

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS Y ADAPTACIÓN
DE UNA CELDA DE CARGA PARA LA MÁQUINA DE ENSAYOS
UNIVERSALES MTS TK/T5002**

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

**CRISTIAN DANIEL GARZÓN FIGUEROA
DIEGO ARMANDO RAMOS FUERTES**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ
CODIRECTOR. ING IVÁN SANDOVAL**

Sangolquí, 2006 12 11

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS Y ADAPTACIÓN DE UNA CELDA DE CARGA PARA LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS – TK/T5002” fue realizado en su totalidad por Cristian Daniel Garzón Figueroa y Diego Armando Ramos Fuertes, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez

DIRECTOR

Ing. Iván Sandoval

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006-12-11

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS Y ADAPTACIÓN DE UNA
CELDA DE CARGA PARA LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES
MTS TK/T5002”**

ELABORADO POR:

Cristian Daniel Garzón Figueroa

Diego Armando Ramos Fuertes

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA MECÁNICA

**COORDINADOR
DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

Sangolquí, 2006-12-11

DEDICATORIA

Todo el tiempo de arduo esfuerzo para alcanzar una meta, aquellas noches de desvelo para cumplir una ilusión, cada paso firme realizado con un solo fin, ser cada instante mejor; nada de esto hubiese sido posible totalmente sin su ayuda; dedico este proyecto a quienes fueron siempre mi hombro, mi voz de aliento y mi apoyo incondicional; para mi familia y mis amigos; por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos, por ser mi guía para tomar un rumbo en mi vida, por cada sabio y oportuno consejo. Cada frase y cada actividad las realice pesando en las personas que son la parte más importante en mi vida, mis padres Alfredo Daniel y Rosa Marina, y mis hermanos Patricio y David, para ustedes siempre estarán dedicados mis esfuerzos. LOS AMO.

Cristian Daniel Garzón Figueroa.

El presente trabajo es dedicado a mi familia, mis queridos padres Edgar y Yolita, a mi hermana Diana y a mi hermano Paúl quienes me han guiado en la formación de mi vida y me han apoyado incondicionalmente en todas las formas posibles, ya que sin importar al obstáculo que se ha presentado en mi vida han permanecido a mi lado. Lo cual ha hecho posible vencer todo tipo de adversidad y obstáculos ya que con su ejemplo de trabajo, perseverancia y amor siga por el camino seguro hasta culminar con mis aspiraciones. Estoy seguro que cualquier reto que se presente en mi vida podré superarlo, forjando así un mejor porvenir tanto en lo personal como en el beneficio de la sociedad.

Diego Armando Ramos Fuertes.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros queridos padres, nuestro más sincero agradecimiento por todos los valores y consejos transmitidos, por todas aquellas enseñanzas y experiencias, con su ejemplo nos han facilitado el camino para ser cada día mejores personas; su apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en la vida de cada uno de nosotros.

Al culminar con una etapa más de nuestra vida queremos agradecer infinitamente a las personas que siempre nos apoyaron a lo largo de toda la carrera, aquellas personas que siempre estuvieron en los buenos y los malos momentos, compartiendo cada éxito y cada instante difícil de nuestra vida. Gracias por estas siempre a nuestro lado amigos.

Manifestamos un profundo agradecimiento a nuestro director y codirector del proyecto Ing. José Pérez e Ing. Iván Sandoval. Por toda la entrega y dedicación mostrada para cumplir con el objetivo propuesto en la elaboración del proyecto.

Agradecemos a cada uno de los profesores que supieron engrandecer nuestro aprendizaje con su vasto conocimiento y experiencia para hacer de nosotros excelentes profesionales y poder ser útiles para la sociedad y construir un futuro mejor.

Es importante mencionar el apoyo brindado en el laboratorio de resistencia de Materiales por el Ing. Patricio Quezada y el Sr. Francisco Navas por el tiempo y el esfuerzo dedicado a la realización del proyecto.

Agradecemos a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para alcanzar nuestra meta.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.	lii
DEDICATORIA.	iv
AGRADECIMIENTOS.	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.	vi
RESUMEN.	xxx
CAPITULO 1:	
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	
1.1 ANTECEDENTES.	2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	2
1.3 OBJETIVOS.	3
1.3.1 GENERAL.	3
1.3.2 ESPECÍFICOS.	3
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO.	4
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.	5
CAPITULO 2	
MARCO TEÓRICO.	
2.1. ESTUDIO DE LA TEORÍA DE ENSAYOS MECÁNICOS.	7
2.1.1. ENSAYO DE TRACCIÓN.	7
2.1.2. ENSAYO DE COMPRESIÓN.	12
2.1.3. ENSAYO DE FLEXIÓN.	14
2.1.4. ENSAYO DE DUREZA.	18

2.2. EQUIPOS Y ACCESORIOS A UTILIZARSE EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS.	22
2.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN.	23
2.2.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN.	23
2.2.3 ENSAYO DE FLEXIÓN.	23
2.2.4 ENSAYO DE DUREZA.	24
2.3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A USAR EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS.	25
2.3.1 ENSAYO DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.	25
2.3.2 ENSAYO DE FLEXIÓN.	26
2.3.3 ENSAYO DE DUREZA.	27
2.4. SISTEMA DE CONTROL Y SOFTWARE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.	27
2.4.1 ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	28
2.4.2 ETAPA DE CONTROL Y MONITOREO.	36
CAPITULO 3	
ESTADO TÉCNICO DEL EQUIPO.	
3.1. VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO.	48
3.2. VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA MECÁNICO.	52
3.3. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.	57
3.3.1. ENSAYO DE FLEXIÓN.	57
3.3.2. ENSAYO DE DUREZA.	63
3.3.3. TEORÍA DE FALLAS ESTÁTICAS.	68
3.3.4. CRITERIOS DE DISEÑO.	74
3.4. ACCESORIOS PARA ENSAYO DE FLEXIÓN.	75
3.4.1. ALTERNATIVAS EN SELECCIÓN DE MATERIALES.	82

3.4.2. SELECCIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL Y TRATAMIENTO ANTICORROSIVO.	106
3.5. ACCESORIOS PARA ENSAYO DE DUREZA.	113
3.5.1. ALTERNATIVAS EN SELECCIÓN DE MATERIALES.	118
3.5.2. SELECCIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL Y TRATAMIENTO ANTICORROSIVO.	126

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN Y DUREZA.

4.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS PARA ENSAYO DE FLEXIÓN.	130
4.1.1. ACCESORIO SUPERIOR DE FLEXIÓN.	130
4.1.2. ACCESORIO INFERIOR DE FLEXIÓN.	134
4.2. CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS PARA ENSAYO DE DUREZA.	140
4.2.1. ACCESORIO SUPERIOR DE DUREZA.	140
4.2.2. ACCESORIO INFERIOR DE DUREZA.	142
4.3. MONTAJE DE ACCESORIOS EN MÁQUINA MTS TK/T5002	145
4.3.1. MONTAJE DE ACCESORIOS DE FLEXIÓN.	145
4.3.2 MONTAJE DE ACCESORIOS DE DUREZA.	147

CAPITULO 5

ADAPTACIÓN DE SEÑALES EN UN MISMO SOFTWARE.

5.1. INTERCONECTAR LAS SEÑALES DE FUERZA Y DESPLAZAMIENTO OBTENIDOS DE LA MÁQUINA UTILIZANDO EL SOFTWARE ADECUADO.	151
5.1.1. PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE LA MÁQUINA MTS TK/T5002.	151

5.1.2. ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DE DESPLAZAMIENTO AL COMPUTADOR.	177
5.1.3. ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DE FUERZA AL COMPUTADOR.	180
5.1.4. INTERCONEXIÓN DE SEÑALES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN SOFTWARE.	194

CAPITULO 6

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

6.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN ENSAYO DE FLEXIÓN.	217
6.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN ENSAYO DE DUREZA.	222
6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	224
6.3.1. ENSAYO DE FLEXIÓN.	224
6.3.2. ENSAYO DE DUREZA.	227

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.

7.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA.	231
7.1.1. COSTOS INDIRECTOS.	231
7.1.2. COSTOS DIRECTOS.	232
7.1.3. CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO Y DEL VALOR ACTUAL NETO.	233
7.2. EVALUACIÓN FINANCIERA.	237

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. CONCLUSIONES. 241

8.2. RECOMENDACIONES. 242

BIBLIOGRAFÍA. 243

PLANOS.

ANEXOS.

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1	Características de la celda de carga tipo “C”.	31
Tabla 2.2	Características de módulo de expansión de entradas analógicas MODULO EM231 (fragmento).	33
Tabla 2.3	Variador de velocidad SIEMENS Micro Master 420.	39
Tabla 2.4	Especificaciones del Motor 1LA7 SIEMENS.	39
Tabla 2.5	Características de la celda de carga tipo “S”.	44
Tabla 2.6	Características del display Quantrol AFTI.	46

CAPITULO 3: ESTADO TÉCNICO DEL EQUIPO

Tabla 3.1	Inspección de los elementos del sistema mecánico.	56
Tabla 3.2	Tolerancias para las esferas de dureza Brinell	63
Tabla 3.3	Fuerza aplicada para una esfera de 5 mm.	66
Tabla 3.4	Fuerza aplicada para materiales suaves.	66
Tabla 3.5	Matriz de decisión de materiales para accesorios de flexión	91

CAPITULO 5: ADAPTACIÓN SEÑALES EN UN MISMO SOFTWARE

Tabla 5.1.	Tipo de variables para programación de PLC.	153
Tabla 5.2.	Variables empleadas en la programación del PLC.	154
Tabla 5.3.	Matriz de decisión para software de adaptación de la señal de fuerza.	183
Tabla 5.4.	Controladores para el programa ABeamdde de Visual Basic.	186
Tabla 5.5.	Matriz de decisión del software para la Interconexión de señales.	198

CAPITULO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Tabla 6.1.	Resultados de los datos del ensayo de flexión (fragmento).	218
Tabla 6.2.	Resultados de los datos del ensayo de flexión en la máquina MTS TK/T5002	220
Tabla 6.3.	Diámetros de la indentación para ensayo de dureza de hierro fundido en la máquina MTS TK/T5002.	223
Tabla 6.4.	Tablas de dureza Brinell para una fuerza de 3675 N.	224
Tabla 6.5.	Resultados de los datos del ensayo de flexión en la máquina MTS TK/T5002	226
Tabla 6.6.	Resultados de la máquina MTS TK/T5002 y la máquina AMSLER para un ensayo de flexión en madera.	227
Tabla 6.7.	Diámetros de la indentación para ensayo de dureza de hierro fundido en la máquina AMSLER.	228
Tabla 6.8.	Error en el ensayo de dureza de la máquina MTS TK/T5002 respecto a los valores de tablas de dureza.	228
Tabla 6.9.	Error en el ensayo de dureza de la máquina MTS TK/T5002 respecto a la máquina AMSLER.	228

CAPITULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

Tabla 7.1.	Costos indirectos a personal.	231
Tabla 7.2.	Costos de misceláneos.	231
Tabla 7.3.	Remuneración a profesionales.	232
Tabla 7.4.	Remuneraciones a estudiantes.	232
Tabla 7.5.	Costo de adquisición de materiales y equipos.	232
Tabla 7.6.	Otros costos directos.	233
Tabla 7.7.	Flujo de caja a 10 años.	235

Tabla 7.8.	Cálculo de valores de VAN y TIR.	236
Tabla 7.9.	Criterios de factibilidad técnica.	237
Tabla 7.10	Criterios financieros.	238
Tabla 7.11	Criterios de investigación.	238
Tabla 7.12	Criterios institucionales.	239

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

Figura 2.1	Probeta para ensayo de tracción.	8
Figura 2.2	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002.	8
Figura 2.3	Diagrama esfuerzo-deformación.	9
Figura 2.4	Curva tensión-deformación ideal y comportamiento de la probeta.	10
Figura 2.5	Comportamiento de materiales a la compresión.	13
Figura 2.6	Ensayo de compresión.	13
Figura 2.7	Flexión de una viga.	15
Figura 2.8	Diagrama de corte y momento.	16
Figura 2.9	Ensayo de flexión.	17
Figura 2.10	Probeta sometida a flexión.	18
Figura 2.11	Probetas al suspender el ensayo.	18
Figura 2.12	Indentador del ensayo de dureza.	20
Figura 2.13	Sensores, tarjeta de acondicionamiento, módulo de expansión de entradas analógicas y PLC.	28
Figura 2.14	Circuito de un transductor de posición.	29
Figura 2.15	Sensor de desplazamiento.	29
Figura 2.16	Celda de carga tipo "C".	30
Figura 2.17	Puente de Wheatstone de celda de carga tipo "C".	31
Figura 2.18	Circuito de un fin de carrera (Switch).	32
Figura 2.19	Cable SIEMENS PC/PPI.	34
Figura 2.20	Esquema de las luces de control.	37
Figura 2.21	Variador de velocidad de la máquina MTS TK/T5002.	38
Figura 2.22	Esquema de la disposición del sistema mecánico actual.	40
Figura 2.23	Triángulo de potencias.	41

Figura 2.24	Disposición de la conexión en estrella.	42
Figura 2.25	Disposición de la conexión en triángulo.	42
Figura 2.26	Brakers y fusibles.	43
Figura 2.27	Celda de carga tipo “S”.	45
Figura 2.28	Display AFTI para la celda de carga tipo “S”.	45

CAPITULO 3: ESTADO TÉCNICO DEL EQUIPO

Figura 3.1	Esquema del panel de control de la máquina MTS TK/T5002.	48
Figura 3.2	Esquema de los componentes mecánicos de la máquina.	52
Figura 3.3	Esquema del tornillo sin fin.	54
Figura 3.4	Disposición del sistema reductor con bandas y poleas.	54
Figura 3.5	Esquema de la disposición del sistema mecánico actual.	55
Figura 3.6	Esquema de accesorio para lograr flexión pura.	60
Figura 3.7	Esquema de soportes para ensayo de flexión.	60
Figura 3.8	Distancia mínima entre apoyos.	62
Figura 3.9	Distancia máxima al inicio del ensayo.	62
Figura 3.10	Espaciamiento entre indentaciones.	64
Figura 3.11	Elemento de acople de accesorios en el cabezal fijo.	67
Figura 3.12	Dimensiones del elemento del cabezal fijo.	67
Figura 3.13	Unión roscada de la celda de carga tipo “S”.	68
Figura 3.14	Energía de la deformación interna almacenada en una pieza deformada.	69
Figura 3.15	Esquema de elementos del accesorio superior de flexión.	75

Figura 3.16	Esquema de distancia mínima entre apoyos para flexión pura.	76
Figura 3.17	Esquema del rodillo del accesorio superior de flexión.	77
Figura 3.18	Cargas sobre el rodillo del accesorio superior.	77
Figura 3.19	Esquema del porta rodillo del accesorio superior de flexión.	78
Figura 3.20	Cargas sobre el porta rodillo del accesorio superior.	79
Figura 3.21	Esquema de placas de sujeción del accesorio superior de flexión.	79
Figura 3.22	Cargas sobre placas de sujeción del accesorio superior.	80
Figura 3.23	Esquema del tornillo de sujeción del accesorio superior de flexión.	80
Figura 3.24	Cargas en el tornillo de sujeción del accesorio superior.	81
Figura 3.25	Esquema de elementos del accesorio inferior de flexión.	82
Figura 3.26	Esquema de la placa base del accesorio inferior de flexión.	83
Figura 3.27	Cargas en la placa base del accesorio inferior.	83
Figura 3.28	Esquema del porta rodillo del accesorio inferior de flexión.	84
Figura 3.29	Cargas sobre el porta rodillo del accesorio inferior	85
Figura 3.30	Esquema del apoyo de rodillo del accesorio inferior de flexión.	86
Figura 3.31	Cargas sobre el apoyo de rodillo del accesorio inferior.	86
Figura 3.32	Esquema del pasador del accesorio inferior de flexión.	87

Figura 3.33	Esquema de placas de sujeción del accesorio inferior de flexión.	87
Figura 3.34	Cargas sobre placas de sujeción del accesorio inferior.	88
Figura 3.35	Selección de material para análisis en COSMOS Works.	92
Figura 3.36	Análisis de von Misses, rodillo de accesorio superior flexión.	93
Figura 3.37	Factor de seguridad para análisis de von Misses, rodillo de accesorio superior de flexión.	94
Figura 3.38	Análisis de von Misses, porta rodillo de accesorio superior de flexión.	95
Figura 3.39	Factor de seguridad para análisis de von Misses, porta rodillo de accesorio superior de flexión.	95
Figura 3.40	Análisis de von Misses, placa para rodillo de accesorio superior de flexión.	96
Figura 3.41	Factor de Seguridad para análisis de von Misses, placa para rodillo de accesorio superior de flexión.	97
Figura 3.42	Análisis de von Misses, tornillo de sujeción de accesorio superior de flexión.	97
Figura 3.43	Factor de seguridad para análisis de von Misses, tornillo de sujeción de accesorio superior de flexión.	98
Figura 3.44	Análisis de von Misses, placa base de accesorio inferior de flexión.	99
Figura 3.45	Factor de seguridad para análisis de von Misses, placa base de accesorio inferior de flexión.	99
Figura 3.46	Análisis de deformación, placa base de accesorio inferior de flexión.	100
Figura 3.47	Análisis de von Misses, porta rodillos de accesorio inferior de flexión.	101

Figura 3.48	Factor de seguridad para análisis de von Misses, porta rodillos de accesorio inferior de flexión.	101
Figura 3.49	Análisis de von Misses, rodillo de accesorio inferior flexión.	102
Figura 3.50	Factor de seguridad para análisis de von Misses, rodillo de accesorio inferior de flexión.	103
Figura 3.51	Análisis de von Misses, pasador de accesorio inferior de flexión.	104
Figura 3.52	Factor de seguridad para análisis de Von Misses, pasador de accesorio inferior de flexión.	104
Figura 3.53	Análisis de von Misses, placas de sujeción de accesorio inferior de flexión.	105
Figura 3.54	Factor de seguridad para análisis de von Misses, placas de sujeción de accesorio inferior de flexión.	106
Figura 3.55	Torneado	108
Figura 3.56	Tipos de torneado.	108
Figura 3.57	Escariado.	109
Figura 3.58	Cepillado.	109
Figura 3.59	Esmerilado.	110
Figura 3.60	Esquema de elementos del accesorio superior de dureza.	113
Figura 3.61	Dimensiones del indentador de 5 mm.	114
Figura 3.62	Cargas sobre el indentador del accesorio de dureza.	114
Figura 3.63	Esquema del acople de indentador de dureza.	115
Figura 3.64	Cargas sobre el acople de indentador de dureza.	116
Figura 3.65	Esquema de elementos del accesorio inferior de dureza.	116
Figura 3.66	Esquema de la base porta muestras de dureza.	117
Figura 3.67	Cargas sobre la base del accesorio de dureza.	117

Figura 3.68	Esquema de pasador del accesorio de dureza.	118
Figura 3.69	Análisis de von Misses, indentador de accesorio superior de dureza.	121
Figura 3.70	Factor de seguridad para análisis de von Misses, indentador de accesorio superior de dureza.	121
Figura 3.71	Análisis de von Misses, porta indentador de accesorio superior de dureza.	122
Figura 3.72	Factor de seguridad para análisis de von Misses, indentador de accesorio superior de dureza.	123
Figura 3.73	Análisis de von Mises, base porta muestras de accesorio inferior de dureza.	124
Figura 3.74	Factor de seguridad para análisis de von Misses, base porta muestras de accesorio inf. de dureza.	124
Figura 3.75	Análisis de von Mises, pasador de accesorio inferior de dureza.	125
Figura 3.76	Factor de seguridad para análisis de von Misses, pasador de accesorio inferior de dureza.	126

CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN Y DUREZA.

Figura 4.1.	Símbolos ASME utilizados para los diagramas de procesos.	130
Figura 4.2.	Diagrama de procesos del rodillo de carga.	131
Figura 4.3.	Diagrama de procesos del porta rodillos superior.	132
Figura 4.4.	Diagrama de procesos de las placas de sujeción del accesorio superior de flexión.	132
Figura 4.5.	Diagrama de procesos del tornillo de sujeción del accesorio superior de flexión.	134
Figura 4.6.	Diagrama de procesos del cilindro de la placa base.	135

Figura 4.7.	Diagrama de procesos de la placa horizontal de la placa base.	136
Figura 4.8.	Diagrama de procesos de las placas laterales de la placa base.	136
Figura 4.9.	Diagrama de procesos de la unión de los elementos de la placa base.	137
Figura 4.10.	Diagrama de procesos de porta rodillos inferior.	138
Figura 4.11.	Diagrama de procesos de los apoyos de rodillos.	139
Figura 4.12.	Diagrama de procesos de las placas de sujeción del accesorio inferior de flexión.	140
Figura 4.13.	Diagrama de procesos del porta indentador.	141
Figura 4.14.	Diagrama de procesos del cilindro de la base porta muestras.	142
Figura 4.15.	Diagrama de procesos la placa base de dureza.	143
Figura 4.16.	Diagrama de procesos la unión de los elementos de la placa porta muestras.	143
Figura 4.17.	Diagrama de procesos del pasador.	144
Figura 4.18.	Despiece de los elementos del accesorio superior de flexión.	145
Figura 4.19.	Montaje del accesorio inferior de flexión en la máquina MTS TK/T5002.	146
Figura 4.20.	Despiece de los elementos del accesorio inferior de flexión.	146
Figura 4.21.	Montaje del accesorio inferior de flexión en la máquina MTS TK/T5002.	147
Figura 4.22.	Despiece de los elementos del accesorio superior de dureza.	148
Figura 4.23.	Montaje del accesorio inferior de dureza en la máquina MTS TK/T5002.	148

Figura 4.24.	Despiece de los elementos del accesorio inferior de dureza.	149
Figura 4.25.	Montaje del accesorio inferior de dureza en la máquina MTS TK/T5002.	149

CAPITULO 5: ADAPTACIÓN SEÑALES EN UN MISMO SOFTWARE

Figura 5.1.	STEP 7 MicroWIN 32 V4.0	152
Figura 5.2.	Selección del tipo del CPU.	153
Figura 5.3.	Componentes de la ventana de STEP 7 MicroWIN 32 V4.0.	155
Figura 5.4.	Contacto normalmente abierto	156
Figura 5.5.	Contacto normalmente cerrado.	156
Figura 5.6.	Operación asignar.	156
Figura 5.7.	Operación poner a 1	157
Figura 5.8.	Operación poner a 0	157
Figura 5.9.	Operación de comparación de dos enteros.	157
Figura 5.10.	Operación transferir palabra.	157
Figura 5.11.	Operación restar enteros.	158
Figura 5.12.	Operación sumar enteros dobles.	158
Figura 5.13.	Operación multiplicar enteros dobles.	158
Figura 5.14.	Operación incrementar contador.	159
Figura 5.15	Diagrama de flujo lógico de la programación del PLC.	159
Figura 5.16.	Línea de programación 1 del PLC.	161
Figura 5.17.	Línea de programación 2 del PLC.	162
Figura 5.18.	Línea de programación 3 del PLC.	163
Figura 5.19.	Línea de programación 4 del PLC.	165
Figura 5.20.	Línea de programación 5 del PLC.	166

Figura 5.21.	Línea de programación 6 del PLC.	167
Figura 5.22.	Línea de programación 7 del PLC.	168
Figura 5.23.	Línea de programación 8 del PLC.	169
Figura 5.24.	Línea de programación 9 del PLC.	170
Figura 5.25.	Línea de programación 10 del PLC.	170
Figura 5.26.	Línea de programación 11 del PLC.	171
Figura 5.27.	Línea de programación 12 del PLC.	172
Figura 5.28.	Línea de programación 13 del PLC.	173
Figura 5.29.	Línea de programación 14 del PLC.	173
Figura 5.30.	Línea de programación 15 del PLC.	174
Figura 5.31.	Línea de programación 16 del PLC.	174
Figura 5.32.	Ventana de resultados, compilación del programa STEP 7.	175
Figura 5.33.	Ventana cargar en CPU del programa STEP 7.	176
Figura 5.34.	Ventana de resultados de carga en la CPU del PLC.	176
Figura 5.35.	Esquema de entradas y salidas, PLC Siemens S7CPU 224.	177
Figura 5.36.	Esquema de adaptación de la señal de desplazamiento.	178
Figura 5.37.	Configuración de software de conversión de protocolos.	179
Figura 5.38.	Topic Definition.	179
Figura 5.39.	Esquema de la adaptación de señal de la celda de carga.	180
Figura 5.40.	Ventana del programa ABeamdde.	184
Figura 5.41.	Configuración del programa ABeamdde.	194
Figura 5.42.	InTouch – Application Manager.	199
Figura 5.43.	InTouch – Create New Application.	200
Figura 5.44.	InTouch –Application Name.	200

Figura 5.45.	InTouch – License.	201
Figura 5.46.	InTouch – License Window.	201
Figura 5.47.	InTouch – Application Manager.	201
Figura 5.48.	InTouch – Windows Properties	202
Figura 5.49.	InTouch – Windows.	202
Figura 5.50.	InTouch – Bitmap.	203
Figura 5.51.	InTouch – Windows Fill Color.	203
Figura 5.52.	InTouch – Text.	203
Figura 5.53.	InTouch – Import Image.	204
Figura 5.54.	InTouch – Lights.	204
Figura 5.55.	InTouch – Hist Trend w/Scooters and Scale.	205
Figura 5.56.	InTouch – HistData Wizard.	205
Figura 5.57.	InTouch – Animation Links.	206
Figura 5.58.	InTouch – Touch Pushbuttons.	206
Figura 5.59.	InTouch – Show Windows.	207
Figura 5.60.	InTouch – Add Access Name.	208
Figura 5.61.	Menú diccionario de etiquetas.	209
Figura 5.62.	Declaración de variables del PLC en InTouch.	209
Figura 5.63.	Declaración de variables para celda de carga en InTouch.	210
Figura 5.64.	Variables para visualizar en la gráfica de InTouch.	211
Figura 5.65.	Menú de selección de datos a guardar por archivo.	212
Figura 5.66.	Menú de selección de las variables a visualizar.	212
Figura 5.67.	Menú de asignación de variables para luces.	213
Figura 5.68.	Vinculación de botones con ventanas.	214
Figura 5.69.	Ejecución de programa s7200ppi desde InTouch.	214
Figura 5.70.	Ejecución de programa ABeamdde desde InTouch.	215
Figura 5.71.	Activación de almacenamiento de archivos históricos.	215

CAPITULO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Figura 6.1	Ensayo de flexión de madera en la máquina MTS TK/T5002.	217
Figura 6.2	Gráfica fuerza vs. desplazamiento para el ensayo de flexión de madera en la máquina MTS TK/T5002.	220
Figura 6.3	Ensayo de dureza en hierro fundido en la máquina MTS TK/T5002.	223
Figura 6.4	Ensayo de flexión de madera en la máquina AMSLER RM-09.	225
Figura 6.5	Gráfica fuerza vs. desplazamiento para el ensayo de flexión de madera en la máquina AMSLER	225

LISTADO DE PLANOS

MTS TK T/5002-FLEXIÓN01	PLACA BASE DE FLEXION
MTS TK T/5002-FLEXIÓN02	PORTARODILLO INFERIOR DE FLEXION
MTS TK T/5002-FLEXIÓN03	RODILLO APOYO DE FLEXION
MTS TK T/5002-FLEXIÓN04	PORTARODILLO SUPERIOR DE FLEXION
MTS TK T/5002-FLEXIÓN05	RODILLO SUPERIOR DE FLEXION
MTS TK T/5002-FLEXIÓN06	PLACA INFERIOR SUJECIÓN FLEXIÓN
MTS TK T/5002-FLEXIÓN07	PLACA SUPERIOR SUJECIÓN FLEXIÓN
MTS TK T/5002-DUREZA01	ACCESORIO INFERIOR DE DUREZA
MTS TK T/5002-DUREZA02	PORTA INDENTADOR
MTS TK T/5002-DUREZA03	INDENTADOR
MTS TK T/5002-DUREZA04	PASADOR

LISTADO DE ANEXOS

A	CARACTERÍSTICAS DEL PLC SIEMENS S7 CPU 224 RELÉ
B	CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR 1LA7 SIEMENS.
C	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002.
D	MANUAL DE INSTALACIÓN DE PROGRAMAS
E	VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA MÁQUINA MTS TK/T5002.
F	MANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA MTS TK/T5002.
G	TABLA DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.
H	NORMAS EMPLEADAS EN PARA EL DISEÑO DE ACCESORIOS.
I	CARTA DE CONFORMIDAD

NOMENCLATURA UTILIZADA

α	Resistencia del transductor de posición.
δu	Deformación a la ruptura.
δy	Deformación a la fluencia.
ν	Deformación unitaria.
ν_f	Deformación unitaria de fractura.
ν_u	Deformación unitaria última.
ν_y	Deformación unitaria de fluencia.
θ	Cambio de pendiente entre dos secciones transversales.
μ	Coefficiente de Poisson.
ρ	Radio de curvatura de la superficie neutra.
σ	Esfuerzo.
σ_f	Esfuerzo de rotura.
σ_p	Esfuerzo al límite de proporcionalidad.
σ_u	Esfuerzo de resistencia última.
σ_v	Esfuerzo volumétrico.
$\sigma_{\text{von-Mises}}$	Esfuerzo de von Misses.
σ_y	Esfuerzo de fluencia.
σ_{ya}	Límite de fluencia o límite elástico aparente.
σ_{yc}	Esfuerzo de fluencia al cortante.
$\tau_{1-2} \quad \tau_{1-3} \quad \tau_{2-3}$	Esfuerzos cortantes principales.
ν	Relación de Poisson,
\emptyset	Diámetro.
$\emptyset_{\text{rodillos}}$	Diámetro de los rodillos.
Ω	Ohmios.
A	Amperios.
AWG	Alambre de galga americana.
AWL	Lenguaje de programación por lista de instrucciones.
a	Ancho de la probeta.

b	Altura de la probeta.
baudios	Bits por segundo.
C	Distancia entre apoyos.
COM	Puerto serial o USB de comunicación.
Ce	Relación de carga y el diámetro de la esfera indentadora.
Cfp	Distancia entre los apoyos para flexión pura.
cos φ	Factor de potencia.
D	Diámetro de la esfera de indentador.
DDE	Dirección de datos externos.
d	Diámetro de la indentación.
de	Diámetro externo del sin fin.
di	Diámetro interno del sin fin.
dp	Diámetro primitivo del sin fin.
d _{rodillos}	Distancia entre los rodillos para flexión pura.
E	Módulo de elasticidad o módulo de Young.
F	Fuerza.
FR	Longitud sin rocar del sin fin.
FUP	Lenguaje de programación por diagrama bloque.
Fu	Fuerza de ruptura.
Fy	Fuerza de fluencia.
HBN	Número de dureza Brinell.
HMI	Interfaz humano-máquina.
HP	Horse power.
HRA	Número de dureza Rockwell A.
HRB	Número de dureza Rockwell B.
HRC	Número de dureza Rockwell C.
HVN	Número de dureza Vickers.
hz	Herzios.
I	Inercia de la probeta.
IM-B3	Posición de trabajo del motor SIEMENS.

i	Intensidad.
L1, L2	Distancia entre poleas de transmisión.
kgf	Kilogramos-fuerza.
KSI	Kilo-libras sobre pulgada cuadrada.
KOP	Lenguaje de programación escalera.
kW	Kilowatios.
LR	Longitud roscada del sin fin.
Luz	Distancia entre centro de rodillos de apoyos.
lb	Libras.
MPa	Mega Pascales.
M_y	Momento flector de fluencia.
mm	Milímetros.
n_s	Número de entradas del sin fin.
P	Carga del cabezal.
PLC	Programador lógico de control.
PPI	Interfaz punto a punto.
p	Paso lineal del sin fin.
R	Resistencia activa.
RPM	Revoluciones por minuto.
RS232	Puerto serial.
r	Radio.
S	Distancia máxima para el inicio del ensayo de flexión.
s	Segundos.
TP1, TP2	Motores de la máquina MTS TK/T5002.
t	Espesor de la muestra.
U	Energía de la deformación total.
UNF	Roca fina.
U_d	Energía de distorsión.
U_v	Energía de deformación volumétrica.
V	Voltaje.

VAC	Voltaje de corriente alterna.
VDC	Voltaje de corriente continua.
y	Distancia desde el plano neutro a un punto de la muestra.
y_{\max}	Deflexión máxima a la fluencia.
YV	Conexión estrella-triángulo del motor Siemens.
YY	Conexión estrella-estrella del motor Siemens.
x	Distancia entre dos secciones transversales.

RESUMEN

El proyecto propuesto plantea como objetivo principal diseñar y construir accesorios para ensayos de flexión y dureza y adaptar una celda de carga tipo "S" para la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002. Anteriormente la máquina mencionada fue rehabilitada pero únicamente se podía realizar ensayos de tracción, compresión y fatiga. Además la máquina utilizaba para el control de señales de fuerza, una celda de carga tipo "C" la cual fue posteriormente desconectada debido a que el laboratorio de resistencia de materiales de la ESPE adquirió una celda de carga tipo "S" de mejores características y que la capacidad es igual a la que puede generar la máquina.

Este proyecto fue realizado para incrementar la versatilidad y mejorar el funcionamiento de la máquina, desarrollando el diseño y la construcción de accesorios con el fin de crear nuevos ensayos, y acoplado las señales tanto de fuerza como desplazamiento obtenidos desde la máquina para ser visualizados desde un mismo programa de monitoreo.

El diseño de accesorios para los ensayos de flexión y dureza fue realizado considerando la normas existentes en el medio, y los parámetros y limitaciones que se tiene en la máquina para estos accesorios en cuanto a su capacidad y a sus dimensiones.

Los accesorios fueron diseñados mediante los criterios de diseño: de rigidez para que los elementos no tengan una deflexión superior a 0.1 mm.; y un criterio de resistencia para que los accesorios puedan soportar las cargas críticas a las que pueden ser expuestos (500 kgf). Para realizar el diseño de los accesorios se utilizó el software COSMOS Works que permite desarrollar un diseño asistido por computadora, en el cual se puede analizar cada elemento mediante una teoría de fallas y verificar así que se cumplan los criterios de diseño mencionados.

Para finalizar con la construcción de los accesorios de flexión y dureza fue necesario dar acabado superficial sobre cada elemento y utilizar el pavonado como tratamiento anticorrosivo.

Para la adaptación de las señales de fuerza y desplazamiento se requirió programar el PLC, debido a que la señal de la celda de carga tipo "S" no podía ser conectada en éste, y la programación anterior tenía variables inutilizadas que pertenecían a la celda de carga tipo "C", y que afectaba el funcionamiento del programa de control de la máquina.

Una vez programado el PLC, éste fue conectado al computador a través de un cable PC/PPI el cual adapta las señales del PLC para poder establecer una conexión con un puerto USB del computador, y mediante el uso de un I/O Server, permitir la conversión de protocolos para poder leer las señales de desplazamiento y de actuadores del panel de control de la máquina en un programa de monitoreo.

La celda de carga tipo "S", presenta un display y un cable propios del fabricante que permite conectar este sensor directamente en un puerto serial del computador. Debido a que no se podía extraer la señal de fuerza en tiempo real del programa propio de la celda de carga tipo "S", se requirió la creación de un I/O server en Visual Basic que reciba las señales directamente desde el puerto serial, y que además permita leer y visualizar simultáneamente los datos de fuerza con el programa de monitoreo de la máquina.

Para el monitoreo de las señales se escogió mediante una matriz de decisión la utilización del programa InTouch, el cual permite recibir y visualizar las señales del PLC y de la celda de carga en tiempo real. Este programa brinda la posibilidad de guardar los datos que se producen en la máquina MTS TK/T5002, y que se almacenan en un documento que posteriormente puede ser leído por Excel, en el cual se es posible manipular los datos para realizar un análisis de cada ensayo y obtener graficas de resultados.

El proyecto elaborado se lo cumplió a cabalidad debido a que se obtienen resultados confiables y precisos tanto para los ensayos que poseía la máquina; como para los ensayos implementados de flexión y dureza.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La Escuela Politécnica del Ejército adquirió la máquina de ensayos Universales MTS-TK/T5002 cuando utilizaba una tecnología, considerada para su tiempo una de las mejores. Debido al transcurso del tiempo esta máquina ha ido quedando obsoleta debido al avance tecnológico actual. Hace dos años la máquina fue rehabilitada y actualizada de acuerdo a las posibilidades de la época, permitiendo realizar nuevamente los ensayos de tracción, compresión y fatiga usando una celda de carga tipo "C". En la actualidad el laboratorio de resistencia de materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica cuenta nuevamente con esta máquina de ensayos universales, la cual tiene una capacidad de carga de 500 kgf, dicha máquina dispone de accesorios para realizar ensayos de tracción y compresión, y también el software para el análisis de los mismos, además ha sido reemplazada su celda de carga tipo "C" por una tipo "S" por lo cual utiliza dos softwares diferentes, una para la nueva celda y otra para los equipos de control y monitoreo de la máquina. La celda tipo "S" permite graficar a través de un display la curva fuerza-tiempo siendo aprovechada únicamente para ensayos de tracción y compresión.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En vista de que una máquina de ensayos universales requiere la disponibilidad de los ensayos básicos como son: tracción, compresión, fatiga, dureza y flexión, para ser considerada como tal. Es necesario adaptar a la máquina MTS TK/T5002 del laboratorio de resistencia de materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército; los ensayos de flexión y dureza para conseguir un mejor aprovechamiento de la máquina y un mejor análisis de las propiedades mecánicas de los materiales. Además debido al cambio de la celda de carga tipo "S" por la tipo "C" anteriormente empleada, se está utilizando dos diferentes softwares lo que genera incompatibilidad e incomodidad al usar programas distintos, y con lo cual no se optimiza el proceso de obtención de datos y resultados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir accesorios y adaptar una celda de carga para la máquina de ensayos universales MTS TK/T 5002 para el LRM-DECEM

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características actuales tanto mecánicas como de control del equipo.
- Analizar y seleccionar alternativas de diseño para los accesorios.
- Realizar el diseño mecánico de los accesorios para ensayos de flexión y dureza.
- Construir los accesorios para ensayos de flexión y dureza.
- Utilizar el lenguaje de codificación adecuado para la programación del PLC.
- Acoplar las señales de fuerza y desplazamiento obtenidos de la máquina MTS TK/T5002.
- Analizar y seleccionar el software adecuado que permita el manejo de los elementos de control.
- Realizar las pruebas de funcionamiento para la máquina.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Parte del objetivo del presente proyecto consiste en diseñar y construir accesorios para ensayos de flexión y dureza a partir de las características actuales tanto mecánicas como del sistema de control que presenta la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002. Se dará a conocer las alternativas de diseño que mejor se adapten a esta máquina, en cuanto a materiales, forma y dimensiones, para posteriormente construir los accesorios de flexión y dureza de acuerdo a los criterios de diseño que se utilice.

El proyecto también tiene como objetivo, el adaptar una celda de carga para la máquina de ensayos universales; dentro de esto se analizará las posibilidades para la selección de un software existente en el mercado que permita el manejo de los elementos de control y que admita un fácil lenguaje de codificación en la programación del PLC; considerando el software que maneja los sistemas de control actualmente existentes en el mercado.

Se buscará una manera de recibir tanto la señal de fuerza de la celda de carga tipo "S", como de la instrumentación de la máquina a través del PLC, al computador para recibir los datos de cualquier ensayo que se realice, con la finalidad de optimizar la eficiencia de la máquina y la compatibilidad de sus elementos. Finalmente, se realizará pruebas de funcionamiento para los ensayos de flexión y dureza, comprobando así la correcta actividad de la máquina, tanto en el aspecto mecánico como en el de control.

Estas pruebas serán comparadas con los diagramas fuerza-deformación teóricas para el material usado con lo cual se deberá obtener errores aceptables con el fin de brindar seguridad en la utilización de la máquina.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 del laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Politécnica del Ejército se ha visto afectada en su desempeño con el tiempo a pesar de su rehabilitación, pues su funcionamiento no brinda los ensayos que una máquina de este tipo debería; es por esto que se vuelve necesario realizar modificaciones para poder reutilizarla puesto que esta no es aprovechada plenamente y no se dispone de los accesorios para realizar los ensayos de flexión y dureza, pruebas indispensables en toda máquina de ensayos universales.

Debido a que en la actualidad se persigue como objetivo un mejoramiento continuo, con base de la calidad de la Escuela Politécnica del Ejército, es necesario diseñar y construir estos accesorios para los ensayos restantes; además y con la intención de facilitar la obtención de resultados y las gráficas correspondientes, es necesario utilizar un mismo lenguaje de comunicación entre los diversos sistemas por lo que se requiere adaptar las señales existentes en la máquina mediante un mismo software junto con las señales que da la celda de carga tipo "S" adquirida recientemente por el laboratorio, con el fin de aprovechar y aumentar la versatilidad, accesibilidad, facilidad de operación y control, funcionalidad, exactitud y precisión.

La implementación de los ensayos de flexión y dureza para la Máquina MTS TK/T5002 aumentará la gama de ensayos que el laboratorio ofrece en la actualidad, y con la adaptación de la celda de carga se podrá utilizar un mismo software para su análisis; esto conllevará a mejorar la educación respecto a resistencia de materiales para los alumnos de generaciones futuras ya que la máquina puede contribuir como instrumento de enseñanza en el laboratorio de resistencia de materiales, aportará también en el laboratorio para una mejor facilidad en la prestación de servicios.

Posterior a la culminación del proyecto, la máquina podrá ser utilizada por el laboratorio de resistencia de materiales de forma didáctica, es decir, se podrían planificar prácticas de laboratorio, que permita realizar el análisis para un material determinado, donde se puedan obtener resultados para cada uno de los ensayos que se realice, en una misma máquina.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ESTUDIO DE LA TEORÍA DE ENSAYOS MECÁNICOS

2.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Todo cuerpo al soportar una fuerza aplicada trata de deformarse en el sentido de aplicación de la fuerza. El ensayo de tracción consiste en aplicar una fuerza en dirección axial a la muestra, estirando el material dependiendo de sus propiedades; la probeta se alargará en dirección de su longitud y se encogerá en el sentido o plano perpendicular, aunque el esfuerzo y la deformación ocurren simultáneamente en el ensayo, los dos conceptos son completamente distintos.

