22, se determinara el esfuerzo cortante máximo con la fuerza que se indica en la figura 2.79, dando un resultado de:

$$\tau_{cort} = 0.22 \text{ MPa}$$

La matriz 2 está sometida a torsión por lo que para calcular este esfuerzo, es necesario determinar el momento polar en función de la ecuación 2.24, dando como resultado:

$$J = 2.07 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Por medio del parámetro calculado calcularemos el momento torsor mediante la ecuación 2.23:

$$\tau_{torsión} = 0.035 \text{ MPa}$$

De los esfuerzos de la matriz de conteo 1 obtenidos, se tiene que:

$$\sigma_{compresión} = - 0.64 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\sigma_{tracción} = 0.64 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{xy} = 0.255 \text{ MPa}$$

Al introducir estos parámetros en el círculo de Morh's se tiene el resultado que se muestra en el ANEXO E en la fila marcada como MATRIZ 2,

obteniendo los esfuerzos principales, en función del criterio de Von Mises, se tiene.

$$\sigma' = 0.77 \text{ MPa}$$

En función del límite de tracción establecido en la tabla detallada en el ANEXO D - 3 y el criterio de Von Mises calcularemos el factor de seguridad de la pieza por medio de la ecuación 2.13, dando como resultado.

$$FS = 913.38$$

De la misma manera se justifica este factor de seguridad por la utilidad de la pieza dentro del sistema ya que los elementos están en contacto directamente lo que hace que la matriz sufra desgaste, con las mismas características que tiene la matriz 1 en su operación.

Para comprobar los datos calculados con el software de diseño se tienen los datos que se presentan en la figura 2.82, 2.83 y 2.84.

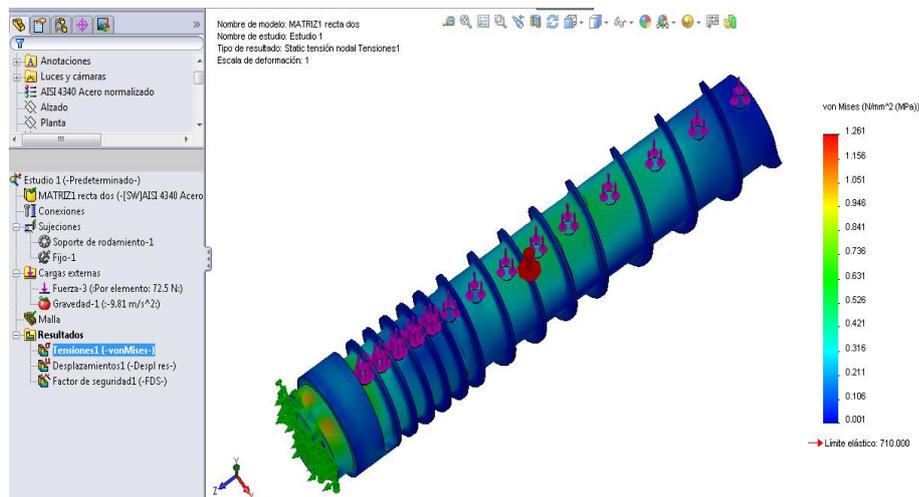


Figura 2.82: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la matriz 2

En una escala de colores representado en la figura 2.83 se puede ver la deformación de la pieza en función de los esfuerzos a los que se somete, en donde el color rojo determina la deformación máxima.

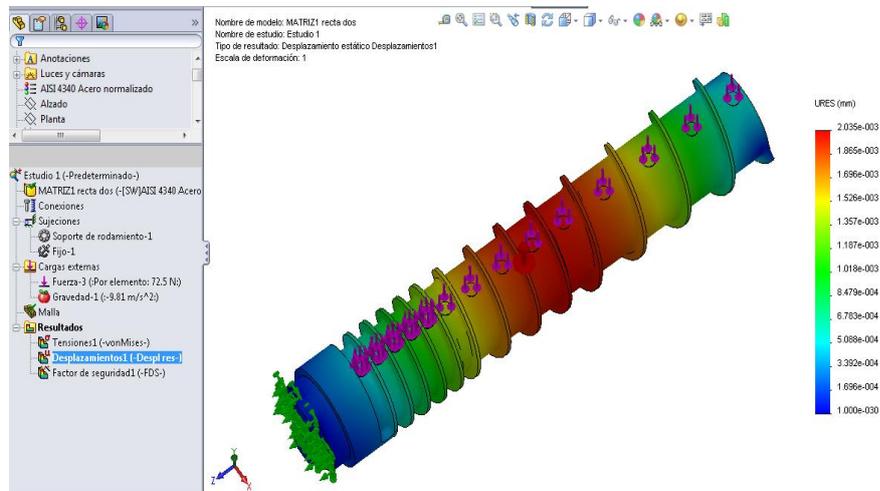


Figura 2.83: Deformación de la matriz 2 en ejecución de su función

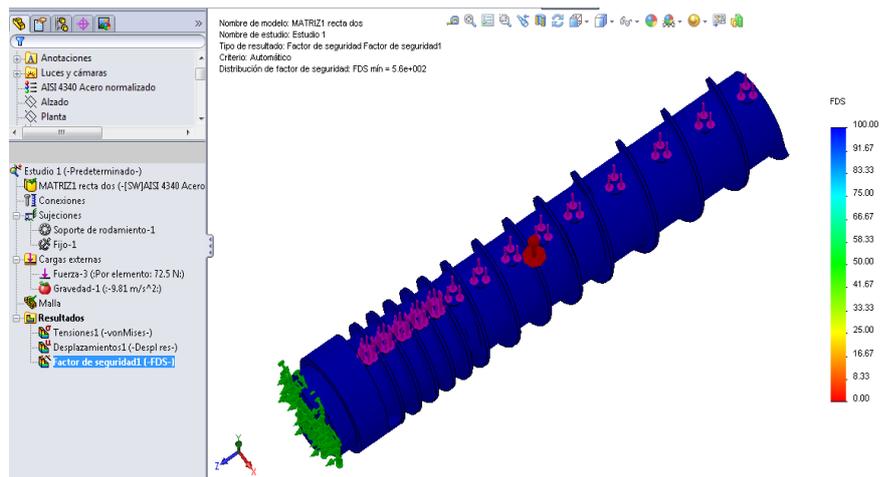


Figura 2.84: Factor de seguridad matriz 2

En la figura 2.84 se muestra el factor de seguridad determinado por el Software que es un aproximado al calculado en función de la geometría compleja que presenta el diseño es de 560.

c. DISEÑO DE LA MATRIZ DE CONTEO 3

Para el diseño de la matriz de conteo 3 se debe tomar en cuenta los elementos que serán objetos de conteo detallados en la tabla 2.2, teniendo como principal característica el diámetro del producto para el diseño y correcto funcionamiento del sistema.



Figura 2.85: Matriz de conteo 3

El hilo del tornillo sin fin está diseñado en función del diámetro del material que será contado, es decir la varilla de menor diámetro asignada a esta matriz es de 22 milímetros y la de mayor diámetro es de 32 milímetros.

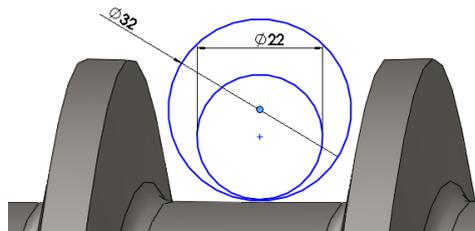


Figura 2.86: Geometría del perfil del producto en función del perfil de la matriz 3

Para el análisis señalaremos todas las fuerzas que actúan sobre la pieza.

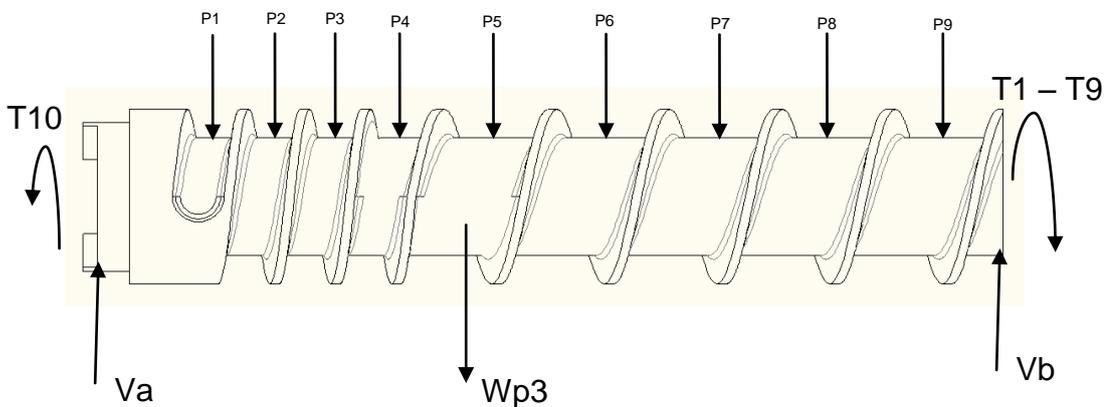


Figura 2.87: Diagrama de fuerzas y momentos aplicados en la matriz de conteo 3

Las fuerzas P1 hasta la fuerza P9 que se aplican sobre la matriz son iguales, estas corresponden al peso del producto por cada hilo dentro de la pieza de conteo, por la flexión que tiene el material en su parte más crítica que es la varilla corrugada de 36 que presenta menos elasticidad, donde se ha tomado $\frac{1}{4}$ del peso total de una varilla para aplicar las fuerzas sobre la pieza, siendo este valor igual a:

$$P1 - P9 = 235 \text{ N}$$

Esta fuerza genera un rozamiento entre la superficie del elemento con respecto a la superficie de la matriz, el coeficiente de rozamiento es de 0.19, de donde se tiene que el valor de la fuerza de rozamiento es igual a:

$$Fr1 - Fr9 = 44.65 \text{ N}$$

Las fuerzas de rozamiento establecidas generan un torque en función del radio de roce, el radio exterior es constante igual a 51.2 mm, a lo largo de toda la matriz como se muestra en la figura 2.88.

El resultado es un torque de 2.28 Nm, por cada punto de contacto, la sumatoria de los torques que actúan sobre la pieza es igual a 20.52 Nm, valor que es igual a T10.

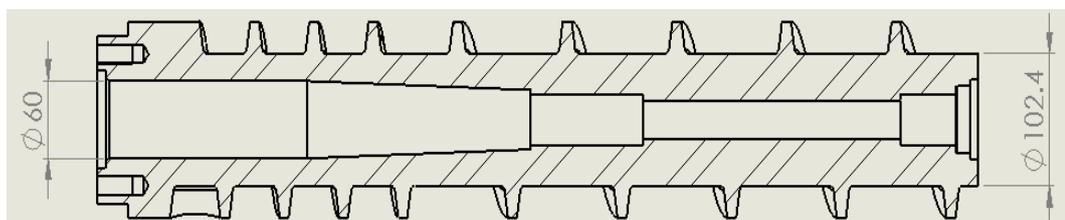


Figura 2.88: Corte longitudinal (matriz 3)

La masa de la pieza es de 53.68 Kg, como se muestra en las propiedades físicas de la pieza como se indica en la figura 2.89, obtenida una vez que se dibujo en el software de simulación mecánica.

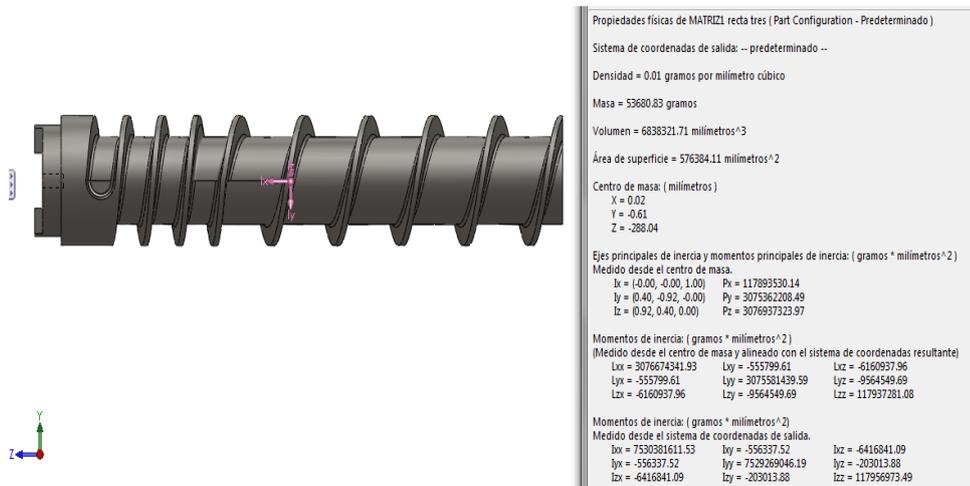


Figura 2.89: Propiedades físicas (matriz 3)

Mediante la ecuación 2.1 se determinara el peso $Wp3$ de la misma.

$$Wp3 = 526.6 \text{ N}$$

Para el análisis de esfuerzos se ejecutara una simulación de la pieza en el software MDSolid.

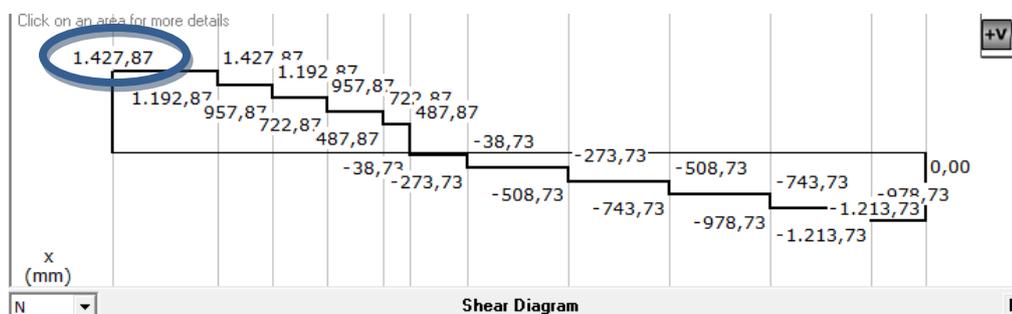


Figura 2.90: Diagrama de fuerzas cortantes (matriz 3)

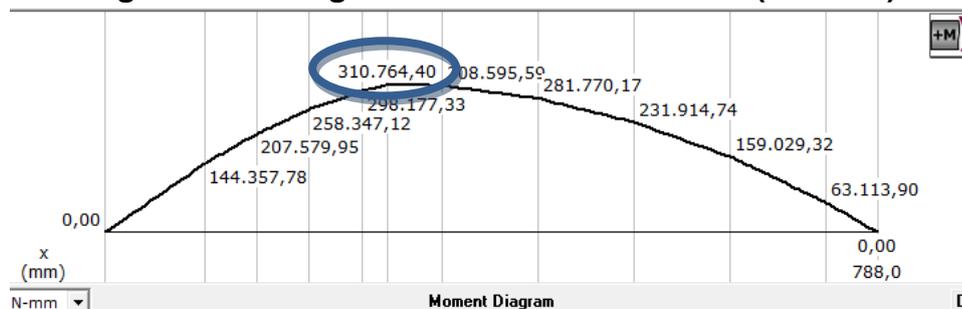


Figura 2.91: Diagrama de momento flector (matriz 3)

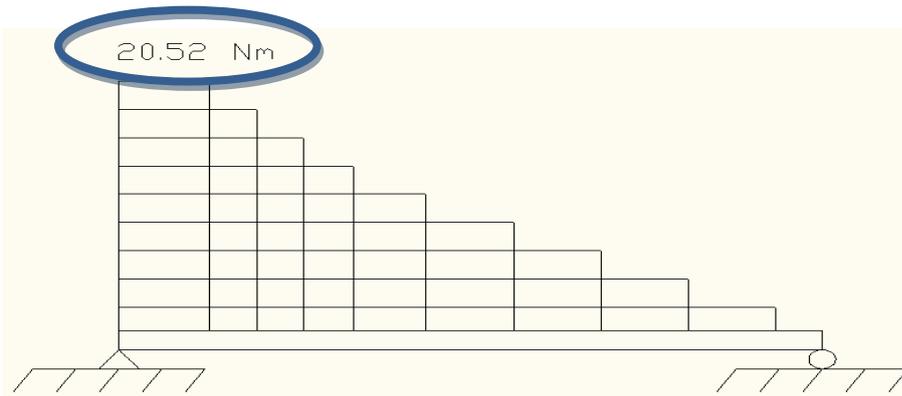


Figura 2.92: Diagrama de torques (matriz 3)

Al igual que en las matrices anteriores se tiene que la sumatoria de los torques aplicados en los diferentes puntos del hilo es igual al que el motor aplica para el movimiento de la pieza. Con las gráficas de los esfuerzos se determinará la fuerza, el momento y torque máximos que se aplican sobre la pieza teniendo que:

$$V_{\text{máx}} = 1427.87 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 310.7 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{máx}} = 20.52 \text{ Nm}$$

El diámetro que se tomará en cuenta para los cálculos de los esfuerzos es de 0.1024 m que es el diámetro mínimo de la pieza y donde más esfuerzo se producirá. Mediante la ecuación 2.21 calcularemos el módulo de resistencia de la pieza tomando en cuenta que el espesor de la matriz 3 en su parte más crítica es de 0.0212 m, dando como resultado.

$$Z = 1.75 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Con los datos obtenidos determinamos el esfuerzo flector tomando en cuenta el momento flector máximo que se indica en la figura 2.96, dando como resultado:

$$\sigma_{\text{flex}} = \pm 1.78 \text{ MPa}$$

Por medio de la ecuación 2.22, se determinará el esfuerzo cortante máximo con el dato de la fuerza cortante máxima que actúa sobre la matriz indicado en la figura 2.90, teniendo como resultado:

$$\tau_{cort} = 0.53 \text{ MPa}$$

Para el cálculo del esfuerzo torsor al que se encuentra sometida la pieza por el rozamiento de las varillas, antes se debe calcular el momento polar mediante la ecuación 2.24, se tiene que:

$$J = 9.52 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Empleando la ecuación 2.23, se determinara el esfuerzo torsor.

$$\tau_{torsión} = 0.11 \text{ MPa}$$

De los esfuerzos de la matriz de conteo 1 obtenidos, se tiene que:

$$\sigma_{compresión} = - 1.78 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\sigma_{tracción} = 1.78 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{xy} = 0.64 \text{ MPa}$$

Al introducir estos parámetros en el círculo de Mohr's se tiene el resultado que se muestra en el ANEXO E, con la denominación MATRIZ 3. Con los esfuerzos principales determinados, calcularemos el criterio de Von Mises mediante la ecuación 2.12.

$$\sigma' = 2.09 \text{ MPa}$$

En función de la ecuación 2.13 se tiene que le factor de seguridad tomando en cuenta las características del material que se encuentran en la tabla del ANEXO D – 3 se igual a:

$$FS = 339.56$$

Para verificar el resultado analizaremos el funcionamiento de la pieza en función de las fuerzas aplicadas por su funcionamiento mediante el software de simulación mecánica, para de esta manera determinar las partes críticas.

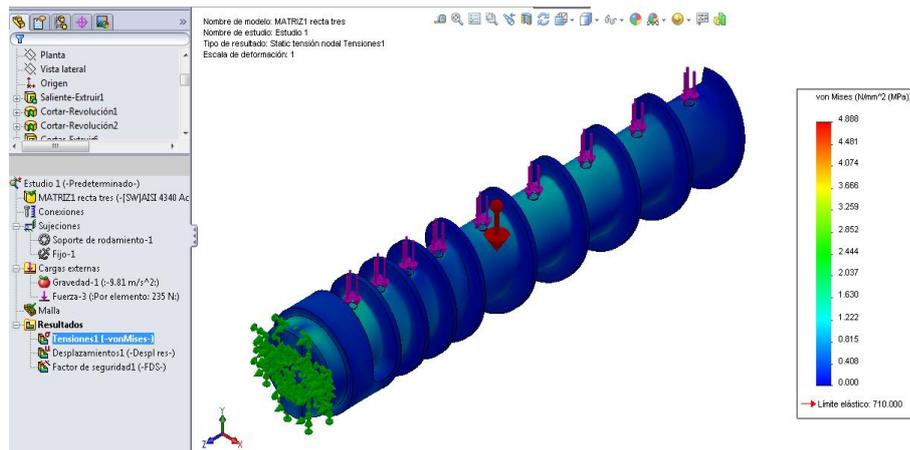


Figura 2.93: Análisis de esfuerzos y puntos críticos de la matriz 3

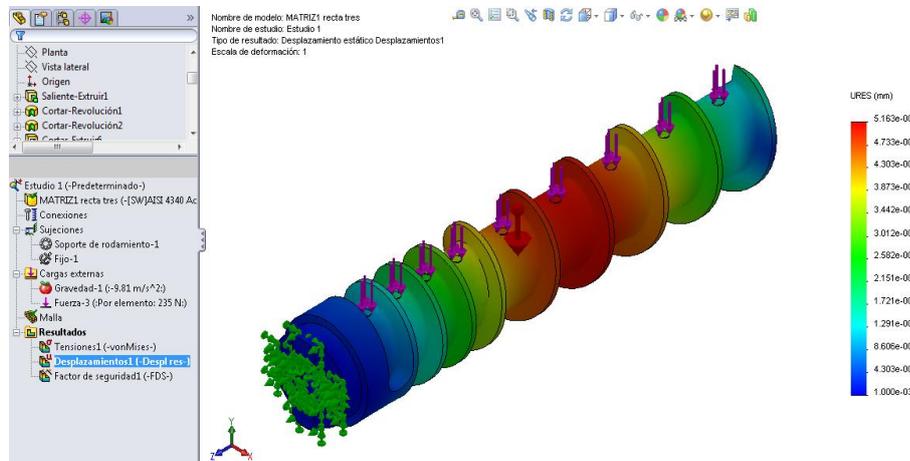


Figura 2.94: Deformación de la matriz 3 en ejecución de su función

De acuerdo a la simulación de la pieza en el programa de diseño se tiene que el factor de seguridad es de 150 aproximado al calculado debido a que el programa toma en cuenta las características especiales de la pieza en su totalidad, como se muestra en la figura 2.95.

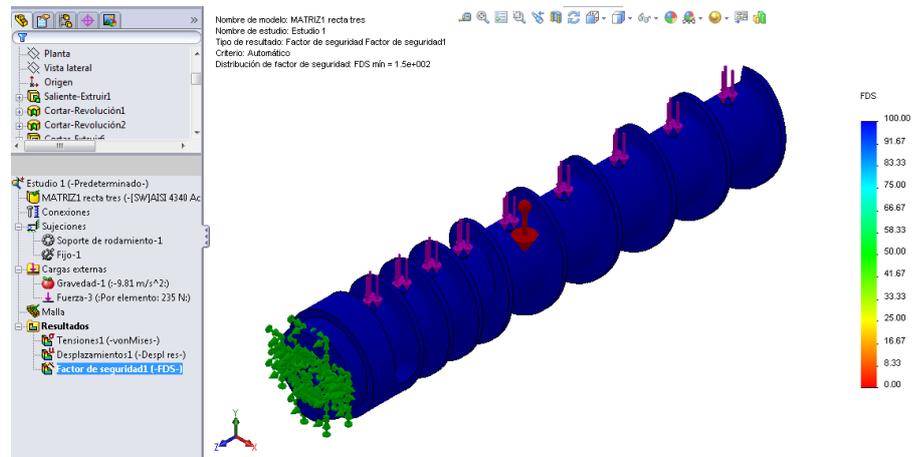


Figura 2.95: Factor de seguridad Matriz 3

La razón por la cual en el cálculo de estas piezas se tiene un factor de seguridad elevado es por el material de diseño que es un acero 4340 que cumple con las características de dureza superficial y tracción requeridas para el sistema, esta primera característica es muy importante ya que la pieza se encontrara en contacto directo con el material procesado de tal manera que puede sufrir erosión³⁵ por fricción ante un contacto directo y sin lubricación entre las piezas metálicas.

La matriz uno tiene un factor de seguridad muy elevado esto se debe a las matrices deben tener una geometría igual debido a la estructura donde será montado.

De acuerdo al análisis y a las características del sistema se tiene que esta matriz es la que más esfuerzo sufre, por lo que ha sido seleccionada para determinar el diámetro mínimo que debe tener.

Con el límite de esfuerzo a la fatiga del material determinaremos el diámetro mínimo de la matriz por medio de la formulación de De_Soderberg, el material de la pieza es un acero 4340 con las siguientes características.

³⁵ Desgaste de una superficie

$$S_y = 230 \text{ Kpsi};$$

Resistencia a la cadencia

$$S_{ut} = 250 \text{ Kpsi}.$$

Resistencia a la tensión

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Con S_{ut} determinamos la resistencia S'_e en función de las siguientes características.

$$S'_e = 100 \text{ Kpsi}$$

Factor de superficie K_a .

$$K_a = a \cdot s_{ut}^b$$

Los factores a y b se determinaran en función del acabado de la superficie del material que en este caso es maquinado, el factor a es igual $a = 2.7$ Kpsi y el exponente $b = -0.265$, como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Acabado superficial

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de forja	39.9	272.	-0.995

Con estos datos se tiene que:

$$K_a = 0.625$$

Factor de tamaño K_b , este factor se determina de las siguientes expresiones en función de un diámetro que en este caso es de 4 pulgadas que se encuentre entre los rangos que se presentan a continuación.

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ \mathbf{0.91d^{-0.157}} & \mathbf{2 < d \leq 10 \text{ in}} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Con la selección de la expresión adecuada, tomando en cuenta que el elemento se encuentra a flexión rotativa entonces el diámetro efectivo es de 4 pulgadas que es el diámetro mínimo en la matriz 3, se tiene que:

$$K_b = 0.73$$

Factor de carga K_c , se determina en base al tipo de carga a la que se encuentra expuesta la pieza estos datos se determinan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Modos de carga para los valores de K_c

MODO DE CARGA	K_c
Flexión³⁶	1
Axial³⁷	0.85
Torsión³⁸	0.59

La pieza se encuentra sometida a flexión, por lo que el valor de K_c es igual a 1.

Factor de temperatura K_d , la pieza se encuentra sometida a contacto directo con elementos que se encuentran a una temperatura 90°C a 100 °C variables, como se muestra en la figura 2.96.

En función de este dato en la tabla 2.6, se encuentra el factor de temperatura, tomando como dato determinante la temperatura máxima del

³⁶ Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido por la acción de una fuerza que lo deforma elásticamente

³⁷ Fuerzas que actúan en los extremos del elemento comprimiendo o estirando el material

³⁸ Fuerzas que deforman la pieza en forma helicoidal

material que alcanza hasta 100 °C en la zona del transferidor a la altura del contador de barras.



Figura 2.96: Temperatura del material en el transferidor

Tabla 2.6: Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Del resultado de la tabla 2.6 se tiene que K_d tiene un valor de 1.020.

Factor de confiabilidad K_e , se determina de la tabla 2.7 en base al rendimiento en porcentaje que se quiere que el sistema tenga, en este caso la optimización de la matriz de conteo, en función de la utilidad y la

funcionalidad del elemento dentro del mecanismo se ha escogido un factor de confiabilidad del 90%.

Tabla 2.7: Factor de confiabilidad

Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

De la tabla 2.7 se tiene que el factor de confiabilidad K_e es igual a 0.814.

Factor de efectos diversos K_f , este factor tiene el propósito de tomar en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga debido a todos los otros efectos, en verdad significa un recordatorio que estos efectos se deben tomar en cuenta, porque los valores reales de k_f no siempre están disponibles, para este caso se asumirá que K_f es igual a 1.

Con los datos encontrados, determinaremos el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso S_e .

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

$$S_e = 37.9 \text{ Kpsi}$$

Para los factores K_t y K_{ts} se determinan en función a la tabla 2.8 que posee las características del sistema, en función del estado de funcionamiento y los requerimientos del sistema, ya que los cuñeros³⁹ de la pieza son fresados.

³⁹ Cavidad de tracción en un eje de rotación

Tabla 2.8: Iteración de los factores de concentración de esfuerzo K_t y K_{ts} .

	FLEXIÓN	TORSIÓN	AXIAL
Filete de hombro agudo	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro muy redondeado	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado	2.2	3.0	-
Cuñero trapezoidal	1.7	-	-
Ranura para anillo de retención.	5.0	3.0	5.0

De la tabla 2.8 se tienen los siguientes datos:

$$K_t = 2.2$$

$$K_{ts} = 3$$

Para la determinación de la muesca q_f , con los valores de los redondeos de la pieza que es de 4 mm, para los elementos sometidos a flexión utilizaremos la gráfica que se encuentra en el ANEXO G - 1, dando como resultado.

$$q_f = 0.98$$

Para los elementos sometidos a torsión se determinara el factor q_t , en la grafica del ANEXO G - 2, dando como resultado:

$$q_t = 1$$

K_f y K_{fs} Son los factores de concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión y la torsión respectivamente, que se determinan con las ecuaciones 2.25 y 2.26 respectivamente.

$$K_f = 1 + q_f(K_t - 1) \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$K_f = 2.176$$

$$K_{fs} = 1 + q_t * (K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. 2.26}$$

$$K_{fs} = 3$$

Utilizando los datos de torques y momentos máximos a los que se encuentra sometida la pieza asignamos a los valores de la ecuación, para determinar el diámetro mínimo que podrá tener la pieza.

$$M_{\text{máx}} = 310.7 \text{ Nm} = M_a = 2748.82 \text{ lb.pulg}$$

$$T_{\text{máx}} = 20.52 \text{ Nm} = T_m = 181.54 \text{ lb.pulg}$$

$$M_m = 0$$

$$T_a = 0$$

En el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constantes, el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante. Por la que M_m y T_a son iguales a cero en las ecuaciones anteriores.

En base al método de DE-Soderberg expresado en la ecuación 2.27, se tiene la expresión para determinar el diámetro menor que debe tener el eje para los esfuerzos y características determinados, tomando en cuenta que el factor de seguridad es igual a 4 en función de que la pieza se encuentra en un sistema dinámico, en contacto directo con el material a ser contado.

$$d = \left(\frac{16FS}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 2.27}$$

$$d = 1.9 \text{ pulgadas.}$$

De la expresión anterior se tienen que el diámetro mínimo de la pieza es de 1.9 pulgadas. Este parámetro determina la razón por la que el factor de seguridad es elevado, recalando que este dato es discordante con la proporcionalidad en el tamaño de la pieza por el material utilizado para su elaboración.

2.2.11 DISEÑO DEL SOPORTE FRONTAL.

El soporte frontal debe cumplir con la tarea de sujetar las matrices de manera de garantizar un eficiente montaje en un tiempo reducido.

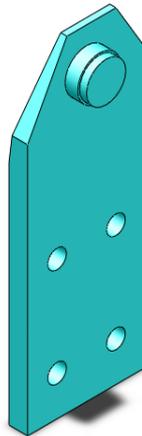


Figura 2.97: Geometría del soporte frontal

El análisis de la pieza se realizará en el software SolidWork, por ser una pieza de sujeción, la fuerza máxima que debe soportar la pieza es equivalente a 1213.73 N como se muestra en la figura 2.90 que es la fuerza máxima sobre la pieza ejercida por la matriz 3.

En las figuras 2.98, 2.99 y 2.100, el factor de seguridad estimado para la pieza es de 4 al igual que la matriz de conteo ya que las fuerzas a las que será sometida son desconocidas en algunos casos, por las cargas del material de conteo.

El pin sobresaliente de la pieza es un alojamiento macho para un rodamiento en el cual rotará la matriz de conteo, en consecuencia la pieza no sufrirá desgaste por contacto directo con otro material.

El soporte frontal permitirá el desplazamiento libre del material sin retenciones o atascamientos que perjudiquen el proceso, por su geometría en la punta.

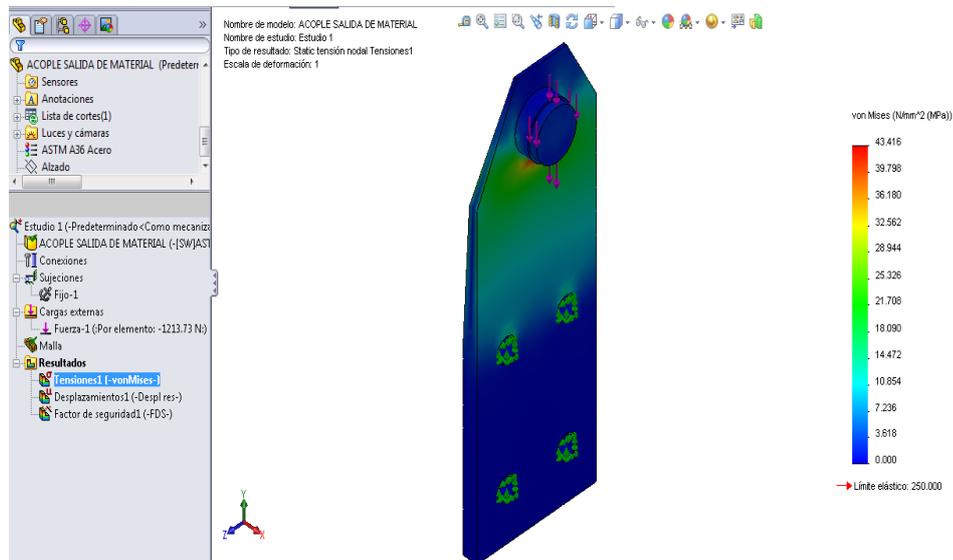


Figura 2.98: Análisis de esfuerzos del soporte frontal

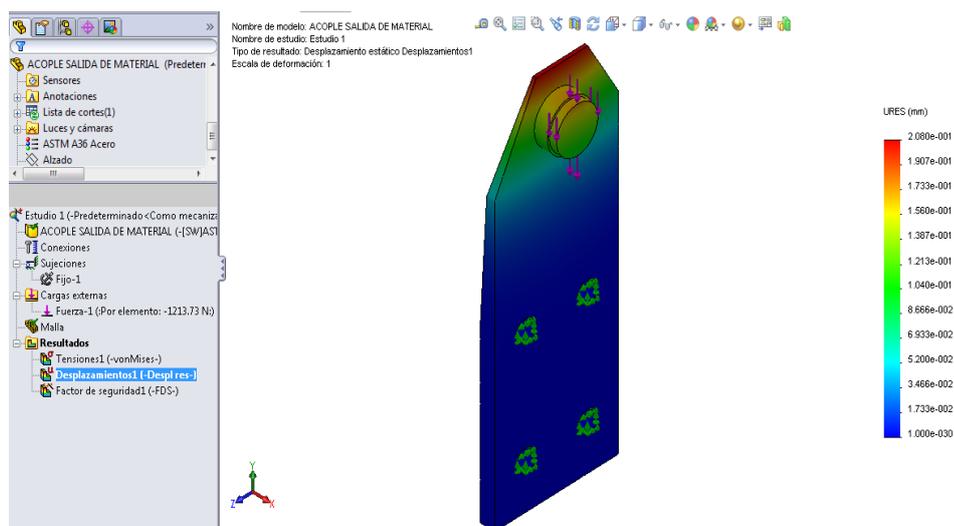


Figura 2.99: Deformación del soporte frontal

Según el simulador el factor de seguridad es de 5.8, donde el factor de seguridad para piezas mecánicas con un peso desconocido es de 4, la diferencia de 1.8 que se tiene entre lo establecido y lo simulado es por la deformación, ya que por la deformación de la pieza esta se puede cerrar y rozar la matriz de conteo.

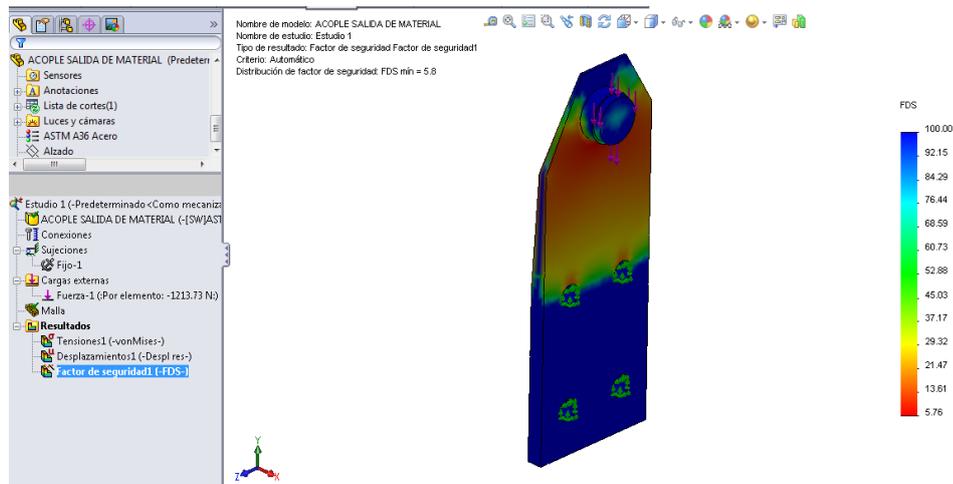


Figura 2.100: Factor de seguridad soporte frontal

En la figura 2.100 se muestra el factor de seguridad más crítico en la pieza, detallado en una escala de colores, donde el color rojo indica la parte más crítica.

2.2.12 SELECCIÓN DE RODAMIENTO DEL SOPORTE FRONTAL

El rodamiento para el sostén frontal sugiere las siguientes características, el peso máximo que debe soportar es de 1213.734 N, y la velocidad máxima es de 568 RPM, además como requerimiento especial se necesita que el espesor del rodamiento sea mínimo, con estos datos y según las características del sistema se selecciono el rodamiento 61808-2RZ del catálogo general de SKF, que soporta una carga dinámica de 4.94 KN y una carga estática de 3.45 KN, que satisfacen con los requerimientos además de una velocidad máxima de 13000 RPM que sobredimensiona el sistema ya que la velocidad máxima que se alcanzara es de 568 RPM .

2.2.13 DISEÑO DEL EJE DE TRACCIÓN POSTERIOR.

El soporte posterior se encuentra unido directamente con la matriz de conteo es el encargado de proporcionar movimiento a la pieza además facilita el montaje y desmontaje de las matrices de manera inmediata.

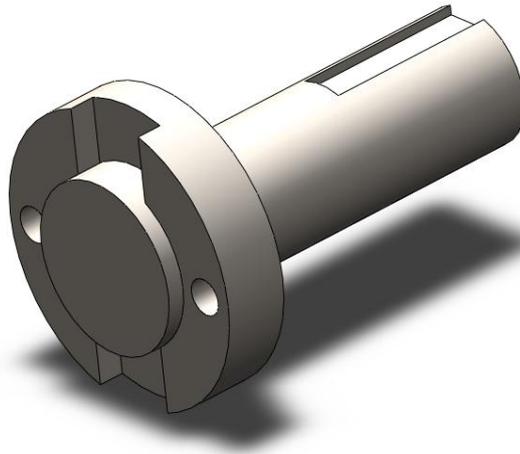


Figura 2.101: Geometría eje de tracción posterior

Para determinar la funcionalidad de la pieza se analizará el proceso de arranque de la matriz con los siguientes parámetros:

ω_0 = velocidad angular inicial (rad/s) = 0 rad/s.

ω_1 = velocidad angular final (rad/s) = 62.83 rad/s.

t = tiempo en el que el sistema alcanza la velocidad final (s) = 0.2 s.

El parámetro de velocidad final se determinó por las características de funcionamiento del motor hidráulico que es de 600 RPM. Mediante la ecuación 2.28 calcularemos la aceleración angular del sistema α , expresado en Rad/s^2 , con los parámetros antes indicados relacionados con la expresión que se indica.

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} \quad \text{Ec. 2.28}$$

De donde se tiene que la velocidad angular del sistema es igual a:

$$\alpha = 314.16 \text{ rad/s}^2$$

La funcionalidad de la pieza es vencer la inercia de la matriz a plena carga con la aceleración indicada, como se encuentra acoplado

directamente con la matriz de conteo se determinara la inercia mediante la ecuación 2.29. Ec. 2.29

$$I = \frac{1}{2}mr^2 \quad \text{Ec. 2.29}$$

Donde:

I = Inercia del cuerpo (kgm^2).

m = Masa del cuerpo (Kg).

r = Radio de la superficie transversal del cuerpo (m).

Considerando que la matriz 1 es la que más masa tiene con 75.57 Kg y el radio de la matriz es de 0.0642 m, entonces se tiene que la inercia es igual a:

$$I = 0.22 \text{ Kgm}^2$$

Con el resultado del cálculo de la inercia y de la aceleración mediante la ecuación 2.30, se determinara el torque que debe soportar la pieza con los parámetros indicados.

$$T_a = I * \alpha \quad \text{Ec. 2.30}$$

Con los parámetros obtenidos se tiene que el torque de arranque es igual a:

$$T_a = 68.92 \text{ Nm}$$

Para tener un torque total se debe sumar el torque que de arranque el necesario para vencer la inercia del cuerpo y el torque que generan la varillas que rozan sobre la superficie de la matriz uno teniendo como resultado.

$$T_T = 75.93 \text{ Nm.}$$

Se realizara la simulación de la pieza para determinar el factor de seguridad, y los cambios físicos de la pieza en acción de su trabajo, remarcando las partes más críticas como se muestra en la figura 2.102.