El ensayo de tracción en ingeniería es ampliamente utilizado, pues suministra información sobre la resistencia de los materiales utilizados en el diseño y también para verificación de especificaciones de aceptación.

Todos los materiales metálicos tienen una combinación de comportamiento elástico y plástico en mayor o menor proporción.

Elasticidad: Es la propiedad de un material en virtud de la cual las deformaciones causadas por la aplicación de una fuerza desaparecen cuando cesa la acción de la fuerza.

"Un cuerpo completamente elástico se concibe como uno de los que recobra completamente su forma y dimensiones originales al retirarse la carga".
Ejemplo: caso de un resorte o hule al cual le aplicamos una fuerza.

Plasticidad: Es aquella propiedad que permite al material soportar una deformación permanente sin fracturarse.

El conocimiento de las propiedades de los materiales utilizados en ingeniería es un aspecto fundamental para el diseñador en su propósito de desarrollar las mejores soluciones a las diversas situaciones que se presentan en su cotidiano que hacer.

La realización correcta de ensayos en los materiales, permite conocer su comportamiento ante diferentes circunstancias, al igual que la determinación de sus propiedades fundamentales.

El **ensayo de tracción** de un material se realiza en una máquina de ensayos universales (figura 2.2) y la operación consiste en someter una probeta normalizada (ver figura 2.1), realizada con dicho material a una carga monoaxial gradualmente creciente (estática) hasta que se produzca la falla (rotura) de la probeta.

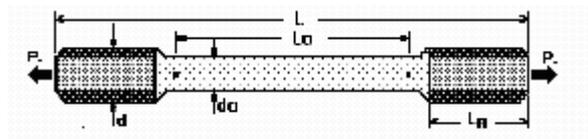


Figura 2.1 Probeta para ensayo de tracción.

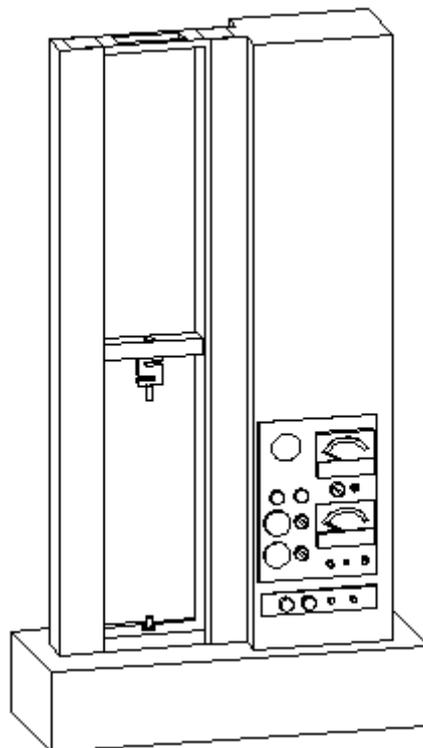


Figura 2.2 Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002.

Curva esfuerzo-deformación

En el ensayo se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma, a medida que se incrementa la carga aplicada; se representa gráficamente en función de la tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta).

En un ensayo de tracción, pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

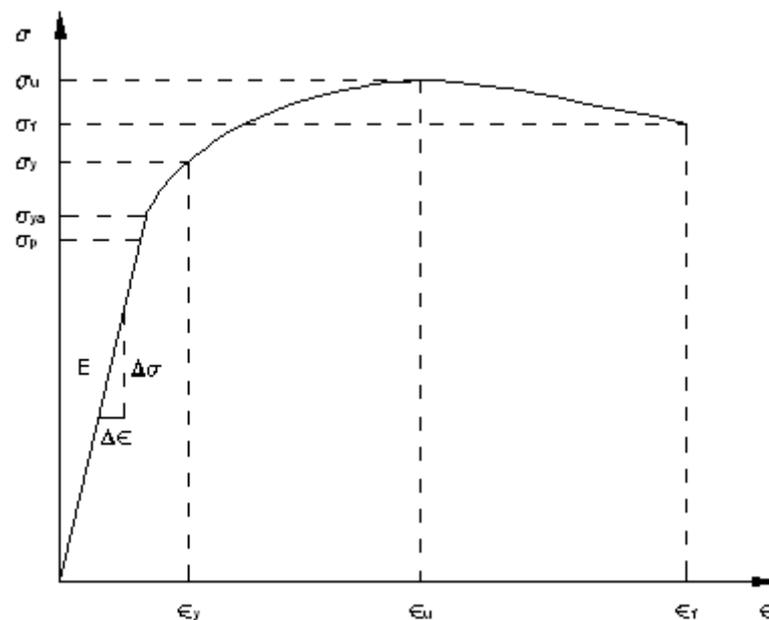


Figura 2.3 Diagrama esfuerzo-deformación.

- *Módulo de elasticidad o módulo de Young (E)*: que cuantifica la proporcionalidad entre la carga y el desplazamiento en la probeta.
- *Coefficiente de Poisson (μ)*: que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- *Límite de proporcionalidad (σ_p)*: valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- *Límite de fluencia o límite elástico aparente (σ_{ya})*: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia.

- *Límite elástico* (σ_y): (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.
- *Carga de ruptura* (σ_f): carga final a la cual la probeta se rompe.
- *Resistencia última* (σ_u): Es la carga máxima que puede resistir la probeta antes de que se produzca su estricción.
- *Alargamiento de ruptura* (δ_u): Incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- *Deformación unitaria* (v).- Es la deformación que sufre la probeta dependiendo de la carga aplicada, y se identifica según la zona en que se encuentre, así por ejemplo: v_y es la deformación unitaria de fluencia; v_u es la deformación unitaria última; v_f es la deformación unitaria de fractura.

En general en la curva tensión-deformación se presentan cuatro zonas bien diferenciadas:

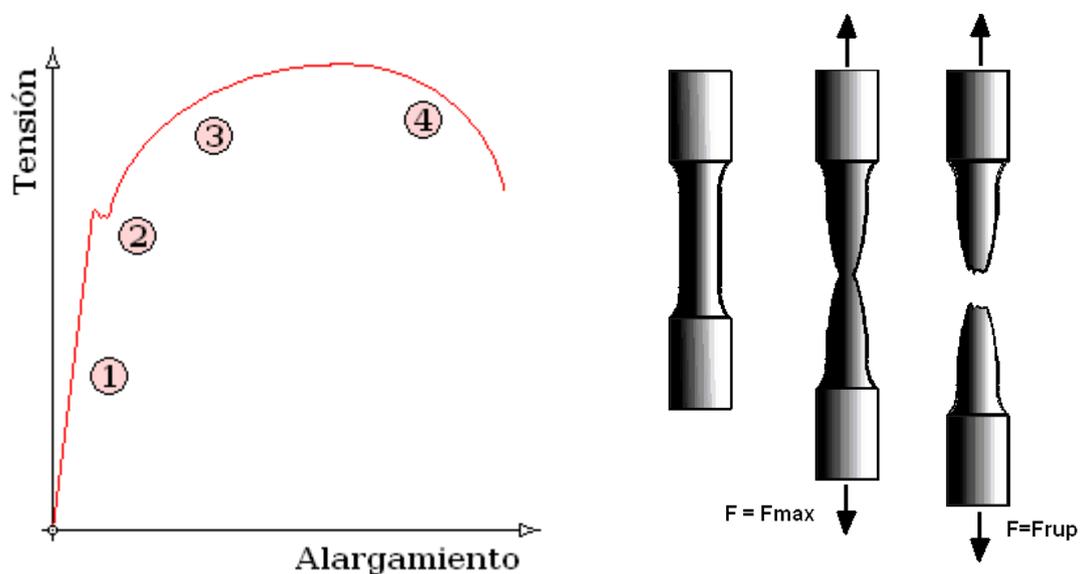


Figura 2.4 Curva tensión-deformación ideal y comportamiento de la probeta.

1. Deformaciones elásticas: En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retirara la carga aplicada la probeta recuperaría su forma inicial. El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material, así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno.

2. Fluencia o cedencia. Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente.

3. Deformaciones plásticas: Si se retira la carga aplicada en dicha zona la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente.

4. Estricción. Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la ruptura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la ruptura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas rompiéndose la probeta de forma brusca. Otras características que pueden caracterizarse mediante el ensayo de tracción son la resiliencia y la tenacidad que son respectivamente las energías, elástica y total absorbida y que vienen representadas por el área comprendida bajo la curva tensión-deformación hasta el límite elástico en el primer caso y hasta la rotura en el segundo.

2.1.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN.

El ensayo de compresión es poco frecuente en los metales y consiste en aplicar a la probeta, en la dirección de su eje longitudinal, una carga estática que tiende a provocar un acortamiento de la misma y cuyo valor se irá incrementando hasta la rotura o suspensión del ensayo.

Algunos materiales exhiben un comportamiento dramáticamente diferente en compresión que en tensión y en algunos casos estos materiales se utilizan principalmente para resistir esfuerzos de compresión. Ejemplos típicos son el concreto y las piedras utilizadas en construcción. Se necesita entonces datos del ensayo de compresión en muchas aplicaciones de ingeniería. Los ensayos de compresión tienen muchas similitudes con los ensayos de tracción en la forma de cómo se conduce el ensayo y en el análisis e interpretación de los resultados.

El diagrama obtenido en un ensayo de compresión presenta para los aceros, al igual que el de tracción un periodo elástico y otro plástico.

En los gráficos de metales sometidos a compresión, que indica la figura siguiente obtenidas sobre probetas cilíndricas de una altura doble con respecto al diámetro, se verifica lo expuesto anteriormente, siendo además posible deducir que los materiales frágiles (fundición) rompen prácticamente sin deformarse, y los dúctiles, en estos materiales el ensayo carece de importancia, ya que se deforman continuamente hasta la suspensión de la aplicación de la carga, siendo posible determinar únicamente, a los efectos comparativos, la tensión al límite de proporcionalidad.

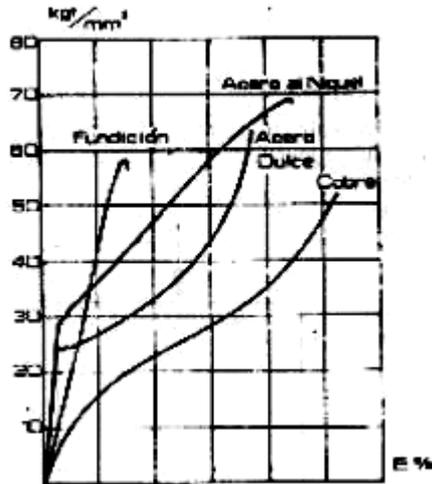


Figura 2.5 Comportamiento de materiales a la compresión.

2.1.2.1. Probetas para compresión de metales.

En los ensayos de compresión, la forma de la probeta tiene gran influencia, por lo que todos ellos son de dimensiones normalizadas.

El rozamiento con los platos de la máquina hace aparecer un estado de tensión compuesta que aumenta la resistencia del material, la influencia de estas tensiones va disminuyendo hacia la sección media de la probeta, razón por la cual se obtiene mejores condiciones de compresión simple cuando están se presenta con forma prismáticas o cilíndricas de mayores alturas, las que se limitan, para evitar el efecto del flexionamiento lateral debido al pandeo.



Figura 2.6 Ensayo de compresión.

2.1.3 ENSAYO DE FLEXIÓN.

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos. Sin embargo y por comodidad para realizar el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de este esfuerzo se emplea generalmente a las mismas comportándose como vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio (flexión práctica u ordinaria).

En estas condiciones además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone a un esfuerzo cortante, cuya influencia en el cálculo de la resistencia del material varía con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con esta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, como puede comprobarse fácilmente en la figura 2.7, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos. Es por esta razón que la distancia entre los soportes de la probeta se ha normalizado convenientemente en función de la altura o diámetro de la misma, pudiendo aceptar entonces que la acción del esfuerzo de corte resulta prácticamente despreciable.

Para ensayos más precisos la aplicación de la carga se hace por intermedio de dos fuerzas con lo que se logra “flexión pura”.

2.1.3.1. Comportamiento de los materiales sometidos a la flexión.

Si las fuerzas actúan sobre una pieza de material de tal manera que tiendan a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la pieza y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la pieza está en flexión.

La ilustración común de la acción flexionante es una viga afectada por cargas transversales; la flexión puede también causarse por momentos o pares tales como, por ejemplo, los que pueden resultar de cargas excéntricas paralelas al eje longitudinal de una pieza.

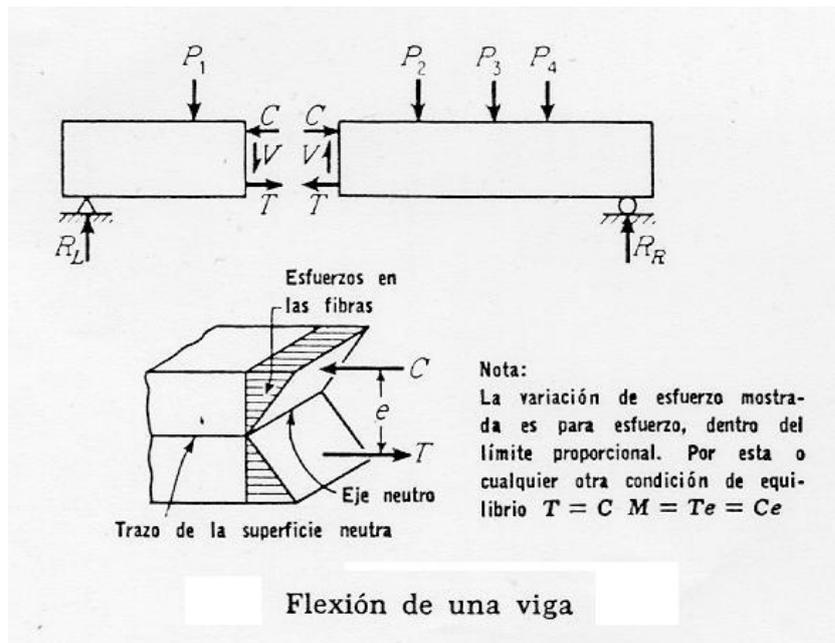


Figura 2.7 Flexión de una viga.

El efecto de flexión en cualquier sección se expresa como “momento flexionante M ”; el cual es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan hacia la izquierda de la sección. Los esfuerzos inducidos por un momento flexionante pueden denominarse esfuerzos flexionantes. Para que exista equilibrio, la resultante de las fuerzas tensivas “ T ” debe siempre ser igual a la resultante de las fuerzas compresivas “ C ”. Las resultantes de los esfuerzos flexionantes en cualquier sección forman un par que es igual en magnitud al momento flexionante. Cuando no actúan ningunos otros esfuerzos que los flexionantes se dice que existe una condición de flexión pura.

La flexión pura se desarrolla bajo ciertas condiciones de carga, el caso usual, la flexión va acompañada por el corte transversal. La resultante de los esfuerzos cortantes a través de una sección transversal es igual al corte transversal total “ V ”, el cual se calcula con la suma algebraica de todas las fuerzas transversales hacia la izquierda (o la derecha), de una sección. La acción flexionante de las vigas es frecuentemente denominada “flexión”.

En una sección transversal de la viga, la línea a lo largo de la cual los esfuerzos flexionantes son cero es llamada el eje neutro. La superficie que contiene los ejes neutros de las secciones consecutivas es la superficie neutra.

Sobre el lado de la viga en compresión las “fibras” de la viga se acortan, y sobre el lado en tensión se estiran, así la viga se flexiona o “flambea” en una dirección normal a la superficie neutra, tornándose cóncava del lado en compresión.

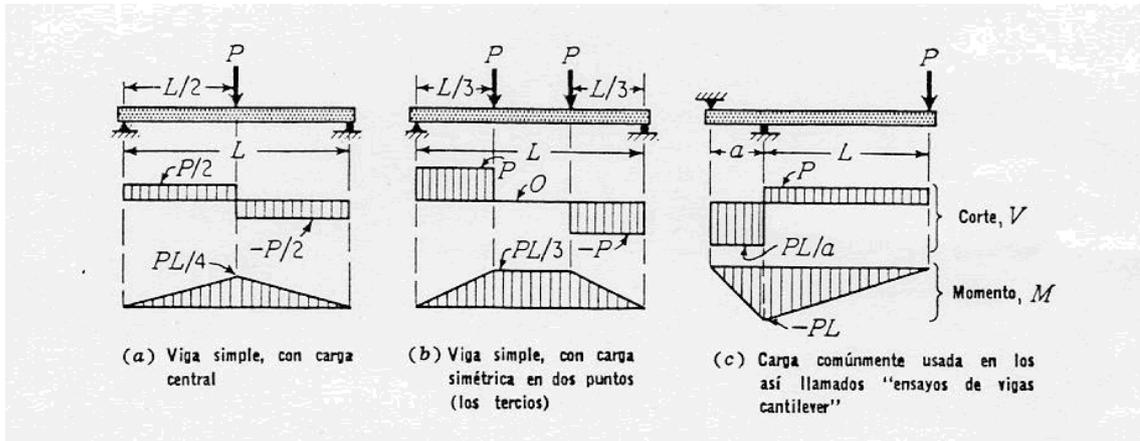


Figura 2.8 Diagrama de corte y momento.

Se ha establecido por muchas observaciones que en la flexión pura las deformaciones son proporcionales a la distancia desde el eje neutro; y esto parece confirmarse cuando menos con una buena aproximación tanto en el rango de acción inelástico como en el de acción elástica. Esta es llamada una condición de “flexión plana”. El alargamiento o acortamiento de las fibras en cualquier tramo de viga dado sobre el cual el momento es constante dividido por ese tramo da la deformación unitaria en la fibras. Si los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones, la variación del esfuerzo a través de una sección es lineal.

Sumando los momentos de los esfuerzos alrededor del eje neutro, el momento de resistencia, dentro del límite proporcional, puede encontrarse en términos del esfuerzo sobre la fibra extrema.

$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \quad (2.1)$$

donde: M es el momento de flexión, σ es el esfuerzo sobre la fibra extrema, y es la distancia del eje neutro de la fibra extrema, I es el momento de inercia de la sección alrededor del eje neutro.

En términos de las deformaciones en las fibras extremas, el momento puede expresarse como:

$$M = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot I}{y} \quad (2.2)$$

donde: ε es la deformación en la fibra extrema por largo unitario de viga y E el módulo de elasticidad.

$$M = E \cdot I \frac{\theta}{x} = \frac{E \cdot I}{\rho} \quad (2.3)$$

donde: θ es el cambio de pendiente entre dos secciones transversales, x es la distancia entre dos secciones transversales, ρ es el radio de curvatura de la superficie neutra.

La deflexión de una viga es el desplazamiento de un punto sobre la superficie neutra de una viga, desde su posición original bajo la acción de las fuerzas aplicadas. Dentro del límite proporcional, la deflexión debida a la flexión bajo un tipo de carga dada puede computarse del módulo de elasticidad del material y de las propiedades de la sección.

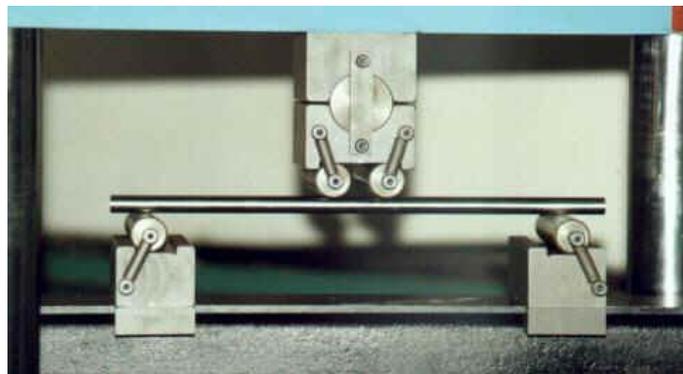


Figura 2.9 Ensayo de flexión.

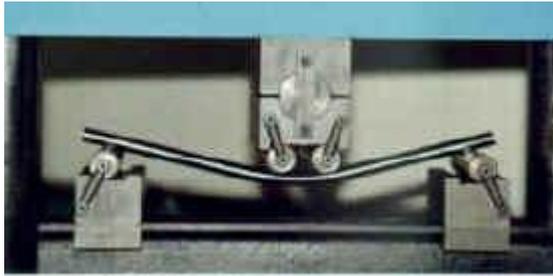


Figura 2.10 Probeta sometida a flexión.



Figura 2.11 Probetas al suspender el ensayo.

2.1.4 ENSAYO DE DUREZA.

La dureza se define como la resistencia a la penetración local; al rayado, al maquinado, al desgaste o abrasión, y a la fluencia del material.

La dureza no puede ser una propiedad fundamental en el material, sino más bien una propiedad compuesta que comprende la resistencia en el punto de fluencia, el endurecimiento por trabajo, el módulo de elasticidad de algunas otras. *La dureza superficial* es la resistencia de un material a ser marcado por otro.

El ensayo de dureza consiste en aplicar una carga previamente determinada mediante el uso de indentadores (en forma de esferas, pirámides o conos según su tipo), de tal manera que oprima el indentador contra la probeta provocando una huella sobre ésta. Estos indentadores se cargan contra el material y se procede a medir el tamaño de la huella que dejan.

Se prefiere el uso de materiales duros cuando éstos deben resistir el roce con otros elementos. Es el caso de las herramientas de construcción (palas, carretillas, pisos, tolvas).

Una de las ventajas del ensayo de dureza es que los valores entregados pueden usarse para hacer una estimación de la resistencia a la tracción. Es un ensayo fácil y no destructivo; puede realizarse en cualquier sitio, ya que existen durómetros fácilmente transportables.

La dureza superficial puede aumentarse añadiendo al material una capa de carbono, en un tratamiento térmico denominado cementación o también puede variar con un tratamiento de nitrurado sobre el material.

La clasificación y los métodos varían con cada material, dando origen a los números de dureza:

- **HBN** (Hardness **Brinell** Number)
- **HRA, HRB, HRC**, etc. (Hardness **Rockwell** series A, B, C, etc.)
- **HVN** (Hardness **Vickers** Number)

2.1.4.1. Ensayo de Dureza Brinell.

Este ensayo consiste en oprimir una esfera de acero endurecido contra una probeta. De acuerdo con las especificaciones de la ASTM (ASTM E 10), las estipulaciones de las cuales se siguen en la norma, se acostumbra usar una esfera de 10 mm. y una carga de 3000 kgf., para metales duros, 1500 kgf para metales de dureza intermedia y 500 kgf. para materiales suaves.

La máquina de ensayos de dureza Brinell debe disponer de los siguientes elementos:

- Cabezal capaz de ejercer cargas P , controladas hasta de 3000 kgf.
- Penetradores de bola de diámetros 0.625 a 10 mm.

La selección de las cargas P , y diámetros D , es una función del espesor de la pieza a ensayar, pues los resultados de dureza quedan falseados cuando pequeños espesores son ensayados con grandes cargas.

La norma ASTM E-10, indica la forma de selección de las cargas, materiales y diámetro de esferas, estableciendo para cada material una relación la cual constituye la constante del ensayo, C_e :

$$C_e = \frac{P}{D^2} \quad (2.4)$$

donde: P es la carga aplicada, y D el diámetro de las esferas indentadoras.

Se consigue obtener unidades Brinell de dureza comparable para una misma aleación si se mantiene constante para distintas cargas de ensayo el parámetro C_e .

Existen varios tipos de máquinas disponibles para hacer este ensayo; que se pueden definir en cuanto a: el método de aplicación de la carga (presión de aceite, tornillo propulsado por engranes, pesas con palanca), método de operación (manual, fuerza motriz), método de medición de la carga (pistón con pesas y calibrador Bourdon, dinamómetro, pesas con palanca), y tamaño (grande y pequeño).

Este tipo de ensayo puede realizarse en una pequeña máquina universal de ensayos mediante el uso de un adaptador adecuado para sujetar el indentador que contiene la esfera, así como las máquinas especiales diseñadas con este propósito.

2.1.4.2. Procedimiento del ensayo de dureza Brinell.

Previo al procedimiento del ensayo, es necesario nombrar ciertas características del elemento indentador, indispensable para un ensayo de este tipo.

Indentador: Esfera de 10 mm. de acero o carburo de tungsteno.

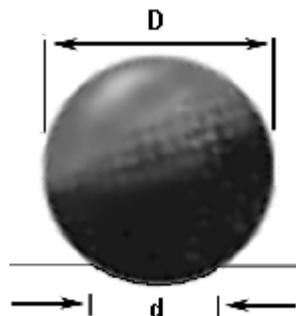


Figura 2.12 Indentador del ensayo de dureza

El número de dureza de Brinell es nominalmente la presión por área unitaria (kgf. x mm²), de la huella que queda después de retirar la carga; se obtiene dividiendo la carga aplicada por el área de la superficie de la huella, la cual se supone esférica. Entonces el número de dureza Brinell es la relación entre la carga sobre la esfera y el área indentada, de la siguiente manera:

$$HBN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.5)$$

donde: P es la carga aplicada (kgf.), D es el diámetro de la bola de acero (mm.), y d es el diámetro de la huella (mm.).

Se requiere que la bola este dentro de $\pm 0,005$ mm. del diámetro nominal de 10 mm. Al usarse sobre aceros muy duros se necesita que la bola no sufra un cambio permanente de diámetro en más de 0,01 mm; por esto las bolas de carburo de tungsteno se usan frecuentemente para el ensayo de los aceros más duros.

En el ensayo normal el diámetro de la indentación se mide usando un microscopio micrómetro que lleve una escala transparente grabada en el campo visual; la escala tiene divisiones correspondientes a 0,1 mm. y las mediciones se hacen por estimación, hasta cuando menos 0,02 mm. El diámetro se toma como promedio de dos lecturas tomadas a 90° una de la otra.

Para realizar un ensayo por este procedimiento, la superficie de la probeta debe ser plana y estar razonablemente bien pulida; de otra manera se encontrarán dificultades al hacer una determinación exacta del diámetro de la huella.

En el ensayo normal la carga completa se mantiene por un mínimo de 15 segundos para los metales no ferrosos, y de 30 segundos para los metales más suaves, y después de este intervalo la carga se retira y se mide el

diámetro de la huella hasta 0,02 mm. más cercano con el microscopio. Sin embargo, frecuentemente se usa un intervalo de 30 segundos para los no ferrosos y uno de 60 segundos para otros metales.

El material de la probeta queda permanentemente deformado hasta una distancia apreciable debajo de la superficie de la huella. Si una indentación se hace demasiado cerca del borde de la probeta, éste puede ser demasiado grande y asimétrico; si se hace demasiado cerca de uno anterior, puede resultar demasiado grande debido a la carencia de superficie material sustentante o demasiado pequeño debido al endurecimiento por trabajo del material por la primera indentación.

2.2 EQUIPOS Y ACCESORIOS A UTILIZARSE EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS.

La máquina MTS-TK/T5002 del laboratorio de resistencia de materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército en la actualidad esta formada en su sistema mecánico por una parte estructural, un cabezal fijo, un cabezal móvil, dos tornillos sin fin, una barra guía con fines de carrera, poleas, bandas, y acoples con dos motores.

Esta máquina cuenta también con un sistema automatizado el cual recibe las señales y mediciones que se producen en cada tipo de ensayo, es decir, las señales de fuerza y desplazamiento que marcan los sensores respectivos, y mediante software los adecua y brinda al operador resultados de esfuerzos y comportamiento de las probetas analizadas.

Además se tiene un sistema de control y monitoreo cuyo manejo es muy simple y se lo realiza de acuerdo al ensayo en ejecución (Tracción, compresión, fatiga); para controlar velocidades o dirección del movimiento de los accesorios.

2.2.1. ENSAYO DE TRACCIÓN.

Para el ensayo de tracción en la máquina MTS TK/T5002, se requiere del cabezal fijo localizado en la parte inferior de la base estructural, de un cabezal móvil cuyas condiciones de operación deben garantizar la tracción de la probeta, la barra guía con fines de carrera, dos tornillos sin fin que son los que transmitirán el movimiento al cabezal móvil, se requiere también de dos mordazas para la sujeción de la pieza a analizar; el regulador de velocidad, y sentido de giro del motor, sentido de movimiento del cabezal móvil.

Finalmente para completar el análisis del ensayo de tracción se requiere de un software compatible con los equipos que permita identificar el comportamiento de la probeta, visualizar gráficas y obtener los datos respectivos del material analizado.

2.2.2. ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Al igual que el ensayo de tracción, y debido a la semejanza de su análisis y operación, este ensayo requiere del cabezal fijo, cabezal móvil, barra guía con fines de carrera, dos tornillos sin fin, dos mordazas de sujeción, regulador de velocidad, sentido de movimiento del cabezal móvil, el cual debe provocar la compresión de la probeta.

El análisis de su comportamiento, gráficas, datos se lo realizará mediante el software implementado en la máquina MTS TK/T5002.

2.2.3. ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para este ensayo en la máquina MTS TK/T5002, se necesita de los cabezales tanto fijo como móvil que permitirán la realización del ensayo de flexión, la barra guía, dos tornillos sin fin para garantizar la aplicación de la fuerza, los

accesorios necesarios para este tipo de ensayos; es decir; dos apoyos fijos en la base de la estructura de la máquina, y un accesorio que permita transmitir la carga hacia la probeta a una distancia determinada de esta; se requiere además de controles de velocidad y sentido de giro del motor para el avance e incremento de la carga, y el software para el análisis respectivo y verificación del comportamiento del material para la probeta evaluada usada en el ensayo de flexión de la máquina.

2.2.4. ENSAYO DE DUREZA.

La ejecución de este ensayo demanda la disponibilidad de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, la cual debe incluir un cabezal fijo, un cabezal móvil, un accesorio para sujeción del material el cual se adapta con el cabezal fijo, un accesorio que se adapte al cabezal móvil y al indentador para el ensayo de dureza y que permitirá transmitir la carga necesaria, un indentador, dos tornillos sin fin para garantizar el movimiento del cabezal, barra guía; controles manuales de ajuste de velocidad de avance del cabezal y sentido de giro del motor.

Se requiere también de un software que permita obtener los valores de dureza del material en análisis. Este ensayo requiere además de un equipo de medición de alta apreciación un microscopio micrómetro que lleve una escala transparente grabada en el campo visual para obtener datos necesarios de la probeta para el análisis de dureza.

2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A USAR EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS.

Los diferentes ensayos que se realizan en la máquina MTS TK/T5002 del laboratorio de resistencia de materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército poseen los instrumentos necesarios para la obtención de datos y medición de parámetros que permitan realizar el análisis del comportamiento del material de la probeta, y obtener resultados sobre sus propiedades.

2.3.1. ENSAYO DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.

Los ensayos de tracción y compresión se los realiza de forma similar, lo que los diferencia es el sentido de dirección de aplicación de la carga; por lo que sus instrumentos de medición son los mismos. Estos ensayos requieren para su ejecución instrumentos de medición de desplazamiento y de fuerza.

Para la distancia que recorre el cabezal móvil, se utiliza un sensor de desplazamiento, este es un transductor de posición que nos permite obtener una variación de resistencia, la cual mide este desplazamiento; permitiendo obtener una señal eléctrica de voltaje.

Existen otras formas de medir desplazamiento, por ejemplo se puede usar una regleta localizada a un lado de la máquina, cuya medición se la realizaría de forma indirecta, tomando valores de referencia y dependiendo de la apreciación de la regleta y del observador; lo cual desfavorece este instrumento debido a que los datos son discretos, no se obtiene una señal eléctrica y además se presentan errores de paralaje, truncamiento, ajuste, etc. Al no obtener una señal eléctrica no se puede recopilar y almacenar estos datos, con lo que no se aprovecha los sistemas eléctricos y electrónicos de la máquina para un posterior análisis que permita obtener gráficas adecuadas.

Para medir la fuerza necesitamos una celda de carga tipo "S", con una capacidad de 5000 N. (1100 lb), que a través de su deformación permite

obtener una señal de voltaje en VDC, tanto a compresión como a tracción; las características de la celda de carga, relacionan la deformación mencionada y a través de un display, permite determinar la fuerza aplicada a la probeta.

Es posible utilizar otros medios para medir la fuerza, entre ellos se puede encontrar a los dinamómetros, pero la señal que emite la celda de carga puede ser aprovechada para un análisis posterior en el cual se puede obtener gráficas de comportamiento del material, la carga que se aplica a la probeta es variable en el tiempo; una celda de carga permite sensor cada valor de la fuerza aplicada, y debido a su señal eléctrica podemos almacenar los datos que se obtienen, en un programa que reciba estas señales o en un software de control que se realizará para la máquina.

Anteriormente la máquina MTS TK/T5002 utilizaba una celda de carga tipo "C", con una capacidad de 500 kgf, la cual a través de una tarjeta de amplificación de señal y un módulo de entradas analógicas, envía la señal digital al PLC previamente programado para recibir estos datos y mediante un software de comunicación entre el PLC y la computadora, mostrar tablas y gráficos de las señales de fuerza recibidas.

2.3.2. ENSAYO DE FLEXIÓN.

En un ensayo de flexión se utilizan los mismos instrumentos que para los ensayos de tracción y compresión; es decir, se requiere de un instrumento para medir el desplazamiento, y otro instrumento para medir la fuerza.

Para un ensayo de flexión, se puede utilizar el mismo sensor de desplazamiento para determinar la deflexión que sufre la probeta durante la aplicación de la carga.

La deflexión que se produce puede ser medida también mediante comparadores de reloj, o la regleta que posee la máquina a la derecha del cabezal tomando en cuenta que para estos caso es necesario una selección de un nivel de referencia y la apreciación de estos elementos; además que no se obtiene una señal eléctrica, lo cual desfavorece nuevamente los resultados pues provoca errores y no aprovecha los sistemas de medición de la máquina.

La fuerza aplicada sobre la probeta puede ser sensada a través de una celda de carga, que permita obtener una señal eléctrica, y las señales que emite puedan ser almacenadas por los dispositivos electrónicos de la máquina que facilite la obtención de las gráficas correspondientes.

No se utiliza elementos de medición de fuerza como dinamómetros, por las razones expuestas anteriormente.

2.3.3. ENSAYO DE DUREZA.

Para el ensayo de dureza se necesita de un instrumento de medición específico existente en el laboratorio de Metrología de la universidad, un microscopio micrómetro con una escala transparente para la medición de la indentación de la probeta, y cuyo valor servirá para realizar cálculos y verificarlos en el software de la máquina. Para este ensayo se utilizará también la celda de carga tipo “S” con las especificaciones ya nombradas, la cual determinará la fuerza específica aplicada en el material en análisis.

2.4 SISTEMA DE CONTROL Y SOFTWARE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

La máquina MTS TK/T5002 del laboratorio de resistencia de materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, posee sistemas de control manuales para la regulación y monitoreo de parámetros para los diferentes ensayos, los cuales facilitan la obtención de datos mediante sensores. La señal que se envía desde: sensores y celda de carga tipo “C”, se dirigen hacia un PLC el cual adecua la señal para luego ser transmitida a un software, el cual se encarga mediante previa programación de brindar resultados para cada ensayo y gráficas que permite ver el comportamiento de las probetas.

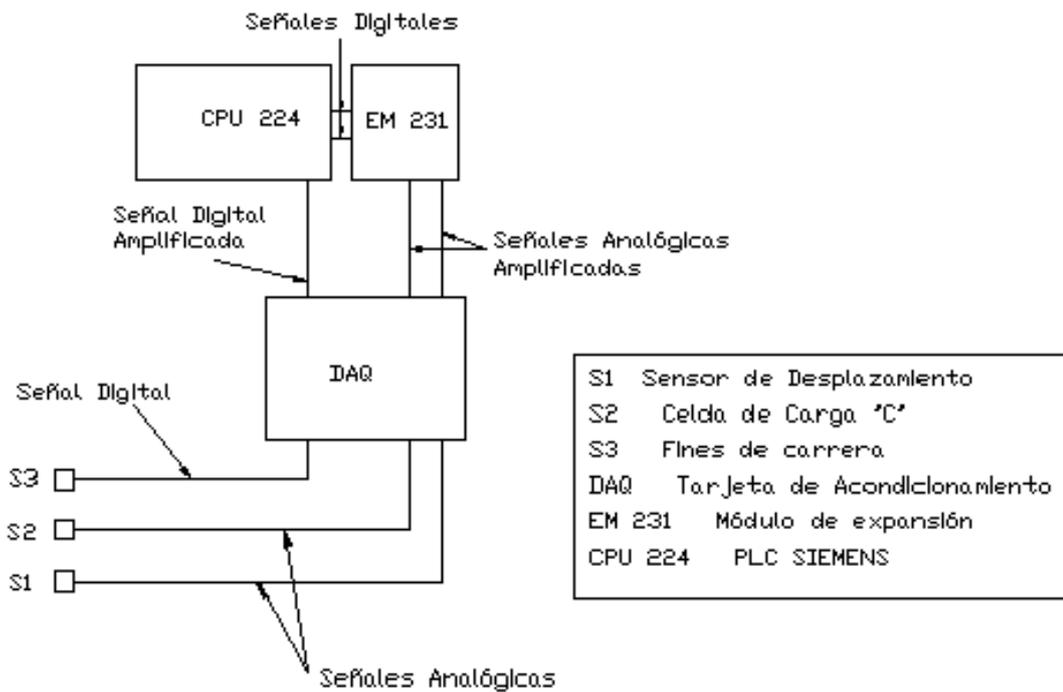


Figura 2.13 Sensores, tarjeta de acondicionamiento, módulo de expansión de entradas analógicas y PLC.

Actualmente la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 maneja su sistema de control mediante sensores y actuadores controlados mediante la existencia de un PLC SIEMENS S7CPU224 relé y un software InTouch 7.1.

Su funcionamiento se produce en dos etapas, la primera que se conoce como etapa de adquisición de datos, encargada de recibir la señal, transportarla, y adecuarla para su ingreso al PLC; y la segunda que es la etapa de control y monitoreo, encargada de dar funcionamiento a los actuadores existentes en la máquina.

2.4.1. ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En la actualidad la máquina posee tres tipos de sensores, los cuales son: un sensor de desplazamiento, una celda de carga tipo "C", y tres fines de carrera de los cuales, dos son pulsantes y uno doble pulsante.

Sensores:

- El sensor de desplazamiento permite determinar la distancia que recorre el cabezal móvil; basa su principio de funcionamiento en un transductor de posición (figura 2.14), la señal que emite es analógica de voltaje; y requiere de 5 VDC y 2.8mA, los cuales son proporcionados por la fuente del PLC; a la salida su señal puede variar entre 0 y 5 VDC, luego la señal ingresa a la tarjeta de acondicionamiento de señales y puede ser amplificada hasta 10 VDC, su resistencia se encuentra en el rango entre: $\alpha = 2\Omega$ a $\alpha_F = 26\Omega$, en el punto inferior y superior del cabezal móvil respectivamente. Este sensor se encuentra ubicado al lado izquierdo del cabezal móvil y sujeto a este mediante pernos.

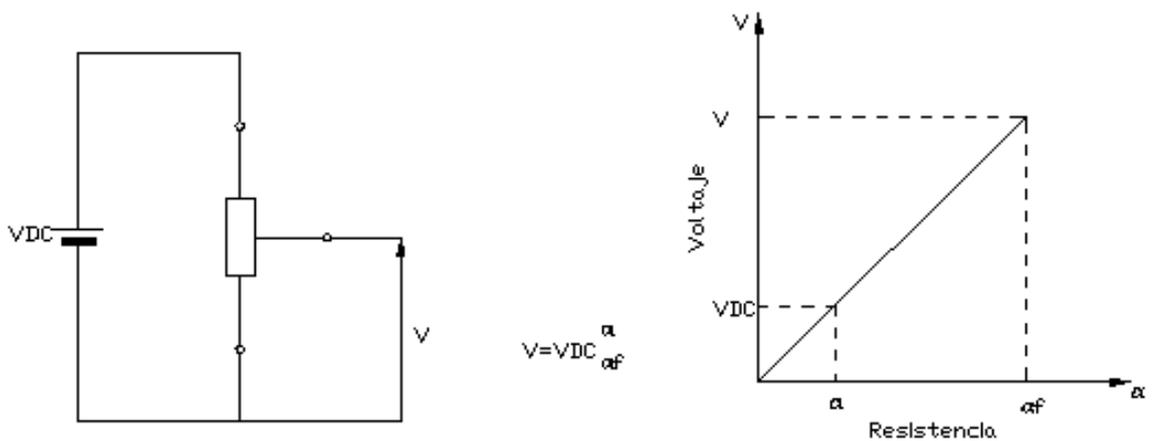


Figura 2.14. Circuito de un transductor de posición.

En la figura se puede observar la disposición del sensor de desplazamiento en la máquina MTS TK/T5002.

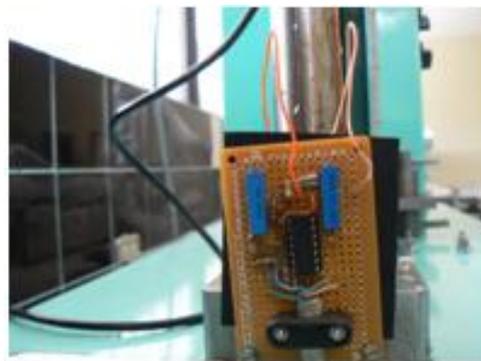


Figura 2.15. Sensor de desplazamiento.

- La celda de carga tipo “C” (figura 2.16), emite una señal analógica de voltaje, que se encuentra en el orden de los milivoltios.

La alimentación es proporcionada por la fuente de corriente del PLC que a través de un transformador, permite obtener el voltaje de 5 VDC y 280mA.

Su principio de funcionamiento consiste en la deformación de la celda al aplicar una fuerza, ya sea esta de tracción o compresión; esta deformación es elástica e imperceptible a la vista, lo que evita errores en los ensayos; el estiramiento o compresión que se produce, se transmite a las galgas extensiométricos, siendo la resistencia proporcional a la longitud que se estiran, las 4 galgas extensiométricas existentes en la celda de carga alteran su geometría y provocan una variación de la resistencia interna, lo cual permite una señal de salida analógica.

Está situada en el cabezal móvil, y su sujeción se produce a través de una unión roscada 1” 20 UNF.



Figura 2.16. Celda de carga tipo “C”.

Las características de la celda de carga tipo “C” se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2.1. Características de la celda de carga tipo “C”

Parámetro	Valor
Celda de carga	Tipo C
Código	CDC – C5000
Capacidad máxima	500 kgf

Fuente: Placa de la celda de carga tipo C.

El montaje más común utilizado para medir deformaciones mediante galgas es el puente de Wheatstone. La celda de carga tipo “C” maneja un montaje básico de 4 galgas. La medida se suele realizar por deflexión, es decir midiendo la diferencia de tensión existente entre los terminales de salida del sensor.

En la figura se puede observar la conexión de las galgas extensiométricos de acuerdo a la configuración de un puente de Wheatstone.

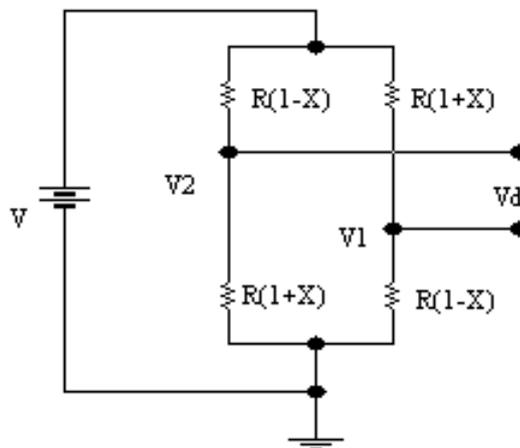


Figura 2.17. Puente de Wheatstone de celda de carga tipo “C”.

- La máquina posee tres fines de carrera, de los cuales existen dos ubicados a un lado de la barra guía y empernados en la estructura de la máquina que se activan mediante el contacto con el cabezal móvil; y un fin de carrera de doble pulsante que se encuentra en la parte inferior de la barra guía y que es activado cuando el cabezal móvil llega hasta la posición en que se encuentran los collares siempre y cuando estos estén ajustados a la barra guía. Los collares son móviles y se pueden

desplazar a lo largo de la barra guía permitiendo así generar nuevos límites al cabezal móvil.

El principio de funcionamiento es el de un switch, cuya activación genera una señal de encendido o apagado en este caso digital; la alimentación de corriente la proporciona la fuente del PLC, con un amperaje de 6 mA. Los dos fines de carrera son del tipo normalmente cerrados; (figura 2.18, gráfica 2). Y el fin de carrera de doble pulsante es del tipo normalmente abierto, (figura 2.18, gráfica 1)

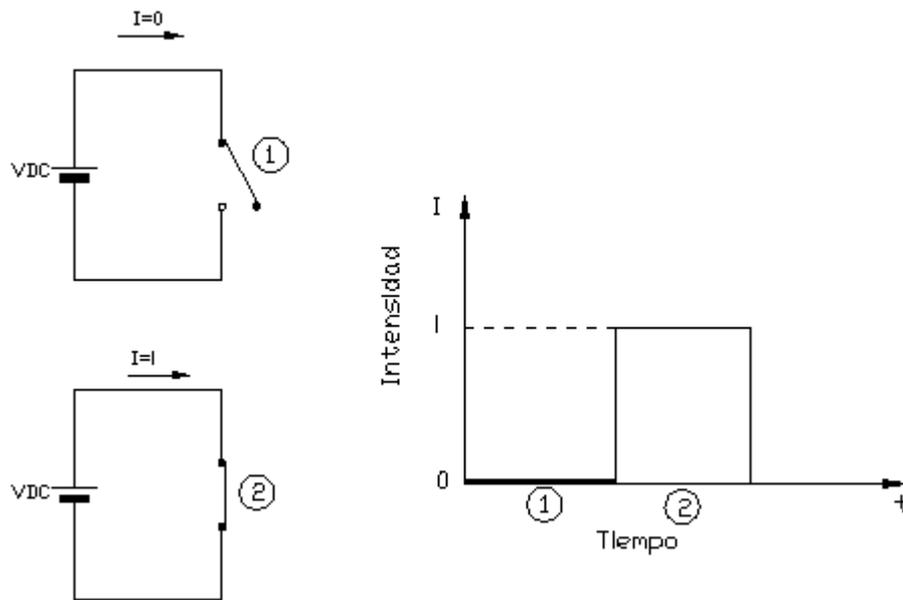


Figura 2.18. Circuito de un fin de carrera (Switch).

Módulo de expansión y tarjeta de amplificación de señales.

Una vez analizadas las características de los sensores, cabe indicar que el PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé, permite solamente la entrada de señales digitales, por lo cual se adaptó un módulo de expansión de entradas analógicas conectado en un slot del PLC mediante un bus de datos, cuya función es convertir las señales analógicas del sensor de desplazamiento, y celda de carga tipo "C" en señales digitales.

El módulo de entradas analógicas EM 231 permite un ingreso de voltaje de 0 – 10 VDC, pero los sensores; tanto el transductor de posición como la celda de carga, emiten señales muy inferiores a estas, por lo cual es necesario de un equipo adicional, que amplifique las señales análogas de los sensores, en el

rango de 0 – 10 VDC, apto para el módulo de expansión de entradas analógicas; este equipo es una tarjeta de acondicionamiento de señales y va conectado antes del módulo de expansión.

El módulo de expansión que posee la máquina MTS TK/T5002 presenta las siguientes características:

**Tabla 2.2. Características de módulo de expansión de entradas analógicas
MODULO EM 231 (fragmento)**

Márgenes/ resistencia de entrada	0 a 5V/10 MΩ. 0 a 10V/10 MΩ. 0 a 20mA/10 MΩ.
Tiempo de conversión Analógica/Digital	25 μs.
Resolución	12 bits+signo
Tensión de modo común, max.	12V.
Señales unipolares	0 a 32767
De la alimentación de corriente de sensores o fuente de alimentación Externa (24 VDC)	60mA.

Fuente: Parte posterior del módulo de expansión.

Cables para transmisión de señales.

- El sensor de desplazamiento se comunica con la tarjeta de amplificación mediante un cable multipar de 8, luego utiliza un cable monopolar 18 AWG $\Phi = 1$ mm. (American Wire Gauge) para la comunicación entre la tarjeta y el módulo.
- Los fines de carrera se comunican directamente con la tarjeta de acondicionamiento con cables multipar; y luego con el PLC mediante cable 18 AWG.
- La celda tipo “S” utiliza un cable multipar de 6, que finaliza en un conector 15 pines que permite la conexión entre la celda de carga y el display AFTI.

- El módulo EM 231 de expansión se conecta directamente al PLC a través de un bus de datos, que se conecta en la parte delantera derecha del PLC. Actualmente este módulo ocupando dos de las cuatro entradas analógicas disponibles, debido al tipo de señal que emite el sensor de desplazamiento y a la señal del potenciómetro para el modo cíclico
- El PLC ocupa todas sus entradas y salidas debido a la existencia de pulsadores y selectores de posición, luces, variador de velocidad, visualizadores análogos; estos son conectados al PLC mediante cables 18 AWG.
- La conexión entre el potenciómetro para variación de velocidad y el display SIEMENS Micro Master 420, se realiza con cables 18 AWG.
- La comunicación de datos enviadas desde el PLC al computador lo hace a través de un cable especial PC/PPI el cual se conecta un conector hembra de 9 pines, y al PLC se conecta mediante un conector macho de 9 pines con la particularidad de que solo 7 de ellos son conectados.

Cable PC/PPI.

Este cable transforma el lenguaje que maneja el PLC para poder ser interpretada por el computador a través de un software; maneja un interfaz de punto a punto y permite una comunicación con el puerto serial a la velocidad que se requiera.

El cable tiene dos funciones: la de seleccionar una velocidad apta para el ingreso al computador; y convertir la comunicación.

El cable PC/PPI maneja cinco velocidades, las cuales son de 38.4, 19.2, 9.6, 2.4, y 1.2 kbaudios; regulables manualmente a través de cuatro selectores.



Figura 2.19. Cable SIEMENS PC/PPI.

Controlador lógico programable:

Como parte final en la etapa de adquisición de datos, las señales deben ingresar al PLC SIEMENS S7 CPU224 Relé, el mismo que tiene incorporado, la fuente de alimentación, el CPU, la memoria, la entrada y salida de sensores y actuadores respectivamente, y debido a que es compacto, facilita los medios de comunicación, entre sus componentes.

El PLC SIEMENS S7 CPU224 Relé, cuenta con las siguientes características:

- La CPU 224 es compacta y de alto rendimiento. Fuente de alimentación integrada de 24 VDC, voltaje de corriente directa para sensores y carga, conexión directa de sensores y emisores de señal, intensidad de salida de 280 mA. y también sirve como fuente de alimentación para carga.
- Alimentación de la CPU224 de 100 a 230 VAC, con entradas de 24 VDC y salidas tipo relé.
- Cuenta con 24 entradas/salidas. Con 14 entradas y 10 salidas digitales.
- Es ampliable hasta con un máximo de 7 módulos. Bus de expansión con tarjeta de entradas analógicas. (Solo se puede utilizar módulos EM de la serie S7-22x).
- La CPU tiene un interfaz de comunicación PPI con protocolo PPI para funciones de programación (HMI).
- La CPU posee un módulo de pila para respaldar datos por tiempos prolongados, para incrementar la autonomía de la memoria a un valor típico de 200 días. Sin pila los datos de usuario se almacenan mediante un condensador interno de alto rendimiento durante aproximadamente 5 días. El módulo de pila se enchufa en el slot del cartucho.
- Cartucho de memoria EEPROM, permite cambiar rápidamente y almacenar adicionalmente el programa.
- La CPU224 permite manejar un lenguaje de programación KOP, FUP, y AWL.

2.4.2. ETAPA DE CONTROL Y MONITOREO.

Una vez concluida la obtención de todos los datos de la máquina en el PLC, se procede al control y monitoreo, que lo hace a través de este dispositivo.

El funcionamiento del PLC consiste en monitorear las señales, y a partir de sus valores, accionar o desactivar actuadores, los cuales pueden ser: luces, motor, variador de velocidad para el motor, y conexiones de relé, de tal forma que se cumpla el proceso de automatización que tiene la máquina.

Para controlar los actuadores del PLC, se utilizó el lenguaje recomendado por el fabricante, el cual es el STEP 7 MicroWin 32 V3.1, el cual era la versión más actual hasta el momento.

Este programa utiliza tres lenguajes de programación; los cuales son: el AWL (lista de instrucciones), KOP (Método de escalera), y el FUP (Diagrama de Bloque).

Para el desarrollo de este proyecto de grado se consiguió el mismo programa, pero con una versión más actualizada, STEP 7 MicroWin 32 V 4.0, cuya ventaja respecto al anterior programa, es el de una mejor comunicación para una red de control mediante PLC's, utilizando el protocolo Ethernet.

En cuanto a los actuadores, se describe a continuación su funcionamiento:

Luces:

- La luz del switch principal se activa si el PLC recibe la señal de "ON" del selector principal, la luz se encenderá, en cambio, si el PLC no recibe ninguna señal; es decir, el selector no ha sufrido cambios, esta luz permanecerá apagada.
- La Luz de Marcha se encenderá, si es que el PLC recibe la señal desde tres puntos. Primero; si recibe una señal del selector principal en la ubicación "ON"; segundo, si el selector secundario se encuentra en la posición "Normal" o "Cíclico", y tercero, si se ha activado el pulsante

“Marcha”. Una vez cumplidas estas condiciones., la luz de marcha se enciende, de forma intermitente debido a la utilización de un temporizador en la programación del PLC, mientras el movimiento del cabezal móvil continúe; si una de estas señales no llega al PLC, la luz no se encenderá; La luz se apagará automáticamente, si se presiona el botón de “Paro”, o si el cabezal móvil, ha activado alguno de los fines de carrera, o doble pulsante mediante collares en la barra guía.

- Las luces de set low y set high se encienden, cuando se ha encendido los límites tanto inferior como superior del cabezal móvil, esto sucede cuando se requiere de un ensayo en modo cíclico, y para encender los niveles, el selector secundario debe estar en la posición “OFF”.

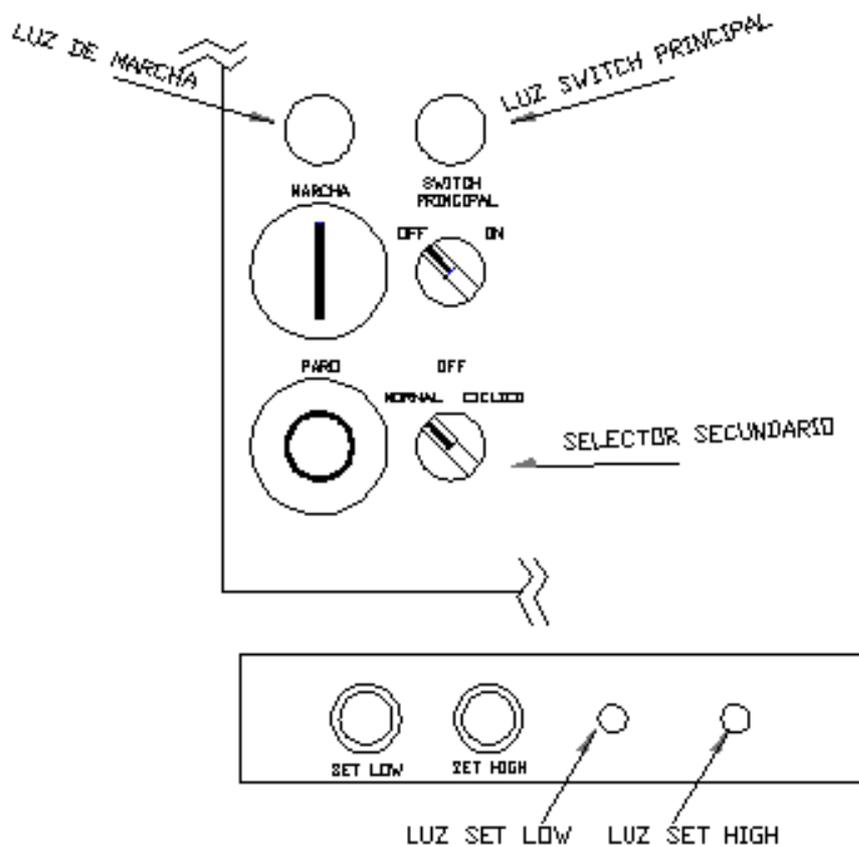


Figura 2.20. Esquema de las luces de control.

Variador de velocidad:

La máquina MTS TK/T5002 posee un variador de velocidad cuya función es brindar distintas velocidades al cabezal, lo hace por medio de un potenciómetro, y permite observar la velocidad a través de un panel de programación, la cual varía en el rango de 0 – 6.0 mm./s. Se puede visualizar también la frecuencia de trabajo, además de permitir el ingreso de los parámetros del motor y tipo de trabajo que se realizará con el mismo.

El control del variador de velocidad es activado a través del PLC SIEMENS S7 CPU224 Relé, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones en los pulsantes o selectores.; es decir, si el switch principal de la máquina se encuentra en la posición “ON”, si el selector secundario esta en la posición “Normal” o “Cíclico”, y si se ha activado el botón “Marcha”.



Figura 2.21. Variador de velocidad de la máquina MTS TK/T5002.

El variador de velocidad empleado en la máquina MTS TK/T5002 es el SIEMENS Micro Master 420 que posee las siguientes características:

Tabla 2.3. Variador de velocidad SIEMENS Micro Master 420

Parámetros	Valores
Tensión de alimentación principal.	200-240 VAC \pm 10%
Frecuencia de alimentación principal.	47-63 Hz.
Potencia motor.	0.75 kW.
Intensidad motor.	3.90 A.
Máxima salida kVA.	1.7 kVA.
Factor sobrecarga.	150%, 60s
Intensidad de entrada máxima.	9.90 A, 1 ac. / 4.30 A, 3ac
Entrada mínima/ tamaño de cables de salida.	1.00 mm ²
Entrada máxima/ tamaño de cables de salida.	2.50 mm ²
Anchura (mm.).	73.00 mm.
Altura (mm.).	173.00 mm.
Profundidad (mm.).	149.00 mm.
Peso-sin embalaje (kg.).	0.90 kg.

Fuente: Placa del variador SIEMENS Micro Master 420 ubicada en el lado derecho.

Motor trifásico 1LA7 SIEMENS:

La máquina consta de un motor trifásico de doble sentido de giro, que permite el movimiento del cabezal móvil, a través de un sistema de poleas, bandas y tornillo sin fin corona.

El motor eléctrico trifásico que posee la máquina, es el 1LA7 SIEMENS cuyas características son:

Tabla 2.4. Especificaciones del Motor 1LA7 SIEMENS

Parámetros	Valores
Tipo de motor.	3 Motor/LA7 070-2VA 60
Forma de construcción.	IM-B3
Potencia del motor.	0.75 HP (0.56 kW.)

Tabla 2.4. Datos del Motor 1LA7 SIEMENS (Continuación)

Parámetros	Valores
Frecuencia.	60 Hz.
Voltaje de trabajo.	220 YY a 440 YV
Corriente.	2.4 – 1.2 A
Velocidad nominal.	3430 RPM
Factor de servicio.	1.15 Servicio S1
Factor de potencia.	0.79
Clase de aislamiento.	F
Protección	IP55
Peso	6.0 kg
Norma de construcción.	IEC 34

Fuente: Placa del motor 1LA7 SIEMENS

El motor se encuentra localizado en la base de la máquina, y esta acoplada a esta mediante unos pernos, que permite una unión rígida, y evita problemas de vibraciones.

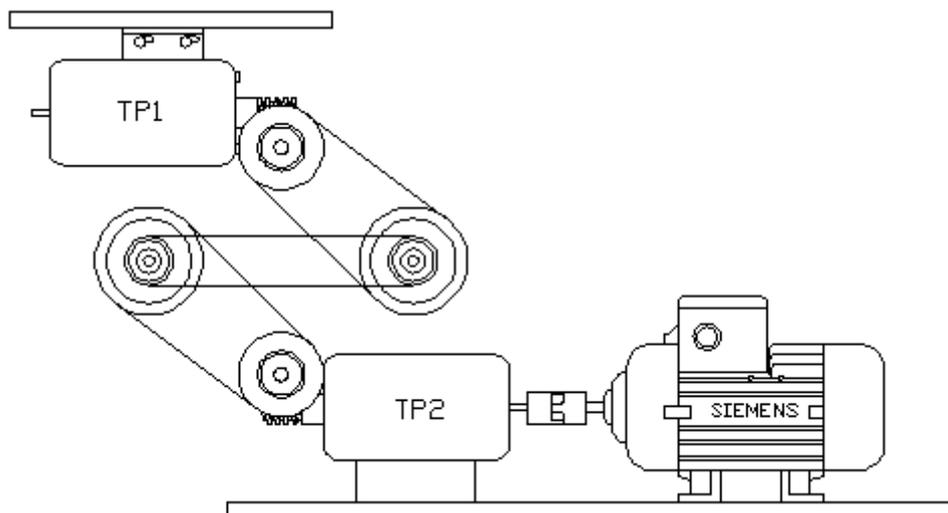


Figura 2.22 Esquema de la disposición del sistema mecánico actual.

En un motor, el factor de potencia ($\cos \phi$), se refiere a la relación existente entre la potencia activa, y la potencia aparente; siendo potencia activa el trabajo útil que desarrolla una resistencia R o una carga resistiva en un circuito de corriente alterna; la potencia aparente es en cambio el resultado de la suma

geométrica entre la potencia activa y una potencia reactiva, la cual es proporcionada por la red de corriente alterna y se requiere para el funcionamiento del motor.

En la figura siguiente se puede el triángulo que forman las potencias mencionadas.



Figura 2.23. Triángulo de potencias.

Para el motor 1LA7 SIEMENS, las especificaciones indican que su valor de factor de potencia es de 0.79; lo cual significa que la relación entre la potencia activa (P (kW)), y la potencia aparente (S (kVA)) es aceptable debido a que maneja una eficiencia de 79%, con lo cual existe poca pérdida en conductores, caídas de tensión, no es necesario aumentar la intensidad de la corriente, se maneja una buena temperatura de conductores que no afecta su aislamiento.

El motor maneja voltajes de trabajo de 220 YY y 440 YV; estos valores representan las formas de conexión del motor de arranque y el motor en sí; para este caso se tiene una conexión estrella-estrella (YY); y otra conexión estrella-triángulo (YV).

Una conexión *estrella-estrella* permite corrientes iguales tanto en la línea como en los devanados debido a la facilidad de conexión a tierra, ya que esta controla el desfase de las señales de voltaje que circulan en la línea.

Una conexión *estrella-triángulo* se emplea para disminuir los voltajes, los devanados conectados en estrella se conectan al circuito de más alto voltaje, fundamentalmente por razones de aislamiento.

Una conexión en estrella (figura 2.24) permite aprovechar las tres líneas de voltaje y un neutro, en el cual el desfase y las sobrecargas que se produzcan en el circuito, podrán ser absorbidos por la conexión a tierra (neutro).

La conexión de estrella provoca que la corriente de línea se mantenga igual a la corriente de fase, no así el voltaje de línea, el cual se multiplica en $\sqrt{3}$ al voltaje de fase.

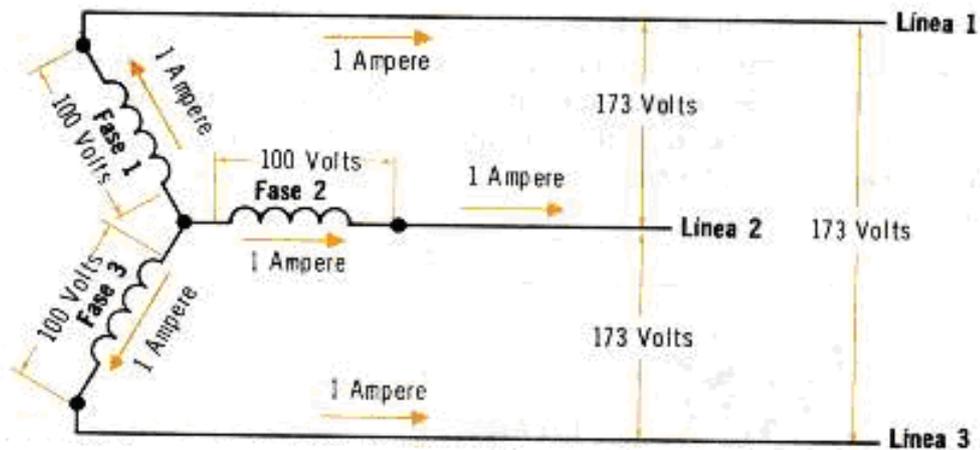


Figura 2.24. Disposición de la conexión en estrella.

Una conexión en triángulo (figura 2.25), dispone sus conectores en esta forma geométrica, esto logra mantener el voltaje de cada línea igual al voltaje de fase, en tanto que la corriente de línea se multiplica en $\sqrt{3}$ respecto a la corriente de fase.

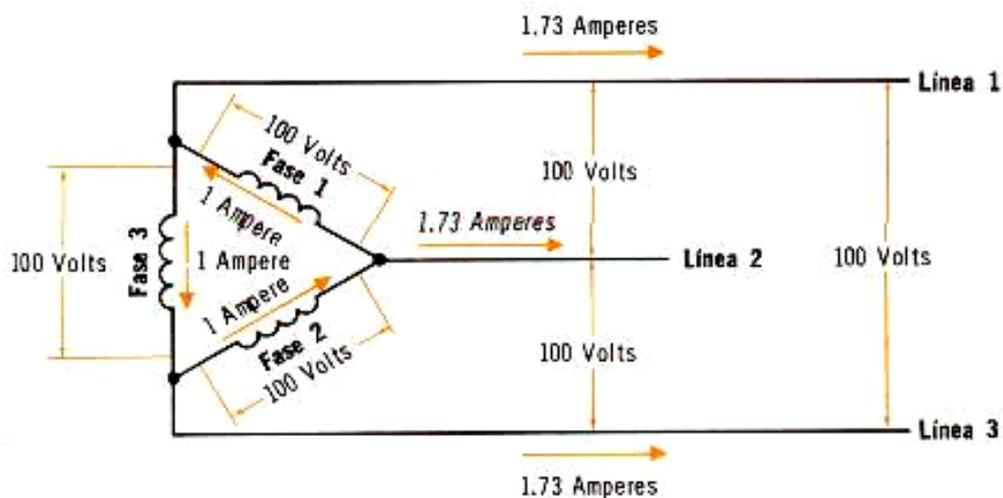


Figura 2.25. Disposición de la conexión en triángulo.

Conexiones de relé:

El CPU 224 maneja salidas de relé, con lo cual permite energizar para dar la lectura de carga o extensión dependiendo en la posición en la que se encuentre este selector, y éste funcionará tanto para el modo cíclico como para el modo normal, en cambio si el selector no esta en ninguno de los dos modos, permitirá accionar y ver la lectura de un potenciómetro de 0 a 10 VDC en el cual se podrá establecer los límites ya sea de carga o de extensión.

Adicionalmente para el funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico de la máquina se requiere de accesorios indispensables como: un braker 3 polos, fusibles de 4ª los cuales resguardan la elevación de voltajes que perjudicarían a la máquina, alambres para la toma de corriente trifásica y un neutro, pulsantes adicionales, un potenciómetro el cual por medio de su resistencia variable permite cambiar la velocidad del motor, luces indicadoras de 220 VAC.



Figura 2.26. Brakers y fusibles.

Lo que se desea realizar con el presente proyecto, además de incrementar los ensayos de flexión y dureza en la máquina MTS TK/T5002, es adaptar una nueva celda de carga tipo “S” que cumpla con las funciones de la anterior celda de carga tipo “C” y además permita obtener señales para los nuevos ensayos de la máquina, con lo cual se procederá a una nueva programación del PLC

que relacione las señales de cada sensor para posteriormente mediante la utilización de un software, permita obtener las gráficas y los datos de las señales de fuerza y desplazamiento en un computador.

El laboratorio de resistencia de materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, posee una celda de carga tipo “S” con las siguientes características:

Tabla 2.5. Características de la celda de carga tipo “S”

Parámetro	Valor
Celda de carga	tipo S
Fabricante	Quantrol by DILLON
Capacidad	5000 N / 110 lb
Parte N°	55447-0062
Serial N°	DMLC1150046

Fuente: Placa de la celda de carga tipo S.

La celda de carga tipo “S” Quantrol by Dillon, permite obtener una señal analógica de voltaje. La alimentación es proporcionada por la fuente del display AFTI.

Su principio de funcionamiento al igual que la celda de carga tipo “C”, consiste en la deformación de la celda al aplicar una fuerza, para dar mayor sensibilidad la celda tipo “S” tiene en el centro un polímetro especial en el cual se encuentran las galgas; el estiramiento que se produce, se transmite a las galgas extensiométricas que alteran su geometría y provocan una variación de la resistencia interna, con lo cual permite una señal de salida analógica.



Figura 2.27. Celda de carga tipo “S”.

La celda de carga tipo “S” presenta las siguientes dimensiones:

- Longitud 2”
- Altura 2.50”
- Ancho 0.75”

Para adaptar al cabezal móvil la celda de carga tipo “S” utiliza una unión roscada de 1” 20 UNF. La conexión y envío de señales entre el display y la celda de carga se la realiza mediante un cable multipar de 6 y un conector de 15 pines, el cual puede ser conectado a dos displays, AFTI o el AFG del mismo fabricante de la celda de carga.



Figura 2.28. Display AFTI para la celda de carga tipo “S”.

La máquina MTS TK/T5002, utiliza el display AFTI las especificaciones que da su fabricante son las siguientes:

Tabla 2.6. Características del display Quantrol AFTI.

Parámetro	Valor
Alimentación.	- 5 Baterías alcalinas AAA 1.5 V - Cargador AC (110V)
Factor de sobrecarga.	150%
Escalas de medida.	mN, KN, N, g-f, kg-f, oz-f, lb-f
Comunicación con PC.	Cable RS 232
Velocidad de transmisión de datos.	9600 boud rate
Conexiones de entrada y salida.	Conector de 15 pines
Conexiones PLC.	Cable externo de estado de relé sólido
Voltaje.	0 – 4 V Tensión -4 – 0 V Compresión
Exactitud.	±0.1% de la escala completa

Fuente: Manual de usuario del display AFTI.

El display AFTI permite una conexión con la computadora a través de un cable que posee dos conectores, un conector de 15 pines para la conexión con la parte superior del display, y un conector de 9 pines el cual va conectado a un puerto serial en la computadora.

La computadora puede recibir estos datos a través de un software denominado Data Plot V1.05a Quantrol, el cual se encarga de recibir las señales y permite visualizar la curva fuerza vs. tiempo y la tabla de datos.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO TÉCNICO DEL EQUIPO

3.1 VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

La máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 actualmente consta de un panel de control con pulsantes, luces, medidores, selectores y un orificio que permite visualizar el panel de programación del variador de velocidad, el cual permite controlar la velocidad de trabajo del motor y en consecuencia el movimiento del cabezal móvil.

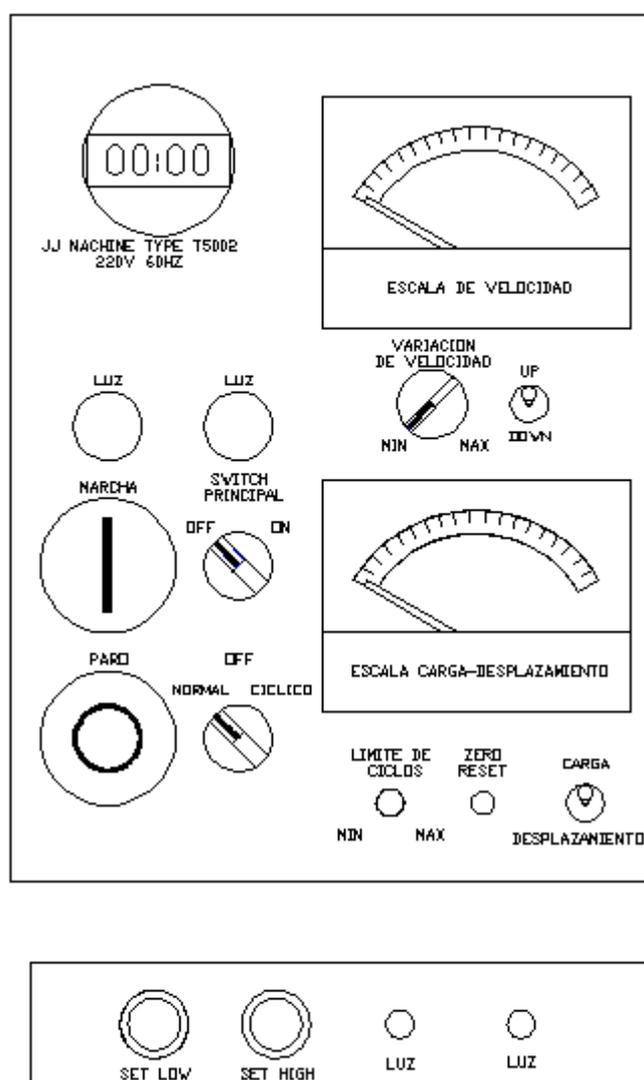


Figura 3.1. Esquema del panel de control de la máquina MTS TK/T5002.

En cuanto al funcionamiento de los controles para monitoreo e inspección durante un ensayo en la máquina, se comprobó el correcto trabajo. Se realizó simulaciones para los distintos ensayos que tiene la máquina, verificando uno por uno la activación y maniobrabilidad de los botones, luces, indicadores y selectores.

Para verificar la funcionalidad del sistema de control de la máquina, se comprobó inicialmente el funcionamiento de los sensores:

Sensor de desplazamiento.

Se realizó la medición del voltaje a la entrada y salida del transductor de posición, con lo que se pudo verificar los rangos de voltaje de operación de este sensor, siendo estos entre 0 y 5 VDC tanto a la entrada como a la salida. El circuito y los cables que posee el transductor se encuentra en condiciones aptas para su trabajo. En el cabezal móvil se tiene una placa para el cierre de circuito del transductor, la cual se encuentra en buen estado y no presenta ningún tipo de deterioro o daños.

Celda de carga.

Actualmente la celda de carga tipo “C” no se encuentra conectada a la máquina MTS TK/T5002 por lo que no se puede obtener datos sobre la fuerza aplicada en cualquier ensayo; por lo que tanto tampoco es factible que la computadora reciba estos datos y los manipule mediante un software (InTouch) para obtener las graficas correspondientes. Sin embargo esta celda se encuentra en condiciones operables y puede ser utilizada si así se lo requiere tomando en cuenta lo señalado anteriormente.

La máquina utiliza una celda de carga tipo “S” para realizar las diferentes mediciones de fuerza y a través de un display AFTI permite obtener una gráfica fuerza vs. tiempo para un ensayo de tracción o compresión. La celda no interactúa con los demás dispositivos que controla el PLC, es decir realiza funciones independientes al resto del sistema.

La celda de carga tipo "S" se encuentra dentro de los rangos de calibración proporcionados por el fabricante (Quantrol) por lo cual de acuerdo a la carga máxima de la máquina de 500 kgf., presenta una desviación de ± 1.25 kgf. y un error de -0.13636 kgf.

Fines de carrera.

Los fines de carrera simples y de doble pulsante existentes en la máquina están en condiciones operables; no presentan deformación en su resorte y se pudo comprobar el manejo de la corriente mediante un multímetro siendo esta de 6 mA., los valores de la señal que entregan estos sensores son amplificados hasta 5 VDC para poder conectarlos posteriormente al PLC. Cada uno de los fines de carrera cumplen satisfactoriamente las funciones para las que son destinados. Los fines de carrera simples son normalmente cerrados, y el fin de carrera de doble pulsante es normalmente abierto.

Tarjeta de acondicionamiento.

Su función consiste en amplificar las señales recibidas desde cada sensor, para que estos puedan ser conectados a otros dispositivos que requieren valores superiores de voltaje e intensidad. La funcionalidad de este dispositivo se la puede verificar notando que los LED's de entrada del PLC se encuentran encendidos, en los puntos donde se conectan las señales amplificadas desde los sensores, lo que implica que la señal es recibida.

Módulo de expansión de entradas analógicas EM 231.

Actualmente en este dispositivo se encuentra conectado únicamente el sensor de desplazamiento y el potenciómetro para establecer los límites de posición para el modo cíclico, ya que la celda de carga tipo "C" no está funcionando en la máquina. Por lo tanto el módulo posee dos pares de entradas analógicas disponibles para usos posteriores.

El funcionamiento del módulo se lo pudo verificar en las señales de voltaje emitidas desde el sensor de desplazamiento y al pulsar los límites de posición para el modo cíclico (Set Low y Set High); los LED's de cada una de las entradas se encendieron lo que indica que existe la señal.

PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé.

Se pudo verificar el funcionamiento del PLC al desarrollar varias actividades; por ejemplo para encender la máquina, se presionó el switch principal y se verificó que la luz indicadora en el PLC (LED) se encendió.

Posteriormente al presionar el fin de carrera superior, el PLC recibió la señal y el LED de entrada se encendió, y como resultado de esta señal, el motor se apagó inmediatamente. Se pudo comprobar también el funcionamiento del PLC al encenderse las luces en el panel de control de la máquina.

Variador de velocidad.

Se pudo verificar el rango de velocidad de 0 – 6.0 mm/s. con las distintas posiciones del potenciómetro. El display muestra la velocidad controlada por el potenciómetro a pesar de que el motor este en marcha o no.

Los dispositivos electrónicos como son: el módulo de expansión, el PLC, el variador de velocidad de la marca SIEMENS, se encuentran en perfectas condiciones, debido a que no se los ha manipulado por encontrarse en el interior de la máquina, y estos elementos no requieren por el momento de un mantenimiento frecuente, ya que las condiciones de operación son favorables, en cuanto a temperatura, humedad, corrosión, vibración, etc.

Para el monitoreo de las señales de la máquina MTS TK/T5002, se cuenta con un computador portátil que permite la conexión con el PLC mediante un cable PC/PPI para la transformación de interfases existentes.

El computador manipula los datos mediante el software InTouch; pero debido al mantenimiento de las computadoras en el laboratorio de Resistencia de Materiales, las máquinas han sido formateadas, y el software para el control de los ensayos no ha vuelto a ser instalado, por lo que al momento no es posible obtener los datos para un análisis o gráficas para los ensayos que posee la máquina.

Cables de transmisión de señales.

Los cables se encuentran en perfectas condiciones, ya que la máquina no maneja altos voltajes e intensidades, lo que evita el deterioro del recubrimiento de estos. Además las conexiones se encuentran ordenadas y se usa rieles y abrazaderas para evitar contacto con otras conexiones.

3.2 VERIFICACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA MECÁNICO.

La máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, esta formada mecánicamente por una parte estructural, un cabezal fijo, un cabezal móvil, dos tornillos sin fin, una barra guía con fines de carrera, poleas, bandas, acoples, una flecha y dos motores.

La parte estructural, consta de la base donde se alojan los dos motores, la flecha de transmisión, transformador, relé, y una estructura que soporta los tornillos sin fin en una posición seleccionada y da lugar a los elementos eléctricos y de control.

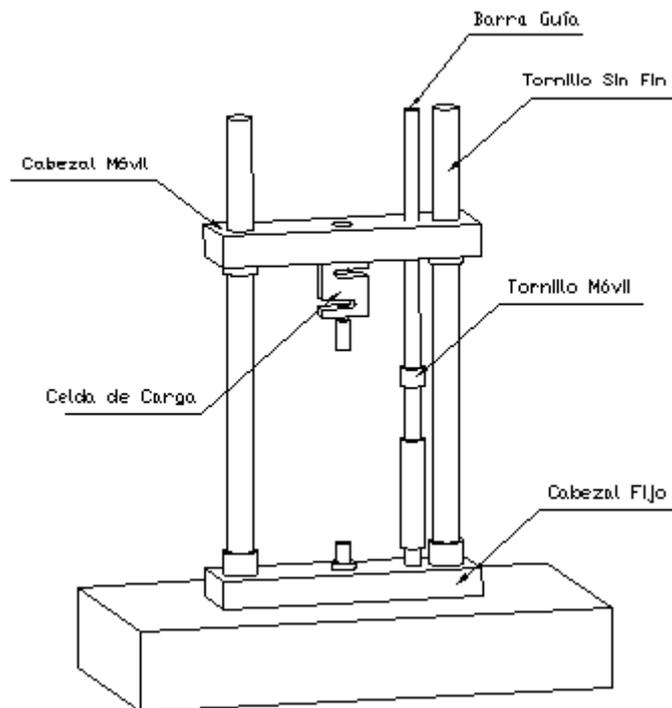


Figura 3.2. Esquema de los componentes mecánicos de la máquina.

La barra guía brinda rigidez al sistema, y en ella se ubica un fin de carrera de dos pulsantes que se encuentra en el extremo inferior. El rango de desplazamiento de cabezal móvil es controlado por dos tornillos móviles y regulables con el fin de controlar la distancia máxima de carrera del cabezal móvil, y a su vez evite posibles golpes o rupturas en sus partes o en la probeta.

La máquina consta de un motor trifásico de doble giro, el cual fue acoplado al motor TP2 mediante un matrimonio (figura 3.5). El motor eléctrico trifásico que posee la máquina, es el 1LA7 SIEMENS, cuya posición de trabajo según sus especificaciones es la IM-B3 (Ver anexo B), y las especificaciones del motor se las puede encontrar en la Tabla 2.4. Especificaciones del motor 1LA7 SIEMENS.

Actualmente al motor TP2 se le han retirado los elementos internos como son: el estator, rotor, carbones y rodamientos, conservando la carcasa, la cual es atravesada por una flecha que permite transmitir el movimiento y torque desde el motor 1LA7 Siemens, para luego mediante un reductor tornillo sin fin-corona que esta localizado al final de la flecha, permita la utilización de un sistema de transmisión formado por 4 poleas y 3 bandas dentadas (figura 3.4).

A la salida del motor TP1 mediante un reductor de tornillo sin fin-corona, se engrana y se provoca el movimiento del cabezal móvil con una relación de transmisión de 10:1, el cual esta acoplado a este tornillo sin fin y se mueve de acuerdo a la velocidad de rotación de 400 RPM.

Características del tornillo sin fin:

LR = 28.3 mm.

FR = 10 mm.

P = 5.4 mm.

$n_s = 3$

de = 18.9 mm.

dp = 15.208 mm.

d = 13.9 mm.

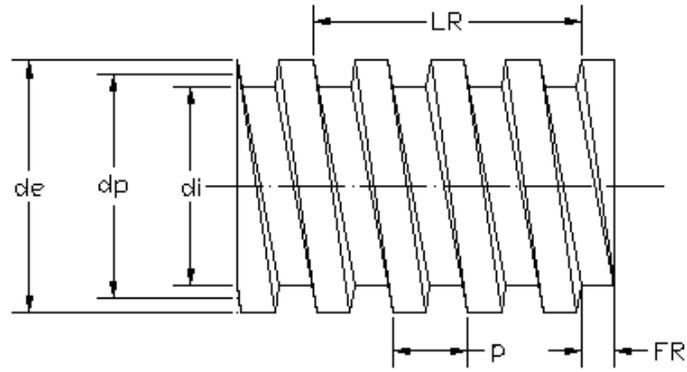


Figura 3.3. Esquema del tornillo sin fin.

Radios de las poleas:

Polea 1: 30 mm.

Polea 2: 30 mm.

Polea 3: 60 mm.