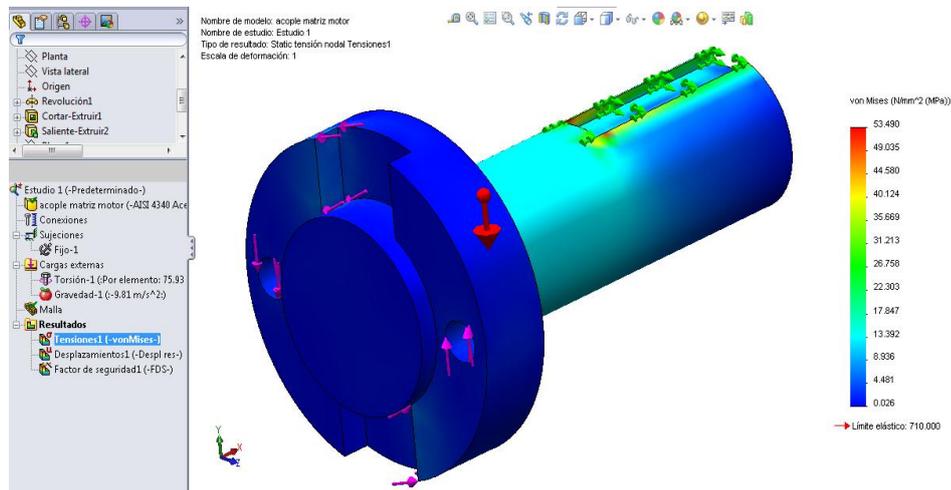


Figura 2.102: Análisis de esfuerzos del eje de tracción posterior

En la figura 2.103 se muestra la deformación máxima de la pieza en una escala de colores, donde el rojo es la parte más crítica y destacando que la parte que sufre la deformación máxima está en contacto directo con la matriz.

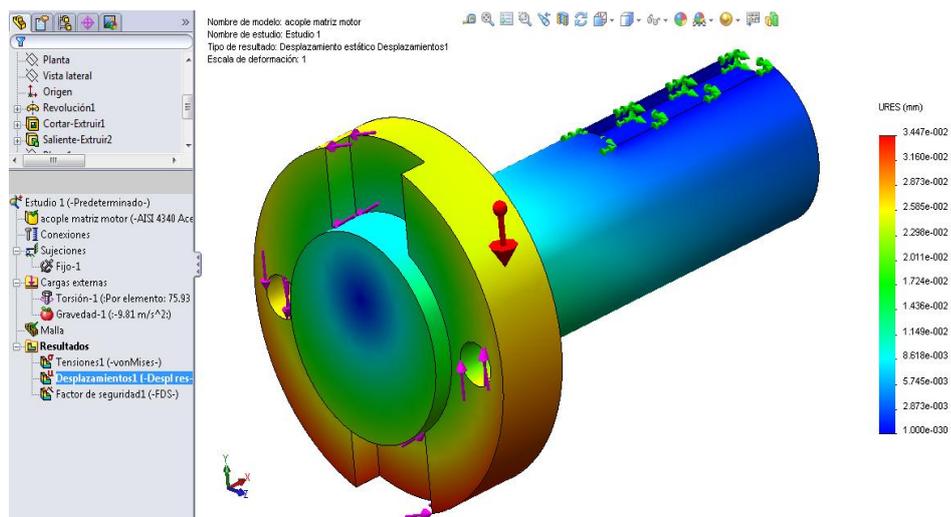


Figura 2.103: Deformación del eje de tracción posterior

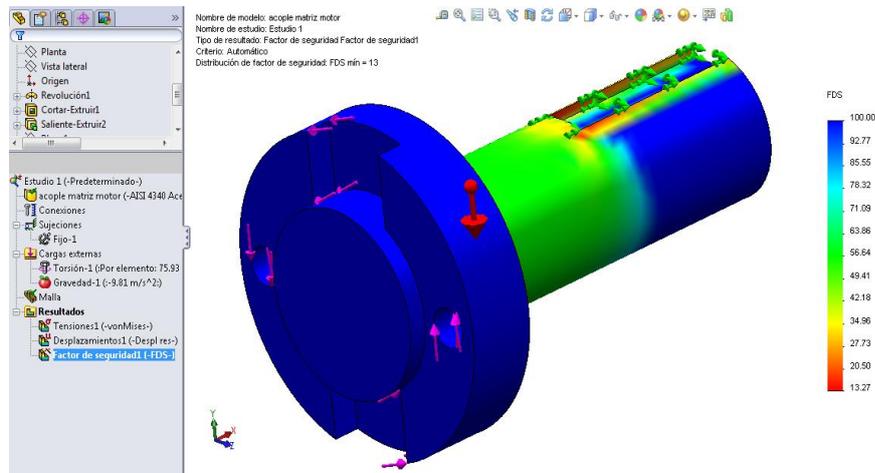


Figura 2.104: Factor de seguridad del eje de tracción posterior

El Factor de seguridad que nos da como resultado es de 13, es elevado en comparación con el determinado en función del criterio de diseño que es de 4 esto se debe a que el material de la pieza es un acero 4340 para evitar la erosión del material que se encuentra en contacto constante y con una oscilación de arranque frecuente, por cada accionamiento del sistema de conteo.

2.2.14 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SOSTÉN TRASERO

En la parte posterior el sistema se encuentra sujeto a una chumacera de piso determinada con dos factores principales que es el peso total que debe soportar y las RPM de giro.



Figura 2.105: Propiedades físicas ensamble acople matriz

Mediante la ecuación 2.1 determinaremos el peso del ensamble con el dato de masa que se indica en la figura 2.105, dando como resultado:

$$W_{AM} = 801.47 \text{ N}$$

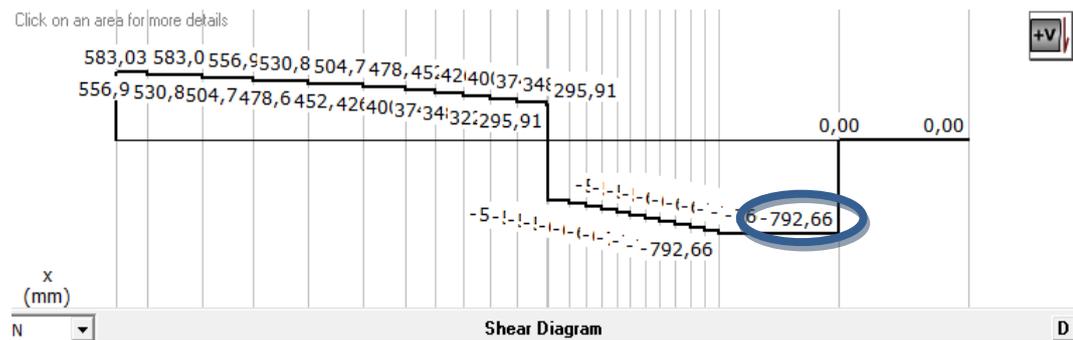


Figura 2.106: Diagramas de fuerzas cortantes ensamble acople matriz

En la figura 2.106 se indica el diagrama de fuerzas cortantes, la aplicada en el extremo donde se encuentra la chumacera es de 792.66 N, el sistema de gira a una velocidad de 568 RPM establecido para alcanzar una velocidad de producción de 40 toneladas por hora en su producto más crítico VC8, con estos parámetros se ha seleccionado la chumacera de piso 212, con un diámetro de alojamiento de 60 mm, con las características que se muestran en el ANEXO F, la chumacera seleccionada en 100000 horas de trabajo a 750 RPM soporta una carga de 3180 N, la velocidad escogida está en función a la proporcionada por el impulsor hidráulico.

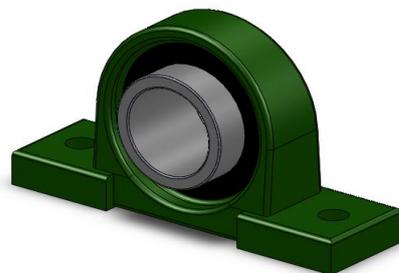


Figura 2.107: Chumacera de piso 212

2.2.15 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL IMPULSOR MECÁNICO

Para el cálculo del impulsor mecánico se deben tomar los siguientes parámetros para partir con los cálculos, como primer punto la aceleración de arranque del sistema.

Al igual que en el cálculo para el diseño del acople posterior se tiene una aceleración angular de 314.16 rad/s^2 , para determinar la inercia se toma en cuenta la masa de la matriz 1 y del acople posterior, adicional el peso de la catalina se sincronización, dándonos una masa total de 84.7 Kg, por medio de la ecuación 2.29 determinamos la inercia del cuerpo dándonos como resultado:

$$I_{mp} = 0.25 \text{ Kgm}^2$$

A la inercia I_{mp} le sumamos la inercia producida por el acople que es de 0.019 Kgm^2 , indicada en el ANEXO H, dándonos una inercia total I_m para el cálculo del torque de arranque de:

$$I_m = 0.269 \text{ Kgm}^2$$

En función de la inercia I_m producida por el acople y la matriz, por medio de la aceleración determinamos el torque necesario que se debe efectuar para el cambio de estado del cuerpo, por medio de la ecuación 2.30. Teniendo como resultado.

$$T_m = 84.5 \text{ Nm}$$

Para tener un torque total T_{Tm} en función del torque generado por la inercia y el torque generado por las fuerzas de rozamiento se tiene que:

$$T_{Tm} = 91.82 \text{ Nm.}$$

En función del torque total de arranque T_{Tm} y la velocidad angular del sistema expresada en rad/s se calcula la potencia del impulsor mecánico, mediante la ecuación 2.31.

$${}^{40}P = T * \omega$$

Ec. 2.31

Donde:

P = Potencia del impulsor mecánico (Watt).

T = Torque (Nm).

ω = Velocidad angular (rad/seg).

Donde se tiene como resultado que la potencia del impulsor mecánico es de 5.75 Watt que es igual a 7.7 HP, para tener un dato estándar de la potencia del impulsor se tiene que la potencia real es de 10 HP.

En función de los requerimientos del sistema el motor debe estar acoplado directamente a la matriz como se muestra en la figura 2.108, razón por la cual se ha seleccionado un motor hidráulico.

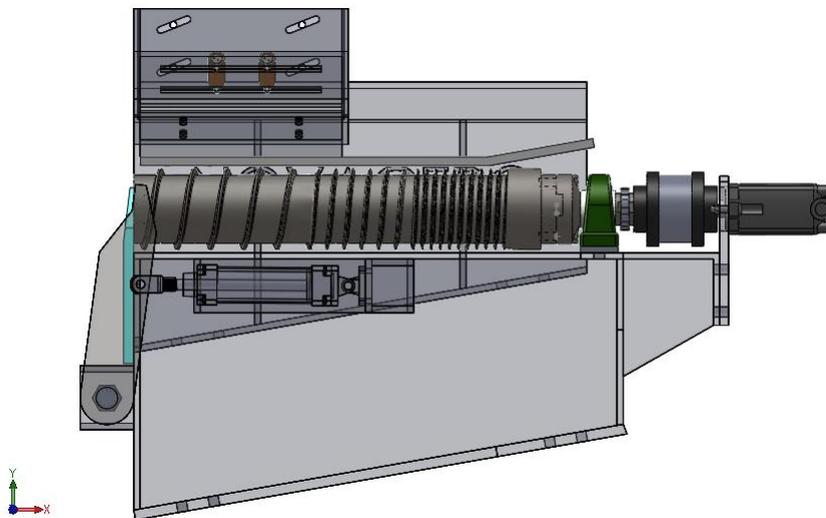


Figura 2.108: Acoplamiento motor hidráulico Matriz

El motor hidráulico que se selecciono por sus características es el CHAR-LYNN 104-1064, teniendo como especificaciones principales los siguientes parámetros.

⁴⁰ <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Potencia%20mec%E1nica.htm>

Especificaciones CHAR-LYNN 104-1064⁴¹:

- ✓ Tipo de motor: GeRotor.
- ✓ Caudal de rotacion: 9.6 pulg/rev.
- ✓ Presión: 3000 psi continuos y 3750 psi intermitentes.
- ✓ Torque: 4040 pulg lbr continuos y 5040 pulg lbr intermitente.
- ✓ Velocidad: 447 RPM continuos y 713 RPM intermitente.
- ✓ Caudal: 20 GPM continuos y 30 GPM intermitente.
- ✓ Rotación: Reversible.

En función de las características principales de torque y de la RPM necesarias para el sistema se tiene que el motor de manera continua tiene 568 Nm a 713 RPM que estan dentro del rango de funcionamiento del sistema, en el ANEXO I, se muestra las tablas de torques, RPM caudal y presión a las que se encuentra funcionando el motor.

2.2.16 SELECCIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA.

En función de las características del motor y los parámetros de operación señalados en el ANEXO I, se tiene los siguientes datos para la selección de la bomba:

- $P = 140$ Bar (Presión de trabajo).
- $Q_m = 30$ GPM (Caudal del motor).

De estos datos se tiene que trabajaremos a una presión máxima constante de 140 Bar, con un caudal variable en ese rango de presión para poder variar la velocidad del impulsor mecánico.

En base a las características de selección se ha tomado una bomba de paletas debido a que la presión que se quiere manejar es alta y el caudal es bajo ya que solo contralaremos al motor hidráulico. En la figura 2.109 se indica la bomba seleccionada. 25V21A 1C20

⁴¹ <http://www.surpluscenter.com/item.asp?item=9-072-1064&catname=hydraulic>



Figura 2.109: Bomba 25V21A 1C20⁴²

De manera detallada se presenta la descripción de la denominación en la tabla 2.9.

Tabla 2.9: Descripción técnica bomba 25V21A 1C20⁴³

<i>S25V Datos Técnicos</i>		<i>S25V Technical Data</i>							
Designación Series	Código Code	Desplazamiento geométrico Geometric Displacement	Con aceite hidráulico anti- o fluido ester fosfato With antiwear hydraulic oil or phosphate ester fluid		Con fluido agua glicol With water glycol fluid		Con emulsiones agua-aceite With water-oil emulsions		Vel. Mínima Min. Speed
			Presión máxima Max. Operating pressure (bar)	Velocidad máxima Max. Speed (rpm)	Presión máxima Max. Operating pressure (bar)	Velocidad máxima Max. Speed (rpm)	Presión máxima Max. Operating pressure (bar)	Velocidad máxima Max. Speed (rpm)	
			Cont. / Inter.	(rpm)	(bar)	(rpm)	(bar)	(rpm)	
S25V	10	32.5 (1.98)	175 / 210	1800	160	1500	70	1200	600
	12	39 (2.38)							
	14	45 (2.78)							
	15	47 (2.89)							
	17	55 (3.36)							
	19	60 (3.66)							
	21	67 (4.13)							
	25	81 (4.94)							

Caudal (Usqpm) a 1200 rpm y 7 bar

Flow (Usqpm) at 1200 rpm and 7 bar

En la figura 2.116 se indica la curva de la relación entre las RPM del motor eléctrico y el caudal que proporciona la bomba con una presión de trabajo constante de 140 Bar, en este caso trabajaremos con un motor estándar de 1800 RPM lo que según la figura tendremos un caudal de 30 GLM.

⁴²http://mundohidraulicoyneumatico.com/tienda/index.php?cPath=231_238&sort=1a&page=2&osCsid=fc9d3407dc71cd63b1c94d39209ba807

⁴³<http://www.hydba.com/admin/uploads/docs/20120313123922.pdf>

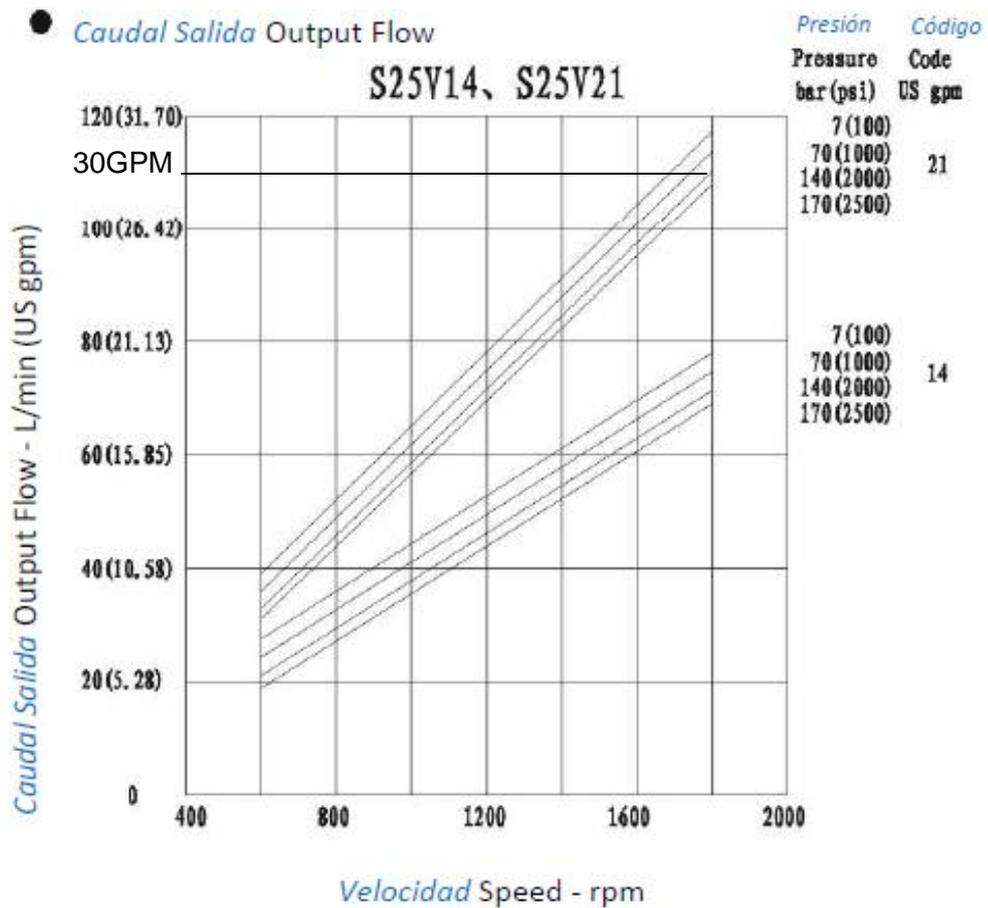


Figura 2.110: Curva de la bomba 25V21A 1C20 en función de RPM vs caudal

2.2.17 CÁLCULO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA.

La potencia del motor eléctrico viene dado tomando en cuenta los siguientes parámetros de la bomba.

$Q = 30 \text{ GPM}$ (Caudal máximo de operación).

$P = 140 \text{ Bar} = 1428 \text{ mca}^{44}$ (Presión constante en la línea hidráulica).

Por medio de la ecuación 2.32 determinaremos la potencia para el motor eléctrico.

⁴⁴ Metros de columnas de agua

$$P_{\text{elec}} = \frac{Q * P}{76 * n} \quad \text{Ec. 2.32}$$

Donde:

P_{elec} = Potencia del motor eléctrico en caballos de fuerza (HP).

Q = Caudal (lt/s).

P = Presión (mca).

n = Eficiencia del motor.

La eficiencia del motor es de 0.7⁴⁵, valor que se tomara para los cálculos elevando en un porcentaje la potencia calculada del motor. Con los parámetros establecidos y utilizando la ecuación 2.32 se requiere una potencia de:

$$P_{\text{elec}} = 51.68 \text{ HP}$$

Por razón del gran tamaño del motor se toma en cuenta el caudal máximo de trabajo que es de 25 GPM en ese caso se tiene una potencia de:

$$P_{\text{elec}} = 38.5 \text{ HP}$$

Llegando a un estándar de motores se tiene una potencia de 40 HP.

2.2.18 CIRCUITO DE CONTROL HIDRÁULICO.

Para los fines de control del sistema de tracción para la matriz en función de los requerimientos establecidos se presenta la figura 2.111 donde se muestra el plano, los diámetros por sección de la tubería que en función del caudal se ha escogido de la tabla que se encuentra en el ANEXO J. Para que los equipos del sistema trabajen en armonía junto con los elementos de control.

⁴⁵<http://es.scribd.com/doc/48701699/calculo-de-la-potencia-para-el-motor-de-la-bomba-del-sistemacisterna-tinaco>

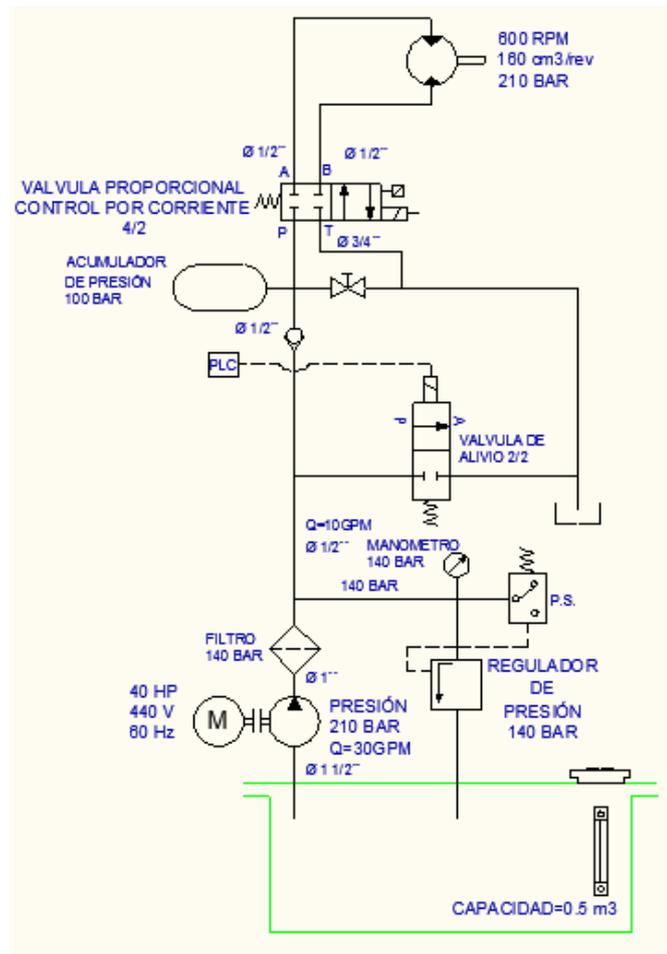


Figura 2.111: Plano hidráulico contador de barras

En la figura 2.111 se indica el plano hidráulico en función de los requerimientos del motor y la bomba con los elementos de control que se describen técnicamente en el plano.