Datos de las bandas:

Banda A: Código 200XL037

Banda B: Código 260XL037

Distancias entre poleas:

L1: 25.5 cm.

L2: 13.96 cm.

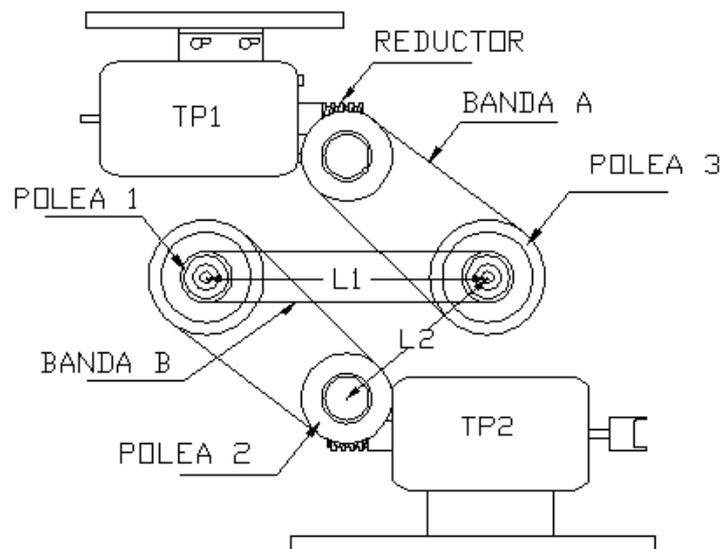


Figura 3.4 Disposición del sistema reductor con bandas y poleas.

El acople que tiene la máquina como unión entre el motor 1LA7 SIEMENS y la flecha de transmisión de velocidad y torque, es el de la serie L-070, el cual permite una correcta transmisión de potencia de acuerdo a su velocidad y permite soportar los arranques constantes. Los motores se encuentran anclados sobre la base de la máquina MTS TK/T5002 mediante la sujeción por pernos, con lo cual se permite una alineación adecuada y provoca una transmisión y funcionamiento correcto del sistema mecánico.

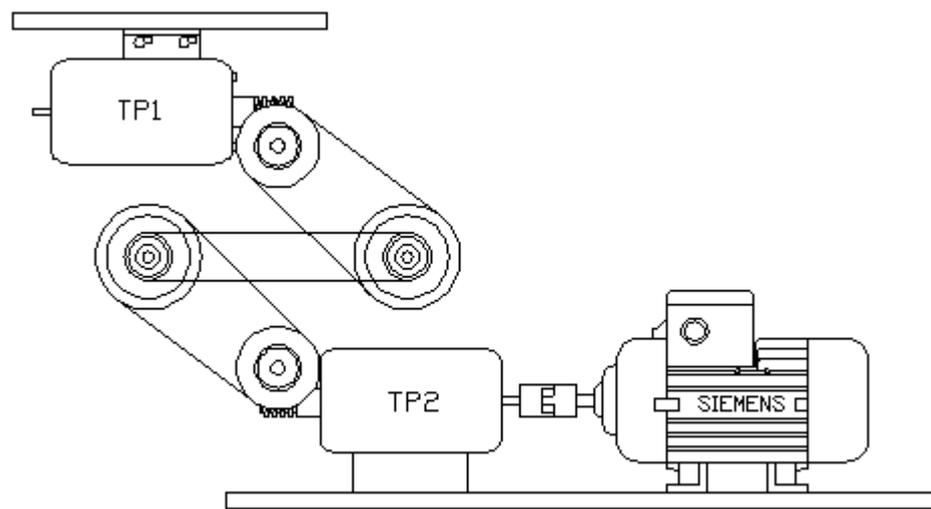


Figura 3.5 Esquema de la disposición del sistema mecánico actual.

Adicionalmente mediante la operación personalizada del equipo para verificar su funcionamiento, se pudo notar el correcto desempeño, pues se elaboraron simulaciones de ensayos de tracción y compresión donde se incluía a cada elemento del sistema mecánico, confirmando así que partes constitutivas como el cabezal fijo y móvil, tornillos sin fin, tornillos móviles, barra guía, cumplían a cabalidad las funciones específicas en cada caso, por ejemplo, para un ensayo de tracción, el motor giraba en el sentido correcto logrando que el cabezal móvil se desplace de manera vertical hacia arriba, con el giro del tornillo sin fin.

Tabla 3.1 Inspección de los elementos del sistema mecánico.

Parámetro de evaluación	Concepto	Buen Estado	Mal Estado	Observaciones
1. Acople	Alineación	X		No presenta excentricidad.
2. Flecha	Corrosión	X		
3. Parte estructural	Vibración	X		No se percibe señales de posible vibración.
	Oxidación	X		El mantenimiento y condiciones del laboratorio no afectan.
4. Cabezal fijo	Planitud	X		Mantiene los niveles.
	Oxidación	X		
	Desgaste	X		Presenta ligeras picaduras que no afectan el funcionamiento.
5. Cabezal móvil	Planitud	X		Mantiene los niveles.
	Oxidación	X		No presenta deterioros.
	Desgaste	X		Presenta ligeras picaduras.
	Holgura	X		No existen juegos.
6. Tornillo sin fin	Engrase	X		Mantenimiento adecuado.
	Desgaste	X		No presenta desgaste.
	Acople con corona	X		Correcta transmisión de movimiento y torque.
7. Corona	Engrase	X		Mantenimiento adecuado.
	Desgaste	X		No presenta desgaste.
	Acople con tornillo sin fin.	X		Correcta transmisión de movimiento y torque.

**Tabla 3.1 Inspección de los elementos del sistema mecánico
(Continuación).**

Parámetro de evaluación	Concepto	Buen Estado	Mal Estado	Observaciones
8. Barra guía	Desgaste	X		No se encuentra desgastado debido a su buen mantenimiento.
9. Poleas	Desgaste	X		No existe.
	Acople entre poleas	X		Mantiene las condiciones iniciales.
	Alineación	X		Están correctamente alineadas.
10. Bandas	Tensión	X		
	Desgaste	X		Su uso es moderado y controlado.
	Deslizamiento	X		No existe deslizamiento.

Fuente: Laboratorio de resistencia de materiales, máquina MTS TK/T5002.

3.3 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.

3.3.1 ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para que exista flexión en un material se requiere de la aplicación de una carga transversal al elemento que va a ser sometido al ensayo, tomando en cuenta factores como la localización de la carga mencionada, la luz de los apoyos para la sujeción de la probeta, las dimensiones de la probeta. Es necesario tomar en cuenta las condiciones geométricas de la máquina; las limitaciones que ésta tiene y las alternativas de diseño que se pueden obtener.

Según la Norma ASTM E290 97a, esta carga puede ser aplicada de formas diferentes; entre estas existen alternativas útiles para el diseño de los accesorios, se encuentran: pines para cargas extremadamente puntuales, mandriles, rodillos, accesorios con perfiles circulares o émbolos que no afecten las propiedades del material.

Los accesorios deben ser diseñados considerando las formas que presenta el cabezal fijo y cabezal móvil para que su unión permita un acople perfecto con los elementos existentes en la máquina, teniendo presente la rigidez, resistencia, sujeción o excentricidad necesaria para realizar un ensayo de flexión.

Debe evitarse el juego u holgura entre los elementos de acople y los accesorios de ensayo, lo cual provocaría que la fuerza aplicada origine cierto torque sobre la probeta, y al mismo tiempo se producirían datos erróneos de fuerza y se tendría un análisis incierto.

En cuanto a los materiales a utilizar para los accesorios de un ensayo de flexión, se recomienda usar materiales de fácil maquinado, y cuyas propiedades mecánicas sean las apropiadas, como las que posee el acero, es por ello que tanto los elementos de apoyo como de aplicación de carga, soportes y bases deben ser de este material; analizando posteriormente si se requieren tratamientos o acabados que favorezcan su uso.

La dureza que tengan estos accesorios debe ser también tomada en cuenta, pues la norma menciona valores entre 20 y 30 HRC; es decir de 225 a 290 en dureza Brinell, por lo que se deberá seleccionar un material de acuerdo a las exigencias, o aumentar la dureza del elemento mediante algún tratamiento térmico o superficial.

Muestra.

En cuanto a la geometría que debe cumplir la probeta de acuerdo a la norma ASTM E-290, se indica a continuación algunas de sus características:

- Si la menor longitud del área transversal de la probeta es igual o menor a 38 mm. Es posible utilizar las dimensiones para accesorios que se mostrarán más adelante tomando en cuenta si el largo de la probeta se ajusta también a los requerimientos.
- Si un material ha sido ensayado para analizar su ductilidad, puede utilizarse también de probeta para un ensayo de flexión, siempre y cuando las dimensiones se acoplen perfectamente.
- Cualquier probeta de acero con un ancho de 38 mm. puede ser ensayada en las dimensiones en que fue fabricada (cualquier espesor).
- El largo de la muestra debe ser suficiente para permitir la flexión del material durante la aplicación de la fuerza, es decir sin que su longitud horizontal sea igual o menor a la existente entre rodillos, o que se produzcan fuerzas externas que puedan afectar el desarrollo del análisis.
- El diámetro o espesor de la muestra debe ser por lo menos 13 mm.
- La relación entre ancho y espesor de una probeta rectangular debe ser de 2:1, y el largo suficiente para permitir la flexión. Si la relación es mayor, el ensayo debe realizarse con el material tal y como fue fabricado.

Fuerza.

Durante el ensayo de flexión, es necesario determinar la magnitud de la carga máxima, para una probeta de dimensiones y material especificado, y se debe controlar la deflexión que sufre la probeta durante el ensayo, así como también el control de la carga aplicada y sus valores.

Dentro de las consideraciones a tomarse en el diseño de accesorios para un ensayo de flexión, es importante conocer el punto de aplicación de la carga; es recomendable aplicar la carga en dos puntos cercanos entre si como se

muestra en la figura, para lograr el fenómeno de “flexión pura” tomando en cuenta que para este caso el posterior análisis es totalmente diferente que el que se realizaría cuando la fuerza es aplicada sobre un solo punto, pues aquí la fuerza se produce en dos puntos diferentes y separadas a una distancia determinada. La carga debe realizarse centrada entre los rodillos para obtener valores máximos del material ensayado.

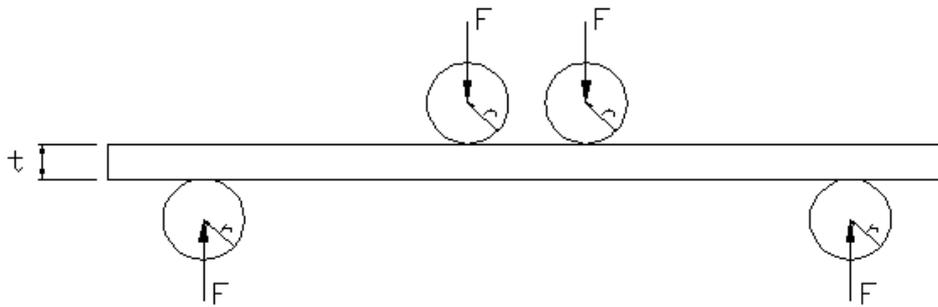


Figura 3.6. Esquema de accesorio para lograr flexión pura.

Apoyos.

Los accesorios para soportar la probeta en un ensayo, también han sido considerados en la norma ASTM E-290; y estos pueden ser diseñados de diversas geometrías; entre estas se tiene prismas triangulares (figura 3.7a) cuya arista superior serviría de apoyo para las probetas; rodillos (figura 3.7b) que servirían de apoyo durante toda la aplicación de la carga; o elementos con filetes circulares (figura 3.7c).

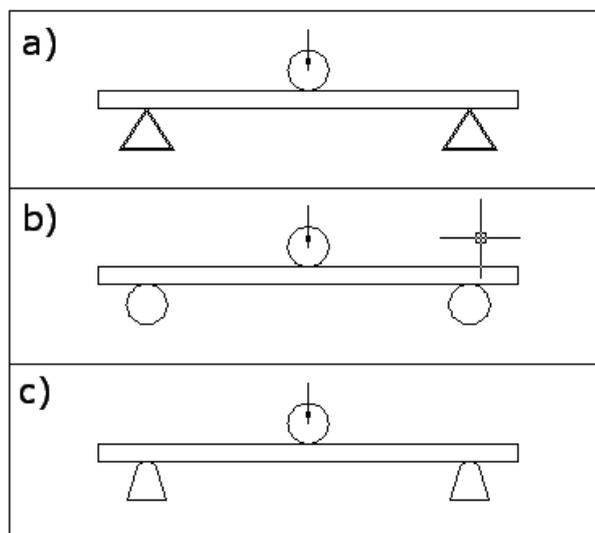


Figura 3.7 Esquema de soportes para ensayo de flexión.

El ensayo se lo debe realizar con apoyos simples en sus dos extremos, es decir, solamente asentados sobre rodillos, con el fin de permitir el deslizamiento de la probeta, obtener las gráficas y análisis característicos para cada material en el caso de vigas simplemente apoyadas, previniendo así para que estos tipos de apoyos no creen fuerzas debido al rozamiento, que perjudiquen el análisis. En una viga simplemente apoyada se producen cargas únicamente verticales, mientras que en otro tipo de apoyo como un pasador provoca cargas horizontales y por ende resultados diferentes.

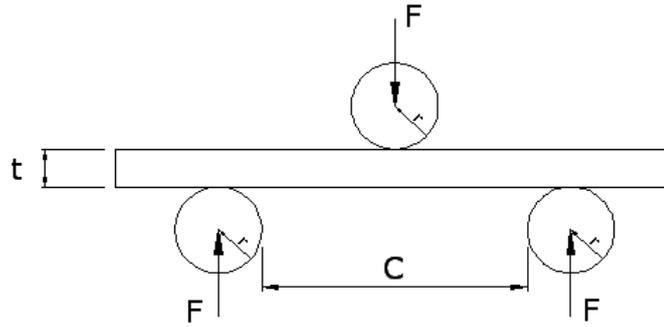
El accesorio que nos permita transmitir la carga no debe perjudicar al material, se debe buscar una libre deflexión, evitando la existencia de penetraciones o fenómenos que no intervengan en el ensayo de flexión y las recomendaciones de diseño de la norma también son aplicables para este caso.

La norma ASTM E-290 sugiere que los apoyos sean rodillos, y que a su vez se permite la libre rotación de estos sobre su eje; esto evitaría lo mencionado anteriormente sobre fuerzas adicionales y facilitaría la ejecución del ensayo; caso contrario se recomienda que exista una lubricación en los apoyos para obtener beneficios similares.

La luz o distancia entre apoyos debe considerarse la más adecuada para el funcionamiento de la máquina, tomando en cuenta factores como, el posicionamiento en el cabezal fijo, la distancia para que la probeta no se vea perjudicada durante el ensayo, el montaje y desmontaje debe ser fácil de operar, y permita una correcta fijación de la probeta.

ASTM indica valores a tomar en cuenta para el diseño de los accesorios. El radio del rodillo o émbolo para aplicación de la carga al igual que los elementos de apoyo deben tener dimensiones en relación con las dimensiones de las probetas que serán ensayadas, específicamente con su espesor o diámetro.

La distancia entre apoyos (C) debe ser por lo menos de tres veces el espesor sumado el diámetro del rodillo, y con una tolerancia de la mitad del espesor de la probeta. La figura siguiente explica de mejor manera estas dimensiones de diseño.



$$C = 2.r + 3.t \pm t/2$$

Figura 3.8. Distancia mínima entre apoyos.

$$C = 2 * r + 3 * t \pm \frac{t}{2} \quad (3.1)$$

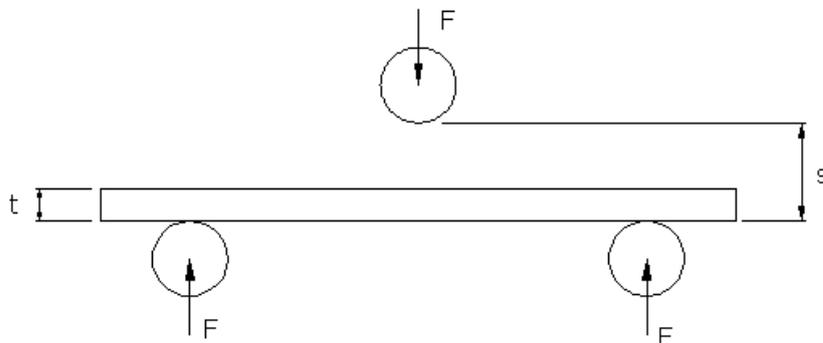
donde: C es la distancia mínima que debe existir entre apoyos, r es el radio del rodillo (3/8 “), y t es el espesor mínimo de la muestra (13 mm.)

Por lo tanto la distancia mínima entre apoyos requerida es de:

$$C = 2 * \left(\frac{3}{8}\right) * 25.4 + 3 * 13 - \frac{13}{2}$$

$$C_{\min} = 51.55 \text{ mm.}$$

Los niveles de referencia al inicio del ensayo los cuales constan en la norma ASTM E-290, que menciona que la distancia existente entre apoyos y rodillos no debe ser superior a tres veces el espesor de la probeta de ensayo con una tolerancia de la mitad del espesor como indica la siguiente figura.



$$s = 3.t \pm t/2$$

Figura 3.9. Distancia máxima al inicio del ensayo.

3.3.2 ENSAYO DE DUREZA.

El diseño de los accesorios deben considerar un perfecto acople con la máquina, para evitar problemas de excentricidad, rigidez, resistencia, sujeción, etc. De acuerdo a la Norma ASTM E-10 (Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials), en un ensayo de dureza Brinell, los accesorios deben ser diseñados de tal forma que no exista vibraciones o un movimiento lateral del indentador o de la probeta mientras la fuerza está siendo aplicada. La máquina mediante el cabezal móvil debe asegurar que la fuerza del indentador sea aplicada de forma muy suave, puntual y sin fuerzas de impacto.

En un ensayo de dureza es muy importante la planitud que debe mantener la superficie en análisis, es por ello que la tolerancia que se debe manejar en la planitud del accesorio de la base es de ± 0.1 mm. y la tolerancia de paralelismo entre la superficie inferior y la superior del accesorio deberá ser ± 0.1 mm. Con esto garantizamos que la carga aplicada sea puntual y este dentro del rango especificado por la norma ASTM E-10.

Esfera:

La esfera standard según la norma ASTM E-10, para la dureza Brinell, debe ser de 10 mm. de diámetro con una tolerancia de ± 0.005 mm., la esfera debe ser pulida y libre de defectos en su superficie. Las esferas de diámetros menores con sus respectivas tolerancias se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Tolerancias para las esferas de dureza Brinell.

Diámetro de la esfera (mm.)	Tolerancia (mm.)
10	± 0.005
5	± 0.004
2.5	± 0.003
2	± 0.003
1	± 0.003

Fuente: Norma ASTM E-10 Página 125 Tabla 4.

La esfera a utilizarse para el ensayo de dureza, debe cumplir las tolerancias de la tabla 3.2. y la medida deberá ser verificada tomando como mínimo tres lecturas de diámetros en diferentes posiciones.

Para medir la indentación se debe usar un microscopio micrómetro u otro instrumento que permita realizar una medición directa. La norma especifica que este instrumento debe presentar una escala primaria de 0.1 mm. y una escala secundaria que permita tener una apreciación de 0.05 mm.

Muestra:

Como una regla general, el espesor de la muestra debe ser de al menos 10 veces la profundidad de la indentación. Si una vez realizado el ensayo la profundidad de la indentación ha superado esta condición, los resultados se considerarán erróneos y se deberá realizar nuevamente el ensayo utilizando una muestra de mayor espesor.

El ancho mínimo de una muestra o el espaciamiento entre indentaciones, debe ser: desde el borde de la muestra o desde el borde de otra indentación debe existir una distancia de por lo menos 2.5 veces el diámetro de la indentación como se indica en la figura 3.10:

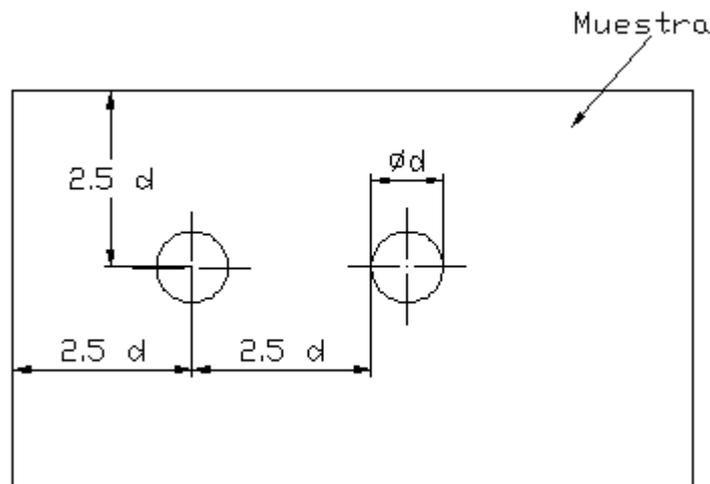


Figura 3.10. Espaciamiento entre indentaciones.

La muestra debe ser previamente preparada para realizar el ensayo; es decir, la cara de la muestra a ser indentada debe haber pasado por un proceso de rectificado, pulido y afilado para obtener una superficie plana y libre de

impurezas, con el fin de lograr una indentación perpendicular a 90° con una tolerancia de $\pm 2^\circ$ respecto a la superficie y facilitar la medición de la huella.

Debe tomarse las debidas precauciones para evitar un sobrecalentamiento o enfriamiento brusco de la muestra el momento de prepararla para no modificar sus propiedades mecánicas.

Basados en la Norma ASTM E-10, y las dimensiones tanto entre indentaciones y bordes que esta propone (figura 3.10), el área mínima a utilizarse para cuatro indentaciones en la misma probeta es de 16 cm², por lo que para brindar mayor seguridad y tomando en cuenta el desplazamiento que la muestra debe realizar debe diseñarse un área mayor o igual a ésta.

En cuanto al espesor no existen restricciones, pero se debe considerar que la base de la muestra debe ser rígida.

Fuerza:

La fuerza aplicada sobre una muestra para realizar un ensayo de dureza, no debe exceder en $\pm 1\%$ de su valor máximo.

Una vez calculado el valor de la dureza Brinell para cada muestra, este no debe exceder en $\pm 3\%$ el valor teórico de la dureza del material analizado.

La aplicación de la fuerza debe realizarse durante un rango de tiempo entre 10 a 15 s.

El diámetro de la indentación debe estar comprendido entre el 24 y 60% de la esfera utilizada.

Debido a que la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, tiene una capacidad máxima de 500 kgf. (4903 N), es necesario utilizar las relaciones estándar que maneja la norma ASTM E-10:

$F/D^2 = 30$ para 3000 kgf. y una esfera de 10mm. de diámetro.

$F/D^2 = 15$ para 1500 kgf. y una esfera de 10mm. de diámetro.

$F/D^2 = 5$ para 500 kgf. y una esfera de 10mm. de diámetro.

Si se utiliza una esfera de diámetro de 5 mm. que es la esfera de diámetro inmediato inferior a la que maneja la Norma E-10 (10 mm.), se debe aplicar las fuerzas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Fuerza aplicada para una esfera de 5 mm.

Relaciones	Fuerza aplicada utilizando una esfera de 5 mm.
$F/D^2 = 30$	125 kgf..
$F/D^2 = 15$	375 kgf.
$F/D^2 = 5$	750 kgf.

Fuente: Norma ASTM E-10 página 126.

De la tabla 3.3, se aplicará solamente las fuerzas de 125 kgf. y 375 kgf., pues la máquina MTS TK/T5002 no es capaz de aplicar una carga de 750 kgf.

Para materiales suaves, son usualmente utilizadas según la norma ASTM E-10, las relaciones mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 3.4. Fuerza aplicada para materiales suaves.

Relaciones	Fuerza aplicada para materiales suaves.
$F/D^2 = 2.5$	62.5 kgf.
$F/D^2 = 1.25$	31.25 kgf.
$F/D^2 = 1.0$	25 kgf.

Fuente: Norma ASTM E-10 página 126.

Elementos de acople de la máquina MTS TK/T5002.

La máquina MTS TK/T5002 posee en el cabezal fijo un elemento donde deberá acoplarse los accesorios de flexión y dureza. El acople que debe darse entre estos dos elementos se lo realizará mediante un pasador, se debe tomar en cuenta que no debe existir juego entre el accesorio y el elemento nombrado por lo que debe producirse un ajuste sin holgura, pero que pueda montarse y

desmontarse con libertad. Este ajuste es el H7/h6, específico para estos requerimientos.

El elemento que posee el cabezal fijo se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.11. Elemento de acople de accesorios en el cabezal fijo.

Las dimensiones del elemento del cabezal móvil se muestran en la siguiente figura:

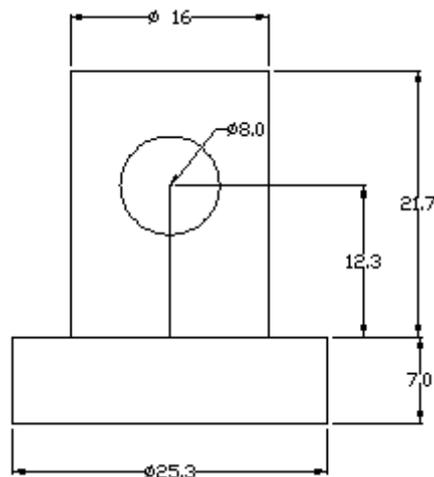


Figura 3.12. Dimensiones del elemento del cabezal fijo.

El accesorio superior, el cual se ubica en el cabezal móvil debe mantener las características del inferior en cuanto se refiere a la rigidez, sujeción, y excentricidad, pues es muy importante que la carga se aplique en un solo punto de la probeta.

Para acoplar el accesorio superior tanto de flexión como dureza con la celda de carga es necesario considerar la rosca $\frac{1}{2}$ " 20UNF como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3.13. Unión roscada de la celda de carga tipo "S"

3.3.3 TEORÍA DE FALLAS ESTÁTICAS.

La falla de un elemento se refiere a la pérdida de su funcionalidad, es decir cuando una pieza o una máquina dejan de ser útiles.

Esta falta de funcionalidad se produce por rotura, distorsión permanente, degradación, etc.

La rotura o la degradación permanente se deben a que los esfuerzos soportados son mayores que la resistencia del material de fabricación.

Para poder determinar para qué cantidad de esfuerzo aplicado se producirá una falla, se utilizan algunas teorías.

Todas las teorías de falla se basan en la comparación del esfuerzo actuante contra el resultante aplicado en una prueba uniaxial de tensión o compresión.

Existen varias teorías para explicar la falla pero de estas, las que más se acercan a datos experimentales son la teoría de von Mises – Hencky y la teoría del esfuerzo cortante máximo.

3.3.3.1 Teoría de falla de von Mises – Hencky o energía de la distorsión.

Microscópicamente la fluencia se entiende al deslizamiento relativo de los átomos dentro su estructura de red. Este deslizamiento es ocasionado por los esfuerzos cortantes acompañados por distorsión en la forma de la pieza.

La energía de deformación (U) en volumen unitario relacionado con cualquier esfuerzo es el área bajo la curva esfuerzo-deformación hasta el punto aplicado como muestra la siguiente figura para un estado de esfuerzos unidireccionales

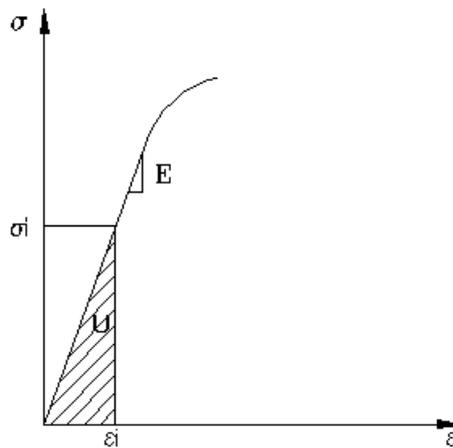


Figura 3.14. Energía de la deformación interna almacenada en una pieza deformada.

Suponiendo que la curva esfuerzo-deformación es esencialmente lineal hasta el punto de fluencia, se puede expresar la energía de deformación total como:

$$U = \frac{1}{2} * \sigma * \epsilon \quad (3.2)$$

donde: U es la energía de deformación, σ es el esfuerzo y ϵ es la deformación unitaria.

Aplicando la anterior ecuación para un estado tridimensional obtenemos:

$$U = \frac{1}{2} * (\sigma_1 * \epsilon_1 + \sigma_2 * \epsilon_2 + \sigma_3 * \epsilon_3) \quad (3.3)$$

donde: U es la energía de deformación; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son los esfuerzos principales, y $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ son las deformaciones unitarias principales.

La expresión se la puede proponer si solo actúan los tres esfuerzos principales con sus respectivas deformaciones principales (valor del esfuerzo cortante igual a cero) de la siguiente manera:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} * (\sigma_1 - \nu * \sigma_2 - \nu * \sigma_3) \quad (3.4.)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} * (\sigma_2 - \nu * \sigma_1 - \nu * \sigma_3)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} * (\sigma_3 - \nu * \sigma_1 - \nu * \sigma_2)$$

donde: $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ son las deformaciones unitarias principales, ν es la relación de Poisson, E es el módulo de elasticidad y $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son los esfuerzos principales

Remplazando en la ecuación 3.4. en la ecuación 3.3 obtenemos:

$$U = \frac{1}{2E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3))$$

La energía total de la deformación en una pieza cargada se puede considerar como formada por dos componentes una energía con la siguiente expresión cambia su volumen (U_v) y otra de distorsión que cambia la forma (U_d)

$$U = U_v + U_d \quad (3.5.)$$

donde: U es la energía de deformación, U_v es la energía de deformación volumétrica y U_d es la energía de distorsión.

Los esfuerzos principales se componen de esfuerzos que producen cambio de volumen y cambio de distorsión. De la siguiente forma.

$$\sigma_1 = \sigma_{1d} + \sigma_{1v}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2d} + \sigma_{2v}$$

$$\sigma_3 = \sigma_{3d} + \sigma_{3v}$$

En los cuales se cumple que el esfuerzo volumétrico es común para cada una de las caras del elemento diferencial ($\sigma_{1v} = \sigma_{2v} = \sigma_{3v} = \sigma_v$). Sumando las ecuaciones obtenemos:

$$3 * \sigma_{3v} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - (\sigma_{1d} + \sigma_{2d} + \sigma_{3d})$$

Para un cambio volumétrico sin distorsión el término en paréntesis de la ecuación anterior debe ser cero. Entonces la expresión para el componente volumétrico debido al esfuerzo queda:

$$\sigma_v = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (3.6)$$

donde : σ_v es el esfuerzo volumétrico y $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son los esfuerzos principales

Para obtener la energía por deformación U_v reemplazamos en la ecuación 3.3, y simplificando obtenemos:

$$U_v = \frac{3 * (1 - 2\nu)}{2 * E} \sigma_v^2$$

Reemplazando el valor de σ_v de la ecuación 3.6. y simplificando obtenemos:

$$U_v = \frac{1 - 2 * \nu}{6E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3))$$

La energía de la distorsión U_d resulta de la siguiente expresión:

$$U_d = U - U_v$$

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3)$$

A fin de obtener un criterio de falla, se comparará la energía de la distorsión por volumen unitario dada por la ecuación anterior, con la energía de distorsión por volumen unitario presentes en una probeta de prueba a tensión, ya que la tensión es la principal fuente de resistencia de materiales. La prueba de tensión es un estado de esfuerzos uniaxial donde, la fluencia $\sigma_1 = \sigma_y$ y $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ entonces:

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} * \sigma_y^2$$

Igualando las dos ecuaciones anteriores obtenemos el esfuerzo de von Misses:

$$\sigma_{\text{Von-Misses}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3} \quad (3.7)$$

donde: $\sigma_{\text{von-Misses}}$ es el esfuerzo de von Misses; σ_1 , σ_2 , σ_3 son esfuerzos principales

En situaciones que impliquen esfuerzos combinados a tensión y a cortante sobre un mismo punto, es práctico definir un esfuerzo efectivo que pueda aplicarse para representar la combinación de esfuerzos para materiales dúctiles.

Esta representación se denomina esfuerzo efectivo de von Misses y se define como: el esfuerzo a tensión uniaxial que genera la misma energía de distorsión que la que se produciría por la combinación real de esfuerzos aplicados.

Esta ecuación trata esfuerzos combinados multiaxiales de tensión y cortante como si se tratara de cargas a tensión pura.

$$\sigma_{\text{Von-Misses}} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 * (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

El elemento soportará la carga según esta teoría si cumple con la siguiente condición:

$$\frac{\sigma_{Von-Mises}}{\sigma_y} < 1$$

3.3.3.2 Teoría de falla por esfuerzo cortante máximo.

La teoría del cortante máximo establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo en una pieza excede el esfuerzo de una probeta a tensión en su punto de fluencia (la mitad del límite de fluencia elástico de tensión). Esto indica que el límite de fluencia elástico a cortante de un material dúctil es:

$$\sigma_{ys} = 0.50 * \sigma_y \quad (3.8)$$

donde: σ_{yc} es el esfuerzo de fluencia al cortante y σ_y es el esfuerzo fluencia.

Puesto que la falla ocurre en cualquier parte del elemento; si cualquiera de los esfuerzos cortantes principales excede el esfuerzo cortante principal, da lugar a la falla en la prueba uniaxial simple.

$$\begin{aligned} \tau_{1-2} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \\ \tau_{1-3} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \\ \tau_{2-3} &= \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

donde: τ_{1-2} , τ_{1-3} , τ_{2-3} , son esfuerzos cortantes principales. Y σ_1 , σ_2 , σ_3 son los esfuerzos principales

Según esta teoría el elemento no fallará si se cumple la siguiente condición:

$$\frac{\sigma_{ys}}{0.50 * \sigma_y} < 1$$

3.3.4 CRITERIOS DE DISEÑO.

Las piezas que se van a construir deben cumplir ciertas condiciones con el fin de que su diseño pueda ser aceptado completamente, y para lograr que las funciones que cumpla cada elemento no interfiera en los resultados que se obtengan en cada ensayo que se realice en la máquina MTS TK/T5002.

Para el diseño de accesorios tanto para ensayos de flexión como para dureza, se debe considerar los siguientes criterios de diseño:

- Resistencia.
- Rigidez.
- Funcionalidad.

3.3.4.1. Resistencia.

Es la capacidad de un material a soportar una carga. Por lo tanto se busca que los elementos diseñados, puedan resistir la capacidad máxima de la máquina, la cual es de 500 kgf. La verificación de diseño se la puede realizar mediante el factor de seguridad, el cual debería ser mayor de 1 tomando en cuenta los esfuerzos y las teorías de fallas que se aplican a cada elemento.

3.3.4.2. Rigidez.

Es la oposición que presenta un elemento a la deformación, al estar sometido a esfuerzos. Los elementos que se diseñen para los accesorios, no deben deformarse en valores superiores a 0.1 mm. puesto que provocaría errores en los ensayos ya que la apreciación de la máquina se vería alterada por estas deformaciones. La verificación de este diseño se encuentra en los valores de estudio de deformación máximo que sufre cada elemento.

3.3.4.3. Funcionalidad.

Este criterio de diseño se realiza de acuerdo a las limitaciones geométricas que presenta la máquina. La máquina genera cargas relativamente pequeñas por lo que los elementos de diseño deben considerar, a más de los criterios anteriormente mencionados, un criterio de funcionalidad con el cual se brindará una mejor apariencia de los accesorios y se debe considerar las limitaciones que tiene la máquina en cuanto a su montaje para la realización de ensayos.

3.4 ACCESORIOS PARA ENSAYO DE FLEXIÓN.

El procedimiento de diseño debe considerar los parámetros anteriormente mencionados. Un ensayo de flexión requiere dos accesorios; uno que será el que transmitirá la carga mediante el cabezal móvil, y otro donde se colocará la probeta para ser ensayada.

ACCESORIO SUPERIOR.

El acople se lo realizará directamente con la celda de carga tipo "S", y la sujeción entre estos elementos es debida a una unión roscada ($\frac{1}{2}$ " 20UNF), por lo que se debió diseñar la rosca para que su acople no tenga inconvenientes.

El accesorio superior para el ensayo de flexión consta de 5 piezas mecánicas:

- Un rodillo.
- Un porta rodillo superior.
- Dos platinas de sujeción.
- Un tornillo de sujeción.

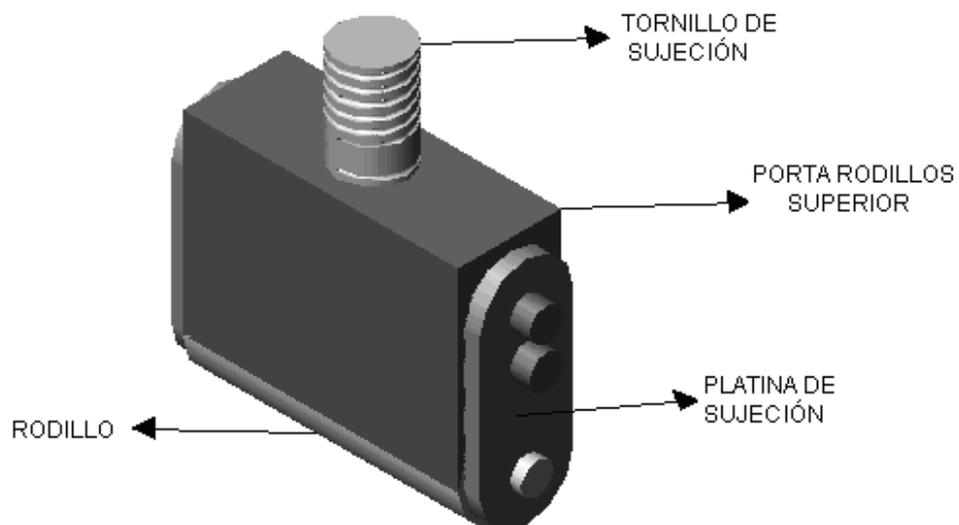


Figura 3.15. Esquema de elementos del accesorio superior de flexión.

Rodillo.

La parte inferior del accesorio debe ser un rodillo de acuerdo a la NORMA ASTM E-290 con un diámetro de $\frac{3}{4}$ ". Si consideramos la recomendación para obtener una flexión pura, el diámetro de $\frac{3}{4}$ " para los rodillos, y una separación entre ellos de 3 mm. no se cumple con las exigencias mínimas de la norma, pues la distancia que existiría en este caso entre los rodillos (C) sería mucho mayor a la mínima.

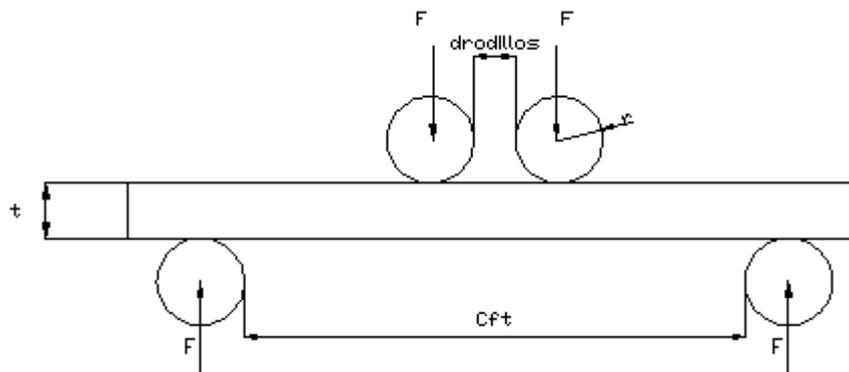


Figura 3.16. Esquema de distancia mínima entre apoyos para flexión pura.

$$C_{\min} = 51.55\text{mm.}$$

$$C_{fp} = 2 * \phi_{\text{rodillos}} + d_{\text{rodillos}} + 3 * t \pm \frac{t}{2} \quad (3.10.)$$

Donde: C_{fp} es la distancia entre los apoyos para flexión pura, ϕ_{rodillos} es el diámetro de los rodillos, d_{rodillos} es la separación existente entre los rodillos para flexión pura, y t es el espesor mínimo de la muestra:

Por lo tanto la distancia mínima entre apoyos para que exista flexión pura para el accesorio superior será de:

$$C_{fp} = 2 * \left(\frac{3}{4}\right) * 25.4 + 3 + 3 * (13) - \frac{13}{2}$$

$$C_{fp} = 73.6\text{mm.}$$

$$C_{fp} \gg C_{\min}$$

Del resultado anterior se puede concluir que se utilizará solamente un rodillo para la elaboración del accesorio superior el cual deberá ser de acero con un diámetro de $\frac{3}{4}$ " y una longitud de 2" para dar rigidez al elemento; este será sujetado a un porta rodillos para poder ser adaptado a la celda de carga tipo "S" .

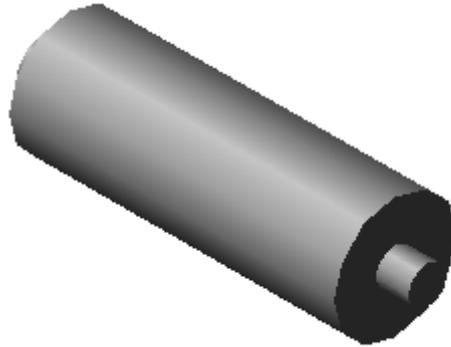


Figura 3.17. Esquema del rodillo del accesorio superior de flexión.

El rodillo diseñado se prevee que para el caso más crítico soportará una carga de 500 kgf. (capacidad de la máquina) de forma lineal, en el caso que la probeta sea totalmente rígida pues existiría solamente puntos de contacto que conforman esta línea en el inferior del rodillo.

El espesor mínimo de una probeta a ser ensayada, es de 13 mm., por lo tanto se tendrá una carga distribuida de esta dimensión como se indica en la siguiente figura.

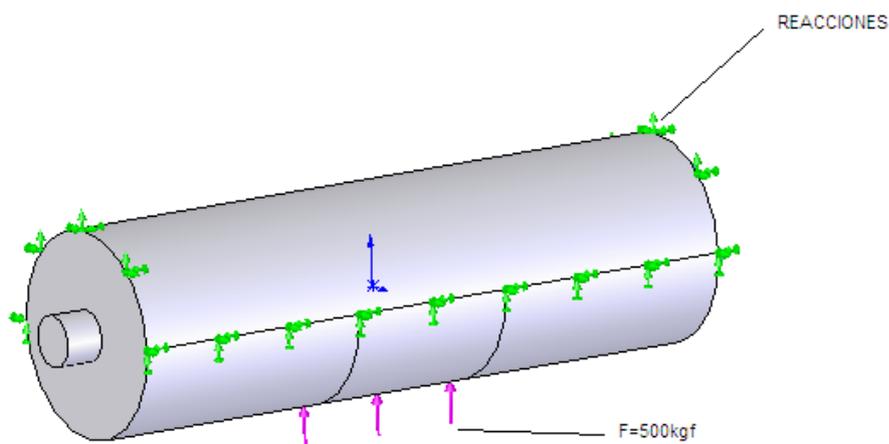


Figura 3.18. Cargas sobre el rodillo del accesorio superior.

Porta rodillo superior.

Este elemento se sujetará en su parte superior mediante una unión roscada con el tornillo de sujeción de $\frac{1}{2}$ " 20UNF, y en la parte inferior estará ubicado el rodillo, en la parte lateral del elemento existe agujeros roscados de $\frac{3}{8}$ " de diámetro y una profundidad de 10 mm. donde se sujetarán unas platinas para evitar el movimiento axial del rodillo.

Las dimensiones de este elemento deben ir de acuerdo al rodillo, es decir se tiene una superficie semicircular donde se alojará el cilindro de diámetro $\frac{3}{4}$ " y una longitud de 2". La altura de este elemento es de 36 mm. Con el fin de que se pueda construir los agujeros roscados y la base semicircular.

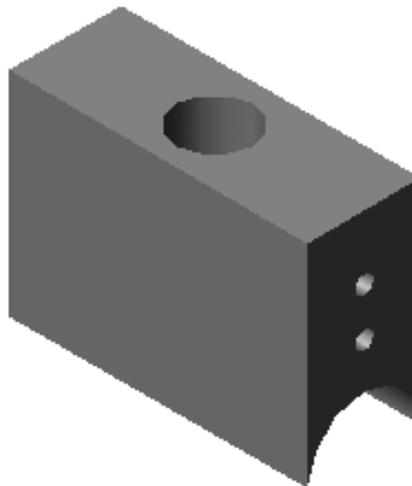


Figura 3.19. Esquema del porta rodillo del accesorio superior de flexión.

El motivo por el cual se diseña una base semicircular para apoyo del rodillo, es para que las cargas sean transmitidas de forma distribuida en toda esta superficie y no sobre una sola línea.

En el caso más crítico, este elemento soportaría una carga distribuida sobre toda la superficie de 500 kgf. Esto se producirá cuando la máquina genere toda su capacidad.

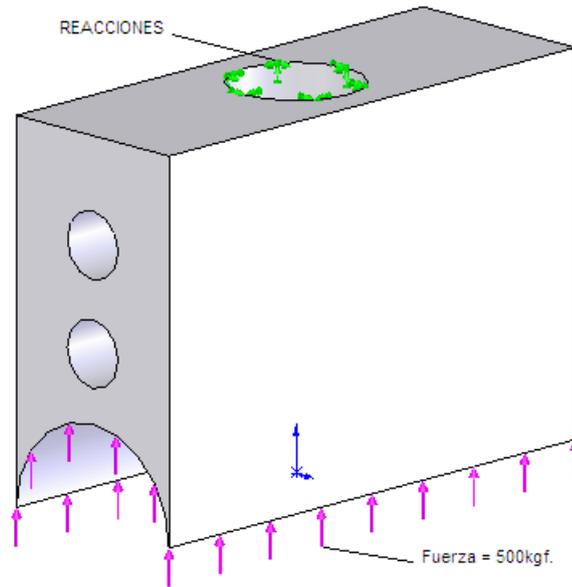


Figura 3.20. Cargas sobre el porta rodillo del accesorio superior.

Platinas de sujeción.

Este elemento es usado para evitar el deslizamiento del rodillo en su eje axial respecto al porta rodillo.

Las dimensiones de este elemento deben permitir una unión mediante 2 pernos de 1/4" con el porta rodillos, además deberá sujetar al rodillo en sus salientes.

Su forma será elíptica con un diámetro de 18 mm. y una altura de 45 mm. Además posee dos agujeros en su parte superior para la sujeción los pernos de 1/4 " y un agujero en la parte inferior para la sujeción del rodillo.



Figura 3.21. Esquema de placas de sujeción del accesorio superior de flexión.

Las cargas que se aplican sobre este elemento son igual a la mitad del peso del rodillo es decir 0.065 kgf. cuando el accesorio superior este acoplado a la celda de carga, pues la fuerza que se aplique durante el ensayo se transmitirá directamente al porta rodillo.

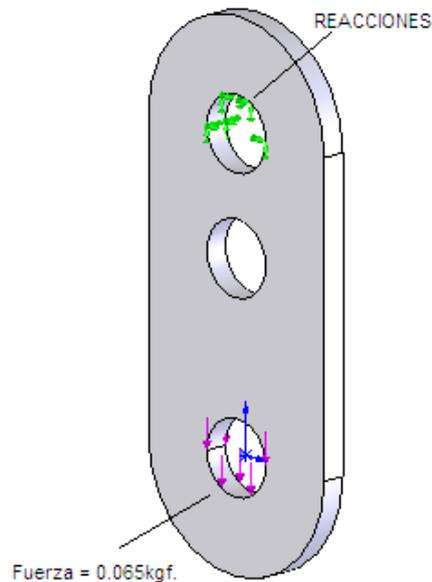


Figura 3.22. Cargas sobre placas de sujeción del accesorio superior.

Tornillo de sujeción.

El tornillo de sujeción servirá como unión entre la celda de carga tipo “S” y el porta rodillos.

Este tornillo debe ser normalizado y sus dimensiones son: ½” 20UNF y con una longitud de 40 mm.



Figura 3.23. Esquema del tornillo de sujeción del accesorio superior de flexión.

Las cargas que se aplican sobre este elemento son a compresión, debido a que se produce una fuerza por el movimiento del cabezal móvil en dirección axial al elemento, y por el otro lado se produce la resistencia de la probeta en ensayo. El valor máximo de carga que puede resistir este elemento con la capacidad máxima de la máquina es de 500 kgf.

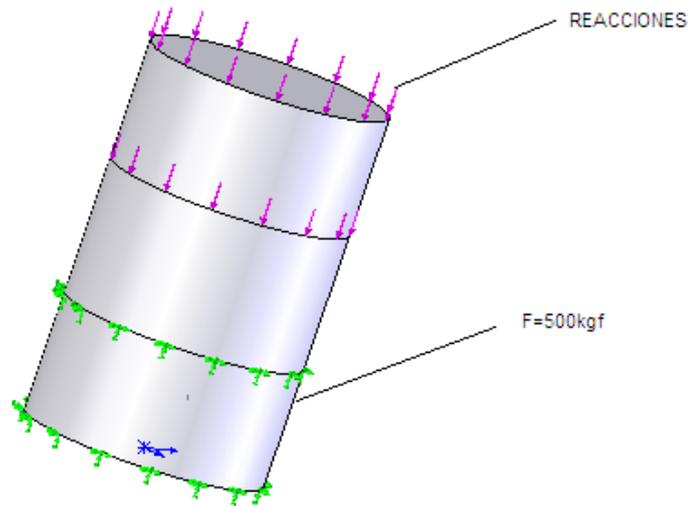


Figura 3.24. Cargas en el tornillo de sujeción del accesorio superior.

ACCESORIO INFERIOR.

El diseño de este accesorio debe considerar los parámetros considerados anteriormente.

Para este accesorio se debe tomar en cuenta las condiciones en que se encuentra la máquina, es decir la geometría de los elementos donde se producirá el acople. Este acople se lo realizará con las respectivas tolerancias geométricas para evitar problemas de acople que perjudiquen la elaboración de un ensayo.

La máquina MTS TK/T5002 posee en el cabezal fijo un elemento propio de esta donde se colocará el accesorio a ser diseñado Otro aspecto a tomar en cuenta es la sujeción entre los dos accesorios, la cual se la realizará para dar facilidad de operabilidad a la máquina mediante un pasador que atraviese los elementos y evite la existencia de juego y rotación entre estos accesorios, por lo tanto se

deberá realizar un ajuste sin holgura, que a su vez permite un montaje y desmontaje con libertad. Según tablas de ajustes se ha escogido de entre los existentes que el mas adecuado para el caso y los requerimientos es el ajuste H7/h6.

El accesorio inferior para el ensayo de flexión consta de 10 piezas mecánicas:

- Una placa base.
- Dos porta rodillos inferiores.
- Dos apoyos de rodillo.
- Un pasador.
- Cuatro platinas de sujeción.

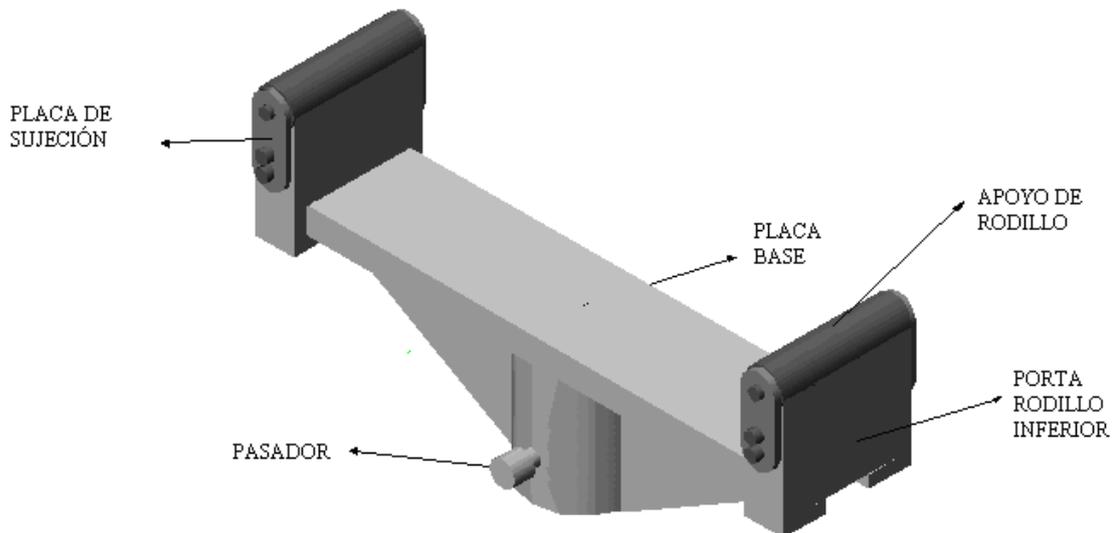


Figura 3.25. Esquema de elementos del accesorio inferior de flexión.

Placa base.

La placa base va acoplada el elemento del cabezal fijo de la máquina a través de un pasador.

La parte inferior de este elemento es de forma cilíndrica con un diámetro de 2” con una longitud de 60 mm. y con orificios que se acoplan perfectamente al elemento inferior del cabezal. Para que no exista rotación de este accesorio respecto al cabezal fijo, se realizará un agujero de 8.20 mm. por donde atravesará un pasador.

En la parte superior del cilindro se soldará una placa de dimensiones 260 mm. x 2" x ½ ". la cual soportará los porta rodillos, y a su vez permitirá un deslizamiento sobre su longitud.

La placa permite una luz máxima de distancia entre apoyos de 240 mm. y cumple con la norma puesto que presenta una distancia mínima entre apoyos (C) de 50.8 mm. mientras que la especificada por la norma es de 51.55 mm.

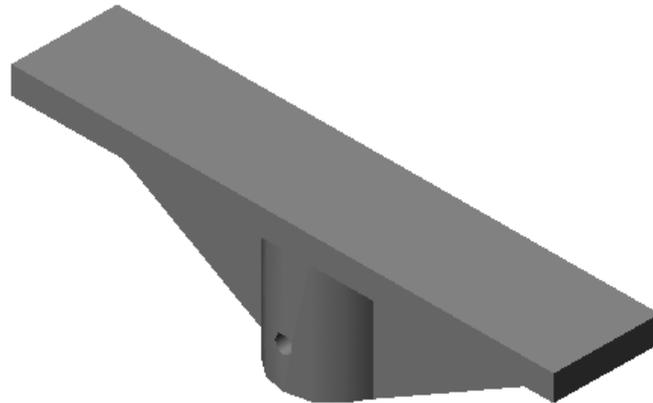


Figura 3.26. Esquema de la placa base del accesorio inferior de flexión.

Las cargas que se producen sobre este elemento tienen un valor máximo de 250 kgf. (Capacidad máxima de la máquina) cuando estas son aplicadas en la máxima distancia entre apoyos permitida.

Esta carga se aplica en la cara superior de la placa, en la superficie donde se asientan los porta rodillos.

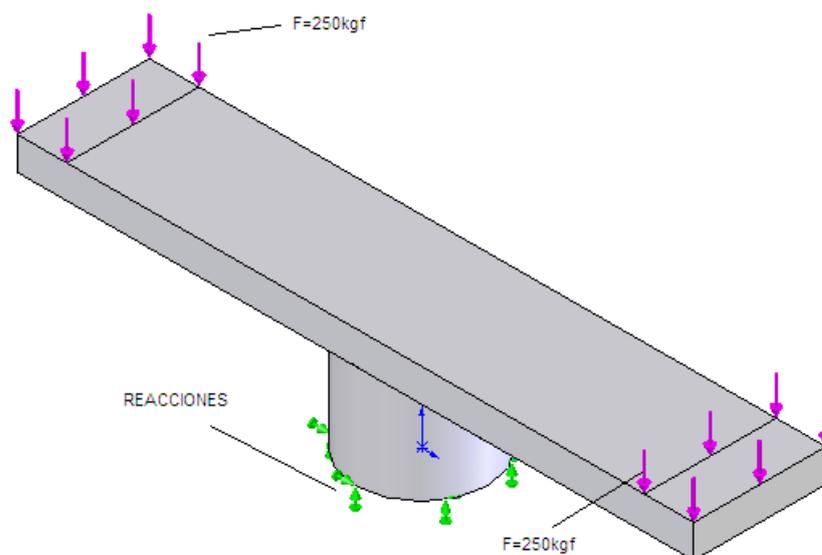


Figura 3.27. Cargas en la placa base del accesorio inferior.

Porta rodillos inferiores.

El porta rodillos aloja a los apoyos, y su geometría permitirá que estos puedan ser deslizados en la placa base para establecer la luz entre apoyos.

Este elemento se acoplará a la placa base en forma de riel, y para la fijación con esta se ha realizado 2 orificios roscados de $\frac{1}{4}$ " de diámetro ubicados en la parte inferior donde se colocará pernos.

En la parte superior del porta rodillos, se asentará los apoyos de rodillo; y en la parte lateral es necesario realizar dos orificios roscados de $\frac{1}{4}$ " de diámetro con una profundidad de 10 mm., que servirán para evitar un movimiento axial de los rodillos, mediante la utilización de placas.

Las dimensiones de este elemento deben realizarse de acuerdo al rodillo y a la placa base, es decir se tiene una superficie semicircular donde se alojará el cilindro de diámetro $\frac{3}{4}$ " y una longitud de $2 \frac{1}{2}$ ". La altura de este elemento es de 60 mm. con el fin de que se pueda construir los agujeros roscados, la base semicircular para asentar el rodillo y la guía para permitir el acople con la placa base.

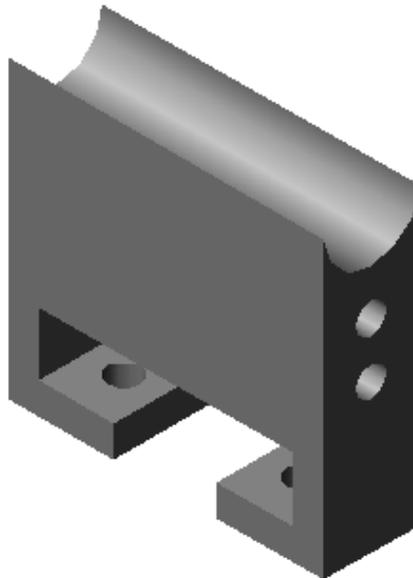


Figura 3.28. Esquema del porta rodillo del accesorio inferior de flexión.

La razón por la cual se realiza una base semicircular para apoyo del rodillo, es para que las cargas sean transmitidas de forma distribuida en toda esta superficie y no sobre una sola línea.

En el caso más crítico, este elemento soportaría una carga distribuida sobre toda la superficie de 250 kgf. Esto se producirá cuando la máquina genere toda su capacidad.

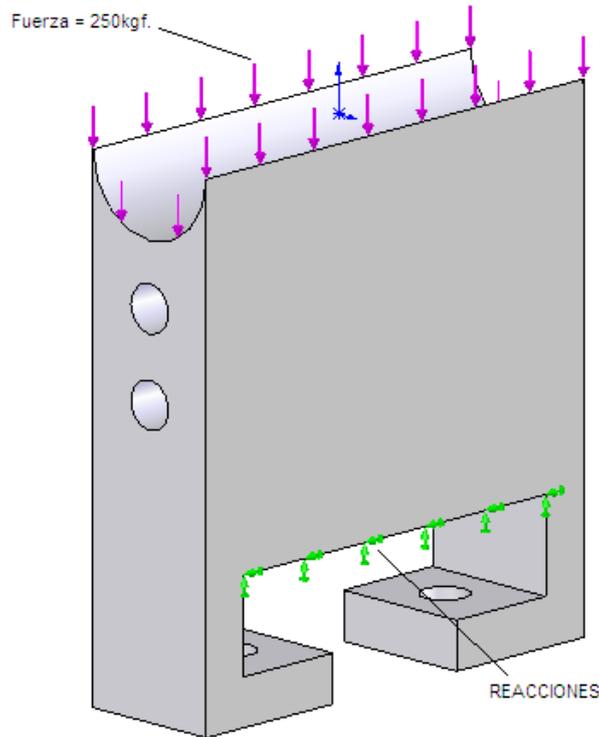


Figura 3.29. Cargas sobre el porta rodillo del accesorio inferior.

Apoyo de rodillo.

De acuerdo a la Norma ASTM E-290, tanto el rodillo que aplica la carga como los rodillos de apoyo deben tener el mismo diámetro; por lo tanto las dimensiones de estos serán: diámetro de $\frac{3}{4}$ " y una longitud de $2\frac{1}{2}$ " para asentar sobre el porta rodillos inferior.

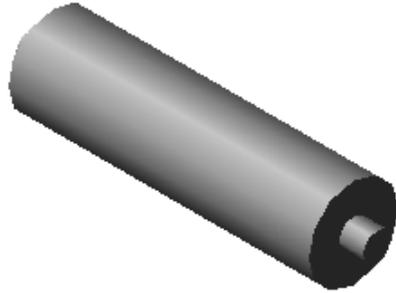


Figura 3.30. Esquema del apoyo de rodillo del accesorio inferior de flexión.

La carga que se aplica sobre el rodillo de apoyo es similar a la que se produce en el rodillo superior debido a que también existe una línea donde se aplica una carga distribuida pero en este caso es de 250 kgf. y cuya dimensión es igual al ancho de la probeta como se indica en la siguiente figura.

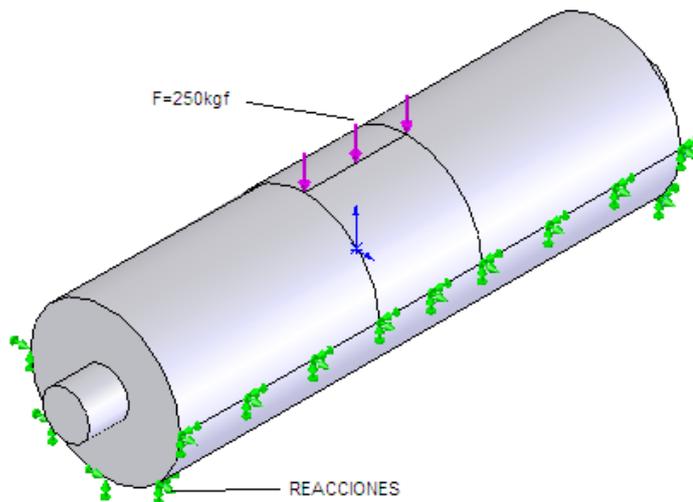


Figura 3.31. Cargas sobre el apoyo de rodillo del accesorio inferior.

Pasador.

Este elemento evita una posible rotación entre el accesorio inferior de flexión y el elemento del cabezal fijo.

Sus dimensiones deben permitir que este elemento atraviese completamente la parte cilíndrica de la placa base. Se requiere de un pasador de 7.9 mm. de diámetro y una longitud de 53 mm.

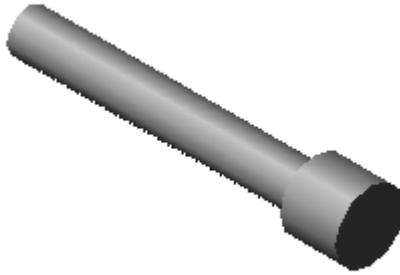


Figura 3.32. Esquema del pasador del accesorio inferior de flexión.

Debido a que este elemento evita solamente la rotación del accesorio inferior, y a que el diseño de este accesorio considera que la carga se transmite directamente al cabezal fijo, el pasador no está sometido a ninguna carga.

Placas de sujeción.

Las placas de sujeción son usadas para evitar el deslizamiento del rodillo en su eje axial respecto al porta rodillo.

Este elemento tiene una forma elíptica y sus dimensiones son: una altura de 47 mm. y un diámetro de 18 mm., este elemento debe permitir una unión mediante 2 pernos de $\frac{1}{4}$ " con el porta rodillos, además deberá sujetar al rodillo en sus salientes.



Figura 3.33. Esquema de placas de sujeción del accesorio inferior de flexión.

De forma similar a las placas del accesorio superior, las cargas que se aplican sobre este elemento serán igual a la mitad del peso del apoyo de rodillo es decir 0.07 kgf. cuando se transporte el elemento, pues la fuerza que se aplique durante el ensayo se transmitirá directamente al porta rodillo.

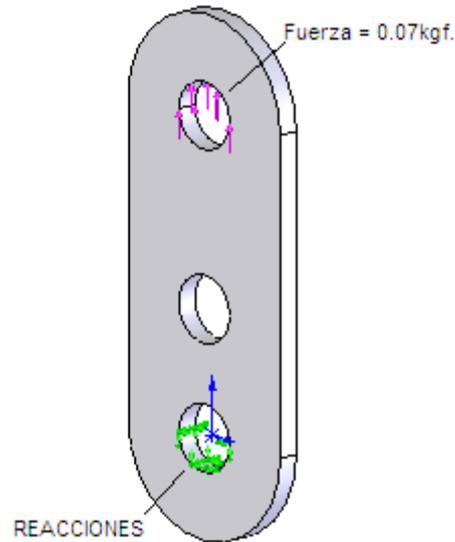


Figura 3.34. Cargas sobre placas de sujeción del accesorio inferior.

3.4.1 ALTERNATIVAS EN SELECCIÓN DE MATERIALES.

La selección de materiales para la construcción y posterior análisis del comportamiento de los accesorios respecto a los esfuerzos a los que son sometidos en un ensayo de flexión, debe basarse de acuerdo a los parámetros y exigencias de diseño vistos anteriormente, es decir, de acuerdo a que normas o condiciones de uso requieren.

Los parámetros y normas empleadas para el diseño de cada accesorio muestran que el material ha utilizarse para la construcción es el acero, por lo que se realizará un posterior análisis en base a las características y propiedades del material escogido. Este metal deberá tener ciertas características específicas para poder ser elegido, entre ellas se tiene las propiedades mecánicas como: límite de fluencia, resistencia última, dureza Brinell, módulo de elasticidad, etc.

Según los accesorio diseñados anteriormente, se requiere de materiales que se pueda conseguir en el mercado tanto en planchas de espesores definidos, como en barras con diámetros específicos.

A continuación se muestra diferentes alternativas de acero y sus propiedades, el cual podría ser seleccionado como material para construcción.

Acero ASTM A36:

Módulo de Young:	210 MPa. / 30 Ksi.
Resistencia última:	400 MPa.
Límite de fluencia:	250 MPa.
Dureza Brinell:	117 HBN.
Características:	Planchas desde 1/8".
Aplicación:	Acero estructural para construcción de perfiles.

Acero AISI 1018:

Módulo de Young:	210 MPa. / 30 Ksi.
Resistencia última:	566 MPa.
Límite de fluencia:	483 MPa.
Dureza Brinell	123 HBN.
Características:	Acero de transmisión, presenta facilidad de cementación, y excelente soldabilidad.
Aplicación:	Pernos, tuercas, piezas de máquina pequeñas, como ejes, bujes, pasadores y grapas.

Acero AISI 1020:

Módulo de Young:	210 MPa. / 30 Ksi.
Resistencia última:	380 MPa.
Límite de fluencia:	210 MPa.
Dureza Brinell:	111 HBN.

Características: Acero blando de bajo carbono. Buena soldabilidad. No toma temple, pero es cementable en piezas no exigidas. Puede ser suministrado trefilado.

Aplicación: Para piezas de maquinaria, pernos, pasadores de baja resistencia.

Acero AISI 1040:

Módulo de Young: 210 MPa. / 30 Ksi.

Resistencia última: 520 MPa.

Límite de fluencia: 290 MPa.

Dureza Brinell: 200 HBN.

Características: Acero de transmisión, permite ajuste hasta H9/h11

Aplicación: Para cargas medianas no muy severas, piezas para industria automotriz, pernos, ejes de mediana resistencia, engranes de baja velocidad, rieles, pernos de anclaje, pasadores.

Acero AISI 1045:

Módulo de Young: 210 MPa. / 30 Ksi.

Resistencia última: 637 MPa.

Límite de fluencia: 314 MPa.

Dureza Brinell: 220 – 235 HBN.

Características: Acero de medio carbono. En plancha se utiliza donde hay mayor resistencia a ruptura y abrasión. Puede ser suministrado trefilado.

Aplicación: Su uso general para la construcción de todo tipo de piezas mecánicas como ejes, piezas de mediana resistencia, pernos, aplicación automotriz, motores eléctricos, cuñas, martillos, chavetas, etc.

La selección de materiales debe involucrar tanto planchas de acero, como barras cilíndricas de acuerdo a las dimensiones especificadas en los

parámetros de diseño. Se debe observar las aplicaciones, características y propiedades de cada alternativa de material.

Una vez observadas y analizadas las alternativas de materiales existentes en el mercado, se procede a seleccionar mediante una matriz de decisión, el material que se adapte en diferentes parámetros a considerar posteriormente.

Tabla 3.5. Matriz de decisión de materiales para accesorios de flexión.

Parámetro de Evaluación	ASTM A36	AISI 1018	AISI 1020	AISI 1040	AISI 1045	Puntaje Óptimo
Costos accesibles	8	7	9	8	5	10
Resistencia del material.	9	8	6	9	10	10
Dureza	6	6	7	8	10	10
Disponibilidad	10	8	7	10	5	10
Facilidad de maquinado	8	9	10	7	6	10
Tratamientos	9	7	8	8	5	10
TOTAL:	52	45	47	50	41	60

En la tabla presentada anteriormente se puede notar claramente las mejores alternativas, después de analizar cada punto considerado como parámetro de calificación. Por lo tanto los materiales que se utilizarán para el estudio y análisis de elementos y con los cuales se desarrollará la construcción de los accesorios serán:

- Acero ASTM A 36 (Platinas según dimensiones especificadas.)
- Acero AISI 1040 (Barras cilíndricas según diámetros especificados.)

Estos materiales seleccionados serán utilizados a continuación para el análisis de esfuerzos al cual es sometido cada uno de los elementos de los accesorios para ensayo de flexión.

El análisis de comportamiento al aplicarse diversas cargas, se lo ha realizado para cada elemento por separado, tomando en cuenta situaciones críticas que podría producirse en un ensayo. Los elementos se los realiza en el programa SOLID Works y su versión más actual es la del año 2006, y la simulación de comportamiento se la realiza con un complemento de este programa denominado COSMOS Works donde se puede seleccionar el tipo de material del elemento y el análisis que se realizará.

La siguiente figura muestra la selección de material en el programa COSMOS Works.

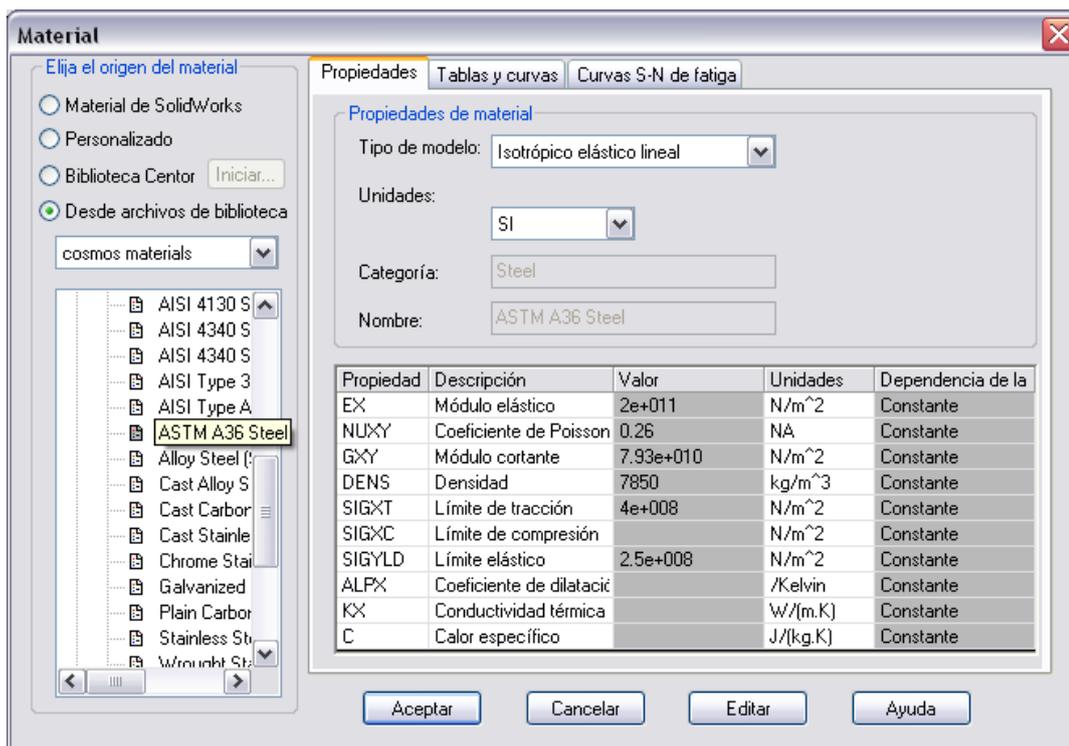


Figura 3.35. Selección de material para análisis en COSMOS Works.

A continuación se procede a realizar el análisis de cada elemento de los accesorios de flexión para la máquina MTS TK/T5002.

Accesorio superior.

Rodillo.

Se ha considerado que este elemento estará sometido a una carga igual a la capacidad máxima de la máquina MTS TK/T5002, es decir que este elemento transmitirá una carga de 500 kgf. hacia abajo, y existirá una línea de contacto como se muestra en la figura para una probeta de ensayo de 13 mm. de ancho. Se ha analizado el elemento mediante dos teorías, la teoría de falla de von Mises, y la teoría de falla por esfuerzo cortante máximo.

Para el primero se tiene un esfuerzo máximo de 267 MPa. con un factor de seguridad del diseño de 1.5; mientras que para la teoría de esfuerzo cortante se tiene un valor máximo de 91.23 MPa. y un factor de seguridad de 1.5. Con un deformación máxima de 0.00456 mm.

En la siguiente figura se puede observar el valor máximo para el análisis del rodillo superior y su localización, cuando se aplica una carga de 500 kgf. (capacidad de la máquina) y sobre una línea de aplicación de la carga de longitud determinada.

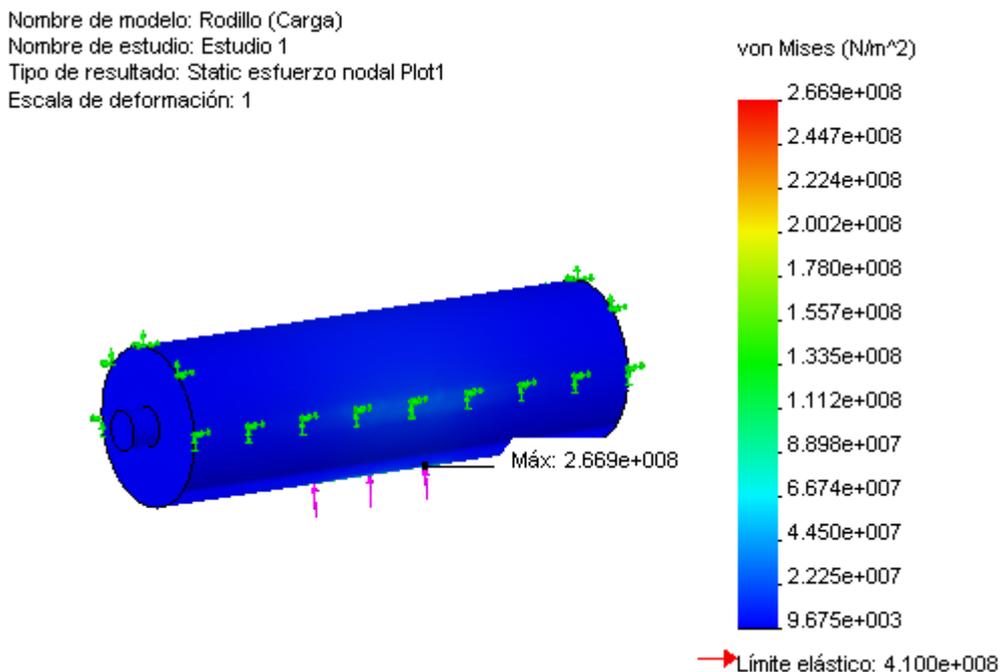


Figura 3.36. Análisis de von Mises, rodillo de accesorio superior flexión.

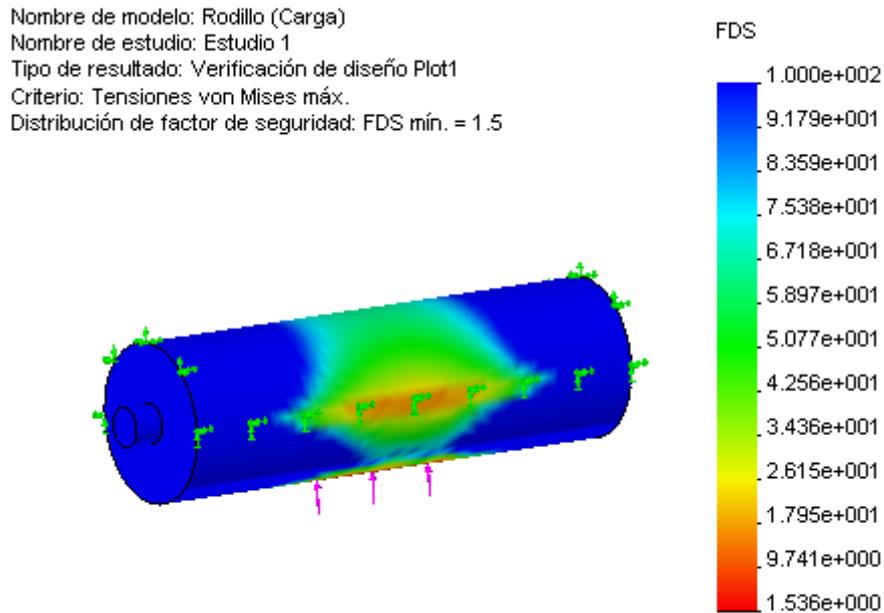


Figura 3.37. Factor de seguridad para análisis de von Mises, rodillo de accesorio superior de flexión.

Porta rodillo superior.

Este elemento ha sido considerado que soportaría una carga hacia arriba como se ve en la figura, con un valor de 500 kgf. y luego de un estudio se tiene que para la teoría de fallas de von Mises se producen esfuerzos máximos sobre posiciones críticas del elemento iguales a 115 MPa. y un factor de seguridad de 2.2, con lo cual se verifica la resistencia del elemento para el caso más crítico al que pueda ser sometido; es decir toda la carga.

Este elemento presenta una deformación máxima de 0.00546 mm.

Los lugares en la gráfica que se encuentran de color rojo son los más críticos del elemento.

Nombre de modelo: Porta Rodillo (Carga 1Rodillo)
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 1

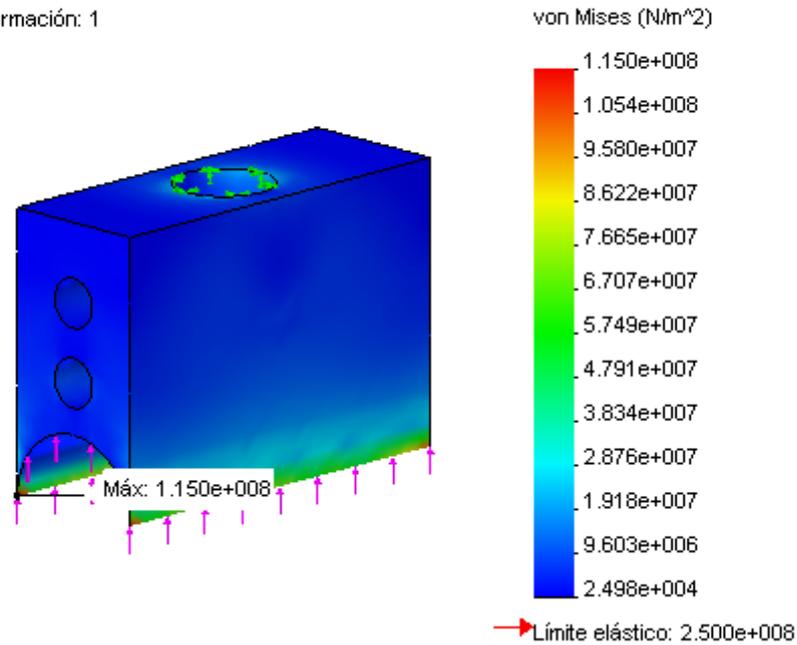


Figura 3.38. Análisis de von Misses, porta rodillo de accesorio superior de flexión.

Nombre de modelo: Porta Rodillo (Carga 1Rodillo)
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 2.2

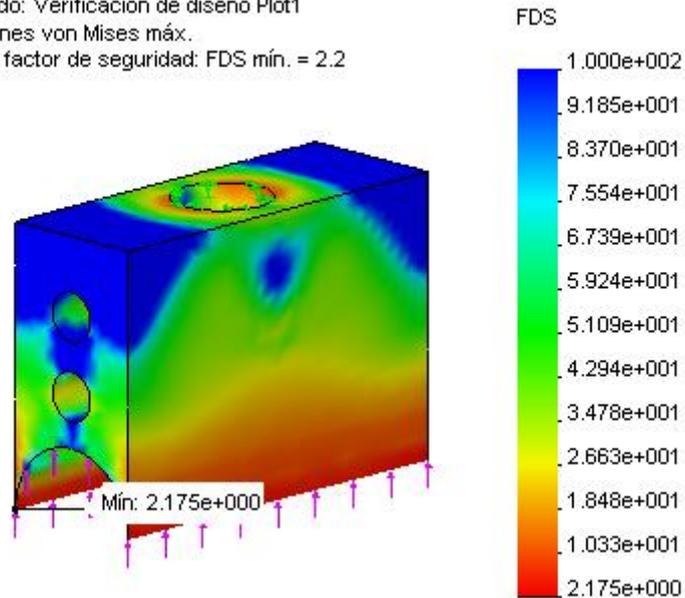


Figura 3.39. Factor de seguridad para análisis de von Misses, porta rodillo de accesorio superior de flexión.

Platinas de sujeción.

Las platinas de sujeción, fueron diseñadas, con el fin de que sirvan de sujeción para los rodillos, es decir no fueron diseñados para que resistan alguna carga de la máquina.

La carga aplicada en el estudio que se muestra a continuación, se debe únicamente al peso del rodillo (0.13 kgf.), dividido para las dos placas laterales; es decir esta carga es de 0.065 kgf. y los resultados obtenidos son: Para el análisis de von Mises se tiene un esfuerzo máximo de 0.1409 MPa. y un factor de seguridad de 1800, con lo cual se explica la función de este elemento en el accesorio.

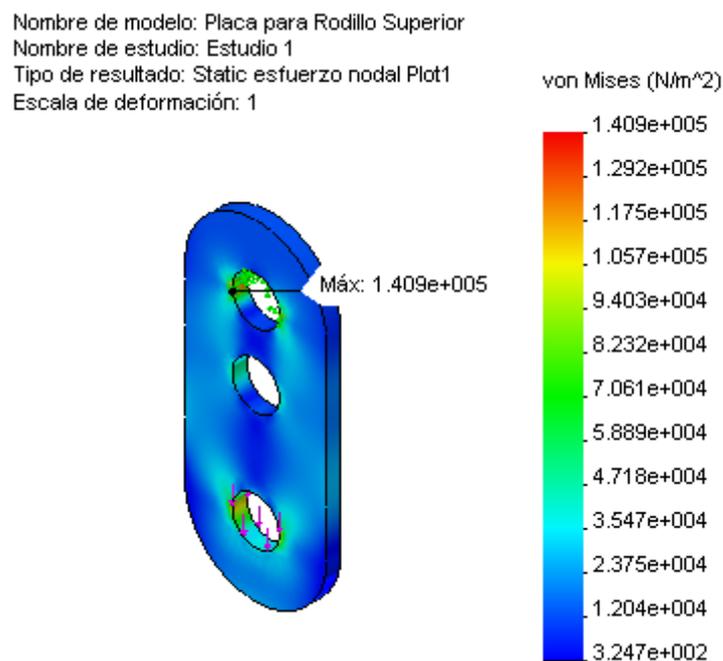


Figura 3.40. Análisis de von Mises, placa para rodillo de accesorio superior de flexión.