La válvula reguladora de presión limita la que se tiene a la salida de la bomba para el funcionamiento en el sistema con los requerimientos establecidos, el filtro elimina impurezas que se succionen del tanque y pueden causar desgaste y fallos en los manos del motor.

Se tiene un presostato⁴⁶ que en la figura 2.111 se denomina con las letras P.S. que controla que en la vía principal se tenga una presión de 140

⁴⁶ Sensor de presión

BAR, si la presión excede se abrirá la válvula de alivio 4/2 mediante un control análogo A.C. que nos brindara un punto determinado de histéresis⁴⁷.

EL ACUMULADOR DE PRESIÓN restablece el sistema en un corte de fluido hasta alcanzar el ciclo establecido del motor, tiene una check⁴⁸ a la entrada para impedir el retorno de fluido.

La VÁLVULA PROPORCIONAL controla el flujo del motor, el paro y el accionamiento en cada ciclo a los parámetros establecidos según el producto que se encuentre en proceso.

El sistema hidráulico debido a la presión que maneja necesariamente debe tener una válvula de venteo que libera la presión automáticamente cuando el motor se detenga, este accionamiento debe ser comandado mediante el PLC, en sincronización con los demás parámetros de funcionamiento.

El fluido que maneja la central es un aceite RANDO 68 que presenta las propiedades que se detallan en la tabla 2.10

Tabla 2.10: Propiedades aceite RANDO 68

	22	32	46	68	100	150	220
Número CPS	221655	221657	221658	221659	222778	221660	221661
Número MSDS	8643	8643	8643	8643	12195	12195	12195
Grado AGMA	—	—	1	2	3	4	5
Gravedad API	33.7	32.6	31.8	31.6	30.1	29.7	28.5
Viscosidad, Cinemática cSt a 40°C cSt a 100°C	23.1 4.4	30.4 5.2	43.7 6.5	64.6 8.4	95.0 11.0	143 14.2	209 18.2
Viscosidad, Saybolt SUS a 100°F SUS a 210°F	120 41	157 44	225 48	334 54	495 64	751 76	1105 93
Índice de Viscosidad	98	99	97	98	100	97	96
Punto de Inflamación, °C(°F)	177(351)	220(428)	226(439)	235(455)	250(482)	260(500)	271(520)
Punto de Escurrimento, °C(°F)	-36(-33)	-33(-27)	-30(-22)	-30(-22)	-15(+5)	-12(+10)	-12(+10)
Estabilidad a la Oxidación Horas para 2.0 mg KOH/g número ácido ASTM D 943	>6000	>6000	>6000	>6000	>2000	>1500	>1000

⁴⁷ Rango activo de operación de un dispositivo

⁴⁸ Válvula anti retorno de flujo en la línea

La característica principal por la cual se escogió este tipo de aceite es porque trabaja a presiones superiores a los 1000 psi.

2.2.19 ESTRUCTURA DEL MÓDULO DEL CONTADOR.

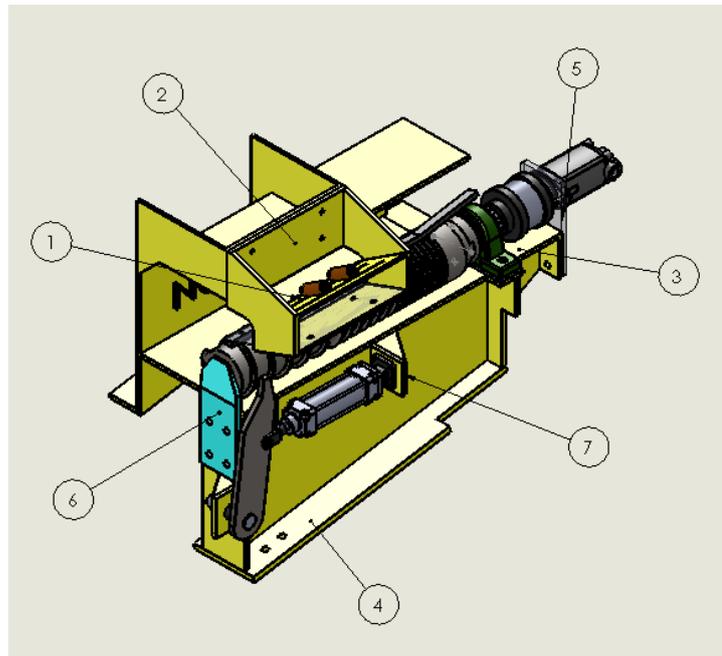


Figura 2.112: Chasis de sostén de elementos del modulo de conteo

La distribución de elementos dentro del modulo físico encaja a las partes que funcionan dentro de este para la ejecución de su labor, incluyendo la parte eléctrica de control, el diseño del chasis de montaje está hecho de tal forma que sea capaz de sostener a los elementos del modulo de una forma rígida sin vibraciones que puedan afectar el funcionamiento del mecanismo.

- 1.- Guía de montaje del sensor de conteo.
- 2.- Guía de desplazamiento de la guía de resorte.
- 3.- Base de sujeción de los soportes posteriores de la matriz.
- 4.- Guías de anclaje del módulo.
- 5.- Base de sujeción del motor.
- 6.- Anclaje del soporte frontal del motor.
- 7.- Base de anclaje para el pistón de la uña inicial.

2.3 CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICO

Los componentes eléctricos representan una parte esencial para el funcionamiento, protección y control; más aun si se trata de un proceso de automatización donde se debe sincronizar todo el proceso.

2.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES

En esta sección se realiza el dimensionamiento de los dispositivos de protección que gobernarán al motor eléctrico de la bomba, una vez calculada la potencia de salida (eje) requerida por el motor eléctrico para dar movimiento al tornillo sinfín.

Para la selección de este parámetro se debe recalcar que se ha reutilizado una central hidráulica, que consta de un motor cuyas características se muestran en la tabla, del ANEXO K - 1. Los elementos de la central son afines a los cálculos mecánicos realizados para la aplicación.

Los parámetros que se emplea para la selección de los elementos de protección tomando en consideración los valores predeterminados de placa que se muestran en el ANEXO K - 1, son los siguientes: tipo de alimentación trifásico con un voltaje nominal de 440 VAC, y una potencia de trabajo máximo para el motor seleccionado de 40 HP, mediante el cálculo para la intensidad absorbida por el motor eléctrico obtendremos los parámetros necesarios para su respectiva selección.

$$I = \frac{P*746}{\sqrt{3}*E*\cos \varphi*\eta} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Donde:

P = Potencia (hp)

E = Tensión (V)

$\cos \varphi$ = Factor de potencia

η = Eficiencia o rendimiento del motor

$$I_n = \frac{40 * 746}{\sqrt{3} * 440 * 0.87 * 0.91}$$

$$I_n = 49.46 \text{ Amp}$$

c. SELECCIÓN DE CONDUCTORES

Para la selección de un conductor se debe tomar en cuenta que la capacidad de conducción de la corriente por el conductor es igual a la corriente nominal (I_n) del sistema multiplicado por el factor de servicio correspondiente (F_s).

$$I_c = I_n * F_s \quad \text{Ec. 2.34}$$

$$I_c = 49,46\text{Amp} * 1,15$$

$$I_c = 56,88 \text{ Amp}$$

De esta manera se procede a seleccionar el calibre del conductor. Según la tabla indicada en el ANEXO K - 2, seleccionamos el calibre de conductor # 6 AWG para el circuito de fuerza o potencia y el calibre de conductor #18 AWG para el circuito de control.

El conductor que se utiliza dentro del sistema es del tipo THHN (Conductor de cobre suave, en cableado concéntrico con aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa protectora de poliamida; Nylon), ya que son aptos para instalaciones muy especiales como son ductos difíciles y usarse en zonas abrasivas o contaminada con aceites, grasas, gasolinas, así también en sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, etc. y su temperatura máxima de operación es de 90 °C, en conclusión el tipo de conductor seleccionado es correcto.

d. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Los elementos de protección están diseñados para desconectar al motor del circuito en el caso de bruscos cambios en la corriente que demanda o bien corrientes de arranques excesivas. Para la protección de todo el sistema se establece una relación que es el cálculo de una corriente nominal con una constante de protección.

$$I_p = I_n \times c \quad \text{Ec. 2.35}$$

Donde:

I_p = corriente de protección

I_n = corriente nominal o a plena carga

c = constante de protección (rango de 2 a 3)

$$I_p = 52,95 * 2.5$$

$$I_p = 132.38\text{Amp}$$

El valor de **I_p** se deben aproximar al valor inmediato superior comercial que se fabrique. Para la protección del motor se utilizara un Arrancador Suave: Soft-Starter SSW-03 Plus (ANEXO k - 3) y un Breaker: EZC250H-3P (ANEXO k - 4).

2.3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

Para controlar de forma precisa el proceso con el cual debe trabajar el contador automático de varilla, se hará uso de los siguientes accesorios o elementos de control eléctrico que se mencionan a continuación:

- PLC
- Panel de Control (HMI)
- Sensor fotoeléctrico de proximidad
- Sensor inductivo

a. SELECCIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

La correcta selección de los componentes es uno de los aspectos fundamentales en el proceso de automatización, que se ajustan a parámetros técnicos, económicos, disponibilidad en el mercado, etc. además de controlar toda la secuencia del proceso del conteo de la varilla, le dará una mayor robustez al sistema de control frente al entorno de trabajo dentro de un ámbito industrial; por lo tanto para la selección del PLC se tomo en consideración lo siguiente parámetros:

- Las condiciones de operación preestablecidas
- La instrumentación disponible
- El número de entradas y salidas requeridas
- Los requerimientos del nuevo sistema de control
- Reservas para posibles incorporaciones o modificaciones futuras
- Disponibilidad dentro del mercado

a.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PLC S7-300

El SIMATIC S7-300 es la serie de autómatas de altas prestaciones de Siemens que en su configuración mínima consta de un bloque de alimentación (FA) y de otro principal que contiene la CPU y dos módulos de E/S digitales y analógicas. En la Figura 2.119 Se observa las partes principales del PLC SIMATIC S7-300. Las características del PLC se presentan en la tabla del ANEXO K - 5.

En la Tabla 2.11 los componentes necesarios y la cantidad requerida para poner en marcha el PLC, acorde con la programación implementada para la aplicación, es necesario mostrar los números de parte de cada uno de los componentes por cuanto facilitara la investigación de los manuales de operación de cada uno de estos y en el caso de remplazarlos por algún motivo obtendremos el repuesto exacto.

Tabla 2.11: Elementos requeridos para arrancar la CPU 313C

CANTIDAD	ARTICULO	NUMERO DE ORDEN (SIEMENS)
1	Perfil de soporte (BASTIDOR)	6ES7390-1AF30-0AA0
1	Fuente de Alimentación PS 307 10A	6ES7307-1KA02-0AA0
1	CPU 313C	6ES7313-5BE03-0AB0
1	SIMATIC Micro Memory Card 512 K	6ES7953-8LJ20-0AA0
1	Modulo de salidas Digitales SM322 32DO 24 Vdc 0,5 A	6ES7322-1BL00-0AA0
1	Dispositivo de programación (PG) PC ADAPTER USB	6ES7972-0CB20-0XA0

Las características principales de la CPU 313C se citaran a continuación así como también se presenta un bosquejo general de la CPU señalando sus partes.

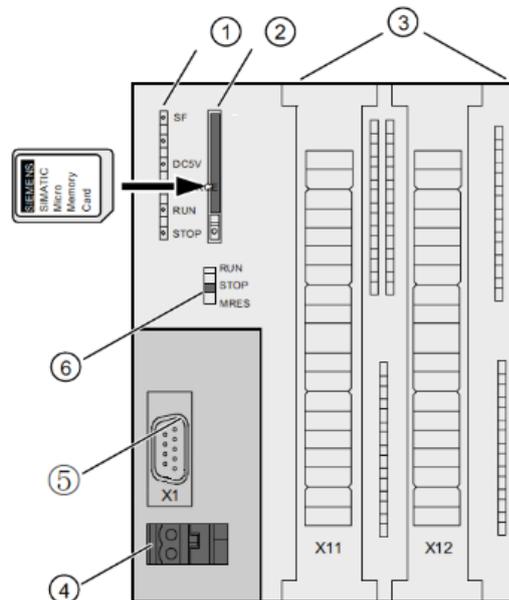


Figura 2.113: Partes principales del PLC S7-300 (CPU 313C)

1. Indicador de estado de error.
2. Ranura de la Micro Memory Card.
3. Entradas y salidas integradas.
4. Conexión para la fuente de alimentación.

- 5. Interfaz X1 MPI.
- 6. Selector de modo.

El modelo sobre el cual vamos a trabajar es el 313C que es una disposición compacta, agrupado junto a la CPU un modulo X11 con E/S analógicas y un grupo de entradas digitales y otro modulo X12 con grupo de E/S digitales.

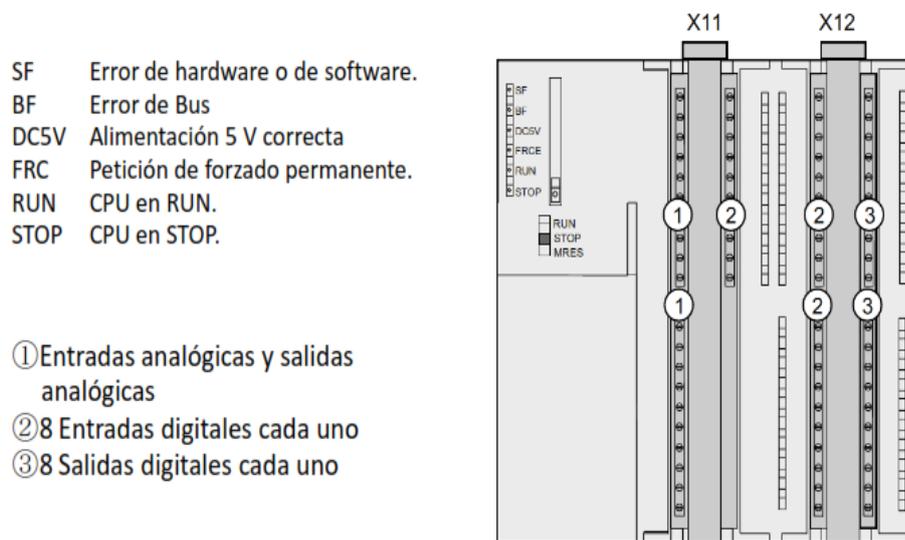


Figura 2.114: Características del PLC SIEMENS S7-300

El selector de modo permite seleccionar la forma de operación de la CPU, sus diversas opciones se detallan a continuación:

Tabla 2.12: Opciones del selector en la CPU 313C

POSICIÓN	SIGNIFICADO	OBSERVACIÓN
RUN	Modo RUN	La CPU procesa el programa de usuario
STOP	Modo de operación STOP	La CPU no procesa ningún programa de usuario
MRES	Borrado total	Posición no enclavable del selector de modo por el borrado total de la CPU. El borrado total mediante el selector de modo de operación requiere una secuencia especial de operación.

b.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PS 307

Propiedades:

- Salida 10A
- Tensión de salida 24VDC
- Conexión a monofásicos de corriente alterna AC 110/220V
- Protección contra cortocircuitos y sobrecargas
- Utilizable junto con el sistema 300 en el Bastidor
- Seguridad de aislamiento

Estructura

1. Led de estado
2. Selección de tensión de red de corriente alterna 110/220 V
3. Interruptor ON/OFF
4. Entrada de AC 110/220 V Monofásico
5. Liberación de tensión
6. salida DC 24V, 10A (Tres alimentaciones)

En la parte delantera existe un LED con la etiqueta “24V DC” que sirve al diagnóstico de errores, de esta manera se puede tener una mayor funcionalidad del dispositivo. Las siguientes condiciones se pueden indicar en la Tabla 2.13,

Tabla 2.13: Diagnostico de errores para el PS 307 (10A)

LED	SIGNIFICADO
ENCENDIDO	No hay error, tensión DC 24V de salida está presente
APAGADO	Hay un cortocircuito en el secundario o de mínima tensión en el primario o el suministro eléctrico está dañado
TITILANDO	La suma de las corrientes individuales supero el total de la corriente máxima de 10A

c.1 SIMATIC Micro Memory Card

La Micro Memory Card SIMATIC (512 Kb) es imprescindible para que la CPU seleccionado pueda entrar en funcionamiento, la cual es usada para grabar códigos y datos de sistema (configuración, conexiones, parámetros del modulo, etc.).



Figura 2.115: Micro memory card

d.1 PC ADAPTADOR USB

El PC Adapter USB conecta un PC con el puerto MPI/DP de un sistema S7 a través de un puerto USB. Para ello no se requiere ninguna ranura adicional en el PC, lo que significa que el Adapter también es apropiado para PCs portátiles. La velocidad de transferencia predeterminada es de 187,5 Kbits/s. El PC Adapter USB es compatible con USB V1.1 y cumple las directivas de un dispositivo USB, en el PC Adapter USB soporta el modo de hibernación.



Figura 2.116: Configuración PC Adapter USB

2.3.3 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

STEP 7 Profesional proporciona un entorno de fácil manejo para configurar la lógica del controlador SIMATIC S7-300 SIEMENS. Para

Para aumentar la productividad STEP 7 Profesional ofrece dos vistas diferentes de proyecto: distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas (vista del portal) o una vista orientada a los elementos del proyecto (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere apropiada para trabajar eficientemente.

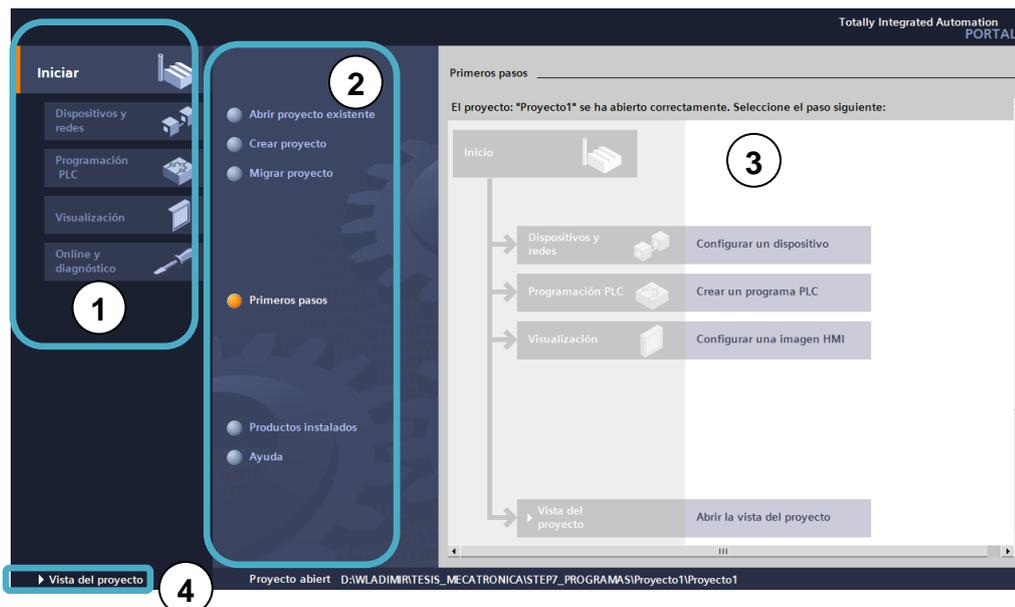


Figura 2.117: Pantalla de inicio del STEP 7

La vista del proyecto proporciona una vista funcional de las tareas del proyecto y organiza las herramientas de acuerdo con la tarea que se va a realizar. Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que se va a realizar. Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que se debe seleccionar, en la Figura 2.117 se tienen las principales vistas del STEP 7 Profesional.

1. Portales de las diferentes tareas
2. Tareas del portal seleccionado
3. Panel de selección para la acción seleccionada
4. Cambio de vista del proyecto

La vista de proyecto proporciona acceso a todos los componentes del proyecto como se observa en la Figura 2.118

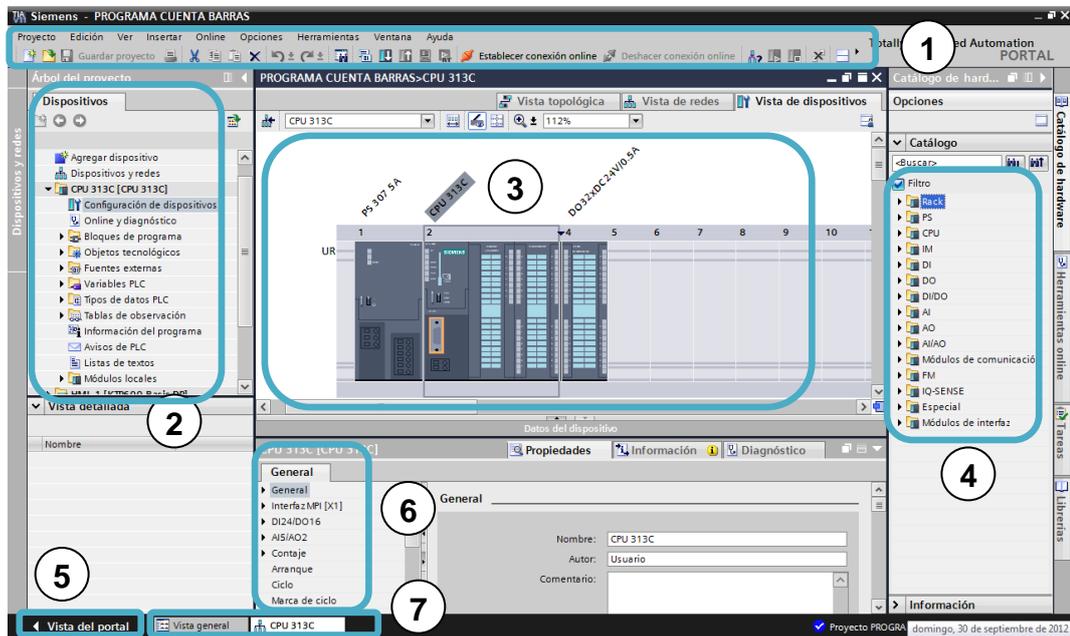


Figura 2.118: Área de trabajo del STEP 7

1. Menú y barra de herramientas
2. Árbol del proyecto
3. Área de trabajo
4. Task Cards (Dispositivos de trabajo)
5. Cambia a la vista del portal
6. Ventana de inspección
7. Barra del editor

Puesto que todos los componentes se encuentran en un solo lugar, es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La ventana de inspección, por ejemplo, muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en el área de trabajo. Si seleccionan varios objetos, la ventana de inspección muestra las propiedades que pueden configurarse. La ventana de inspección incluyen fichas que permiten ver información de diagnóstico y otros mensajes. La barra de editores agiliza el trabajo y mejora la eficiencia, ya que muestra todos los editores que están abiertos.

2.3.4 SELECCIÓN DE SENSORES

Dentro de un proceso industrial, es esencial la correcta selección de los equipos, y de forma particular de los sensores, puesto que definirán el correcto funcionamiento del o los procesos y fundamentalmente salvaguardar la integridad operador.

a. SELECCIÓN DEL SENSOR FOTOELÉCTRICO

Para la implementación y selección de estos sensores debe tener en cuenta varios parámetros para su respectiva selección entre los cuales se han tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Tensión de alimentación.
- b) Distancia de censado
- c) Configuración de salida.



Figura 2.119: Accesorios del Sensor WL160-F440

El sensor WL160-F440 es un sensor de carcasa plástica diseñado para una temperatura ambiente de -25° a 55° C, además de que cuenta con protecciones para polvo, humedad, golpes y con aditamentos adicionales para mejorar los sistemas de protección. Este sensor forma parte de la familia de sensores industriales para ambientes hostiles de la compañía SICK. Al sensor llega un cable trefilar el cual provee al mismo de la alimentación, la masa o tierra y le permite enviar la señal de salida al control central. Esta conexión se muestra en la Figura 2.131, la línea L+ indica la entrada de tensión de 24 VDC, M la tierra y Q la salida.

Otra característica importante es la capacidad de ajustar la ganancia del sensor, lo que permite ajustar el haz del láser de manera que detecte a mayor distancia con menor precisión o menor distancia con mayor precisión. En el ANEXO K - 6 se detalla las características del sensor WL160-F440.

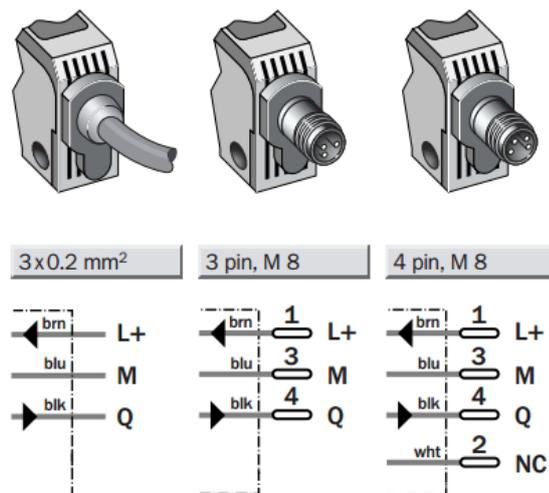


Figura 2.120: Distribución de pines en el sensor WL160-F440

b. SENSOR INDUCTIVO

Este sensor nos ayudara a medir las RPM del motor hidráulico para verificar la velocidad con la que se encuentra trabajando.

El sensor inductivo seleccionado posee las siguientes características:

- Voltaje de entrada 24VDC
- Tipo NPN

2.3.5 SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI

La pantalla HMI se eligió tomando en cuenta el siguiente listado de criterios:

- Acceso a la información para programar la pantalla HMI. La cantidad de información que se puede obtener a través de catálogos, informes y

experiencia de personas relacionadas a la programación de la interfaz facilita el trabajo de programación y permite solventar las dificultades eficientemente.

- **Conectividad.** Para que el transporte de datos en la etapa de programación, etapa de pruebas y en la etapa de operación sea eficiente es fundamental que la conexión entre la pantalla y el PLC S7-300 sea fácil con el uso de protocolos ampliamente difundidos y cables accesibles que se pueda encontrar en el mercado.
- **Visualización del proceso.** La supervisión y verificación del proceso en la pantalla por el usuario debe ser clara y concreta sin lugar a errores por lo que representa la operación lógica del proceso.

Uno de los principales objetivos en este proyecto, es la creación de una interfaz HMI para la interacción entre el hombre y la maquina; a continuación se detalla algunas funciones que debe brindar la interfaz:

- **Visualización del estado de funcionamiento de la maquina,** a través de señales externas propias de la maquina.
- **Indicación y gestión de alarmas:** proporcionar información acerca de fallas que pueda ocasionar al momento de puesta en marcha de la máquina. Esta función permitirá detectar y corregir rápido los fallos.

Para ello empleamos una pantalla HMI de la familia SIEMENS como es la KTP600 Basic color DP.

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Conexión para la fuente de alimentación | 5. Junta de montaje |
| 2. Interfaz RS-422/RS-485 | 6. Teclas de función |
| 3. Escotaduras para una mordaza de fijación | 7. Placa de características |
| 4. Pantalla/pantalla táctil | 8. Nombre del puerto |
| | 9. Interruptor DIL |
| | 10. Guía para una tira rotulable |
| | 11. Conexión de tierra funcional |

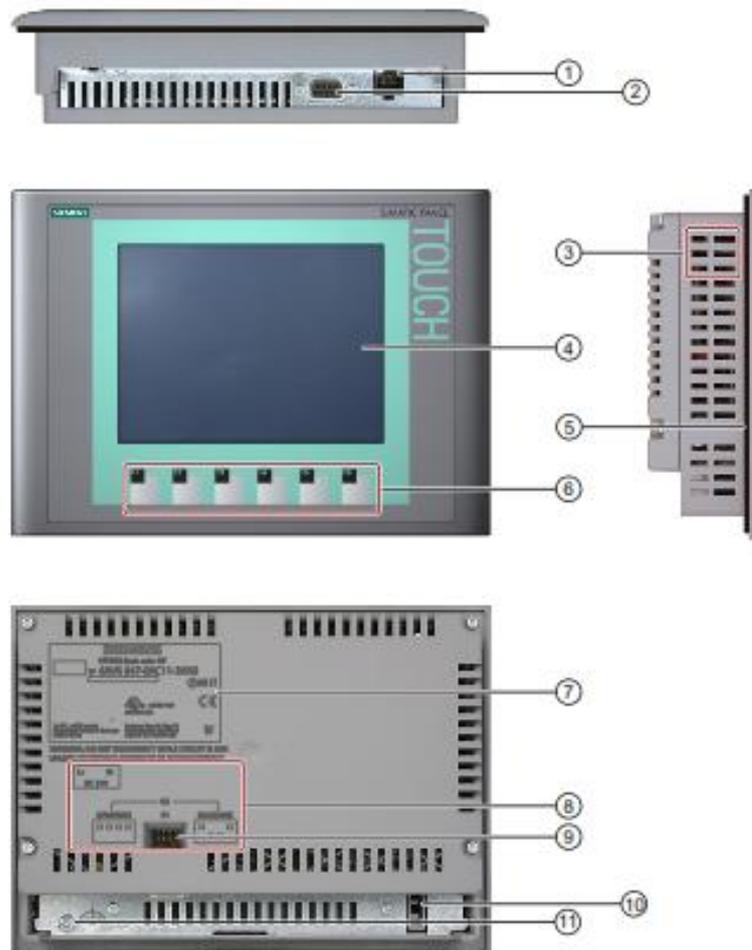


Figura 2.121: Pantalla KTP600 Basic color DP

2.4 BLOQUES DE PROGRAMACIÓN PLC Y PANEL HMI

El software se desarrollo mediante el lenguaje de programación (KOP), por ser la técnica más compatible con los circuitos de control industrial, estructura que maneja el programa TIA profesional para la familia de PLCs SIEMENS.

El programa en el controlador lógico programable (PLC) está constituido por un OB1 denominado “PROGRAMA PRINCIPAL”, donde se llaman a la ejecución de seis sub-programas FC o funciones donde se almacena la programación para la práctica de estos, en diferente o igual tiempo mediante la asignación de parámetros en tareas repetitivas o complejas.

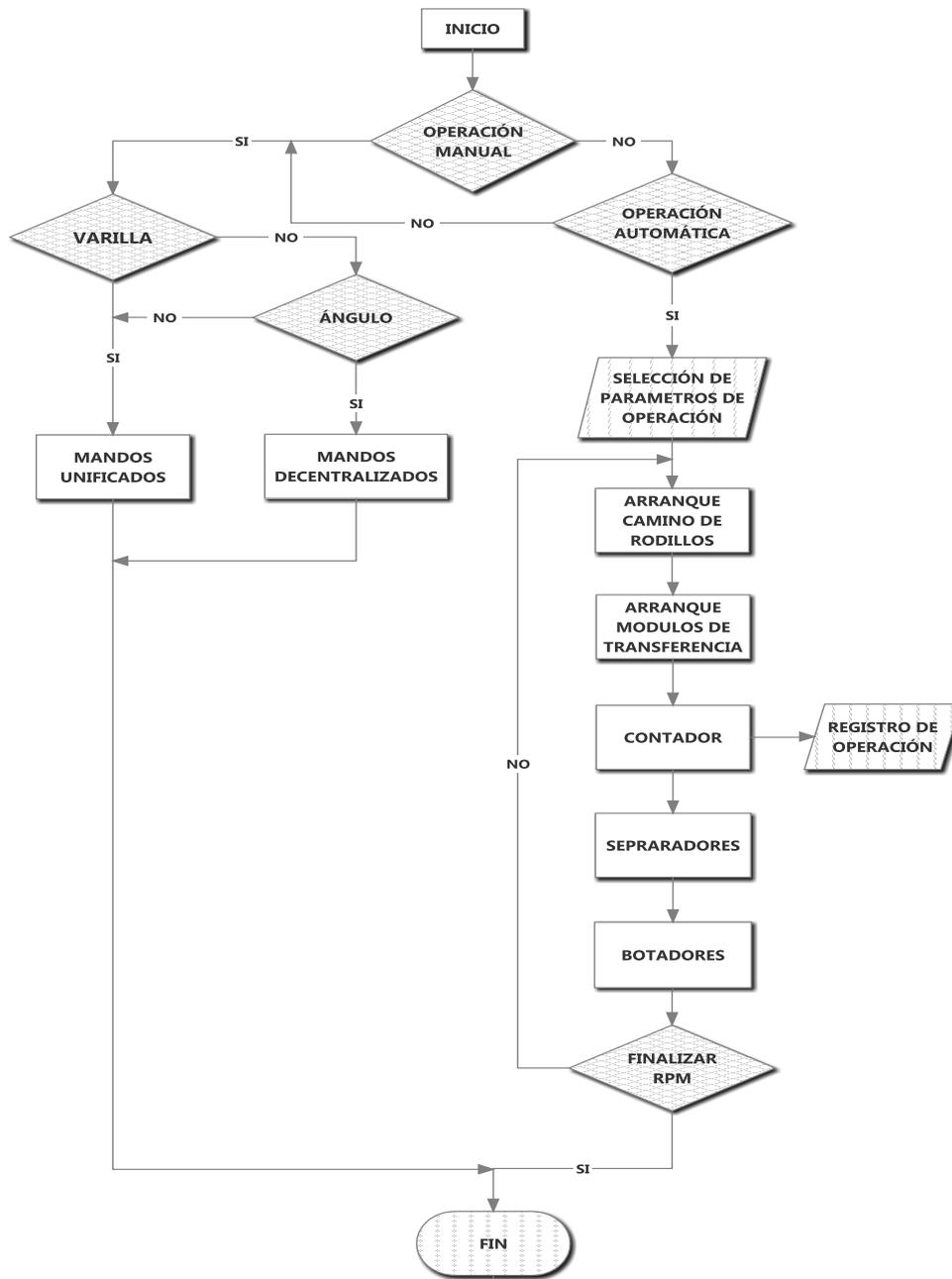


Figura 2.122: Diagrama de flujo contador de barras

Para la integración y el control de la zona se ha incluido en la programación del autómeta el área del camino de rodillos y los cuatro módulos del transferidor sur, de esta manera se tiene una sincronización de llegada de material en el contador de varilla. La lógica de funcionamiento de la maquina dirigida por el controlador está dada por el siguiente diagrama de flujo, que se indica en la Figura 2.128.

La programación del sistema HMI se ha hecho por medio de la inserción de imágenes con asignación de funciones a enlaces con las TAG en los bloque de programación, la comunicación entre el PLC y la pantalla es MPI, como se muestra en la Figura 2.123.

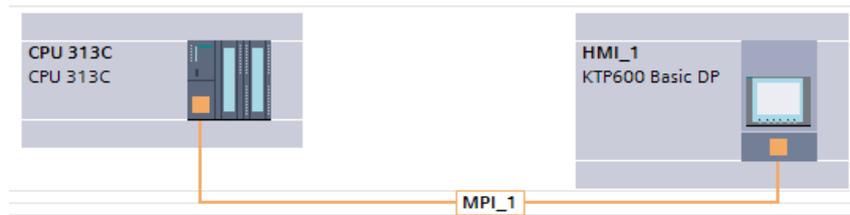


Figura 2.123: Dispositivos de control y red de comunicación

Las entradas rápidas que se presentan en la tabla del ANEXO L - 1, están asignadas a dispositivos de conmutación rápida como los contadores que son el eje central de la función y posicionamiento del contador.

Las entradas digitales que se muestran en la tabla del ANEXO L - 2, se encuentran asignadas a los mandos manuales de la máquina que se indican en la distribución del tablero de control, en la Figura 2.124.

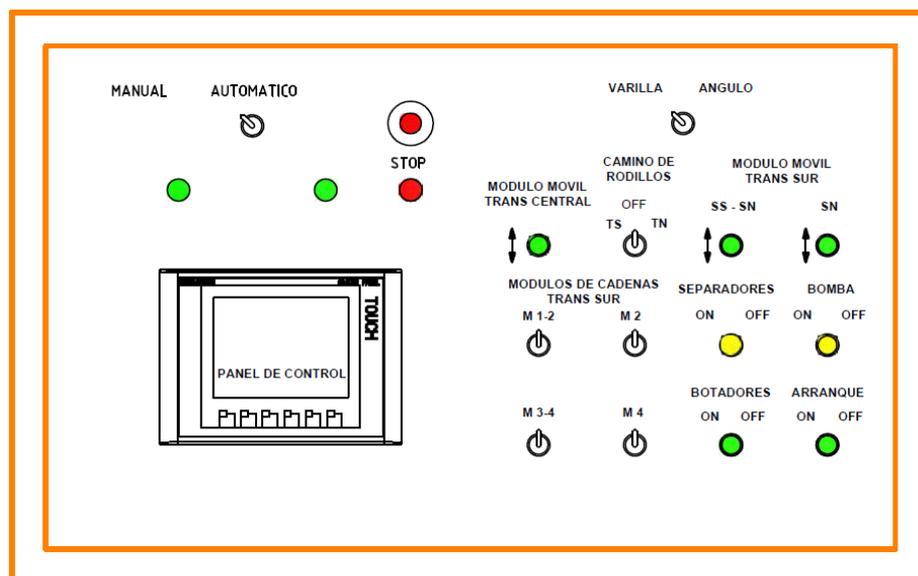


Figura 2.124: Distribución tablero de control

Por medio de las salidas digitales cuya distribución se presenta en la tabla del ANEXO L - 3, se controla el accionamiento de mecanismos que no requieren una acción en tiempos exactos como los basculantes, separadores y arranques de motores arrastradores además de mandos de elementos como la bomba y la cuna de material.

Por medio del control que nos proporciona las salidas analógicas organizadas en la tabla del ANEXO L - 4, se asignaran los distintos parámetros de sincronización que requiere el sistema para su operación.

2.4.1 CONTROL TRANSFERIDOR MANUAL-AUTOMATICO

En este módulo se asigna el control en los estados manual y automático del transferidor sur conjuntamente con el camino de rodillos principal, donde por medio de un selector escogemos el modo de operación ya mencionado.



Figura 2.125: Función FC3 control del transferidor

Si la selección de operación de la máquina es manual se podrá escoger entre varilla o ángulo, teniendo como diferencia la descentralización o función independiente de cada módulo de transferencia si se escogió esta segunda, es decir en el transferidor se tendrán cuatro módulos de transporte independientes accionados cada uno por una perilla, caso contrario el transferidor funcionara con dos módulos los dos de entrada y dos de salida. En este tipo de configuración el transferidor tiene los dos sentidos en los módulos además el funcionamiento independiente o unisonó de los módulos móviles por medio de las perillas del tablero SS-SN o SN.

En el caso de tener una selección automática, tendremos un accionamiento manual hasta la llegada del material por el camino de rodillos sur en donde al accionar los módulos móvil por medio de la perilla SS-SN tenemos una ejecución temporal de 15 segundos para que la cama de material llegue a los módulos 3 y 4 que se encuentran encendidos desde ese momento hasta que termine el conteo del material tiempo en el cual se detiene la marcha automáticamente a espera de reiniciar las tareas por medio del pulsador denominado arranque.

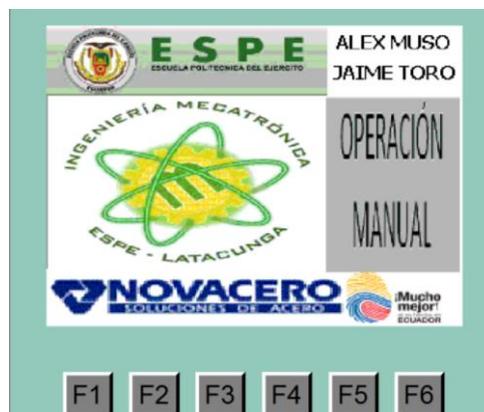


Figura 2.126: Indicador de operación manual en el panel de control

Como indicador que la maquina se encuentra en operación manual se encenderá un foco indicador junto a la denominación seleccionada, además el panel táctil de control se indicara el modo de operación para interrumpir las acciones del mismo sobre el sistema, para que de esta manera tener únicamente los controles distribuidos al costado derecho del tablero de control, mediante el accionamiento de un operador. En el caso de la selección automática de manejo del transferidor el panel direccionara distintos parámetros de funcionamiento para la máquina en conjunto. La programación del bloque se muestra en el ANEXO M.

2.4.2 CONTROL CONTADOR DE VARILLA

El funcionamiento del contador de varilla está asignado a la función FC5, que debe cumplir con las siguientes funciones para su operación.

- Posición del selector en AUTOMATICO.
- Posición del selector en VARILLA.
- Asignación de un programa de operación por medio del panel de control táctil.

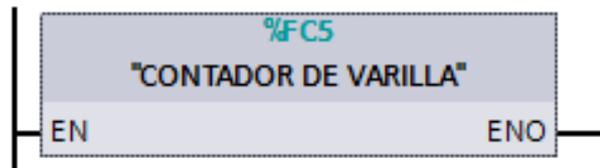


Figura 2.127: Función FC5 control del contador de varilla

De no cumplirse con cualquiera de las operaciones antes indicadas la máquina no arrancará su proceso.

Para el funcionamiento automático del sistema se tiene el panel de operaciones táctil como eje de ejecución central el cual presenta las siguientes pantallas como mandos para el sistema.

Cuando el selector está en automático habilita esta pantalla en donde se encuentra el acceso a los primeros parámetros del contador de barras, además de menciones de la ESPEL, carrera de INGENIERIA MECATRÓNICA, la empresa auspiciante NOVACERO S.A., además de una marca insigne del lugar de elaboración de la máquina.