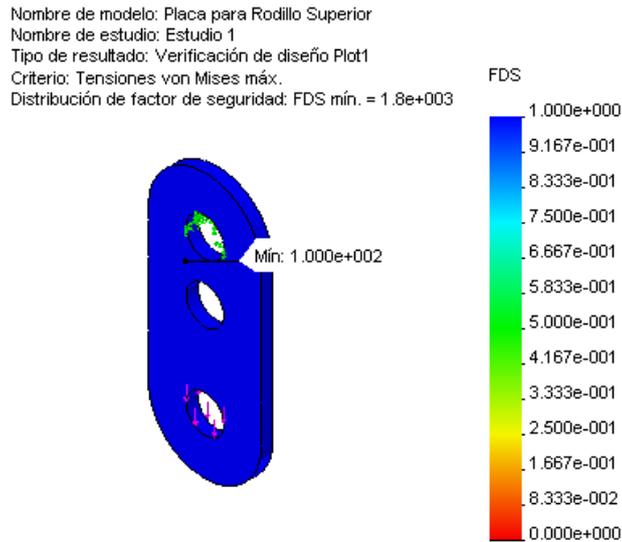


Figura 3.41. Factor de seguridad para análisis de von Mises, placa para rodillo de accesorio superior de flexión.

Tornillo de Sujeción.

El análisis del tornillo de sujeción fue elaborado considerando que este transmitirá la capacidad máxima de la máquina, es decir 500 kgf. mediante la teoría de falla de von Mises la cual muestra esfuerzos más críticos, con valores de 24.08 MPa y un factor de seguridad en el diseño de 10. La deformación máxima que sufre este elemento es de 0.0016 mm.

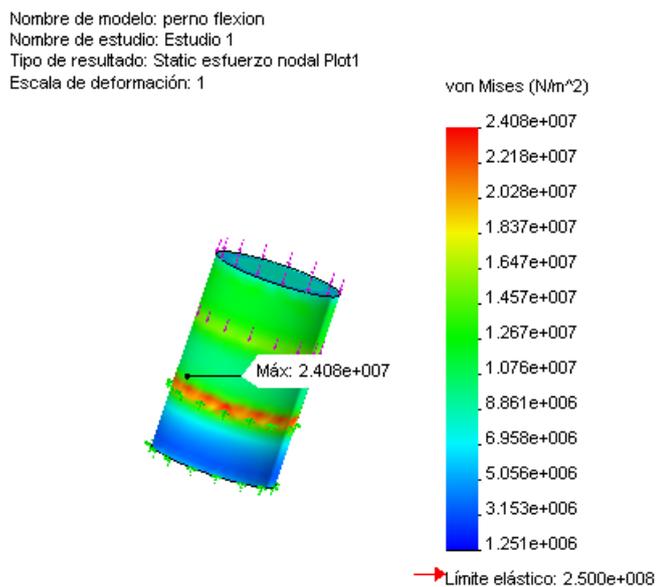


Figura 3.42. Análisis de von Mises, tornillo de sujeción de accesorio superior de flexión.

Nombre de modelo: perno flexion
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 10

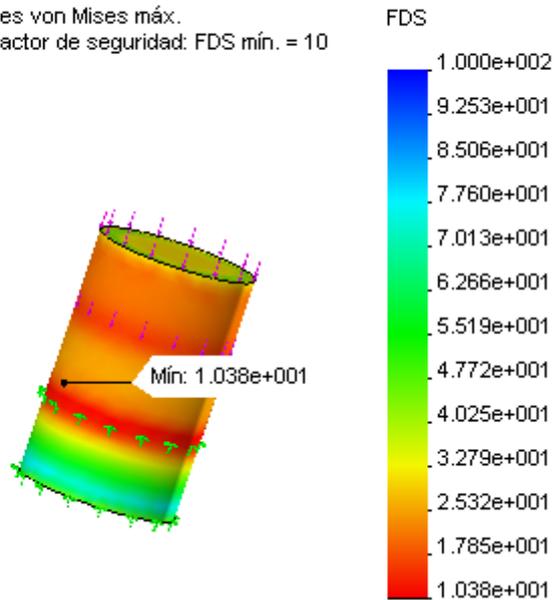


Figura 3.43. Factor de seguridad para análisis de von Mises, tornillo de sujeción de accesorio superior de flexión.

Accesorio inferior.

Placa base.

El diseño de este elemento se lo ha realizado con el fin de que exista varias caras de apoyo, sobre el elemento del cabezal fijo de la máquina. De esta forma se logra mejores resultados en el análisis de esfuerzos para cada teoría de falla.

El análisis se realiza para valores críticos a los que puede en casos hipotéticos ser sometido el material, es decir para cuando se genere la capacidad máxima de la máquina y suponiendo que se transmite toda la fuerza a los apoyos y a la placa base. Para este caso se tendrá cargas distribuidas en la luz máxima (240 mm.) de la placa base en un área igual a la de apoyo de los porta rodillos, y su valor será de 250 kgf. por lado como se muestra en la figura.

Los valores que se obtienen después de realizado el estudio mediante la teoría de Von Mises, fueron los siguientes: El esfuerzo máximo se produce en los extremos de la placa base con un valor de 249.8 MPa. y el valor que se obtiene

de factor de seguridad es de 1.3, lo cual certifica el funcionamiento de este elemento pues el análisis se lo ha realizado con cargas críticas.

Se puede también ver un análisis de deformaciones en el elemento para observar si existe algún exceso en las deflexiones que sufra el material siendo el análisis realizado de igual manera para casos críticos al que pueda ser sometida la placa base, obteniéndose un valor máximo de deformación en los extremos de la placa de 0.076 mm.

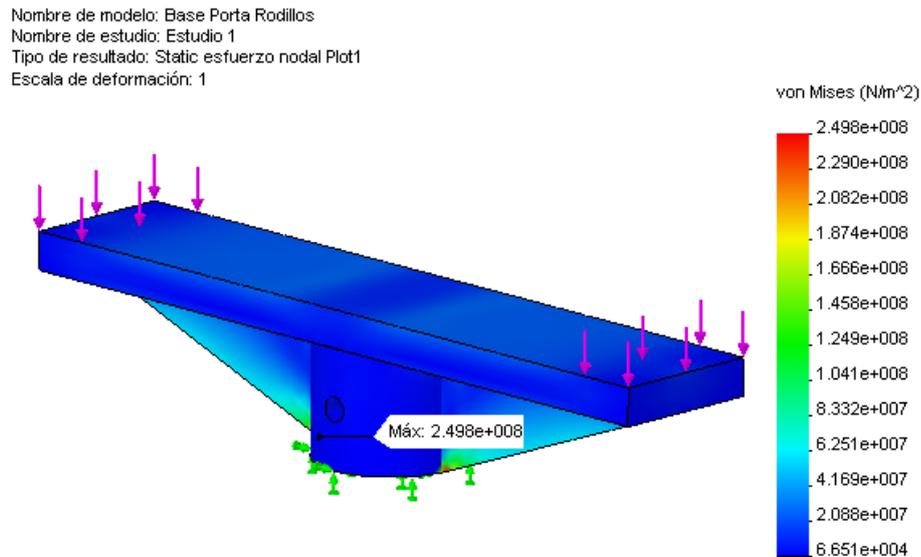


Figura 3.44. Análisis de von Misses, placa base de accesorio inferior de flexión.

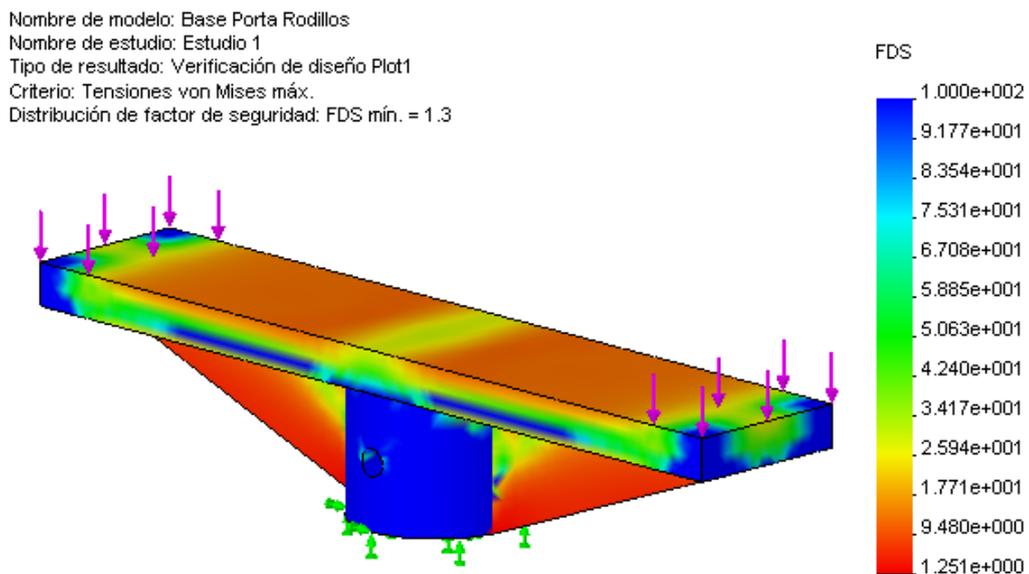


Figura 3.45. Factor de seguridad para análisis de von Misses, placa base de accesorio inferior de flexión.

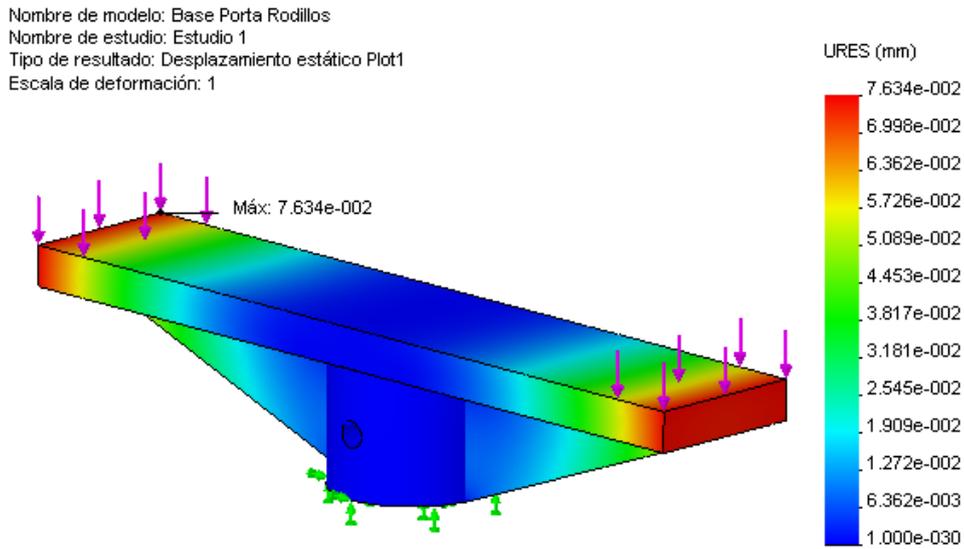


Figura 3.46. Análisis de deformación, placa base de accesorio inferior de flexión.

Apoyo de rodillo.

El porta rodillo se ubica en la placa base, y puede ser deslizado a través de una guía, con el fin de ubicar la distancia entre apoyos para un ensayo de flexión.

El caso más crítico que se puede dar en estos elementos, es cuando se produce toda la capacidad de la carga, y esta es transmitida de forma total hacia los dos apoyos de rodillos, es decir, cada uno soportaría una carga máxima de 250 kgf. Esta carga se produce hacia abajo en la superficie superior del elemento y las restricciones que deben darse para el estudio deben ser en la superficie de contacto con la placa base.

Para el estudio de von Misses se ha obtenido que el esfuerzo máximo al que puede ser sometido este elemento es de 32.19 MPa. Y se tiene un factor de seguridad en el diseño de 7.8, lo que certifica el perfecto funcionamiento del apoyo de rodillo.

El análisis de deformación muestra valores críticos de deflexión de la pieza mecánica de 0.0025 mm.

Nombre de modelo: Porta Rodillo (Apoyo)
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 1

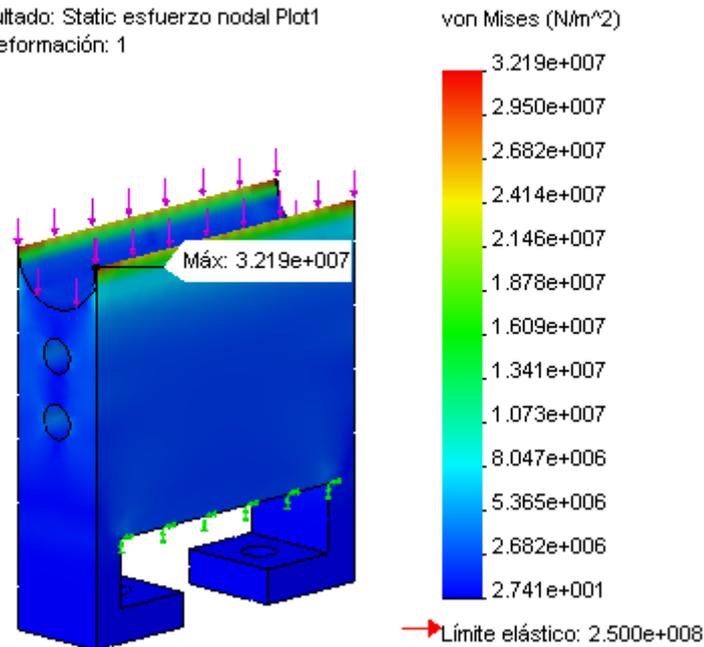


Figura 3.47. Análisis de von Mises, porta rodillos de accesorio inferior de flexión.

Nombre de modelo: Porta Rodillo (Apoyo)
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 7.8

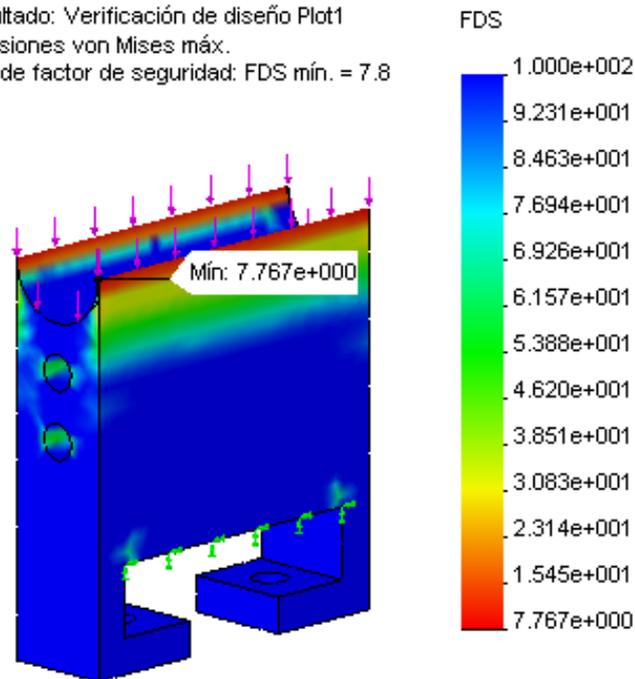


Figura 3.48. Factor de seguridad para análisis de von Mises, porta rodillos de accesorio inferior de flexión.

Rodillo.

De forma similar al accesorio superior, se tiene un rodillo, el cual cumplirá funciones de servir de apoyo para las probetas a ensayar, por lo tanto el análisis es similar al anterior, con la única diferencia de que para este caso se tiene 2 rodillos sobre los cuales se asentará la probeta, por lo tanto la carga máxima aplicada se deberá dividir para cada elemento y así se tendrán cargas distribuidas críticas de análisis de 250 kgf sobre una línea de longitud (13 mm). El análisis en COSMOS Works utilizando la teoría de fallas de von Misses muestra que se producen esfuerzos máximos sobre la línea de apoyo igual a 97.34 MPa. tomando en cuenta que únicamente sobre ésta línea se producen los esfuerzos máximos. El factor de seguridad para este caso el mínimo sobre todo el elemento se encuentra también sobre la línea de apoyo y su valor es de 2.6, el cual es aceptable debido a que se diseñó respecto a valores críticos. La deformación máxima que sufre este elemento es de 0.0021 mm.

Se puede realizar también un análisis mediante la teoría de falla de esfuerzo cortante, obteniéndose como resultado que el valor más crítico de esfuerzo cortante que se produce en el rodillo es de 35.97 MPa. y el factor de seguridad para este estudio es de 2.4.

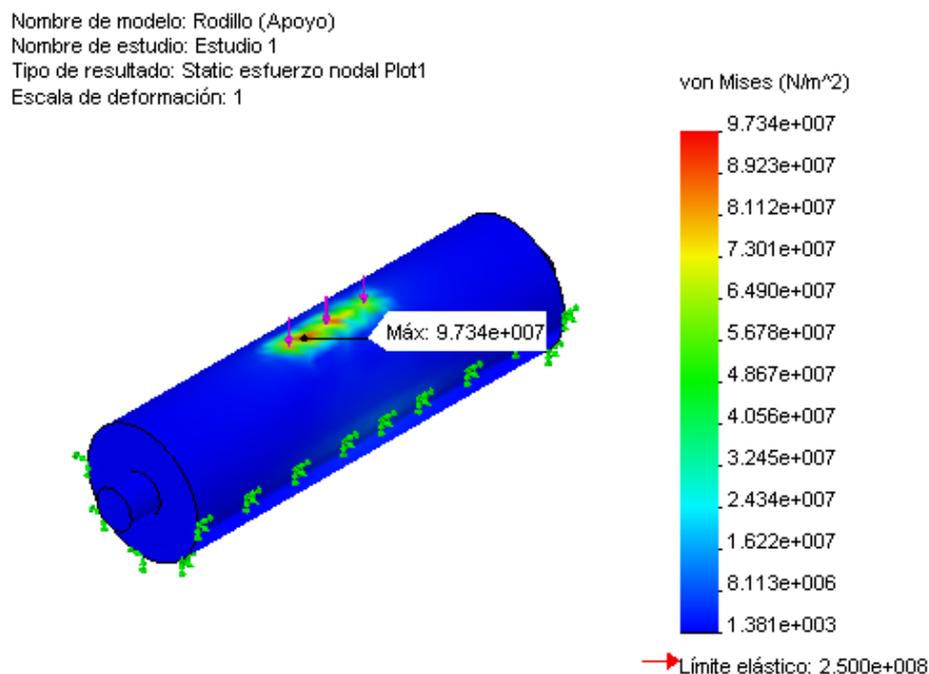


Figura 3.49. Análisis de von Misses, rodillo de accesorio inferior flexión.

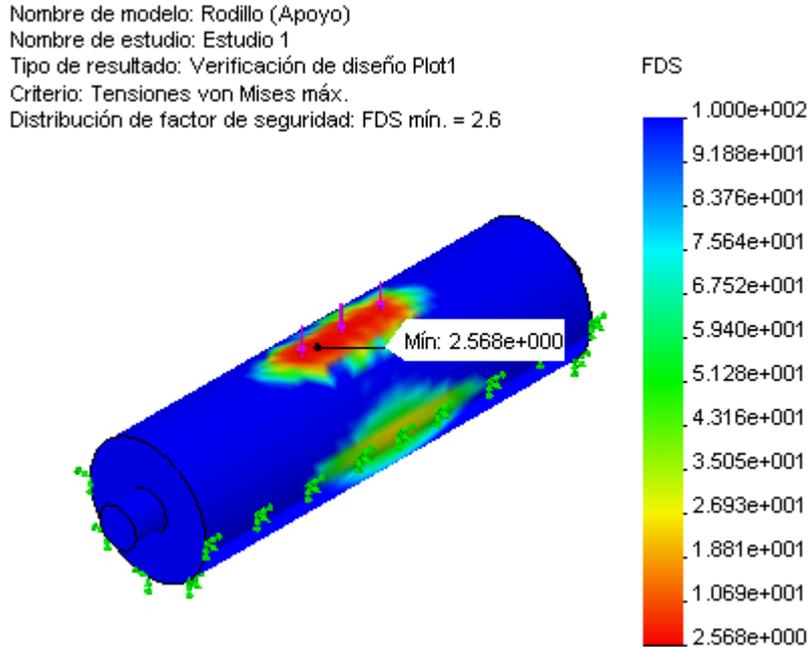


Figura 3.50. Factor de seguridad para análisis de von Mises, rodillo de accesorio inferior de flexión.

Pasador.

El pasador que se muestra a continuación es usado con el fin de evitar una libre rotación entre la placa base y el elemento de acople existente en el cabezal fijo, es decir, las cargas que se producen en este elemento son imperceptibles, sin embargo se ha realizado un análisis suponiendo que es este elemento quien soporta toda la carga aplicada en un ensayo hipotético donde se genere toda la capacidad de la máquina, produciéndose los siguientes resultados.

Para el estudio mediante la teoría de falla de von Mises y tomando una carga total de 200 kgf. distribuida sobre las superficies de apoyo en el pasador, se tiene un esfuerzo máximo de 297.5 MPa, y el factor de seguridad en este caso es de 1.1, lo que significaría que el elemento puede soportar estas cargas, si se aplican cargas mayores, el elemento puede fallar, pero como se mencionó anteriormente, la función que cumple el elemento no es la de soportar toda la carga sino de evitar la rotación, se puede usar este análisis como muestra de que el elemento puede servir también como seguridad para la máquina. Pues en el caso de que se produzca cargas de 500kgf. y sea el pasador junto con el

elemento fijo los que las soporte, este fallaría inmediatamente, y no se producirían daños sobre otro elementos o sobre la máquina en si.

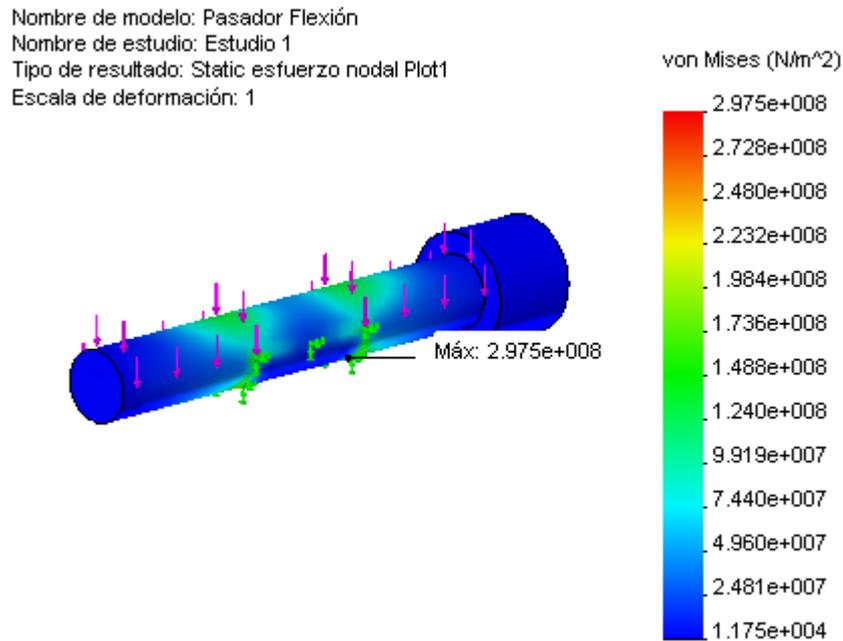


Figura 3.51. Análisis de von Misses, pasador de accesorio inferior de flexión.

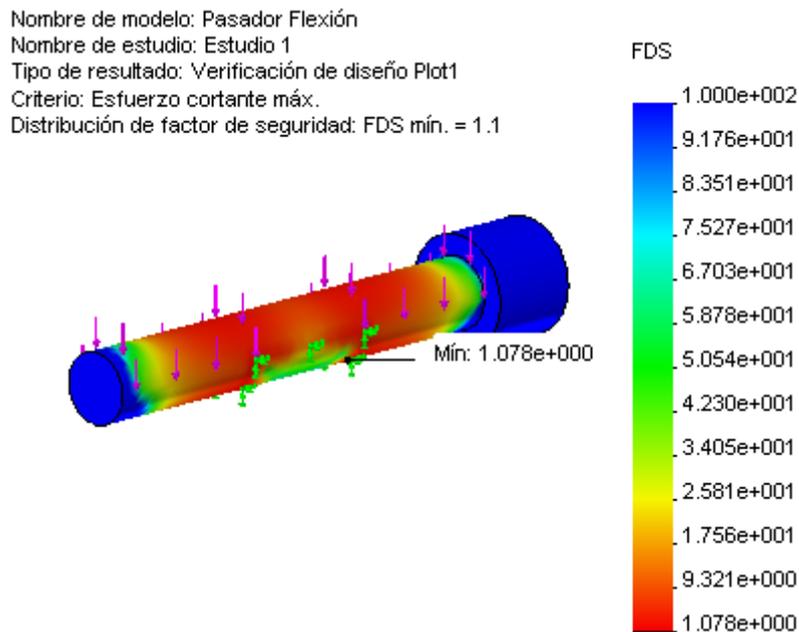


Figura 3.52. Factor de seguridad para análisis de von Misses, pasador de accesorio inferior de flexión.

Placas de sujeción.

Las placas de sujeción de rodillos en el accesorio inferior cumplen la misma función que para el caso del accesorio superior, es decir, son los encargados de asegurar a los rodillos para evitar su deslizamiento axial, y su diseño debe permitir una libre rotación de estos, pues la norma para accesorios de ensayo de flexión así lo requiere.

Lo mencionado anteriormente muestra que sobre las placas de sujeción no se producirán cargas superiores al peso de los elementos, en caso de traslado de accesorios o manipulación de estos para su adaptación en la máquina.

Los esfuerzos que se producen mediante la teoría de fallas de von Mises son en su valor máximo de 0.0161 MPa. y su factor de seguridad sobre puntos críticos es de 16000

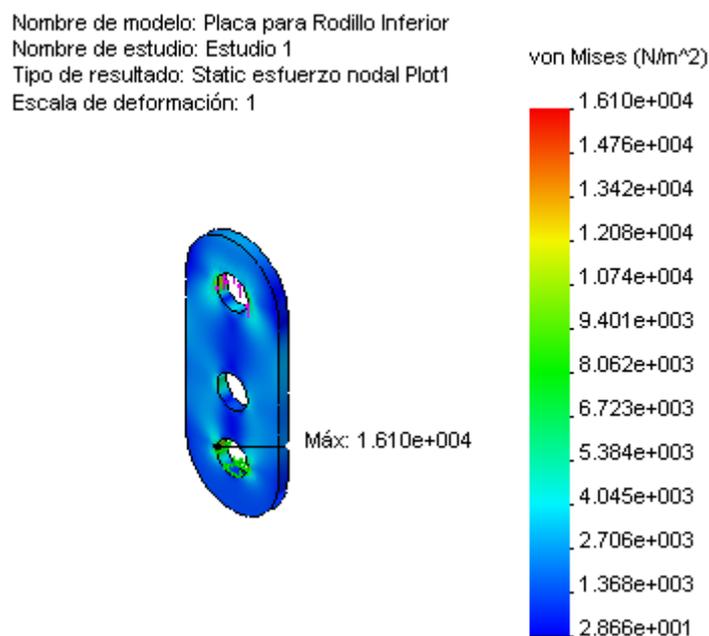


Figura 3.53. Análisis de von Mises, placas de sujeción de accesorio inferior de flexión.

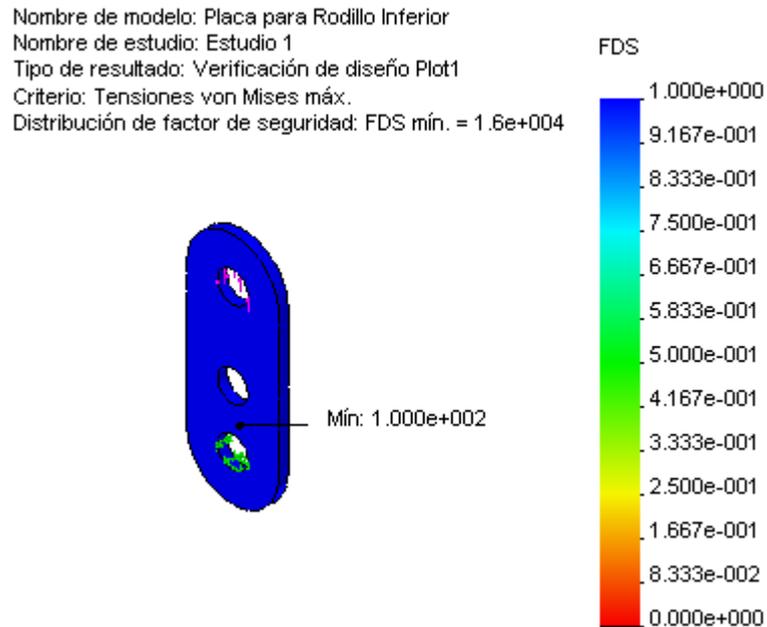


Figura 3.54. Factor de seguridad para análisis de von Misses, placas de sujeción de accesorio inferior de flexión.

3.4.2 SELECCIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL Y TRATAMIENTO ANTICORROSIVO.

3.4.2.1. Acabado superficial.

Se pretende dar un acabado superficial sobre el acero que se ha seleccionado para el estudio de accesorios, y el cual será usado posteriormente para la fabricación de estos. Para la elaboración se utilizará herramientas de corte de alta velocidad. Para definir el acabado superficial que se dará a cada elemento a construir, es necesario tomar en cuenta los diversos parámetros de maquinado.

En la industria ecuatoriana actual, los procesos de manufactura y en especial los procesos de corte de metal requieren de confiables indicadores de desempeño que garanticen la obtención de buenos resultados operativos.

El acabado superficial es uno de los indicadores de desempeño que tiene efecto sobre la aceptación o rechazo de un producto terminado. La uniformidad y calidad superficial de la pieza de trabajo se mide a través de su rugosidad superficial. La rugosidad superficial es el efecto de la combinación de materiales de trabajo, herramientas y parámetros de corte.

Los parámetros de maquinado que más afectan la rugosidad superficial de la pieza de trabajo para dar acabado superficial aceptable son: una herramienta de corte en buen estado, la velocidad de corte, la tasa de alimentación, la dureza del material, el uso de fluidos para corte, la vibración de la máquina herramienta y la profundidad de corte.

Fabricación por arranque de material

Taladrado, fresado, cepillado, torneado, son procesos de fabricación por arranque de material. Este tipo de procedimientos son los más utilizados y los que permiten una diversidad mayor de formas. En todos ellos la pieza se fabrica mediante una pérdida de material llamada viruta, resultado del corte de la pieza con una pieza cortante. Estos procesos para dar acabado superficial a un elemento mecánico se detallan a continuación:

TORNEADO.- El torneado se utiliza para la fabricación de piezas de revolución, la máquina que realiza la operación de torneado y sus variantes se llama torno. Permite pequeñas tolerancias y acabados superficiales buenos. Árboles, ejes, casquillos, mangos, bujes, etc., son piezas que normalmente se obtienen por torneado.

El torneado consiste en arrancar viruta por medio de un filo o herramienta que avanza longitudinalmente mientras la pieza que se va a mecanizar gira accionada por el torno.

El acabado superficial depende directamente de la velocidad de avance de la herramienta de corte y de la velocidad de giro del mandril del torno.

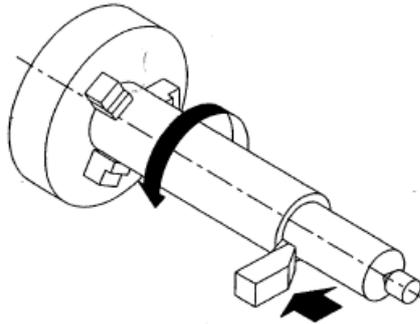


Figura 3.55.- Torneado.

El torneado puede ser interior o exterior. De esta forma se pueden realizar acciones tales como; cilindrado, refrentado, superficies cónicas, torneado de formas, y tallado de roscas.

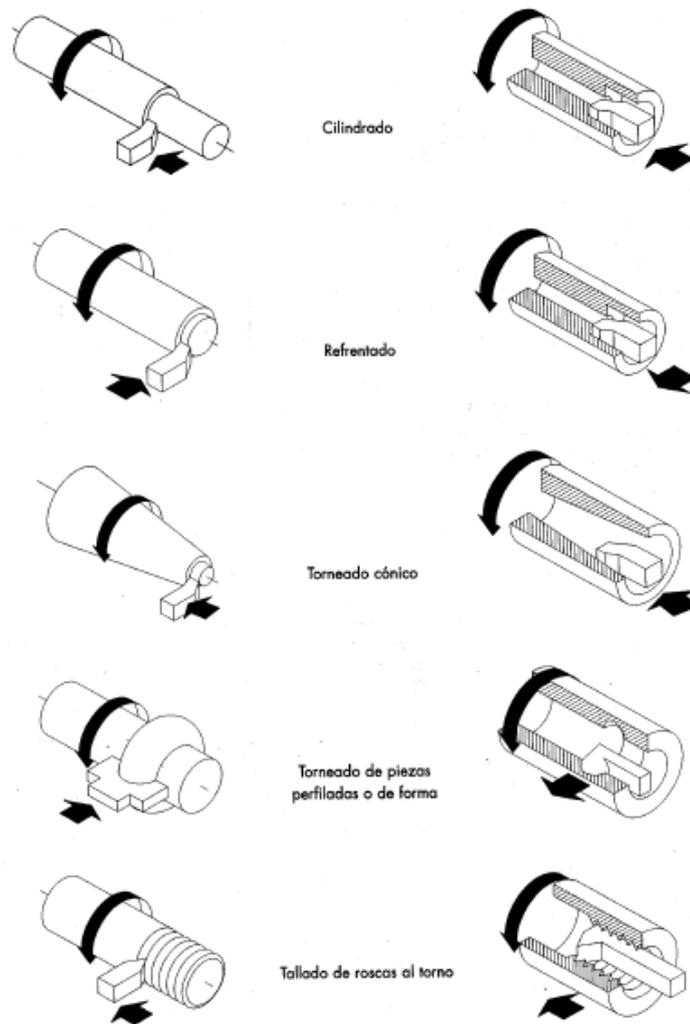


Figura 3.56. Tipos de torneado.

TALADRADO.- Por medio del taladro se pueden realizar agujeros pasantes o ciegos en las piezas. Éstos sirven como base para la sujeción de tornillos, roscas, remaches o para facilitar el engrase, etc. Como herramienta se emplean útiles de uno o varios filos llamados brocas.

En la operación de taladrado las brocas tienen un movimiento longitudinal de avance y uno de rotación, mientras que la pieza a taladrar permanece fija.

Existen máquinas especiales para realizar taladros denominadas taladradoras, aunque en ciertas ocasiones pueden utilizarse tornos.

Para dar un buen acabado superficial a la operación de taladrado se puede utilizar herramientas tales como un escariador que es el que permite obtener mejores resultados debido a su forma. El escariador es una herramienta de filos múltiples y rectos pero de irregular longitud para evitar el rayado del agujero.

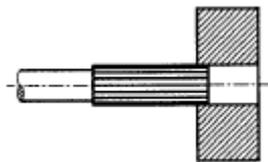


Figura 3.57.- Escariado.

CEPILLADO.- El cepillado de piezas es un procedimiento muy adecuado para obtener piezas prismáticas.

En ambas se utiliza una herramienta de un solo filo cuyo movimiento es discontinuo. El cepillado consiste en el movimiento de la pieza respecto a la herramienta de corte.

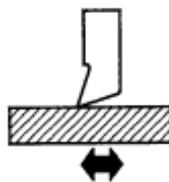


Figura 3.58.- Cepillado.

ESMERILADO.- El afilado de herramientas y el rectificado de piezas se realizan con una herramienta llamada muela o esmeril. Trata de eliminar las posibles irregularidades surgidas durante un mecanizado anterior y con ella se obtienen piezas con un buen acabado superficial.

Cuando el objetivo es obtener un buen acabado superficial la operación se llama rectificado, y se realiza en una rectificadora. El rectificado puede realizarse en interiores o exteriores de las piezas.



Figura 3.59.- Esmerilado.

3.4.2.2. Tratamientos anticorrosivos.

Para encontrar un tratamiento que se adapte a los accesorios de flexión para evitar una posible corrosión debida a sus condiciones de operabilidad, manipulación o condiciones ambientales, se ha encontrado diferentes alternativas descritas brevemente a continuación.

- Pavonado.
- Galvanizado.
- Zincado en frío.

Pavonado.

El pavonado consiste en la aplicación de una capa superficial de óxido abrigantado, de color azulado, negro o café, con el que se cubren las piezas de acero para mejorar su aspecto y evitar su corrosión.

Lo que se produce con este tratamiento es que al calentar el acero hasta alcanzar un tono azulado y sumergiéndolo en aceite, se aumente considerablemente su resistencia a la herrumbre.

Existen dos métodos de pavonado: el ácido y el alcalino. El ácido es sin duda el método que proporciona mejor calidad, durabilidad y aspecto. Pero requiere

mucho tiempo para lograr el resultado deseado. Se obtiene mediante la aplicación de ácidos que proporcionan una oxidación superficial de gran adherencia y durabilidad. En cambio el alcalino es mucho más fácil de lograr y en muy poco tiempo, por lo que es el método utilizado habitualmente.

Para obtener un buen pavonado se debe pulir homogéneamente la pieza a tratar. Después se debe desengrasarla sumergiéndola cinco minutos en un baño de sosa cáustica. A continuación se la aclara con abundante agua caliente.

Una vez preparada la pieza a pavonar la introduciremos, sin tocarla con las manos para que no se engrase de nuevo, en un recipiente exclusivamente de hierro, conteniendo una disolución de 300 g. de sosa cáustica (hidróxido de sodio) y 100 g. de nitrato de sodio en 400 cm³. de agua (preferentemente destilada) a 120° - 130°.

Mantendremos la pieza pavonando durante 30 minutos. Al término de los cuales aclararemos en agua hirviendo, secaremos y aceitaremos la pieza.

Galvanizado.

Se conoce como galvanizado al proceso electroquímico desarrollado por el cual se puede cubrir un metal con otro.

La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

Zincado en frío.

El recubrimiento electrolítico de zinc sobre superficies férricas, gracias al empleo del proceso de "zinc ácido", el zincado en frío es una de las posibilidades para obtener acabados decorativos sobre material, así como también un brillo apreciable a la vista. Este tratamiento tiene entre sus

principales características la gran resistencia anticorrosiva, alto brillo, excelente acabado, entre otros. El zincado electrolítico debido a su excelente relación prestaciones/precio, es utilizado como protector anticorrosivo en infinidad de aplicaciones. (Piezas o elementos automotrices, construcciones mecánicas, electrónica, etc.).

Existen otros tipos de recubrimiento que permiten dar protección al material, estos recubrimientos son electroquímicos y entre ellos se puede nombrar:

- Plateado.
- Cromado.
- Niquelado.

De los procesos vistos anteriormente para dar un acabado superficial a los elementos que se desea construir, se escogerá los más indicados según el elemento.

Para placas base, o elementos de sujeción de rodillos, se dará un acabado superficial mediante pulido sobre las superficies mediante limas finas y posteriormente se realizará un esmerilado fino para dar un acabado a estas superficies como se especifica en los planos respectivos.

Para elementos cilíndricos se procederá a realizar un torneado, tomando en cuenta que la velocidad de avance de la herramienta de corte permita un resultado de buen acabado superficial, y el necesario para obtener ajustes holgados como los especifica el diseño de los elementos y los planos respectivos.

Para rodillos, porta indentador, y bases cilíndricas se utilizará el mismo proceso de fabricación.

Se utilizará también el taladrado para los lugares donde se desee realizar agujeros, y posteriormente el terrajado y roscado permitirá obtener agujeros roscados para sujeción de los elementos o acople con otros accesorios.

Finalmente el tratamiento anticorrosivo que se necesita para estos elementos debe dar posibilidades de fácil y rustica manipulación, evitando que se

produzca la corrosión del material por factores ambientales, o del material en sí. De acuerdo a las condiciones de operación de estos elementos se procederá a realizar un pavonado de cada pieza.

3.5 ACCESORIOS PARA ENSAYO DE DUREZA.

DISEÑO DE ACCESORIOS PARA ENSAYO DE DUREZA.

Para el diseño de accesorios que se ubican en el elemento del cabezal fijo y en la celda de carga, hay que considerar los parámetros mencionados anteriormente.

Accesorio superior.

El acople se lo realizará directamente con la celda de carga tipo “S”, y la sujeción entre estos elementos es debida a una unión roscada ($\frac{1}{2}$ “ 20UNF), por lo que se debe diseñar la rosca para que su acople no tenga inconvenientes.

El accesorio superior para el ensayo de dureza consta de 3 piezas mecánicas:

- Indentador.
- Porta indentador.
- Esfera.

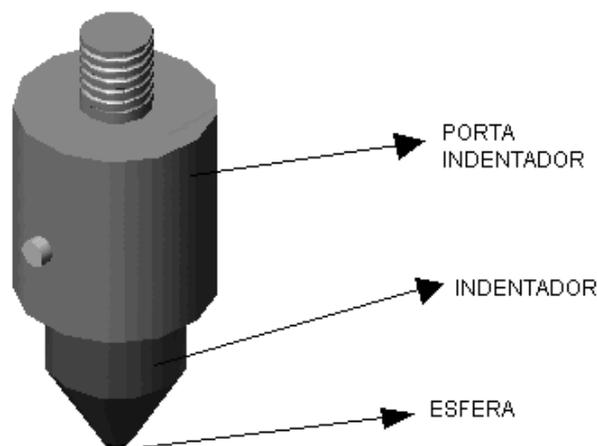


Figura 3.60. Esquema de elementos del accesorio superior de dureza.