Figura 2.128: Pantalla principal "PAG PRINCIPAL"

Con el accionamiento del botón denominado Contador ingresamos a una segunda pantalla como se muestra en la Figura 2.129.

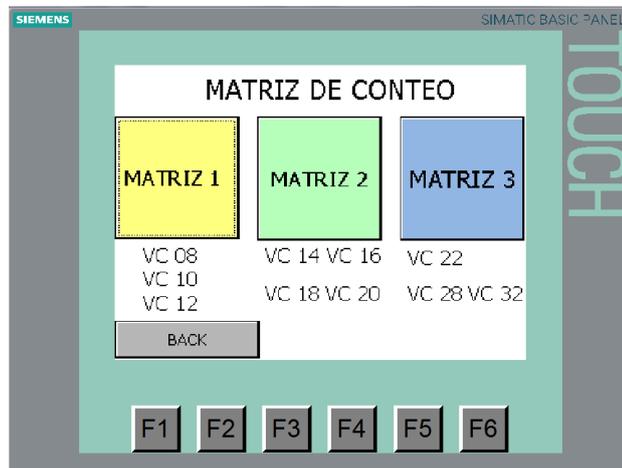


Figura 2.129: Pantalla “SELECCIÓN MATRIZ”

En esta pantalla se muestra las tres matrices de la máquina en donde para un grupo determinado de productos como se indico y diferencio en la tabla 2.3, además de un botón que retorna a la pantalla anterior. Dentro de cada selección ingresamos a un sub menú de cada matriz donde se puede seleccionar el producto que se contara, como se muestra en las Figuras 2.130, 2.131 y 2.132.

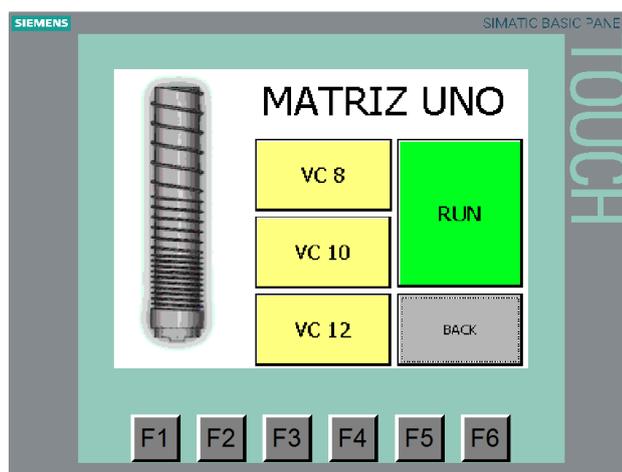


Figura 2.130: Pantalla “MATRIZ 1”

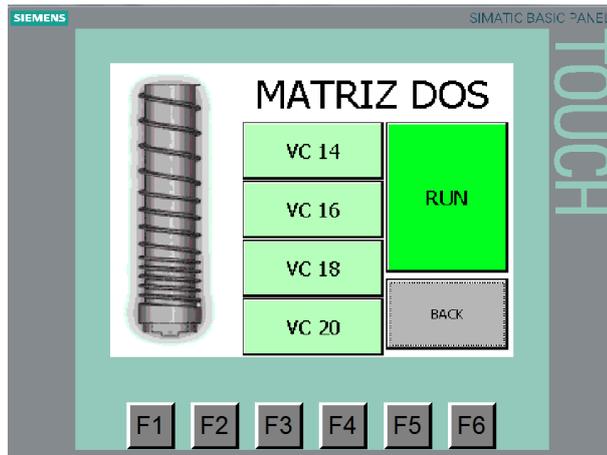


Figura 2.131: Pantalla “MATRIZ 2”

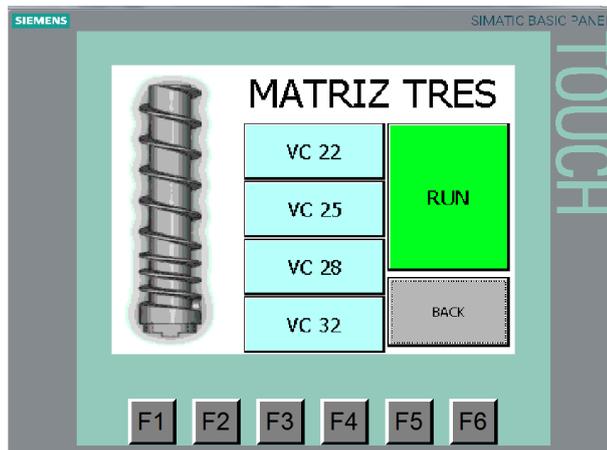


Figura 2.132: Pantalla “MATRIZ 3”

En todas estas pantallas que se habilitan una a la vez dependiendo de la selección de la matriz se selecciona como primera instancia el tipo de material que se desea contar y el pulsador RUN, el cual enciende el contador y acciona todas las operaciones de la máquina para la ejecución en forma automática, ingresando también a la última pantalla denominada “EJECUCIÓN”.

En la selección del submenú de operación según el material que se procesa en la planta se tiene también una imagen de la geometría del tornillo que se encuentra instalado para que de esta manera el operador pueda ver la función adecuada para la operación.

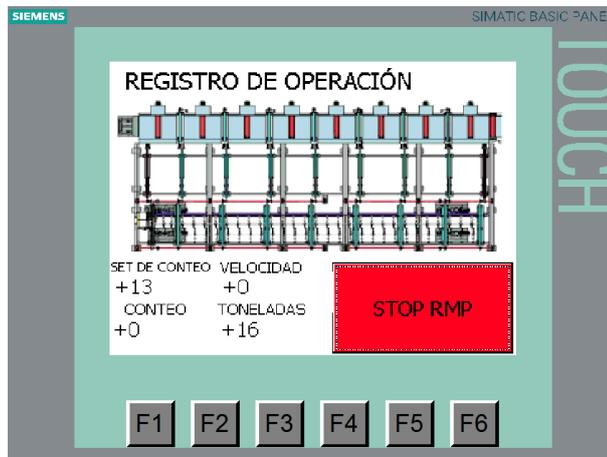


Figura 2.133: Pantalla “EJECUCION”



Figura 2.134: Indicadores intermitentes del funcionamiento del transferidor y contador de varilla

En la pantalla de la figura 2.134 se puede determinar los estados de la máquina desde la entrada al camino de rodillos sur en donde al momento que está entrando el material se encienden unos indicadores en la pantalla, de igual manera ocurre con los cuatro módulos del transferidor y la ejecución de conteo que cuentan con indicadores gráficos de encendido intermitente en el momento de su funcionamiento, Además en la parte inferior además se muestra los parámetros y registros de funcionamiento de la máquina como son:

- SET DE CONTEO, muestra el número pre establecido de conteo de acuerdo con la selección de material procesado.
- CONTEO, el valor actual de conteo en el que se encuentra.
- VELOCIDAD, indica la velocidad en RPM de la matriz de conteo.
- TONELADAS, presenta el número de toneladas que se han procesado desde la inicialización del programa.

Cuando la zona se encuentra en operación automática necesita de parametrizaciones en función de la selección del material que se contara, en ese momento la matriz y los módulos 3 y 4 del transferidor, toman valores de velocidad pre establecidos como recetas en el programa, las mismas que son determinadas para cada material asignando, también de esta manera se carga en el programa de operación el número de elementos a ser contados para formar paquetes de una tonelada en el material.

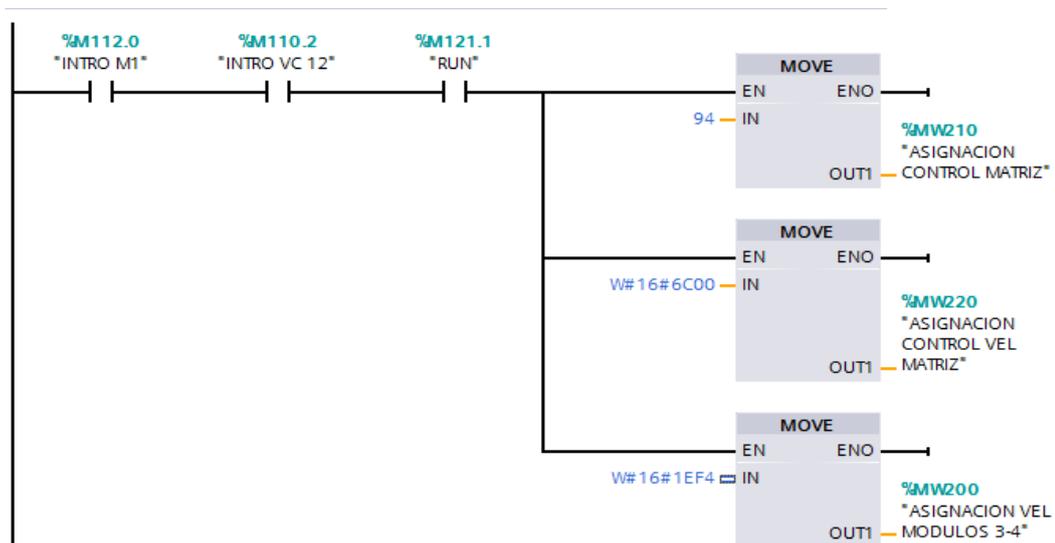


Figura 2.135: Receta para varilla corrugada de 12 mm

Las recetas para los distintos productos se realizaron en función de la tabla 2.14, que indica los parámetros de operación del sistema en función de sus necesidades.

Tabla 2.14: Parámetros físicos de funcionamiento, contador de barras

VC	ESPIRAS MATRIZ	CAUDAL (GPM)	RPM MOTOR	TIEMPO DE PASO (seg)	VELOCIDAD DE PASO (m/s)	VEL. MOTOR M 3-4 (RPM)	FRECUENCIA MOTOR (Hz)
VC 8	23	25	568	2,428	0,2839	515,91	17,197
VC 10	23	25	568	2,428	0,2839	515,91	17,197
VC 12	23	25	568	2,428	0,2839	515,91	17,197
VC 14	13	22	500	1,560	0,4420	803,23	26,774
VC 16	13	22	500	1,560	0,4420	803,23	26,774
VC 18	13	22	500	1,560	0,4420	803,23	26,774
VC 20	13	22	500	1,560	0,4420	803,23	26,774
VC 22	8	20	455	1,056	0,6530	1186,59	39,553
VC 25	8	20	455	1,056	0,6530	1186,59	39,553
VC 28	8	20	455	1,056	0,6530	1186,59	39,553
VC 32	8	20	455	1,056	0,6530	1186,59	39,553

En la primera columna se indica el tipo de material, en la segunda columna se indica el número de espiras que tiene cada matriz de conteo, dato que se obtiene del diseño, en la tercera columna se puede identificar el caudal del motor tomado de los parámetros técnicos de consumo del motor por revolución y la capacidad de la bomba seleccionada.

En la cuarta columna se indica las RPM, reales del motor realizando una interpolación lineal tomando como datos referenciales que a 25 GPM el motor gira 568 RPM con una presión de 2000 psi.

En la quinta columna se indica el tiempo de paso del material desde que entra a los primeros hilos de la matriz hasta que termina dependiendo de las RPM del motor y el número de hilos que tenga, con este parámetro se saca la velocidad lineal del material multiplicada por el coseno de 10° debido a la inclinación de la matriz y tomando en cuenta el desplazamiento del resto del material, teniendo los resultados que se muestran en la sexta columna.

De esta manera se toma este dato de velocidad para el cálculo de las RPM de los motores de los módulos 3 y 4, además de la frecuencia de funcionamiento de los mismos, datos que se presentan en la séptima y octava columna.

Obteniendo los parámetros de funcionamiento de la máquina para los distintos productos, se digitaliza la información realizando una interpolación de datos tomando en cuenta los parámetros que se indican en la figura 2.136.

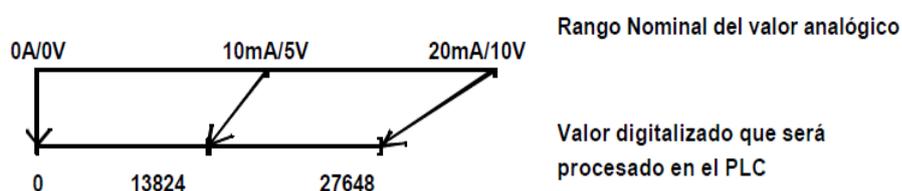


Figura 2.136: Parámetros de manejo de señales análogas PLC S7 300

De esta manera se presenta los datos que se presentan en la tabla 2.15.

Tabla 2.15: Parámetros digitalizados, contador de barras

PRODUCTO	PARAMETRO MOTOR M 3-4	PARAMETRO VALVULA	VOLTAJE MOTOR M 3-4 (V)	VOLTAJE VALVULA (V)
VC 8	7924	27648	2,87	10
VC 10	7924	27648	2,87	10
VC 12	7924	27648	2,87	10
VC 14	12338	24330	4,46	8,8
VC 16	12338	24330	4,46	8,8
VC 18	12338	24330	4,46	8,8
VC 20	12338	24330	4,46	8,8
VC 22	18226	22118	6,59	8
VC 25	18226	22118	6,59	8
VC 28	18226	22118	6,59	8
VC 32	18226	22118	6,59	8

De esta manera en la segunda y la tercera columna se muestran los parámetros digitalizados que entraran a las recetas de cada material

procesado, además en la cuarta y quinta columna se muestra los niveles de voltaje analógico que se transmitirán a los dispositivos de control en el caso de los variadores de frecuencia de los módulos 3 y 4 el voltaje a controlar será de 0 a 10 voltios igual que la válvula proporcional.

La acción automática de conteo se ejecuta hasta contar el número determinado y almacenado en la memoria habilitante del set una vez terminado ejecuta la acción de los separadores, si se necesita reiniciar el sistema se accionara manualmente el botón de arranque para realizar nuevamente el ciclo automático de conteo, si se desea cambiar de selección de elemento de conteo aplastaremos la opción RPM de color rojo que nos dirige a la página principal. El programa con sus detalles se muestra en el ANEXO M.

2.4.3 CONTROL SEPARADORES



Figura 2.137: Función FC1 control de los separadores

Los separadores se encuentran añadidos al programa principal por medio de la función FC1, la cual entra en funcionamiento al final de la etapa de conteo cuando la maquina está funcionando de manera automática, con un parámetro especial que si en el transcurso de la operación existe una falla se puede retraer el proceso por medio del pulsador que se denomina SEPARADOR en el tablero de control, después de corregido el fallo manualmente oprimiendo el mismo pulsador se acciona nuevamente la secuencia, el intervalo asignado a la memoria de separación es de 0.2 segundos por accionamiento de electroválvula. Se puede accionar una secuencia de separación mientras el programa se encuentra en manual. Los detalles y el programa se indican en el ANEXO M.

2.4.4 CONTROL BOTADORES



Figura 2.138: Función FC4 control de los botadores

Mediante esta función FC4 donde se encuentra el programa de los botadores funciona al final de la línea es decir como primer paso se ejecuta el movimiento de los módulos del transferidor, se transportan al contador, se ejecuta la separación y como paso final se vota el paquete de varilla ya contada a una cuna de amarrado.

Los botadores funcionan automáticamente después de la secuencia de separación, si existe una falla en el proceso el operador puede accionar el pulsador de BOTADORES para corregirla en el proceso hasta que por medio del pulsador retorne a la posición inicial y el proceso vuelva a repetirse, con los parámetros asignados mediante el panel operador. En el ANEXO M, se muestra con detalles la programación.

2.4.5 CONTROL TACOMETRO

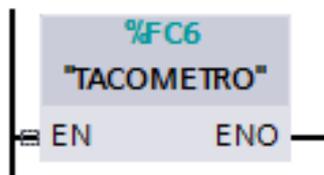


Figura 2.139: Función FC6 control de tacómetro

Por medio de esta función de operaciones FC6 se puede determinar las revoluciones del motor hidráulico, para de esta manera identificar el pleno funcionamiento de la maquina, en el proceso de programación se toman muestras por revolución en un intervalo de tres segundos y multiplicándolo por el factor, para tener las revoluciones en el tiempo de

ejecución, este dato se toma de un contador con las interrupciones mencionadas.

El dato obtenido se muestra en la pantalla EJECUCIÓN, de manera permanente a lo largo de la ejecución del programa en modo automático. En el ANEXO M, se muestra con detalle la programación.

2.4.6 CONTROL INDICADORES PAROS EMERGENTES

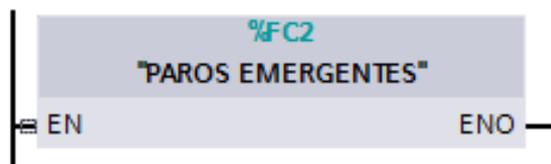


Figura 2.140: Función FC2 indicadores paros emergentes

Esta función FC2 juega un papel importante dentro de la ejecución del programa de manera automática donde, presentando advertencias en función de tres parámetros importantes que presenten alteraciones en su funcionamiento:

- Paro de emergencia.
- Paro en los separadores.
- Paro en la bomba.

Estos parámetros se almacenan en una palabra MW140.0 llamada ALARMAS, dentro de avisos HMI, con la categoría de warnings o advertencias con las ubicaciones de palabra indicadas en la Figura 2.141, De esta manera si se acciona cada uno de estos bits se tendrá la advertencia en el panel de control.

Avisos de bit							
ID	Texto de aviso	Categoría	Variable de di...	Bit de ..	Dirección de ...	Variable de ac...	Bit de ..
1	PARO DE EMERGENCIA	Warnings	ALARMAS	8	%M140.0	<Ninguna vari...	0
2	PARO DE SEPARADORES	Warnings	ALARMAS	9	%M140.1	<Ninguna vari...	0
3	PARO DE BOMBA	Warnings	ALARMAS	10	%M140.2	<Ninguna vari...	0

Figura 2.141: Asignaciones de memoria en la palabra alarmas

En el primer caso se muestra una imagen de alerta en la pantalla de control deshabilitando los mandos y presentando una advertencia, como se muestra en la figura 2.143.



Figura 2.142: Indicador de paro



Figura 2.143: Advertencia de emergencia

Esta opción es accionada manualmente desde el pulsador central de paro, en ese momento todos los mecanismos y dispositivos de la maquina se detienen y regresan a la posición inicial.

En el segundo caso de paro de separadores en el momento de la des interrupción en la pantalla EJECUCIÓN nos indica una advertencia indicándonos el estado de la máquina, el texto de la advertencia se puede

indicar pulsando el botón que se muestra en la pantalla, como se indica en la figura 2.144.



Figura 2.144: Advertencia de paro de separadores

En el tercer caso, cuando se apaga la bomba nos muestra una advertencia que nos indica el estado de la máquina. El sistema hidráulico se puede interrumpir mediante el pulsador del panel de control denominado BOMBA del cual con un segundo punto se puede habilitar nuevamente, la señal de advertencia y el texto se muestra como se indica en la figura 2.145.



Figura 2.145: Advertencia de paro de bomba

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

3.1 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

Una vez realizado el diseño del proyecto, se procede a la implementación y el montaje de la zona partiendo del estado del terreno donde se puede observar el desalojo del material para implementar la cimentación⁴⁹ de concreto una vez establecido el diseño civil, como se presenta en la figura 3.1, con la planificación y organización de tareas que se describe en el ANEXO N.



Figura 3.1: Estado inicial de la zona de trabajo

3.1.1 IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA CONTADOR DE BARRAS

Una vez concluida con la cimentación de concreto se procedió con la construcción de las piezas mecánicas que constituirán, la base de los mecanismos y dispositivos que actuaran en el proyecto contador de barras, como se muestra en la figura 3.2 y 3.3 con la respectiva descripción de las piezas correspondiente a cada imagen.

⁴⁹ Base estructural de concreto que sirve de soporte de objetos o maquinaria



Figura 3.2: Elaboración de mesas camino de rodillos

Las partes constitutivas se ensamblaron en función del diseño establecido, acogiéndose a los requerimientos del proceso tomando en cuenta en la selección de los materiales.



Figura 3.3: Camino de cadenas arrastradores móviles

Elaboradas las piezas del transferidor sur, además de la adquisición de los materiales, se procedió al montaje una vez terminada la cimentación de concreto, donde se montara la estructura de sostén de la máquina (bastidor).



Figura 3.4: Camino de rodillo y cimentación sur

Establecido y montado el transferidor sur se implemento las partes del separador y el contador previo análisis estructural y dimensionamiento de materiales según los requerimientos del sistema, tomando en cuenta la flexibilidad que debe tener el sistema para su mantenimiento y remplazo en el caso de desgaste del elemento principal.



Figura 3.5: Montaje del chasis⁵⁰ del módulo de conteo

Los mecanismos y dispositivos diseñados se montaran en función del diseño establecido para no alterar el funcionamiento del proceso.

⁵⁰ Soporte mecánico estructural de una maquina.



Figura 3.6: Montaje uñas y mecanismo de separación

Con la alineación de las partes del separador, se tomo como referencia en el diseño y físicamente para el montaje del contador con los parámetros necesarios para alcanzar precisión en la acción de la máquina.



Figura 3.7: Montaje y alineación del módulo de conteo

3.1.2 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA NEUMÁTICO

En la instalación neumática se procedió a instalar la toma en la línea de alimentación principal del tren para los mecanismos articulados, de

transferencia, con cierres de paso para el corte de la línea y las unidades de mantenimiento FLR⁵¹.

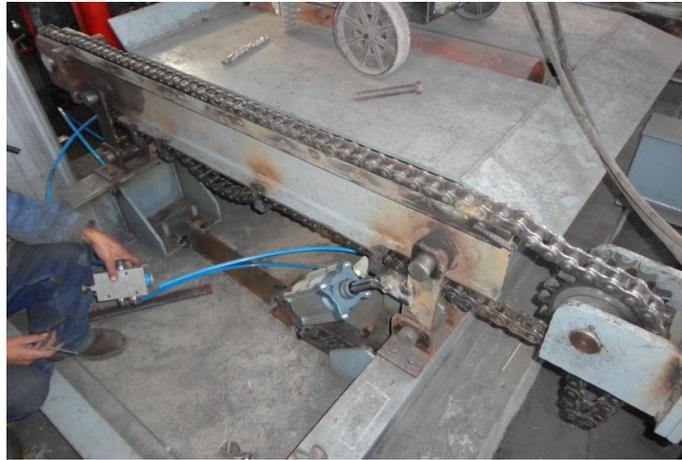


Figura 3.8: Accionamiento neumático para los mecanismos articulados

De igual manera se tomo la línea para la alimentación del pulmón que proporcionara de aire almacenado a presión para el accionamiento del mecanismo separador.

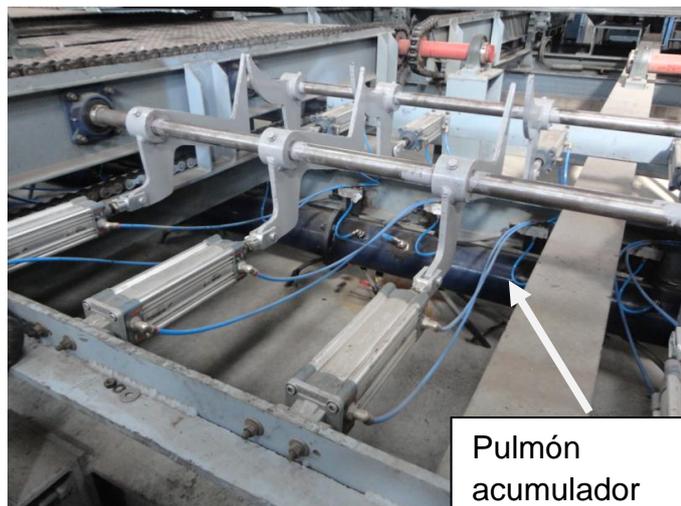


Figura 3.9: Pulmón acumulador, mecanismo separador

⁵¹ Filtro Lubricador Regulador

De esta manera se implemento la línea neumática en función de las necesidades de fuerza y velocidad diseñadas para los mecanismos en el capítulo 2.

3.1.3 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA HIDRÁULICO

Para la implementación del sistema hidráulico, se recupero una central hidráulica similar a la requerida con las características necesarias para la operación del sistema de conteo, indicadas en el capítulo de diseño.

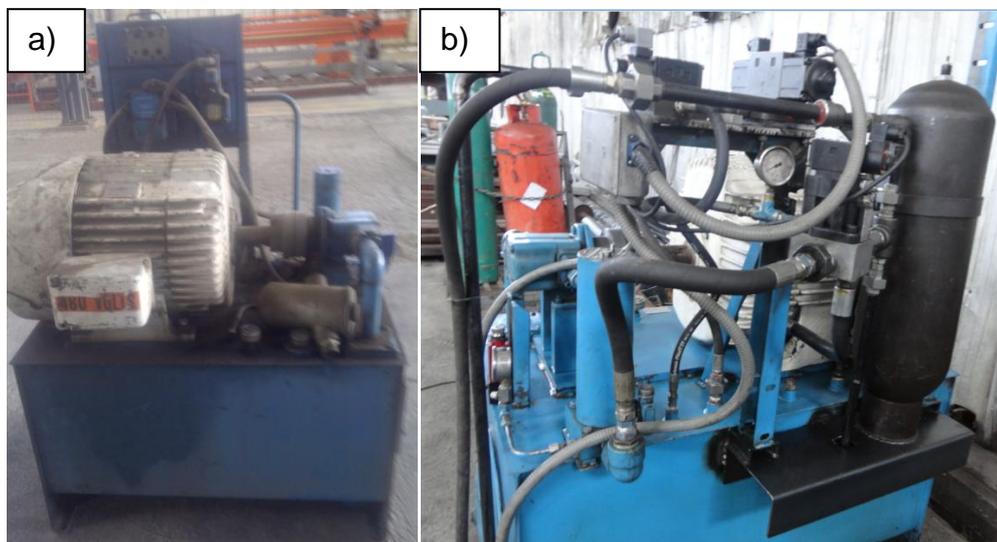


Figura 3.10: a) Central hidráulica antes, b) central hidráulica con la implementación final del proyecto

En la figura 3.10, en la parte a se indica el estado en el que se recibió la central hidráulica y en la parte b se muestra la central hidráulica con todos los dispositivos que se indicaron en el diseño, tomando en cuenta la ubicación de los instrumentos de medida de presión, para controlar el paso y las características del fluido por las secciones.

La posición de los dispositivos de control es accesible para el mantenimiento y la revisión por parte del personal operativo.

El fluido es conducido mediante tubería cedula 80, por los niveles de presión que se maneja en el sistema.



Figura 3.11: Motor hidráulico, impulsor de la matriz

3.1.4 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO MOTRIZ

Para la implementación del contador y separador del proyecto se integro la construcción del camino de rodillos central y el transferidor sur para lo cual se planifico e instalo los motores que proporcionan movilidad a los distintos mecanismos.

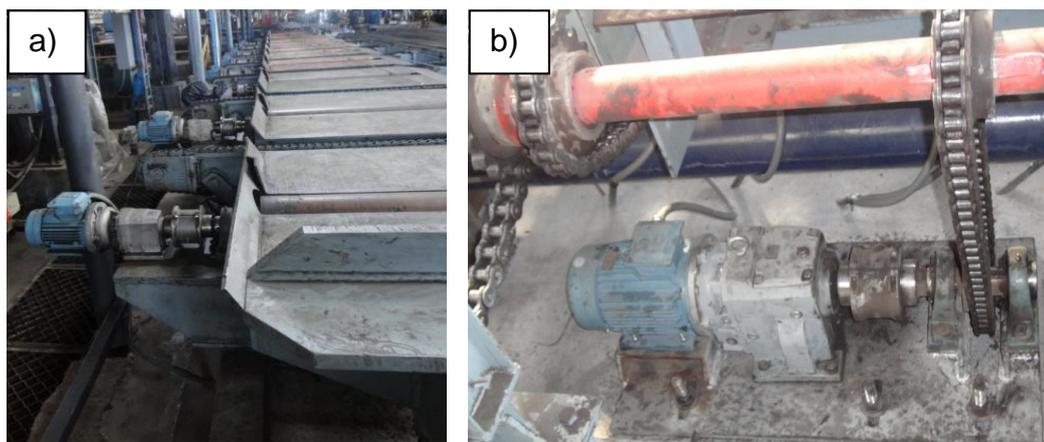


Figura 3.12: Motores impulsores de los mecanismos a) camino de rodillos central, b) transferidor sur

Los tableros con los dispositivos de control se encuentran ubicados en la cámara eléctrica, es necesario para la máquina del contador tener un control centralizado.



Figura 3.13: Variadores de frecuencia (control motores camino de rodillos central y transferidor sur)

En la parte de potencia por los niveles de voltaje y corriente que se manejan es necesario implementar sistemas de protección cerca de los motores, además se pudo distribuir las líneas de alimentación con menos material conductor.

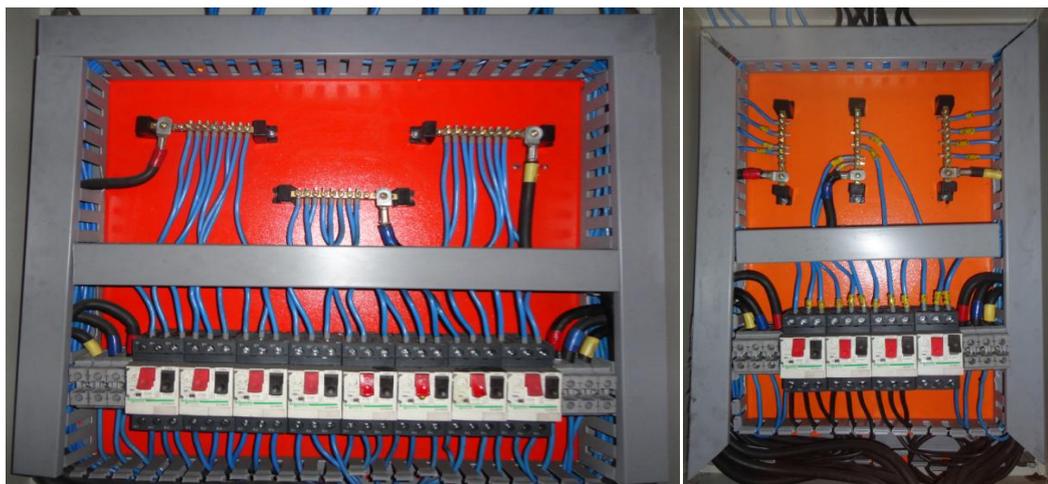


Figura 3.14: Caja de distribución de guardamotores camino de rodillos y transferidor sur

Debido a la potencia de operación que maneja el motor de la central hidráulica se ha colocado el arrancador de la bomba con dos tipos de encendido manual y automático, que funcionan de manera serial.



Figura 3.15: Arrancador suave (motor del sistema hidráulico)

3.1.5 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL CONTADOR DE BARRAS

Tomando en cuenta la integración de la zona el control se realiza desde un punto centralizado desde donde un operador controlara el proceso si se encuentra en manera manual o distribuirá el material si la maquina esta de manera automática.

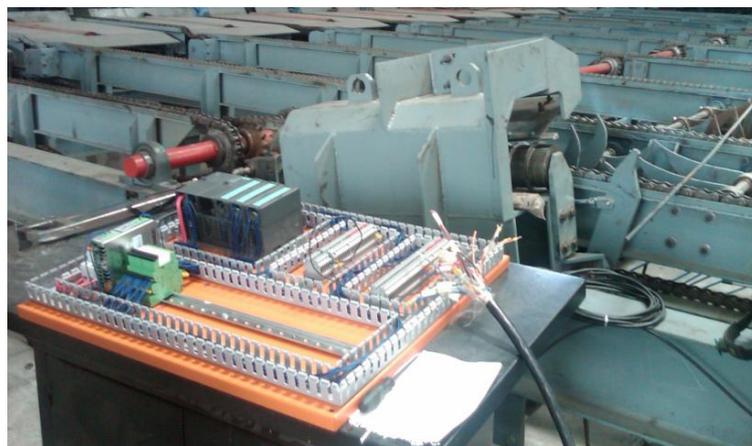


Figura 3.16: Montaje del tablero de control

La distribución de las conexiones de control y de potencia se han identificado de tal manera de poder facilitar el mantenimiento de los equipos. En caso de sufrir un desperfecto cualquiera de sus partes, se remplazara fácilmente y sin complicaciones, en tiempos reducidos.



Figura 3.17: Tablero de control instalado

El tablero manual de operaciones se encuentra dentro de un pulpito, con la distribución de pulsadores y un selector de operaciones que en este caso es la pantalla táctil en el caso de funcionamiento automático que además muestra el estado de la máquina en tiempo real.



Figura 3.18: Tablero de control

El conteo del material se da por medio de un sensor que se encuentra ubicado a la salida del modulo de conteo, además el sistema consta de un sistema de posicionamiento por revolución que es indispensable al momento de efectuar el paro de la matriz en un punto exacto.



Figura 3.19: Posicionamiento del sensor de conteo en función del modulo

3.2 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CONTADOR DE BARRAS

La integración del proyecto viene dada por los sistemas nombrados anteriormente recalando que este proyecto es netamente MECATRÓNICO, la integración de sistemas mecánicos, eléctricos y de control diseñados he implementados por los autores del presente documento.

La zona implementada se indica en la figura 3.20, partiendo desde el estado de la figura 3.1.



Figura 3.20: Implementación de la zona del transferidor sur

En este proyecto, el que trabaje en unísono toda la zona es de vital importancia para el funcionamiento del contador ya que, lo que se debe evitar es la aglomeración de material, este tipo de problemas podría causar alteraciones en la acción y ejecución del proceso.



Figura 3.21: Contador de varilla corrugada

El contador de varilla puede ejecutar su función de acuerdo a los parámetros establecidos por las recetas cargadas en el controlador, de esta manera se podrá sincronizar la utilidad de toda la zona.



Figura 3.22: Contador y separador de varilla corrugad

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

El contador y separador de varilla, además de la zona del transferidor sur, modificación que se realizo para el montaje del proyecto, fue realizado en función del análisis de producción real de varilla corrugada que se elabora en el tren uno. Optimizando y mejorando el proceso en el área de conteo haciendo que esta deje de ser un cuello de botella en la producción.

Tabla 4.1: Tiempos de producción real del proceso (cizalla de corte en frio).

VC	DIA. (mm)	LONGITUD (m)	CORTE (m)	# de TIRAS (UN)	# DE VARILLAS (CAMINO DE RODILLOS)	TIEMPO DEL PROCESO (seg)	PRODUCCIÓN (Ton/hora)
VC8	8	1513,73	60,00	25,23	88	274,42	26,5
VC10	10	968,79	60,00	16,15	50	188	34,3
VC12	12	672,77	60,00	11,21	34	176,8	35,7
VC14	14	494,28	60,00	8,24	25	160,56	39,4
VC16	16	378,43	60,00	6,31	23	158	48,1
VC18	18	299,01	60,00	4,98	15	155	40,5
VC20	20	242,20	60,00	4,04	13	154,91	43,3
VC22	22	200,16	60,00	3,34	12	198,4	37,8
VC25	25	155,01	60,00	2,58	12	208,76	46,4
VC28	28	123,57	60,00	2,06	12	180,4	67,3
VC32	32	94,61	60,00	1,58	12	190,5	83,2

La velocidad de producción se marca en toneladas por hora en función del material en proceso, que son los valores que se indican al final de la tabla 4.1, tomados en el punto de corte en frio un paso anterior al transferidor central y posteriormente el transferidor sur, donde se encuentra el contador y separador de varilla corrugada.

4.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANALISIS DE PRODUCCIÓN

Para realizar las pruebas experimentales se debe tomar como referencia un patrón de operación del proceso antes de la ejecución del proyecto, tomando el tiempo de conteo y empaque manual de cada producto laminado que se produce en el tren, detallado en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Tiempo de producción en el transferidor

VC	# DE VARILLAS (TONELADA)	TIEMPO MUESTRA/ EMPAQUE DE 4 TON		TIEMPO DE PROCESAMIENTO (seg)	PROCESAMIENTO (Ton/hora)
		min	seg		
VC8	211	8	30	127,5	28,24
VC10	135	8	0	120	30,00
VC12	94	7	57	119,25	30,19
VC14	69	7	15	108,75	33,10
VC16	53	7	42	115,5	31,17
VC18	42	7	25	111,25	32,36
VC20	34	7	13	108,25	33,26
VC22	28	7	7	106,75	33,72
VC25	22	6	50	102,5	35,12
VC28	17	6	40	100	36,00
VC32	13	6	44	101	35,64

Los datos que se presentan en la tabla 4.2, no toman en cuenta las pérdidas de tiempo por errores en el conteo ni fatiga en el ritmo de trabajo por parte del personal operativo en la zona.

Con los parámetros de producción en la zona se ha determinado el número de toneladas por hora procesados comparados con la velocidad de producción que se presenta en la tabla 4.1, se identifica que efectivamente el proceso de conteo manual constituye un cuello de botella que en muchos de los casos ha causado que el proceso se detenga, causando cuantiosas pérdidas en la producción.

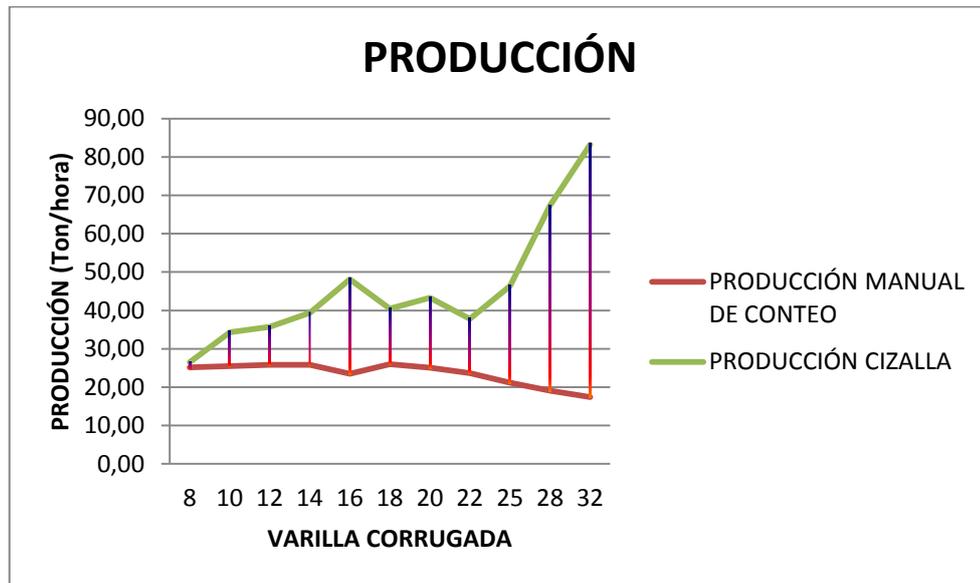


Figura 4.1: Producción en el proceso de corte (PRODUCCIÓN CIZALLA) y conteo manual (PRODUCCIÓN MANUAL)

En la figura 4.1 se puede evidenciar claramente los problemas de producción por el conteo manual, justificando la implementación del proyecto.

Tabla 4.3: Producción ideal contador y separador de barras

VC	RPM MOTOR	#UNIDAD/TON	VELOCIDAD DE PRODUCCION MATRIZ (seg/ton)	TIEMPO SEPARADORES (seg)	TIEMPO TOTAL (seg/ton)	PRODUCCIÓN (Ton/hora)
VC 8	568	211	22,28	12	34,28	105,03
VC 10	568	135	14,25	12	26,25	137,13
VC 12	568	94	9,92	12	21,92	164,21
VC 14	500	69	8,28	12	20,28	177,53
VC 16	500	53	6,36	12	18,36	196,10
VC 18	500	42	5,04	12	17,04	211,28
VC 20	500	34	4,08	12	16,08	223,90
VC 22	455	28	3,70	12	15,70	229,37
VC 25	455	22	2,90	12	14,90	241,56
VC 28	455	17	2,24	12	14,24	252,75
VC 32	455	13	1,72	12	13,72	262,48

En última columna de la tabla 4.3, se muestra la producción ideal del contador de barras, teniendo en la cama de espera el material totalmente tendido, parámetro que no es posible tener debido a la transferencia de material por los caminos de cadenas y el traslado por medio de un camino de rodillos y el posterior encaminamiento por los módulos de transferencia.

Junto con el análisis del tiempo de traslado de material se encuentra el procesamiento de la cizalla de corte en frío donde la máquina proporciona camas de un número determinado de barras a medida.

Los parámetros constantes de transporte desde el transferidor central al transferidor sur son:

- Tiempo de entrada a los módulos móviles del transferidor central = 3 segundos.
- Tiempo de transporte por el camino de rodillos desde el transferidor central al transferidor sur = 17 segundos.
- Salida del material a los módulos de cadenas se encuentra determinado por la velocidad lineal que se debe proporcionar para cada producto en función del paso por la matriz para evitar aglomeraciones.



Figura 4.2: Salida de material transferidor sur

Tomando en cuenta el caso más crítico en el que se tenga una velocidad lineal de 0.2839 m/s, la cama de varilla saldrá del camino móvil en 4.22 segundos, sabiendo que el recorrido es de 1.2 metros.

En el enlace entre el transferidor central y el transferidor sur existe un camino de rodillos el cual tiene una extensión de 5 metros, el que ayuda al proceso para que no exista una colisión de material, es decir que el tiempo de separación entre camas viene dado por la diferencia de tiempo en recorrer el camino de cadenas móviles en el transferidor sur, con la constante de 5 segundos que se demora en atravesar la cama al tramo de enlace mencionado.

De los parámetros indicados se puede tener tiempos muertos en la acción de cada matriz que se detalla en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Tabla de tiempos muertos entre cama de material según la matriz de conteo

MATRICES	VELOCIDAD LINEAL (m/s)	TIEMPO MUERTO (Seg)
UNO	0,28	0,77
DOS	0,44	2,28
TRES	0,65	3,16

Para determinar la producción real del proceso con la implementación del proyecto se tiene también que mencionar el número de unidades que procesa la cizalla de corte en frío, como paso siguiente y con el dato obtenido indicar cuantas camas de material se necesitan transportar para completar la tonelada.