Indentador.

El laboratorio de resistencia de materiales posee un indentador con una esfera de 5 mm. el cual será quien realizará la indentación en la muestra. Las dimensiones del indentador se presentan en la siguiente figura:

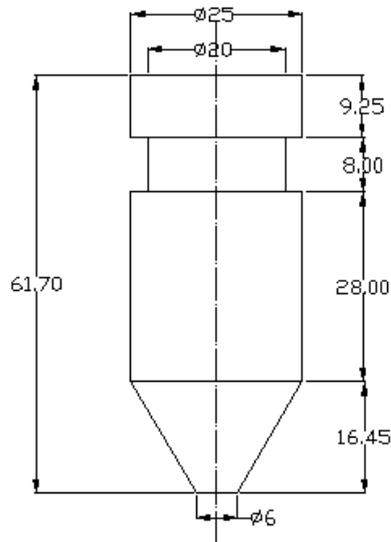


Figura 3.61. Dimensiones del indentador de 5 mm.

En el caso más crítico, este elemento soportaría una carga de 500 kgf. sobre la esfera, y por el otro estará sujetado por el elemento de acople. Esta fuerza se producirá cuando la máquina genere toda su capacidad.

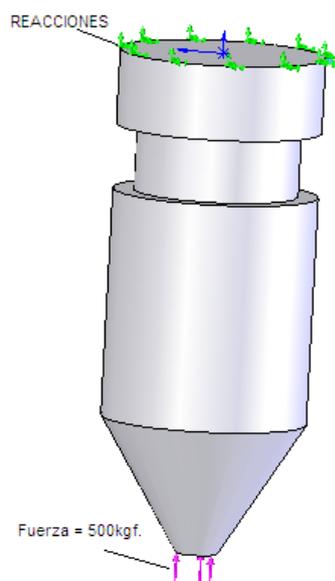


Figura 3.62. Cargas sobre el indentador del accesorio de dureza.

Porta Indentador.

La función de este elemento es de sujetar al indentador y de permitir la unión con la celda de carga tipo "S". Para sujetarlo al indentador se dispone de dos tornillos de $\frac{1}{4}$ " que atravesarán transversalmente al acople y que sujetarán al indentador en el diámetro de 20 mm,. Este accesorio presenta un diámetro interno de 25.3 mm. y de diámetro exterior de 36 mm. con una longitud de 38mm.

Para el acople con la celda de carga, este elemento presenta un tornillo de dimensiones $\frac{1}{2}$ " 20UNF y longitud de 15 mm. que se ajustará a la unión roscada de la celda.

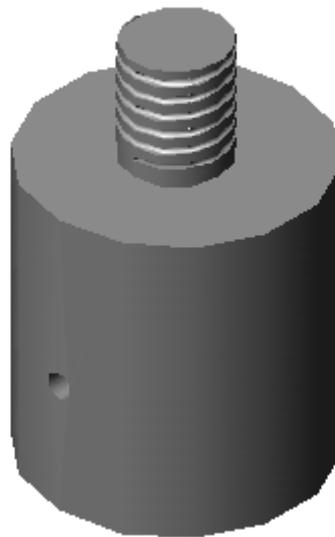


Figura 3.63. Esquema del acople de indentador de dureza.

La carga más crítica que soportaría este elemento es de 500 kgf sobre la cara interior, debido al indentador. La reacción que provoca este elemento está ubicada en la unión roscada.

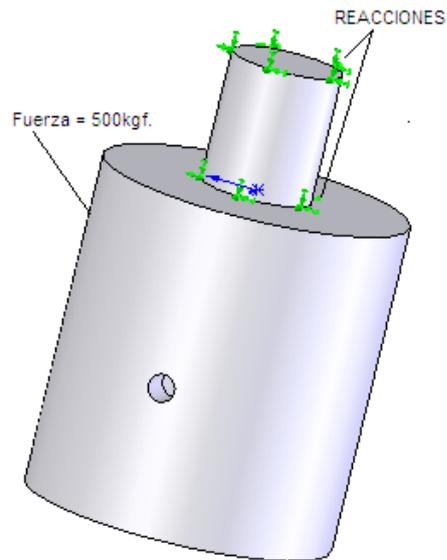


Figura 3.64. Cargas sobre el acople de indentador de dureza

Accesorio inferior

El accesorio inferior de dureza deberá acoplarse al elemento existente en el cabezal fijo, para ello se utilizarán dos elementos, los cuales son:

- Base porta muestras.
- Pasador.

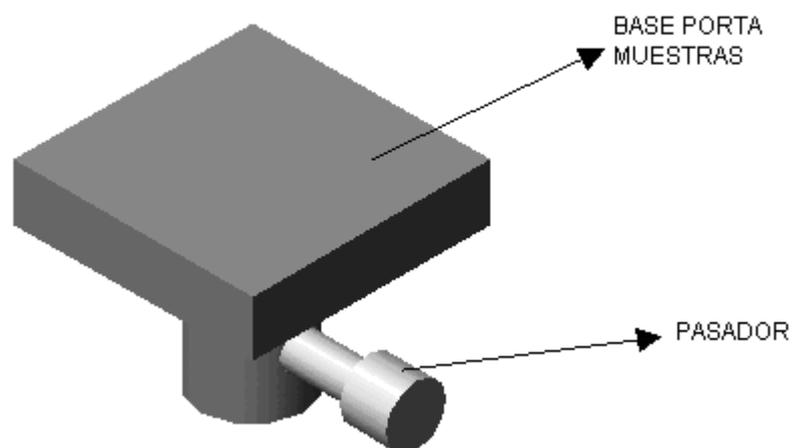


Figura 3.65. Esquema de elementos del accesorio inferior de dureza.

Base porta muestras.

Este accesorio es el encargado de soportar la muestra a la cual se va a ensayar y va acoplado al elemento del cabezal fijo, de acuerdo a la norma esta base es lo suficientemente amplia para que la probeta se pueda desplazar para las diferentes indentaciones. Es por ello que el área de la base porta muestras es de 25 mm^2 , y un espesor de 12 mm.

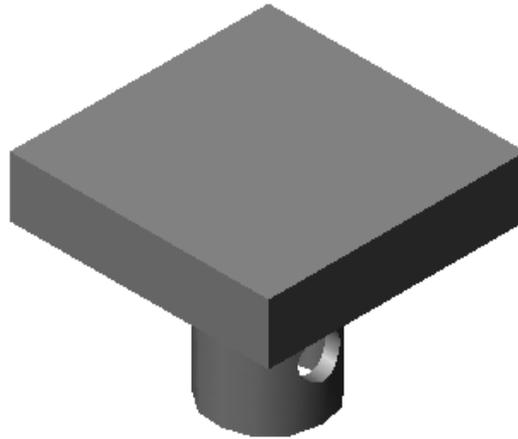


Figura 3.66. Esquema de la base porta muestras de dureza.

En el caso más crítico la carga que soporta este elemento es de 500 kgf. sobre toda el área de su cara superior. Debido a que la fuerza puntual que se transmite a la muestra, se distribuye sobre toda el área.

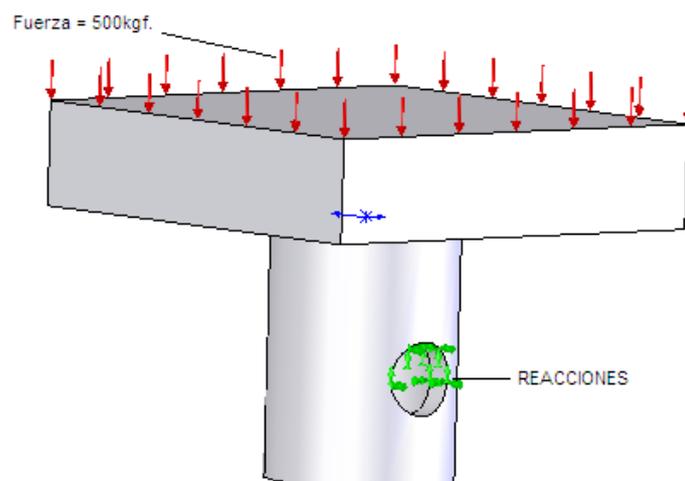


Figura 3.67. Cargas sobre la base del accesorio de dureza.

Pasador.

Este elemento evita la rotación de la base respecto al elemento del cabezal fijo, por ello los atraviesa transversalmente. El elemento no está sometido a ninguna carga. Sus dimensiones son de 8 mm. de diámetro por una longitud de 53 mm. En la siguiente figura se muestra un esquema del pasador.

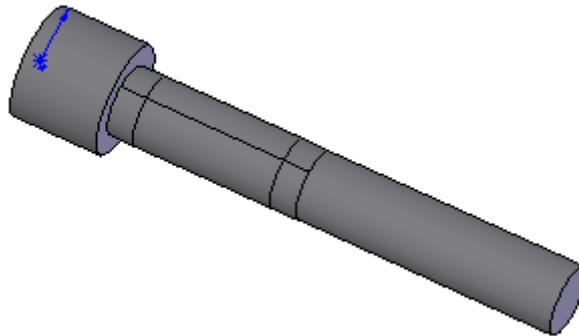


Figura 3.68. Esquema de pasador del accesorio de dureza.

3.5.1 ALTERNATIVAS EN SELECCIÓN DE MATERIALES.

Las alternativas de materiales para la construcción de accesorios de dureza, deben estar de acuerdo a los parámetros y normas para el diseño vistos anteriormente y a los resultados que se produzcan después de un análisis de esfuerzos en COSMOSWorks, pues de esta manera se certificará su funcionamiento al aplicarse carga críticas.

Al igual que para los accesorios de flexión, en este caso se seleccionará el acero como material para la construcción, y se buscará las propiedades de estos para seleccionar el que mejor se adapte a la aplicación a la que serán sometidos.

Según el diseño realizado, se requiere de materiales que se pueda conseguir en el mercado. La selección de materiales debe involucrar tanto planchas de acero de espesores definidos, como barras cilíndricas con diámetros específicos para construir un porta indentador y una base donde se colocarán

las probetas de ensayo. Se debe observar las aplicaciones, características y propiedades de cada alternativa de material.

Una vez observado y analizado las alternativas de materiales existentes en el mercado, se procede a seleccionar el material que se utilizará para el estudio y la construcción de accesorios.

La matriz de decisión utilizada para la selección de materiales en el ensayo de flexión evalúa diferentes parámetros, entre estos el de tener materiales de costo accesible, cuyas propiedades mecánicas se adapten a las exigencias de diseño y análisis, la dureza del material que es de mucha importancia para evitar errores en la recopilación de datos de un ensayo, disponibilidad del material seleccionado en el mercado, y la facilidad de maquinado con el fin de que la construcción sea más eficiente y precisa.

En esta matriz de decisión presentada en el ensayo de flexión se puede notar las mejores alternativas después de analizar cada punto considerado como parámetro de calificación. Por lo tanto los materiales que se utilizarán para la construcción y con los cuales se desarrollará el estudio de los accesorios serán:

- Acero ASTM A 36 (Platinas según dimensiones especificadas.)
- Acero AISI 1040 (Barras cilíndricas según diámetros especificados.)

Estos materiales seleccionados serán también utilizados para el análisis de esfuerzos al cual es sometido cada uno de los elementos de los accesorios para ensayo de dureza.

El análisis de comportamiento al aplicarse diversas cargas, se lo ha realizado para cada elemento por separado, tomando en cuenta cargas críticas que se producen en un ensayo. Los elementos se los realiza en el programa SOLID Works 2006, y la simulación de comportamiento se la realiza en COSMOS Works donde se puede seleccionar el tipo de material del elemento y el análisis que se realizará.

A continuación se procede a realizar el análisis de cada elemento de los accesorios de flexión para la máquina MTS TK/T5002.

Accesorio superior.

Indentador.

El indentador es el elemento que transmitirá la carga necesaria según el ensayo de dureza que se desea realizar, y lo hace mediante una bola de indentación de 5 mm de diámetro, descrita anteriormente en los parámetros de diseño. Este elemento en el caso más crítico, transmitirá una carga de 500kgf. cuando se genere la capacidad máxima en la máquina de ensayos universales., y la restricción que se tiene para el estudio es la cara superior, la cual estará en contacto total con el porta indentador.

Los resultados del análisis muestran que para la teoría de fallas de von Mises se tiene un esfuerzo máximo en el indentador de 188.4 MPa, y un factor de seguridad del material de 1.3.

En el gráfico se puede visualizar el comportamiento del indentador para cuando se apliquen cargas críticas; se puede ver que las áreas de color rojo son las que más esfuerzo sufren, y para este análisis se tiene un factor de seguridad que certifica el diseño y un correcto funcionamiento del elemento.

La deformación máxima de este elemento es de 0.0086 mm.

Nombre de modelo: Indentador
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 714.244

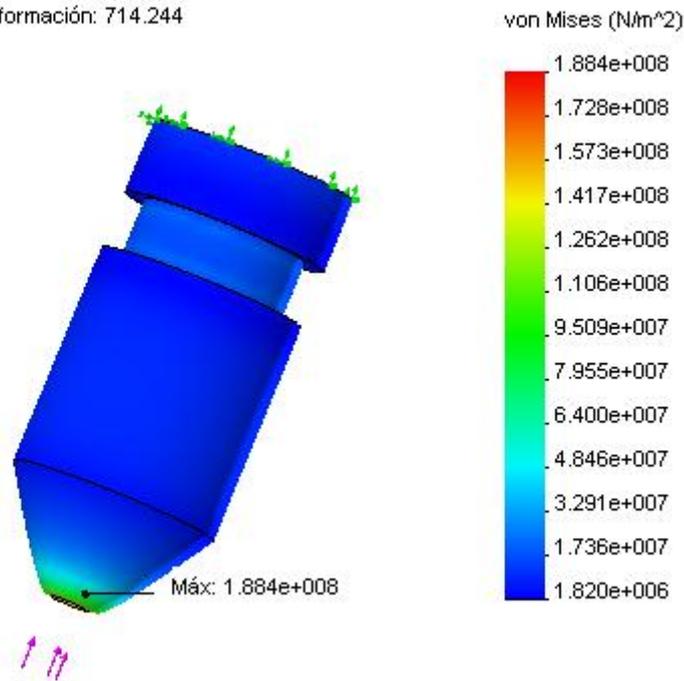


Figura 3.69. Análisis de von Misses, indentador de accesorio superior de dureza.

Nombre de modelo: Indentador
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 1.3

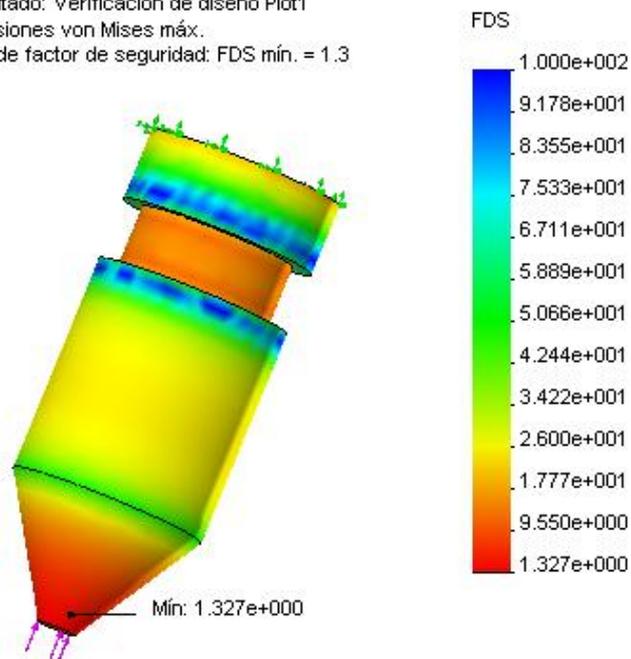


Figura 3.70. Factor de seguridad para análisis de von Misses, indentador de accesorio superior de dureza.

Porta indentador.

La función que cumple este elemento es la de sujetar y transmitir la carga al indentador, para que este a su vez aplique la fuerza necesaria sobre la probeta en análisis.

El estudio de este elemento se lo ha realizado mediante la teoría de fallas de von Mises aplicando una fuerza sobre la superficie de contacto entre el indentador y el porta indentador, y tomando como restricciones la superficie cilíndrica correspondiente al perno que será acoplado directamente a la celda de carga tipo "S", obteniendo así resultados de esfuerzo máximo de 52.47 MPa. y un factor de seguridad de 5.4.

La carga que soportaría este elemento es de 500 kgf. si se realiza un análisis con valores críticos iguales a la capacidad máxima de la máquina.

El estudio que se presenta a continuación muestra los valores máximos de esfuerzo. La deformación máxima que sufre este elemento es de 0.0015 mm.

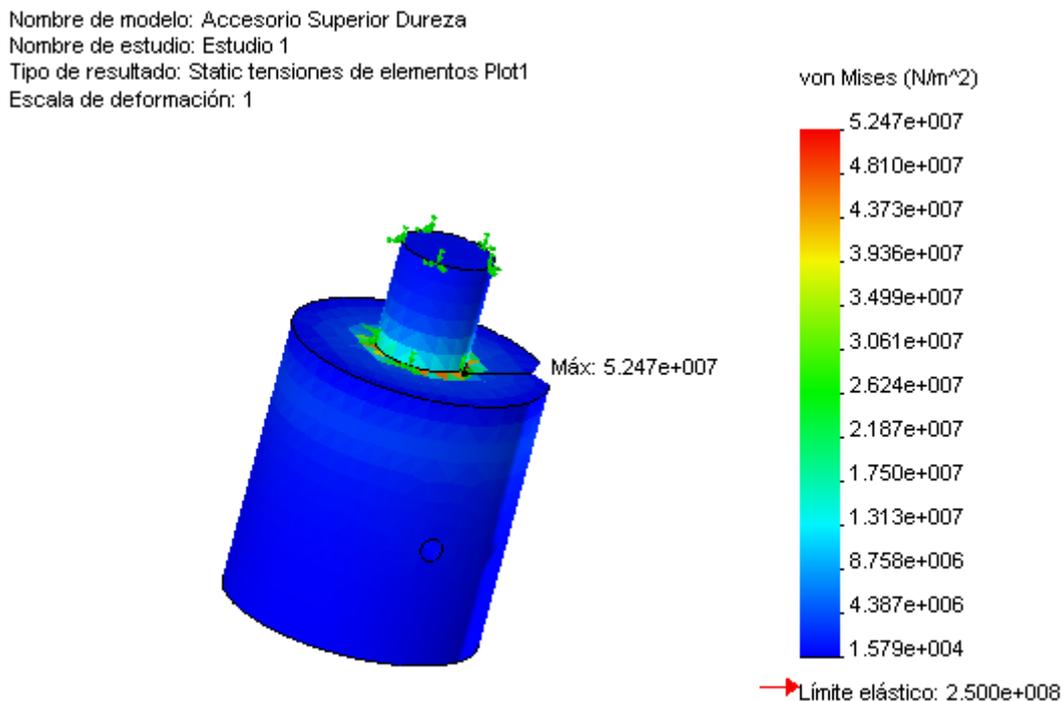


Figura 3.71. Análisis de von Mises, porta indentador de accesorio superior de dureza.

Nombre de modelo: Accesorio Superior Dureza
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 5.4

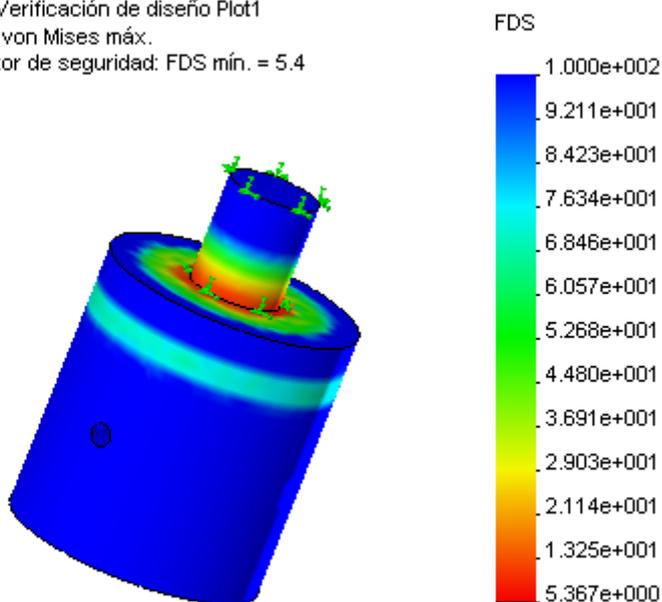


Figura 3.72. Factor de seguridad para análisis de von Mises, indentador de accesorio superior de dureza.

Accesorio inferior.

Base porta muestras.

Sobre este elemento se asentarán las probetas que posteriormente serán ensayadas, por lo tanto la capacidad máxima que podría soportar sería de 500 kgf. suponiendo transmisión completa de carga. De esta manera el estudio realizado mediante la teoría de fallas de von Mises muestra que el valor máximo de esfuerzo que se produce es de 107.6 MPa. aplicados sobre la base superior del elemento y cuyas restricciones se producen en la superficie donde se apoyaría con el pasador. El factor de seguridad para este caso es de 3.3 La deformación máxima que sufre este elemento es de 0.0073 mm.

Nombre de modelo: accesorio inferior dureza
Nombre de estudio: accesorio inf
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 1

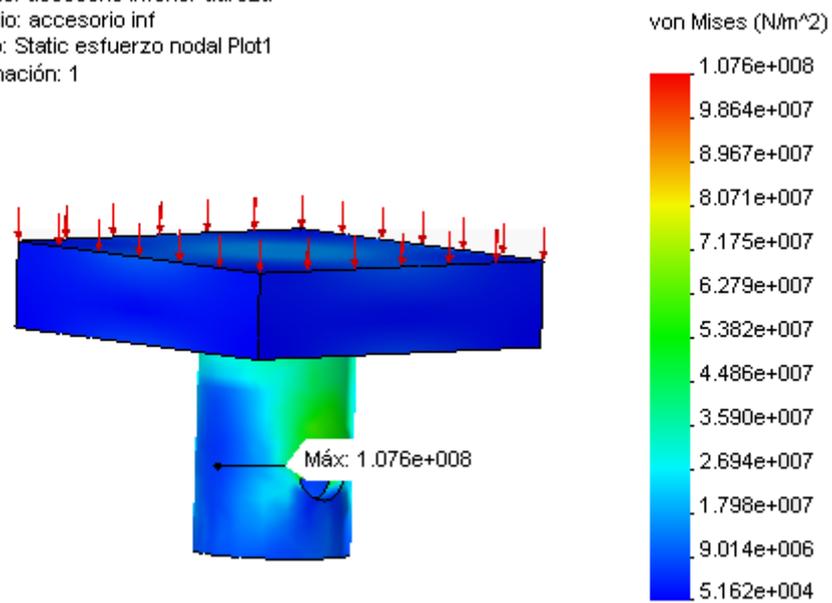


Figura 3.73. Análisis de von Mises, base porta muestras de accesorio inferior de dureza.

Nombre de modelo: accesorio inferior dureza
Nombre de estudio: accesorio inf
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 3.3

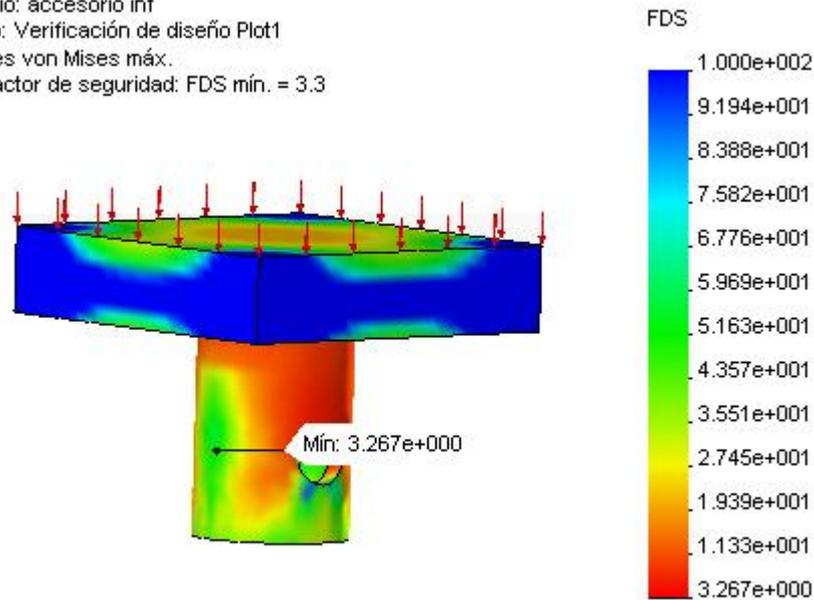


Figura 3.74. Factor de seguridad para análisis de von Mises, base porta muestras de accesorio inferior de dureza.

Pasador.

El pasador que se muestra en la siguientes figura es usado con el fin de evitar una libre rotación entre la base porta muestras y el elemento de acople existente en el cabezal fijo, es decir, las cargas que se producen en este elemento son imperceptibles, sin embargo se ha realizado un análisis suponiendo que es este elemento quien soporta toda la carga aplicada en un ensayo hipotético de dureza donde el valor máximo de exigido por la norma es de 375 kgf. y se distribuya esta carga sobre el pasador, produciéndose los siguientes resultados.

Para el estudio mediante la teoría de falla de von Misses y tomando una carga distribuida sobre las superficies de apoyo en el pasador, se tiene un esfuerzo máximo de 264.5 MPa, y el factor de seguridad en este caso es de 1.2, lo que significaría que el elemento puede resistir estas cargas para un ensayo de dureza, y en el caso de que se produzca una carga mayor por cualquier motivo, el elemento que falle sería el pasador por lo que se daría seguridad al resto de elementos de la máquina y accesorios; por lo que se acepta el diseño.

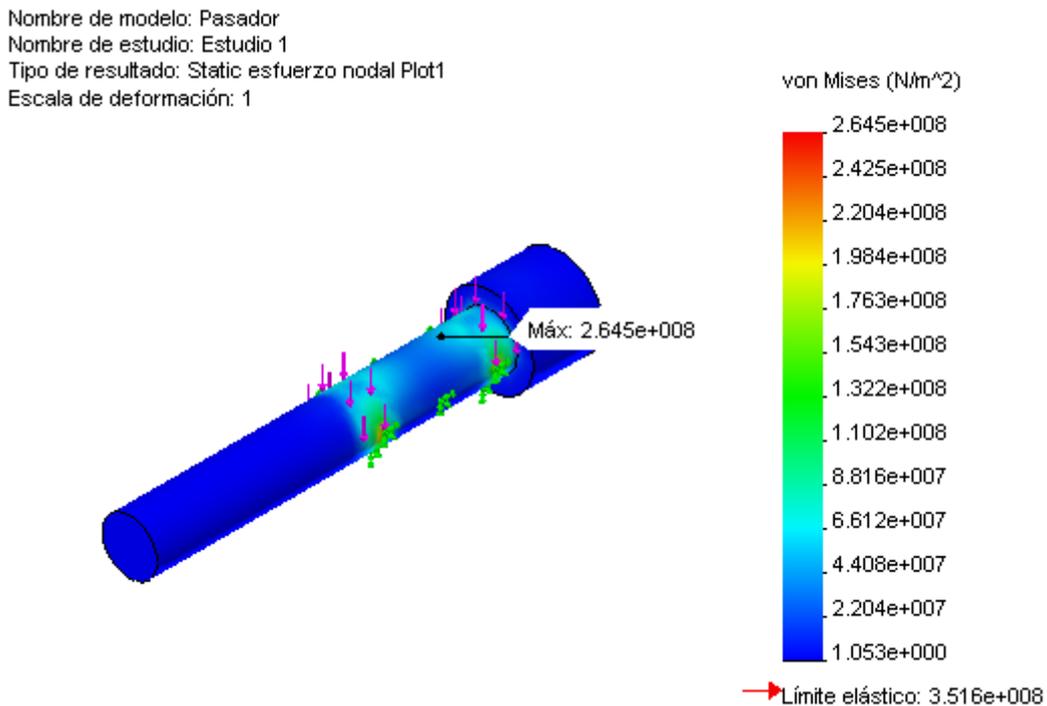


Figura 3.75. Análisis de von Misses, pasador de accesorio inferior de dureza.

Nombre de modelo: Pasador
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Esfuerzo cortante máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 1.2

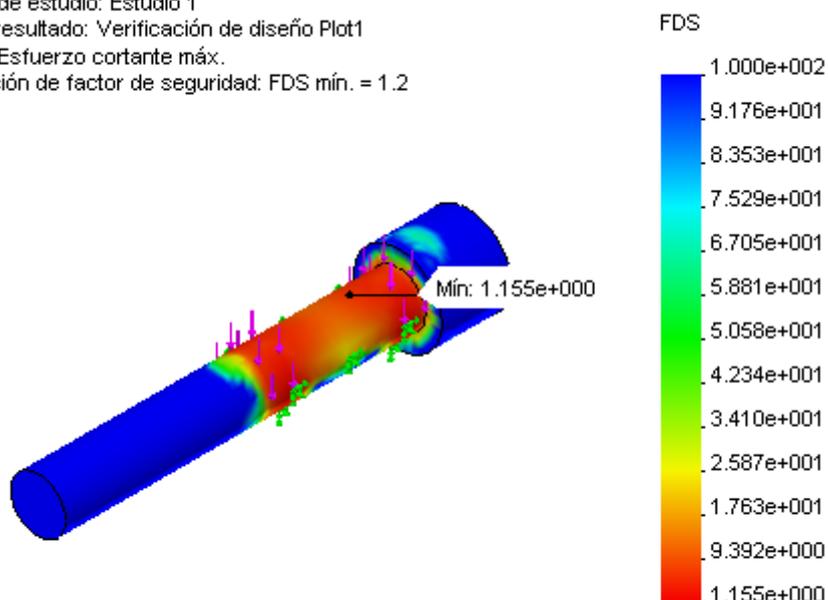


Figura 3.76. Factor de seguridad para análisis de von Mises, pasador de accesorio inferior de dureza.

3.5.2 SELECCIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL Y TRATAMIENTO ANTICORROSIVO.

3.5.2.1. Acabado superficial.

Se debe seleccionar un acabado superficial sobre el acero que se ha seleccionado para el estudio de accesorios, y que posteriormente será usado para su fabricación.

Como se mencionó anteriormente para el acabado superficial y tratamiento anticorrosivo en el ensayo de flexión, en este caso los elementos que conforman los accesorios para ensayo de dureza, requieren de acabados muy parecidos para la construcción de piezas mecánicas, así por ejemplo para el caso de los elementos cilíndricos se usará el torneado tomando en cuenta los parámetros que afectan al acabado superficial, entre estos el avance del la

herramientas de corte, o la velocidad de giro de la pieza en construcción, profundidad de corte, los cuales permitirán un mejor acabado de las piezas.

Se utilizará también el taladrado para realizar agujeros, y posteriormente el machuelado o roscado permitirá obtener roscas para sujeción de los elementos o acople con otros accesorios.

Un esmerilado sobre las placas de sujeción para evitar una mala sujeción de los rodillos, que puedan perjudicar su funcionamiento o los resultados esperados.

Los procesos más utilizados para dar acabado superficial a un elemento mecánico se enumeran a continuación:

- Torneado.
- Taladrado.
- Cepillado.
- Esmerilado y Pulido.

3.5.2.2. Tratamientos anticorrosivos.

Al igual que para los accesorios del ensayo de flexión, en este caso se debe dar el mismo tratamiento al material en cuanto a la protección contra la posible corrosión que pueda sufrir por factores como condiciones ambientales, condiciones de uso y manipulación, etc. Por lo tanto se escogerá el pavonado como tratamiento anticorrosivo, tanto para el porta indentador como para la base porta muestras y el pasador.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN Y DUREZA.

La construcción de los accesorios de flexión y dureza requiere diversas técnicas de maquinado fundamentales las cuales son:

- Torneado.
- Taladrado.
- Oxicorte.
- Soldadora SMAW.

Torneado.- Permite la eliminación del material por el giro de la pieza con buenos acabado superficial. Las operaciones que se requiere utilizar en el torno son: cilindrado, refrentado, roscado: para la obtención de roscas o tornillos sean interiores o exteriores respectivamente.

Taladrado.- Es un proceso en el cual existe desprendimiento de viruta, se utiliza para realizar agujeros redondos, y las herramientas que utiliza son las brocas.

Oxicorte.- Es un proceso para cortar un material. El corte se lo realiza quemando el metal a medida que se avanza con un soplete. Para que exista la combustión son necesarios tres requisitos: el combustible es el Fe, el comburente el O₂, y el agente iniciador la llama del soplete.

Soldadora SMAW.- En este proceso de soldadura también llamado Manual Metal Arc (MMA), se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto. Con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión en el material de base.

Para explicar la construcción de los accesorios se utiliza los diagramas de procesos, en los cuales se especifica la secuencia de operaciones con sus respectivas instrucciones para la elaboración de los accesorios, en ello también

se incluye los materiales a utilizar, las especificaciones de las partes y el tiempo de operación e inspección.

Para estos diagramas se emplea los símbolos más utilizados de acuerdo al ASME.

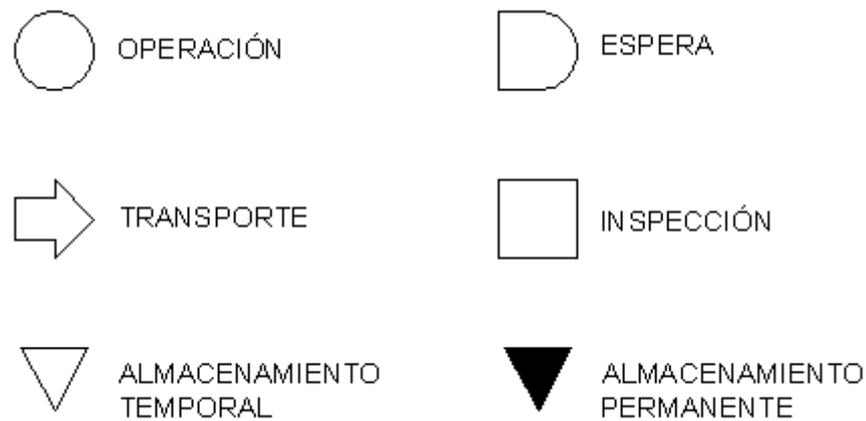


Figura 4.1. Símbolos ASME utilizados para los diagramas de procesos.

4.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS PARA ENSAYO DE FLEXIÓN.

La construcción de los accesorios de flexión esta constituida por dos partes: el accesorio superior e inferior de flexión, los cuales se va a detallar la construcción de cada uno de los elementos que los conforman.

4.1.1. ACCESORIO SUPERIOR DE FLEXIÓN.

El accesorio superior de flexión requiere la construcción de los siguientes elementos:

- Rodillo.
- Porta rodillo superior.
- Platinas de sujeción.
- Tornillo de sujeción.

4.1.1.1 Construcción de rodillo.

Para la construcción de este elemento fue necesaria la adquisición de materia prima de un acero AISI1040 de $\varnothing 1'' \times 70$ mm., el cual requirió 60 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

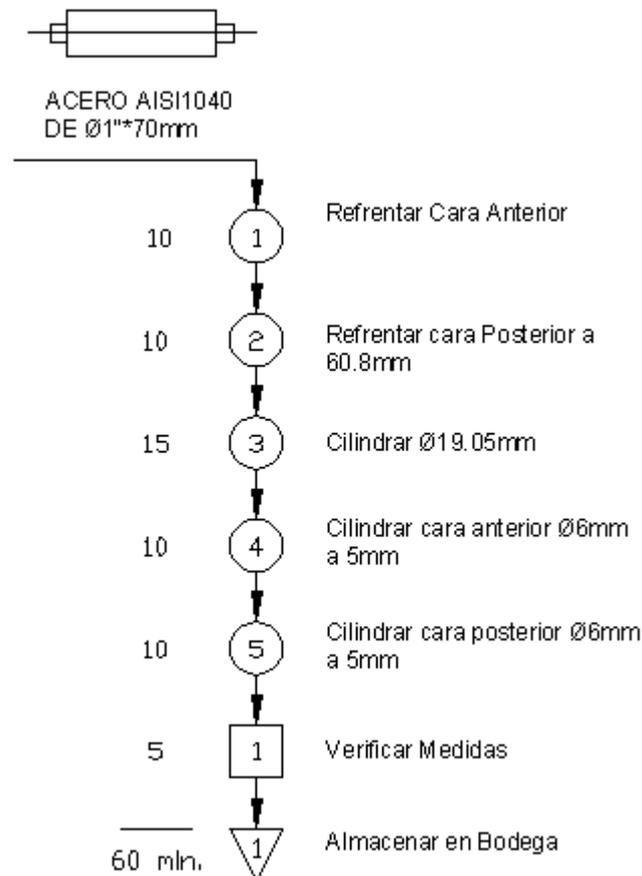


Figura 4.2. Diagrama de procesos del rodillo de carga.

4.1.1.2. Construcción de porta rodillo superior.

Para la construcción de este elemento fue necesaria la adquisición de materia prima de un acero A36 de 40 mm. $\times 2'' \times 3/4''$, El cual requirió 110 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

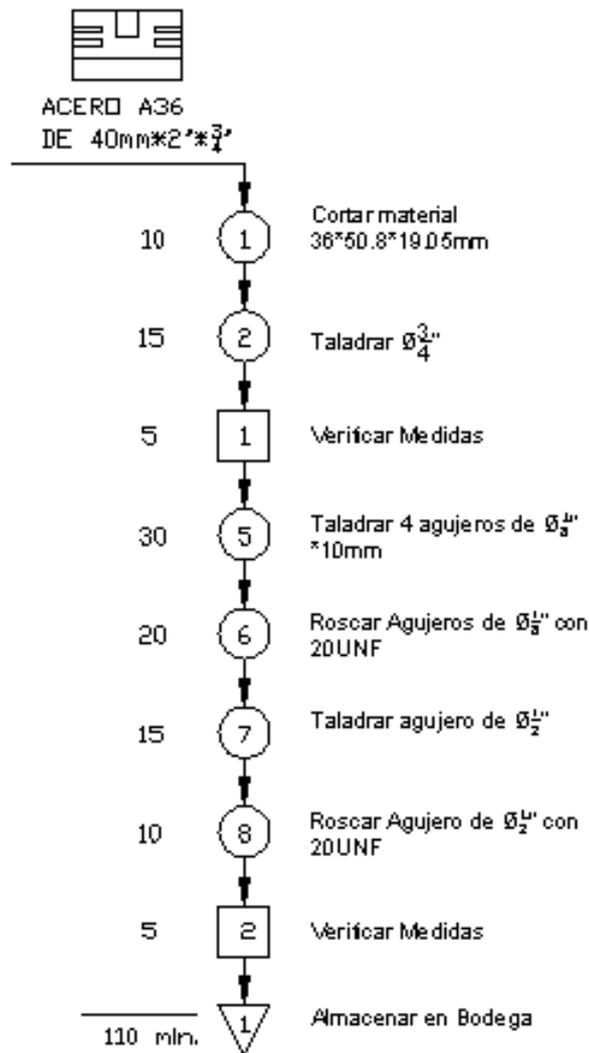


Figura 4.3. Diagrama de procesos del porta rodillos superior.

4.1.1.3. Construcción de platinas de sujeción.

Se requiere la fabricación de dos placas. Para la construcción de cada placa es necesaria la adquisición de materia prima de un acero A36 de 50*20*3 mm. La construcción de las placas requirió 70 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

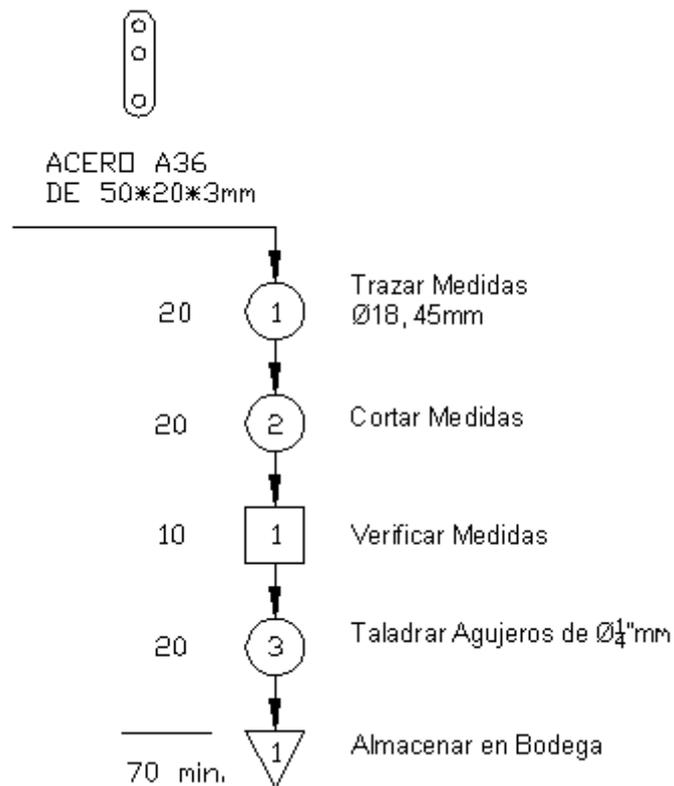


Figura 4.4. Diagrama de procesos de las placas de sujeción del accesorio superior de flexión.