La velocidad de procesamiento varía en función del número de varillas que puede cortar la cizalla.

Tabla 4.5: Tiempos de producción real del proceso

VC	UNIDADES/ CAMA	CAMAS/ TONELADA	PROCESO CONTEO (seg)	TIEMPO TOTAL (seg/ton)	PRODUCCIÓN REAL (Ton/hora)
VC 8	80	2,64	11,15	25,19	142,93
VC 10	50	2,70	11,41	25,50	141,18
VC 12	34	2,76	11,69	25,82	139,41
VC 14	25	2,76	7,49	25,80	139,53
VC 16	23	2,30	6,26	23,52	153,05
VC 18	15	2,80	7,60	26,00	138,46
VC 20	13	2,62	7,10	25,08	143,56
VC 22	12	2,33	4,29	23,67	152,11
VC 25	12	1,83	3,37	21,17	170,08
VC 28	12	1,42	2,60	19,08	188,65
VC 32	12	1,08	1,99	17,42	206,70

Con la suma de todos los tiempos asignados a los procesos establecidos en el sistema se determina la velocidad real del proceso, con el objetivo principal que la velocidad de ejecución en el paso final debe ser mayor a todos los que le anteceden para tener fluidez y solucionar el problema en la zona que se trabajo. La descripción de la tabla 4.5, se presenta en los siguientes puntos.

- Primera columna se detalla la especificación del material.
- Segunda columna se ha tomado una muestra del proceso sacando un promedio de elementos procesados en la cizalla de corte en frio para de esta manera determinar el número de varillas por cama.
- Tercera columna se muestra la cantidad de camas necesarias para completar una tonelada, determinado por el dato de la segunda columna y el número de elementos que conforman una tonelada descrito en la tabla 4.3, en la tercera columna.

- Cuarta columna se determina el tiempo real de la ejecución de conteo tomando en cuenta los tiempos muertos entre cama de material y la velocidad lineal de transporte en las cadenas, además del paso del material por la matriz.
- Quinta columna como paso final al tiempo de conteo se adiciona el tiempo de ejecución de los separadores para tener el tiempo total del proceso.
- Sexta columna, el dato final muestra el ritmo de producción con la implementación del proyecto, con una velocidad tal que supera ampliamente la velocidad de producción existente en la zona.

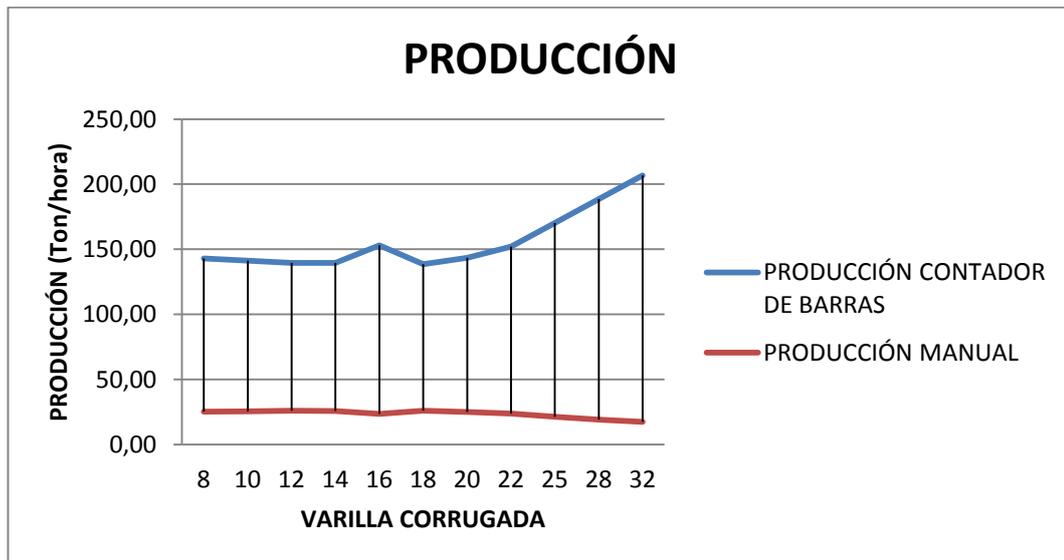


Figura 4.3: Comparación de producción antes y después de implementar el proyecto

La diferencia de valores de producción entre el proceso de conteo anterior y el proceso actual se puede diferenciar claramente en la figura 4.3, la línea de color azul marca la producción con la implementación del proyecto, mientras que la línea de color rojo indica la producción manual del proceso, donde se puede diferenciar claramente el aumento de producción en la zona.

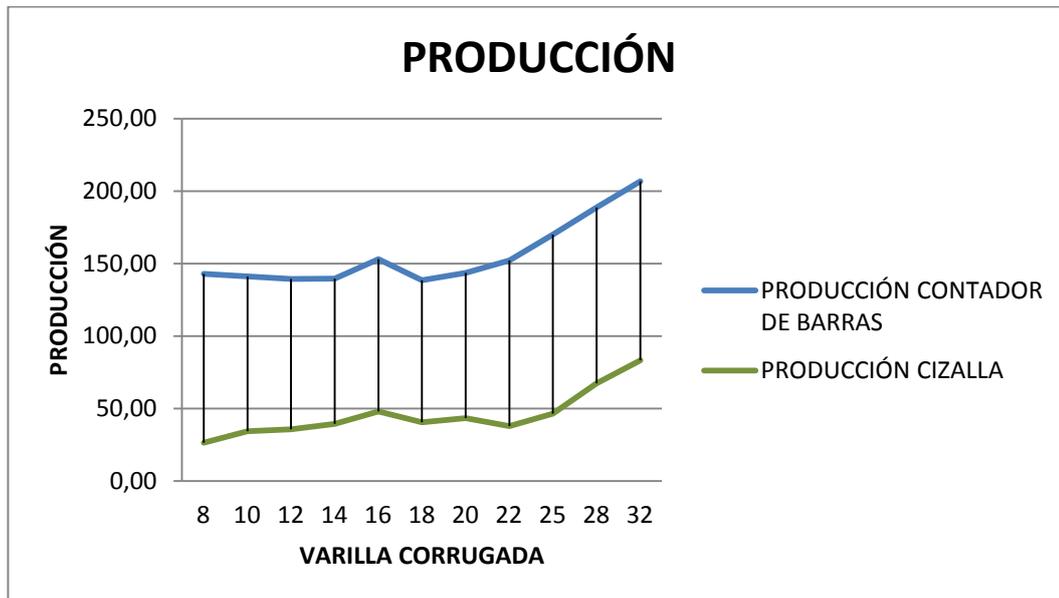


Figura 4.4: Comparación de producción en el proceso de corte en frío (cizalla) y en el contador de barras.

En la figura 4.4 se puede determinar que el contador de barras tiene una alta diferencia en la velocidad de producción debido a su eficiencia solucionando el problema del cuello de botella que se produce en la zona como se muestra en la figura 4.1.

4.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Con la habilitación de la zona de conteo se puede destacar los alcances y las limitaciones que esta posee, detallando de esta manera los alcances que la misma posee:

- En función de la tabla 3.5 se puede determinar el nivel de producción que ejecutara la maquina en la zona ampliamente superable a la que se tenía con el conteo manual.
- Se corrigió el error en el conteo evitando perdidas para la planta o reclamos por falta de unidades dentro del paquete.

- Por medio del panel HMI se puede tener información del estado de operación real de la maquina su operación, producción y diagnóstico de problemas en el proceso.

Las limitaciones que tiene la maquina dentro de la ejecución del proceso son:

- El ritmo de producción no es continuo en la zona de conteo debido a los procesos precedentes que no alcanzan altas velocidades de operación.
- La matriz de conteo por ser una superficie que se encuentra permanentemente en rozamiento con el material sufre un excesivo desgaste.
- Los problemas frecuentes de operación es la aglomeración de material en los primeros pasos de la matriz lo que produce vibración en la máquina y desgaste del material procesado.
- La unidad de alimentación hidráulica produce calentamiento debido a la presión que se está manejando, además que la característica principal de los motores hidráulicos es generar calor por la turbulencia que produce su acción en el proceso.
- Constante mantenimiento de la central hidráulica por contaminación de fluido.

4.4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

La máquina ha cumplido en pleno funcionamiento desde su implementación, haciendo rentable su incorporación dentro de la línea de producción, por lo cual se hace necesario cuantificar su valor económico para identificar la inversión realizada por la empresa.

Para la implementación de la proyecto se realizo dos contratos de obra civil por el concepto y precio indicados en el siguiente detalle.

- Relleno compactación y cimentación, alojamiento balanza transferidor central, con un costo de de 901.42 USD.
- Cimentación transferidor sur, con un costo de 7077.16 USD.

La obra civil para la implementación del proyecto tiene un costo total de 7978.58 USD.

El consumo de materiales eléctricos, electrónicos, dispositivos de control, materiales mecánicos, procesos de maquinado, materiales hidráulicos y elementos especiales tienen un valor unificado de 232336.06 USD⁵², considerando que el valor de inversión es alto por ende la descripción de los materiales utilizados es extensa.

La descripción del costo de mano de obra toma se detalla tomando en cuenta los siguientes parámetros, indicados en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Costo mano de obra

	PEROSONAL	SALARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
ADMINISTRATIVO	TESISTA 1	294	3528
	TESISTA 2	294	3528
OPERATIVO	OPERATIVO 1	933,6	7468,8
	OPERATIVO 2	933,6	7468,8
	OPERATIVO 3	933,6	7468,8
	OPERATIVO 4	933,6	7468,8
	OPERATIVO 5	933,6	7468,8
	TOTAL		44400

Con todos las inversiones anteriormente mencionados se tiene que para el proyecto se realizo una inversión total de 283813.22 USD. Las paras en la zona de conteo, suman un promedio de 8 horas por mes, tomando

⁵² Departamento contable NOVACERO S.A. PLANTA INDUSTRIAL LASSO

como referencia la producción en varilla corrugada de 12, donde la producción más alta del tren es de 30.19 toneladas/hora.

El valor de la tonelada de varilla es de 905 USD, por lo cual con los datos anteriores, la pérdida en la empresa por errores en la zona es de 218575.6 USD por mes, de este valor se saca el porcentaje de ganancia por transformación de materia que es del 22.57%⁵³.

La pérdida efectiva por las paras del proceso es de 49332.51 USD por mes de esta manera se puede determinar que la inversión se recupera en 5.75 meses.

4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

“El conteo automático y la separación de los paquetes de varilla mediante un sistema HMI de selección del producto en línea, ayudará a disminuir el tiempo de producción, evitar posibles errores y daños a los operadores de la zona y obtener un registro de producción de paquetes por turno”.

Mediante la implementación del proyecto se logro disminuir los tiempos de producción, solucionando el problema que se presentaba del paro de producción por la mala función de los operadores debido a varios aspectos.

Con la implementación del equipo se elimino la mano de obra que permanecía en contacto directo con el material que se encontraba a temperaturas considerables. Mientras la máquina permanece en ejecución se puede tener un registro de producción en tiempo real lo cual contribuye a tener un control efectivo del material procesado.

⁵³ Departamento de producción TREN 1

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del desarrollo del presente trabajo de automatización de la zona de distribución y transferencia para el conteo de varilla corrugada en el Tren de Laminación 1, se pone a consideración las conclusiones y recomendaciones alcanzadas durante la realización del proyecto, con este trabajo se espera aportar con información a futuros proyectos relacionados.

5.1 CONCLUSIONES.

- Al concluir el proyecto se cumplió con el objetivo general trazado de automatizar la zona de conteo y separación para de esta manera disminuir los tiempos de producción, eliminar al personal operativo de la función y crear un sistema automático.
- Se reacondiciono la zona de acabado en la línea de producción del Tren de laminación 1 para aumentar la eficiencia del contador de varilla.
- Una vez analizados los requerimientos de producción y las características de los materiales y equipos necesarios se diseño el proyecto, con la finalidad de cumplir con el objetivo principal.
- La inversión realizada en el proyecto se recupera en 5.75 meses, únicamente tomando en cuenta que se eliminan los tiempos de perdida por mal conteo en la zona.
- Con la implementación del proyecto se aumenta en un promedio de 4.5 veces más la producción en la zona, con respecto a la que se tenía cuando el conteo se realizaba de forma manual.
- Con respecto al ritmo de producción de la cizalla de corte en frio el contador de barras sobrepasa en un promedio de 4.8, lo que quiere

- decir que eliminamos el problema de paro de producción por problemas en el conteo.
- Dentro del proceso de conteo no se tiene participación de operarios, cumpliendo con el objetivo de salvaguardar la integridad física de los mismos.
- El elemento mecánico más importante dentro del contador de varilla es la matriz de conteo por la organización que debe dar al material antes de la ejecución de conteo.
- El control de la maquina debe relacionar de manera efectiva las velocidades de desplazamiento en la ejecución, tanto lineales como rotacionales, para tener armonía de funcionamiento dentro del sistema y su aplicación.
- El panel HMI de la maquina muestra el estado en tiempo real del proceso además del registro de producción y la velocidad de conteo, datos necesarios por la característica de la máquina y su modo de operación.
- El diseño de la aplicación HMI deben ser minimalistas, es decir, contener la información necesaria y no abundante de manera que sea amigable para el usuario final, que no está obligado a conocer detalles técnicos del proceso.
- La distribución del panel de control y el modo de operación de la interface HMI, está diseñada he implementada de una manera clara y objetiva, para que el operador sin problemas pueda manejar la máquina de una forma segura.
- El sistema de control fue diseñado e implementado tomando en cuenta las medidas de seguridad establecidas y sugerencias por parte del departamento de producción.
- Para la implementación del sistema mecánico, eléctrico y de control tomo en cuenta la homologación y estandarización de materiales,

puesto que este definirá la plataforma de desarrollo del proyecto y la selección de componentes.

- Las recetas precargadas en el panel operador para la operación de la máquina en los distintos productos toman en cuenta factores físicos, como la inercia, el rozamiento y la carga mecánica para efectuar acciones de arranque y frenado.
- En nuestro país existe el talento humano y los materiales necesarios para realizar este tipo de maquinas que contribuyen con el desarrollo de nuestra nación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Dentro de las industrias, la seguridad es un aspecto principal que debe intervenir en la ejecución de un proceso y una tarea, por lo cual es necesario conocer las normas de seguridad que rigen dentro de la empresa para realizar cualquier procedimiento.
- Para el desarrollo de un proyecto de automatización industrial, se debe establecer previamente todos los parámetros y análisis que se realizo en el capítulo 2.
- Antes del montaje de cualquier equipo eléctrico y electrónico se debe leer detenidamente los manuales y especificaciones técnicas para la puesta en marcha del mismo.
- Es necesario realizar una distribución de entradas salidas y memorias del PLC para no tener conflictos de operación, ni mucho menos pérdidas de tiempo en encontrar parámetros ejecución en la programación.
- Para la selección de materiales mecánicos se debe determinar todas las características de su entorno de trabajo además de los parámetros físicos que actúan en su aplicación.

- Es necesario tomar las debidas medidas de seguridad en sistemas hidráulicos y mucho más cuando estos manejan presiones altas, ya que si no se eligen los materiales adecuados se puede causar la pérdida del equipo e incluso accidentes con operadores.
- Debido al alto nivel de polvo en el ambiente que rodea la máquina se recomienda realizar la limpieza del sensor fotoeléctrico de conteo, tableros eléctricos y panel de control.
- Para el mantenimiento del equipo se recomienda quitar la energía en todo el sistema, para evitar de esta manera acciones y condiciones inseguras que puedan atentar contra la integridad del sistema.
- Para agilizar el proceso final es necesario automatizar la zona de empaque de esta manera el contador de barras podrá trabajar efectivamente.
- En el caso de modificaciones de diseño es necesario actualizar los planos y señalar las partes que han sido objeto de cambio y su justificación.
- Para prolongar la vida útil de los componentes del proyecto es necesario realizar planificaciones de mantenimiento oportunos.
- Se debe tener un módulo de conteo armado por emergencia en caso de sustitución o avería, por las características de acción de la maquina.
- Debido al proceso de transición tecnológica que presenta el país en el sector industrial y a los resultados obtenidos en el proyecto, se recomienda realizar proyectos de aplicación a gran escala que conllevan tal vez sacrificio o exigencia pero a la vez realizamos el nombre de nuestra institución y nos permiten tener nuevos conocimientos sobre la tecnología vigente en aplicaciones industriales de beneficio y desarrollo industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- SHIGLEY Joseph, Diseño de Ingeniería Mecánica, (Sexta Edición), Editorial McGRAW-HILL.
- LARBURU N., Maquinas Prontuario, (13ª Edición), Técnicas máquinas herramientas.
- MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, (Cuarta Edición), Editorial PEARSON EDUCATION, México, 2006.
- MOTT Robert L., Mecánica de Fluidos, (Sexta Edición), Editorial PEARSON EDUCATION, México, 2006.
- DODGE, Bearing Engineering Catalog, Catálogo 3000, 2007.
- METAL WORK, Catalogo Compacto, PNEUMATIC.
- SKF, Catálogo General, Publicación 6000 ES, Mayo 2006.
- DIPAC, Catalogo de aceros, Productos de aceros.
- SIEMENS, Productos Eléctricos Industriales, Lista de precios – Ecuador, Abril 2011.
- WEG, Manual de la Soft-Starter SSW-03, COD. 0899.4422 S/5

PAGINAS CONSULTADAS

- Juan Meza Hernández. (07/04/2009). PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS DE ACERO. Extraído el 2 de febrero del 2012 desde, <http://www.ipac.es/acero/fabricacion.asp>
- (2009). SISTEMA DE LAMINACIÓN DEL ACERO. Extraído el 18 de febrero del 2012, <http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/3043/TrenesDeLaminacion.pdf>
- (2010) SISTEMA HIDRÁULICO Y NEUMÁTICO. Extraído el 4 de marzo del 2012, <http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%202.pdf>
- ACTUADORES. Extraído el 12 de marzo del 2012 <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- SENSOR. Extraído el 22 de marzo del 2012 <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- E M Escobar. (2008). SENSOR FOTOELECTRICO. Extraído el 1 de abril del 2012 http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_l/contenido_menu/Unidad_III/Contenido/pagina7/pagina7.htm
- (2009). MODOS DE DETECCION. Extraído el 1 de abril del 2012 <http://www.cnad.edu.mx/sitio/matdidac/md/control/SENSORESPARTE1.pdf>
- (2010). ARRANCADOR SUAVE. Extraído el 14 de mayo del 2012. <http://www.inverter-china.com/blog-es/articles/motor-soft-starter/What-is-a-soft-starter.html>

- JM. Rodriguez, F. Tapia, (2012). MODOS DE PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS S7 300. Extraído el 1 de junio del 2012. http://www.google.com.ec/#hl=es-419&site=&source=hp&q=T-ESPEL-0127&oq=T-ESPEL-0127&gs_l=hp.3...1641.1641.0.2601.1.1.0.0.0.0.245.245.2-1.1.0...0.0...1c.1.OZTRhXtw2DQ&bav=on.2.or.r_gc.r_pw.&fp=468d9afa079b3a2e&bpcl=35466521&biw=1280&bih=584
- (2010). Extraído el 5 de junio del 2012. MODOS PARA PROGRAMAR PLC SIEMENS S7 300. <http://es.scribd.com/doc/89466294/Unidad-9-SCS>.
- hydraulic-gearpumps, (2012). Extraído el 5 de junio del 2012. ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN HIDRÁULICA. <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/web/28%20cc%20A10VSO28%20de%20bombas%20de%20pist%C3%B3n%20hidr%C3%A1ulico%20%C3%BAnic%C3%B3n%20DFR%20-%2031R-PPA12N00%20-%20calidad%20Bombas%20hidr%C3%A1ulicas%20de%20pist%C3%B3n%20para%20la%20venta.htm>

GLOSARIO DE TERMINOS

A36: El acero A36, tiene una densidad de 7850 kg/m³. El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 plg (203,2 mm).

ASTM: American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

AWL: Lenguaje de programación por lista de instrucciones de los PLCs Siemens.

AXIAL: resultante de las tensiones perpendiculares (normales) a la sección transversal de un prisma mecánico.

FLEXIÓN: Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

HARDWARE: Todos los elementos físicos del computador ó PLC.

KOP: Lenguaje de programación a contactos de Siemens.

MPI: Multi Point Interface. Interfaz propietaria de Siemens para la comunicación de los PLC Simatic S7-300/400 con la computadora de programación u otros equipos.

S7-300: PLC de Siemens de la línea SIMATIC.

SAE: Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores).

SKF: Svenska Kullagerfabriken AB.

SOFTWARE: Conjunto de programas que ejecuta un computador o PLC.

Telecomunicaciones.

TENSIÓN: Es la fuerza interna aplicada, que actúa por unidad de superficie o área sobre la que se aplica.

TIA: Telecommunication Industries Association. Asociación de Industrias de Telecomunicaciones

VC: Varilla corrugada.