4.1.1.4. Construcción de tornillo de sujeción.

Para la construcción de este elemento fue necesaria la adquisición de materia prima de un acero AISI1040 $\varnothing 15$ mm.*40 mm. El cual requirió 110 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

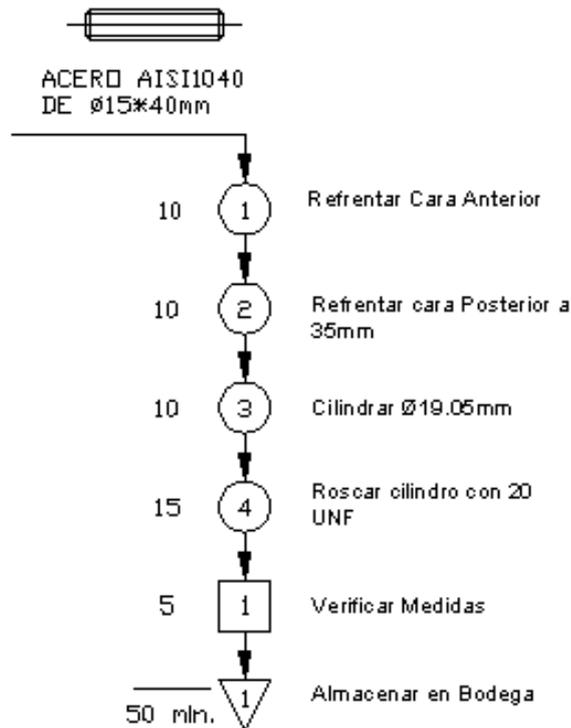


Figura 4.5. Diagrama de procesos del tornillo de sujeción del accesorio superior de flexión.

4.1.2. ACCESORIO INFERIOR DE FLEXIÓN.

El accesorio inferior de flexión requiere la construcción de los siguientes elementos:

- Placa base,
- Porta rodillo inferior.
- Rodillo de apoyo.
- Placas de sujeción.

4.1.2.1. Construcción de placa base.

La fabricación de este elemento se lo realiza con de la unión de cuatro piezas un cilindro, una placa horizontal y dos placas laterales, utilizando un proceso de soldadura, el tiempo requerido para la fabricación de la placa base es de 290 minutos.

Para la construcción del cilindro se requiere adquirir un acero AISI1040 cuyas dimensiones son de 2¼" x 75 mm. y además fue necesario operar durante 135 minutos el elemento para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

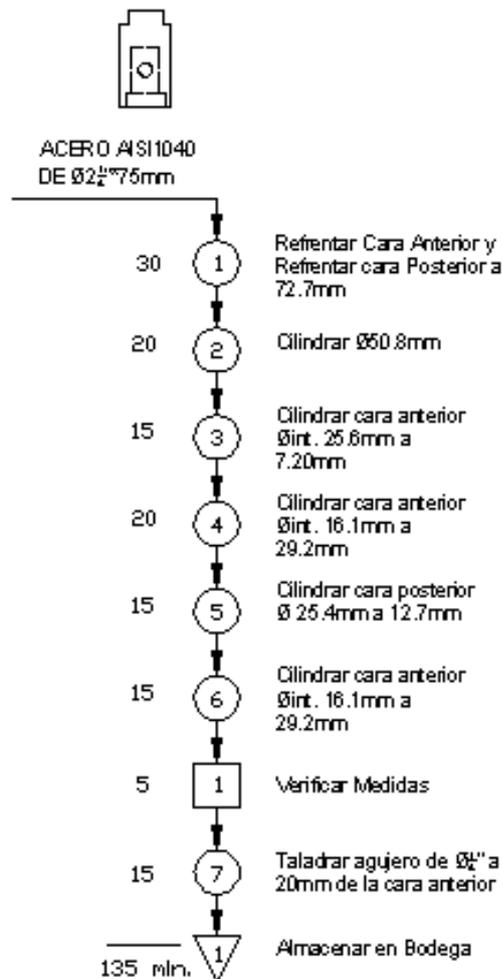


Figura 4.6. Diagrama de procesos del cilindro de la placa base.

Para la construcción la placa horizontal es necesario adquirir un acero A36 de 280 mm. x 2" x ½", y se requirió 45 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

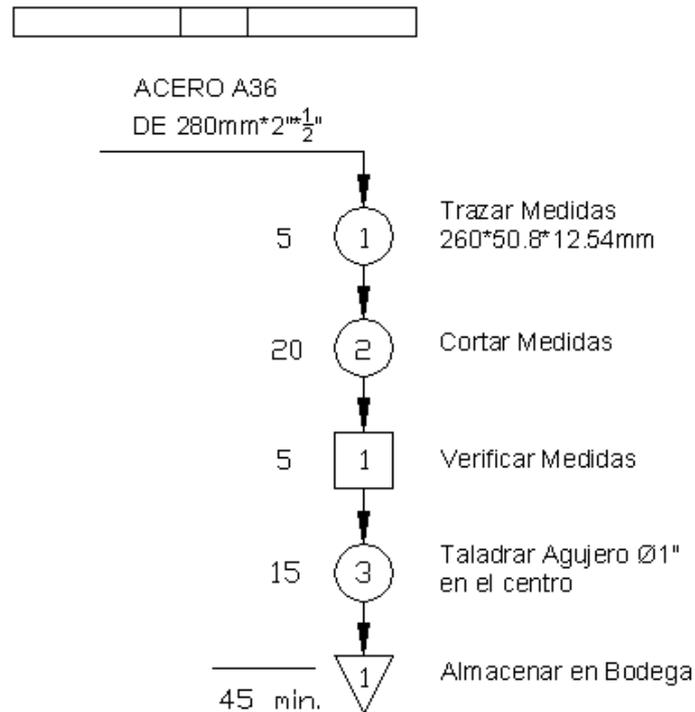


Figura 4.7. Diagrama de procesos de la placa horizontal de la placa base.

Para la construcción de las placas laterales se requiere adquirir un acero A36 de 110 mm. x 70 mm. x 1/2 " para cada pieza. La fabricación de las dos placas se la realiza en un tiempo de 90 minutos. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

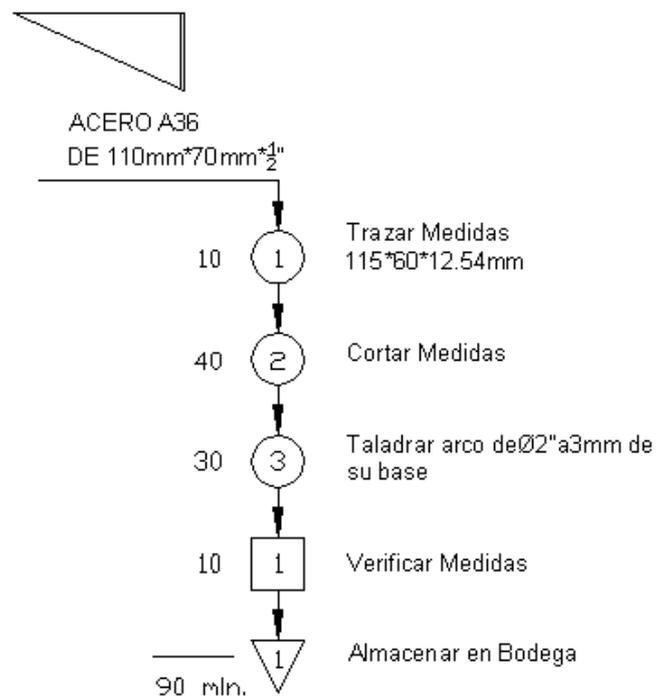


Figura 4.8. Diagrama de procesos de las placas laterales de la placa base.

El ensamble de todas las piezas requiere un tiempo de 65 minutos y la unión de las piezas se lo realizó a través del proceso de soldadura SMAW. El siguiente diagrama de procesos demuestra la secuencia de cómo se realizó el ensamble.

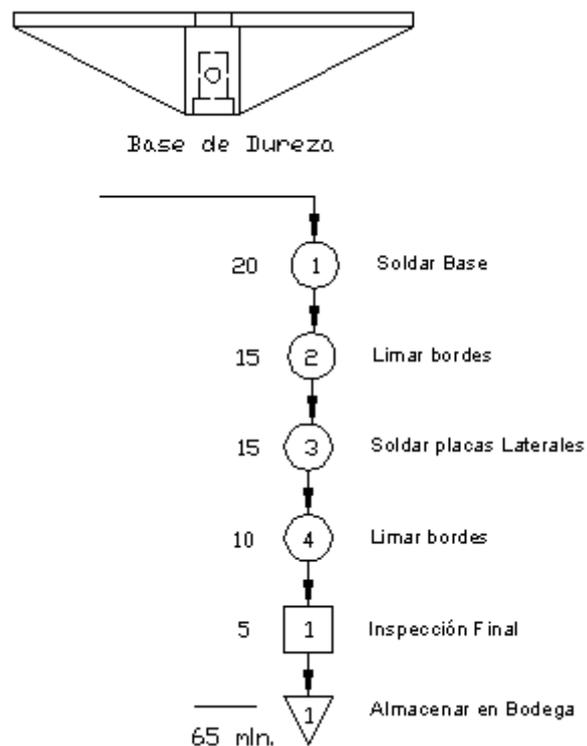


Figura 4.9. Diagrama de procesos de la unión de los elementos de la placa base.

4.1.2.2. Construcción de porta rodillos inferiores.

Se requiere la fabricación de dos porta rodillos inferiores. Para la construcción de cada porta rodillos es necesaria la adquisición de materia prima; se usará un acero A36 de 65 mm. x 2 ½" x ¾ ". La construcción de las placas fue elaborada en un tiempo de 70 minutos. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

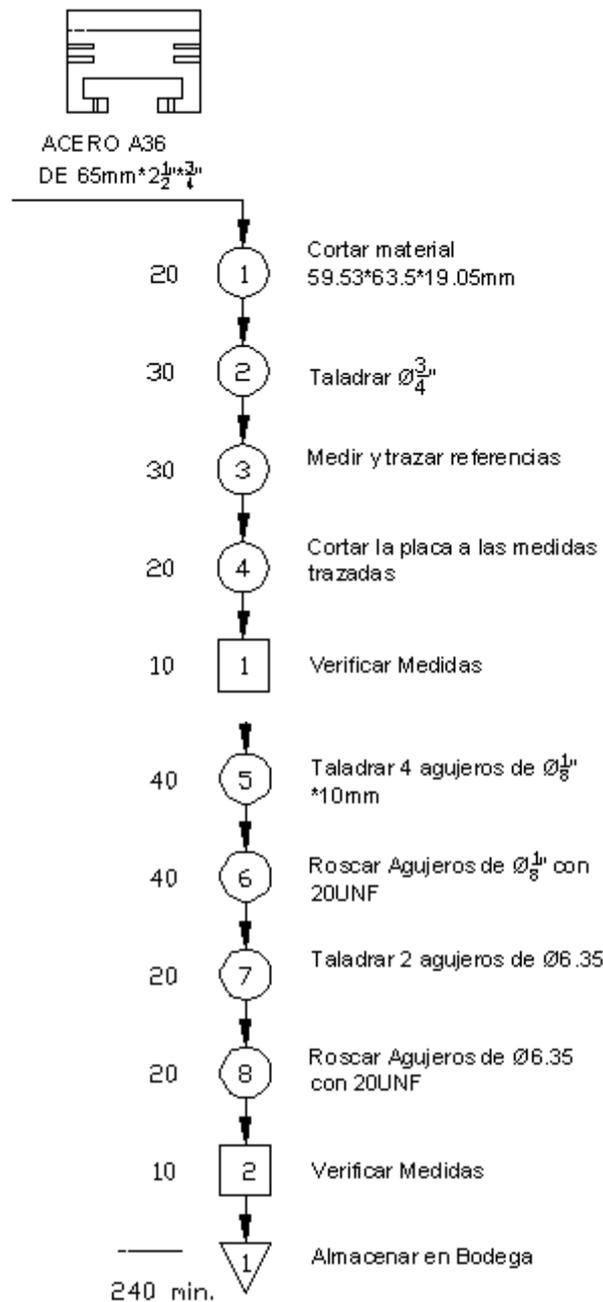


Figura 4.10. Diagrama de procesos de porta rodillos inferior.

4.1.2.3. Construcción de apoyos de rodillo.

Se requiere la fabricación de dos rodillos de apoyo. Para la construcción de cada rodillo es necesaria la adquisición barras cilíndricas de un acero AISI1040 de $\varnothing 1"$ x 80 mm. de longitud. La construcción de los dos rodillos requirió 120 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

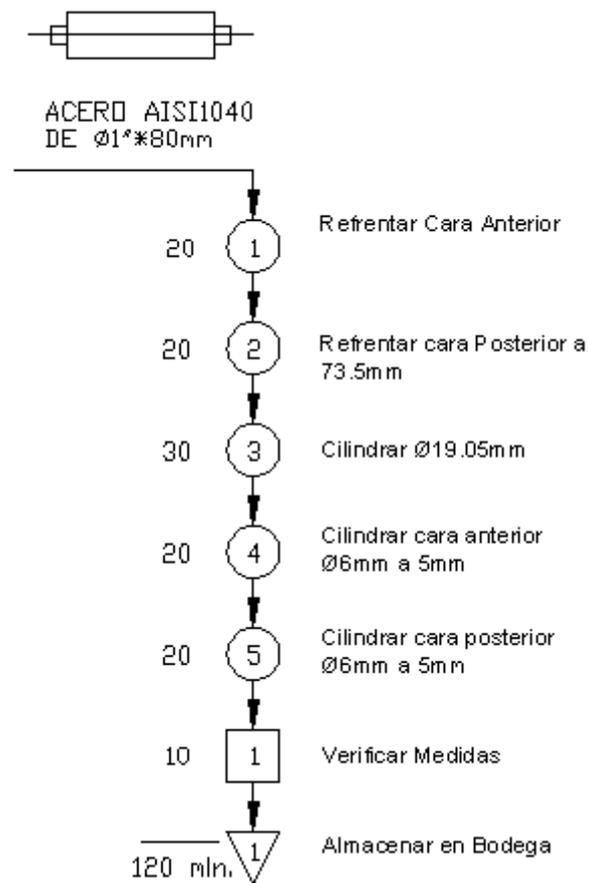


Figura 4.11. Diagrama de procesos de los apoyos de rodillos.

4.1.2.4. Construcción de platinas de sujeción.

Se requiere la fabricación de cuatro placas. Para la construcción de cada placa es necesaria la adquisición de platinas de un acero A36 de 50 x 20 x 3 mm. La construcción de las placas requirió 70 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

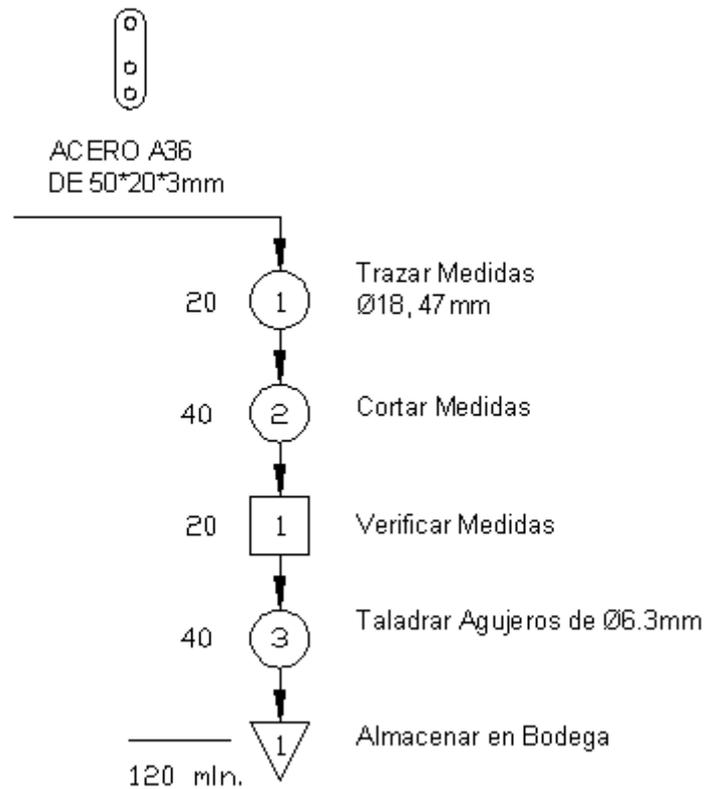


Figura 4.12. Diagrama de procesos de las placas de sujeción del accesorio inferior de flexión.

4.2. CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS PARA ENSAYO DE DUREZA.

4.2.1. ACCESORIO SUPERIOR DE DUREZA.

El accesorio superior de dureza requiere la construcción del porta indentador que se acoplará al indentador que posee el laboratorio de resistencia de materiales.

4.2.1.1. Construcción de porta indentador.

Para la construcción de este elemento fue necesaria la adquisición de materia prima de un acero AISI1040 de $\varnothing 1\frac{1}{2}$ " y 60 mm. de longitud, y se requirió 90 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

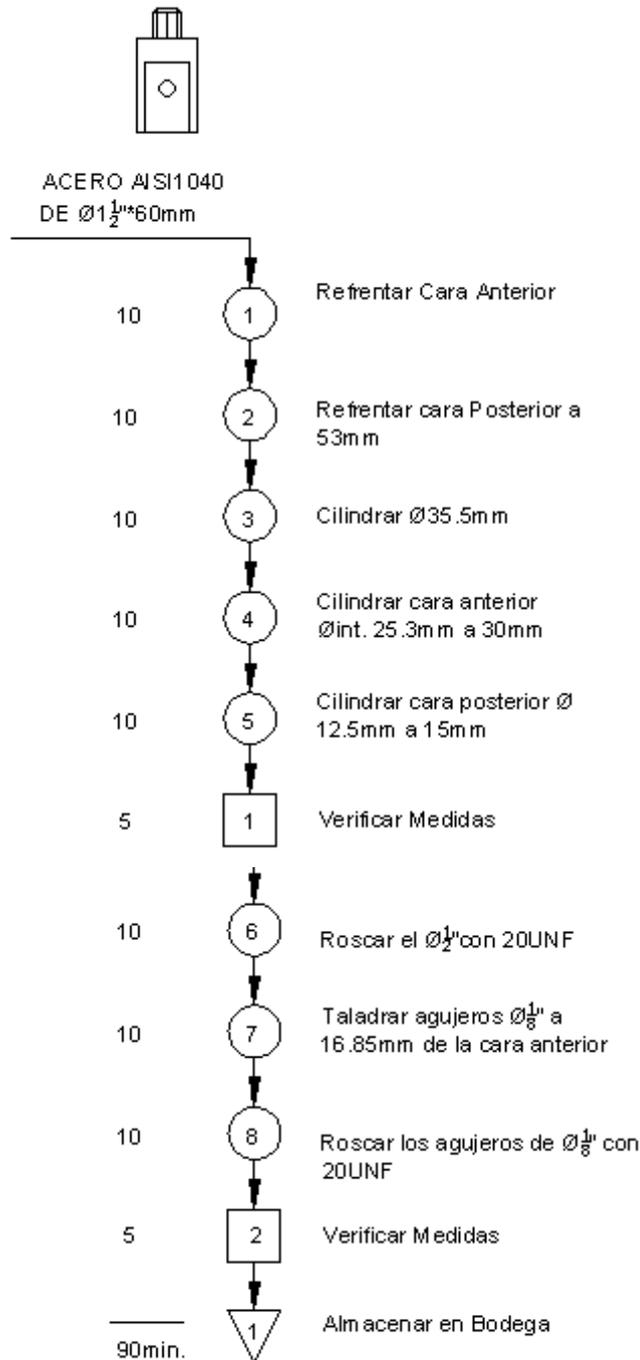


Figura 4.13. Diagrama de procesos del porta indentador.

4.2.2. ACCESORIO INFERIOR DE DUREZA.

El accesorio inferior de dureza requiere la construcción de los siguientes elementos:

- Base porta muestras
- Pasador

4.2.2.1. Construcción de base porta muestras.

La fabricación de este elemento se lo realiza con la unión de dos piezas: un cilindro y una placa base utilizando un proceso de soldadura, el tiempo requerido para la fabricación de la placa base es de 130 minutos.

Para la construcción del cilindro se requiere adquirir un acero AISI1040 con unas dimensiones de 2 ½" x 50 mm. y su fabricación requirió 55 minutos. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

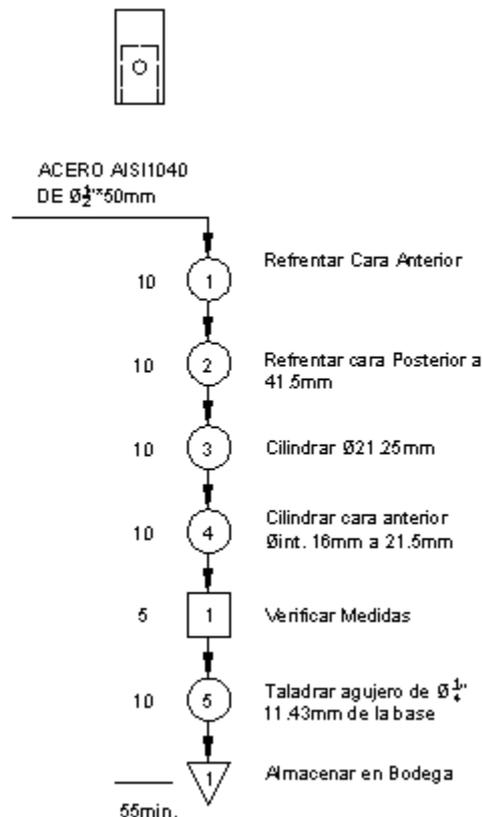


Figura 4.14. Diagrama de procesos del cilindro de la base porta muestras.

Para la construcción la placa base se requiere adquirir una platina de acero A36 de 2" x 2" x 1/2 ". y se requirió 35 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

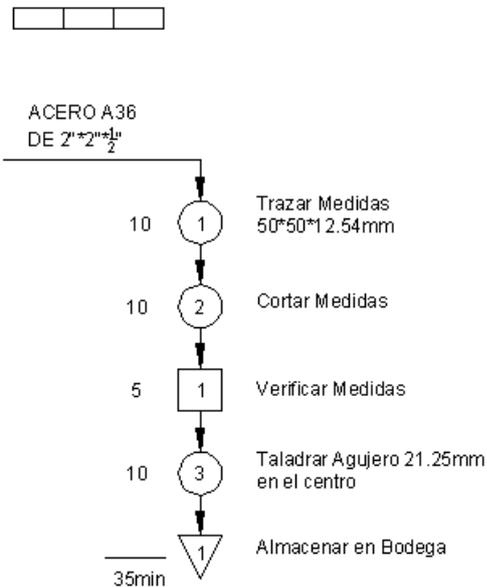


Figura 4.15. Diagrama de procesos la placa base de dureza.

El ensamble de todas las piezas demora un tiempo de 40 minutos y la unión de las piezas se lo realizó a través del proceso de soldadura SMAW. El siguiente diagrama de procesos demuestra la secuencia de cómo se realizó el ensamble.

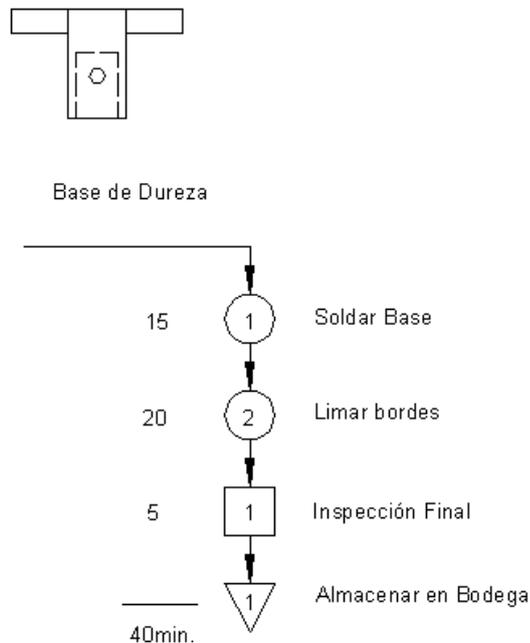


Figura 4.16. Diagrama de procesos la unión de los elementos de la placa porta muestras.

4.2.2.2. Construcción de pasador.

Para la construcción de este elemento fue necesaria la adquisición de materia prima de un acero AISI1040 de $\varnothing 3/4"$ *65mm. El cual requirió 55 minutos para su fabricación. El proceso de construcción se lo demuestra con el siguiente diagrama de procesos:

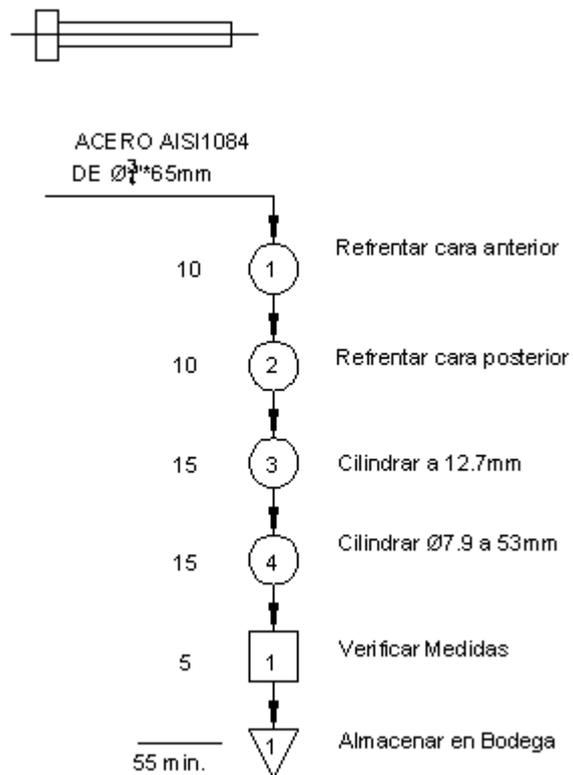


Figura 4.17. Diagrama de procesos del pasador.

4.3. MONTAJE DE ACCESORIOS EN MÁQUINA MTS TK/T5002.

4.3.1. MONTAJE DE ACCESORIOS DE FLEXIÓN.

El montaje de los accesorios de flexión requiere el ensamble del accesorio inferior de flexión en el elemento del cabezal fijo y el ensamble del accesorio superior de flexión en la unión roscada de $\frac{1}{2}$ " 20 UNF de la celda de carga tipo "S". A continuación se detalla en montaje de cada uno de estos accesorios en la máquina MTS TK/T5002.

4.3.1.1. Montaje de accesorio superior de flexión.

Para la unión de los elementos del accesorio superior de flexión se utilizó cuatro pernos de $\frac{1}{4}$ " y su acople se muestra en la siguiente figura:

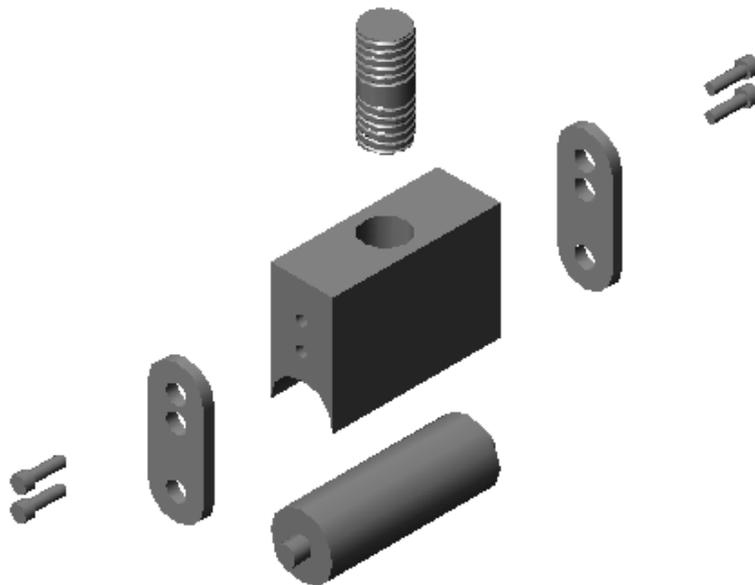


Figura 4.18. Despiece de los elementos del accesorio superior de flexión.

Realizado el ensamble de los elementos del accesorio superior de flexión estos se acoplan a la celda de carga tipo "S" a través de la unión roscada que

presenta, este acople se lo realiza por medio del tornillo que tiene el accesorio superior.



Figura 4.19. Montaje del accesorio superior de flexión en la máquina MTS TK/T5002.

4.3.1.2. Montaje de accesorio inferior de flexión.

Para la unión de los elementos del accesorio inferior de flexión se utilizó doce pernos de $\frac{1}{4}$ ” y la unión se muestra en la siguiente figura:

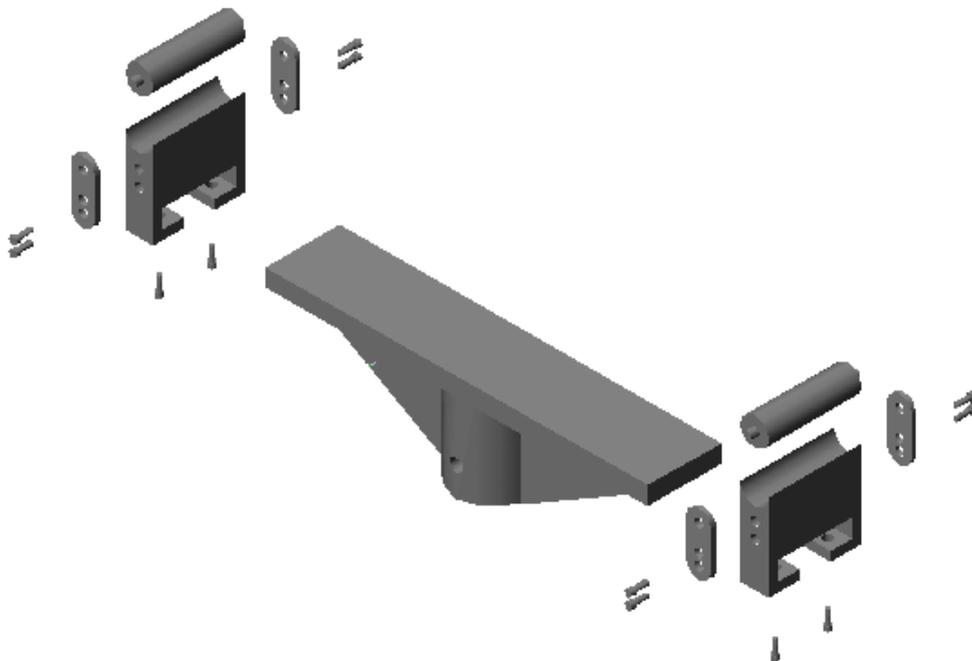


Figura 4.20. Despiece de los elementos del accesorio inferior de flexión.

Una vez realizado el ensamble de los elementos del accesorio inferior de flexión, estos se acoplan al elemento fijo del cabezal móvil a través de un pasador, que evita el movimiento entre el accesorio y el elemento del cabezal fijo.



Figura 4.21. Montaje del accesorio inferior de flexión en la máquina MTS TK/T5002.

4.3.2. MONTAJE DE ACCESORIOS DE DUREZA.

De similar forma al ensamble de los accesorios de flexión en la máquina MTS TK/T5002, se realiza el acople de los accesorios de dureza en esta máquina.

El ensamble del accesorio inferior de dureza se acopla al elemento del cabezal fijo y el ensamble del accesorio superior de dureza en la unión roscada de $\frac{1}{2}$ " 20 UNF. de la celda de carga tipo "S". A continuación se detalla el montaje de cada uno de estos accesorios en la máquina MTS TK/T5002.

4.3.2.1. Montaje de accesorio superior de dureza.

Para la unión de los elementos del accesorio superior de dureza se utilizó dos pernos de $\frac{1}{4}$ " para sujetar al indentador.

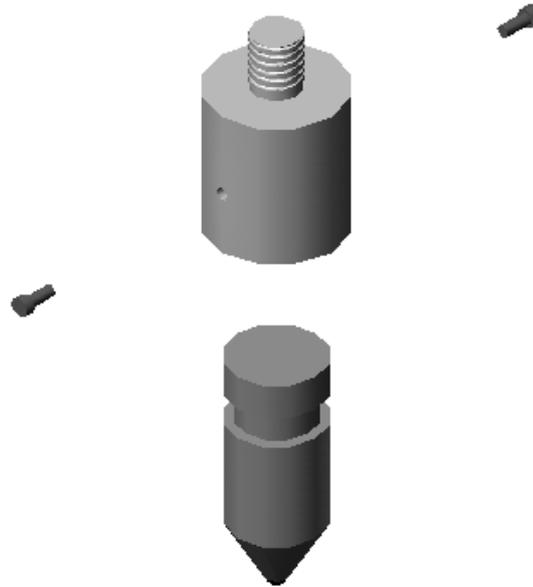


Figura 4.22. Despiece de los elementos del accesorio superior de dureza.

El elemento superior de dureza presenta un perno, el cual se acopla a la rosca que posee la celda de carga tipo “S”, esta a su vez se encuentra unida al cabezal móvil de la máquina MTS TK/T5002 mediante otra unión roscada. En la siguiente figura se muestra el acople del accesorio de dureza en la máquina MTS TK/T5002.



Figura 4.23. Montaje del accesorio superior de dureza en la máquina MTS TK/T5002.

4.3.2.2. Montaje de accesorio inferior de dureza.

Para la unión de los elementos del accesorio inferior de dureza se utilizó el pasador que evita la rotación de este accesorio con respecto al elemento del cabezal fijo:

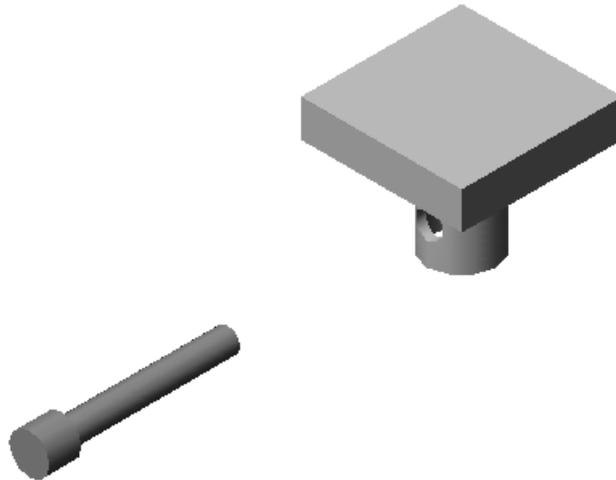


Figura 4.24. Despiece de los elementos del accesorio inferior de dureza.

En la siguiente figura se muestra el acople del accesorio inferior de dureza en el elemento del cabezal fijo de la máquina MTS TK 5002



Figura 4.25. Montaje del accesorio inferior de dureza en la máquina MTS TK/T5002.

CAPÍTULO 5

ADAPTACIÓN SEÑALES EN UN MISMO SOFTWARE

5.1. INTERCONECTAR LAS SEÑALES DE FUERZA Y DESPLAZAMIENTO OBTENIDOS DE LA MÁQUINA UTILIZANDO EL SOFTWARE ADECUADO.

Para interconectar las señales de fuerza y desplazamiento a la máquina, es necesario completar con pasos previos para lograr la adquisición de estas señales al computador.

Los pasos a seguir para cumplir con el objetivo son los siguientes:

- Programación del control de la máquina MTS TK/T5002.
- Adaptación de señal de desplazamiento al computador.
- Adaptación de señal de la celda de carga al computador.
- Interconexión de señales mediante la utilización de un software.

5.1.1. PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE LA MÁQUINA MTS TK/T5002.

Para el control de la máquina MTS TK/T5002, es necesario realizar una nueva programación debido a sus condiciones actuales, puesto que las señales enviadas por la celda de carga tipo "C" ya no ingresan al elemento de control (PLC), ya que se está utilizando una celda de carga tipo "S".

La programación del PLC se la realizará de tal modo que reciba las señales del transductor de posición, y utilice los actuadores de la máquina como son los fines de carrera, pulsante, motor, variador de velocidad, luces, etc. para que la máquina funcione de una manera eficiente y segura en la práctica de los ensayos de flexión, tracción compresión, dureza y fatiga.

El programa que se utilizó para la programación del PLC, es el STEP 7 MicroWIN 32 Versión 4.0. Este software es recomendado por el fabricante, y su versión es la más actualizada.



Figura 5.1. STEP 7 MicroWIN 32 V4.0

Este software permite la selección entre dos tipos de lenguaje: el gráfico y el de lista de instrucciones para la programación.

El lenguaje gráfico utiliza una interfaz similar a la mayoría de programas de Windows, lo que facilita la interacción hombre-máquina, proporcionando mayor rapidez de programación y mejor comprensión de las líneas de trabajo.

La utilización del lenguaje gráfico puede realizarse mediante diversos métodos de programación: método de bloques, método escalera o una combinación de estos dos denominado método mixto.

El lenguaje lista de instrucciones se diferencia del lenguaje gráfico, ya que utiliza comandos de programación y su uso puede abarcar mayor espacio y permite una difícil comprensión del funcionamiento del programa. Este lenguaje es uno de los más primitivos que se ha utilizado para la programación de PLC's, es por ello que la mayoría de los PLC's admiten este tipo de lenguaje.

De acuerdo a los argumentos anteriormente mencionados, se empleará un lenguaje gráfico para la programación del PLC, la cual se la desarrollará en el software STEP 7 MicroWIN 32 el cual permite programar y compilar para encontrar posibles errores.

Para iniciar la programación en el programa STEP 7, se debió primero escoger el tipo de PLC que se posee, para ello se dirige a la opción en la barra de herramientas CPU y se escoge la opción tipo de CPU. En la ventana que se abre, se escoge el tipo de CPU (CPU224) y la versión (1.22).

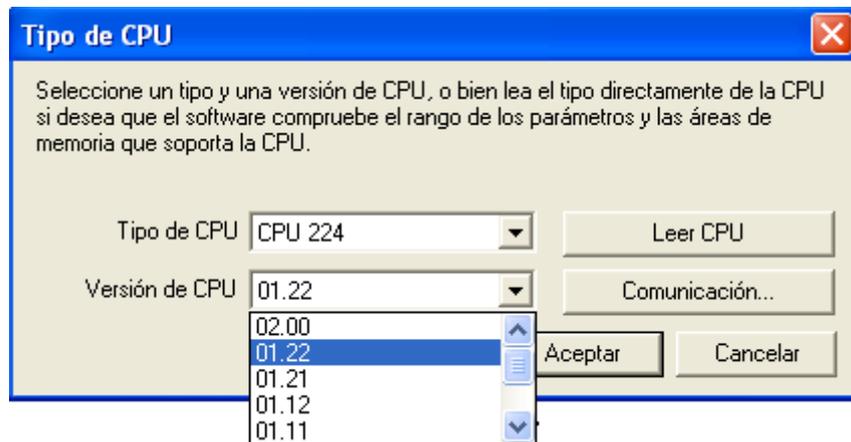


Figura 5.2. Selección del tipo del CPU.

Una vez que se ha elegido el tipo de CPU, se procede a definir las variables internas y externas del programa, para lo cual se utilizó los siguientes tipos de variables:

Tabla 5.1. Tipo de variables para programación de PLC.

Tipo	Definición
AIWx	Entradas de señal análoga.
Ix.y	Entradas booleanas al PLC.
Qx.y	Salidas booleanas del PLC.
Mx.y	Variables internas momentáneas en el PLC.
VWx	Variable analógica del PLC.
VDx	Variable interna de programa.

Las variables se definen ingresando a la opción tabla de símbolos en la barra de navegación con su respectivo tipo de variable y un comentario si así se requiere.

Las variables que se empleo para el programa son las siguientes:

Tabla 5.2. Variables empleadas en la programación del PLC.

Nombre	Dirección	Comentario
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
marcha	I0.3	Pulsante de puesta en marcha.
paro	I0.4	Pulsante para parar el motor.
finsup	I0.5	Fin de carrera normalmente cerrado superior.
fininf	I0.6	Fin de carrera normalmente cerrado inferior.
collarsup	I1.5	Pulsante doble. Collar superior.
collarinf	I1.4	Pulsante doble. Collar Inferior.
updown	I0.7	Dirección de giro del motor.
zero	I1.0	Encerar límites de posición.
setlow	I1.2	Límite inferior ensayo de fatiga.
sethigh	I1.3	Límite superior ensayo de fatiga.
analog	AIW4	Ingreso de valor desde potenciómetro.
analog1	AIW2	Valor sensado por transductor de posición.
luz_p	Q0.2	Luz de switch principal.
luzmarcha	Q0.3	Luz de encendido motor.
luzlow	Q0.0	Luz de accionamiento límite inferior.
luzhigh	Q0.1	Luz de accionamiento límite superior.
rele_010	Q0.6	Relé para indicar entrada de fuente de 0-10V.
relepot	Q0.5	Relé para alimentación del visualizador.
motor	Q0.7	Activación del motor Siemens.
giro	Q1.0	Control de giro de motor.
variador	M0.0	Variador de velocidad modo normal.
invertir0	M0.1	Invertir giro en modo normal.
high1	M0.6	Variable auxiliar de la luz de límite superior.
low1	M0.4	Variable auxiliar de la luz de límite inferior.
high2	M0.7	Variable auxiliar para encendido de luz de límite superior.
low2	M0.5	Variable auxiliar para encendido de luz de límite inferior.
aux1	M0.2	Variable auxiliar para modo cíclico (potenciómetro).
aux2	M0.3	Variable auxiliar para modo cíclico (potenciómetro).
invertir1	M2.7	Invertir giro en modo cíclico (potenciómetro).

Tabla 5.2. Variables empleadas en la programación del PLC. (Continuación)

variadorc	M1.3	Variador de velocidad modo cíclico (potenciómetro).
counter	M2.0	Contador de ciclos (potenciómetro).
counterc	M2.1	Contador de ciclos (collares).
invertir2	M1.1	Invertir giro en modo cíclico (collares).
variadorc2	M1.0	Variador de velocidad modo cíclico (collares).
high_v	VW16	Valor de límite superior en modo cíclico.
low_v	VW12	Valor de límite inferior en modo cíclico.
aiw0azero	VW2	Variable de referencia para el envío de datos.
extension	VW6	Variable del transductor de posición para envío de datos.
auxa	M1.4	Variable auxiliar para límites con collares.
auxb	M1.5	Variable auxiliar para límites con collares.
ciclos	VD0	Variable interna de programa para contador de ciclos.

El programa STEP 7 MicroWIN 32 V4.0 permite programar en la opción bloque de programa de la barra de navegación, y presenta líneas de trabajo (NETWORKS) donde se colocan los componentes que conforman el programa.

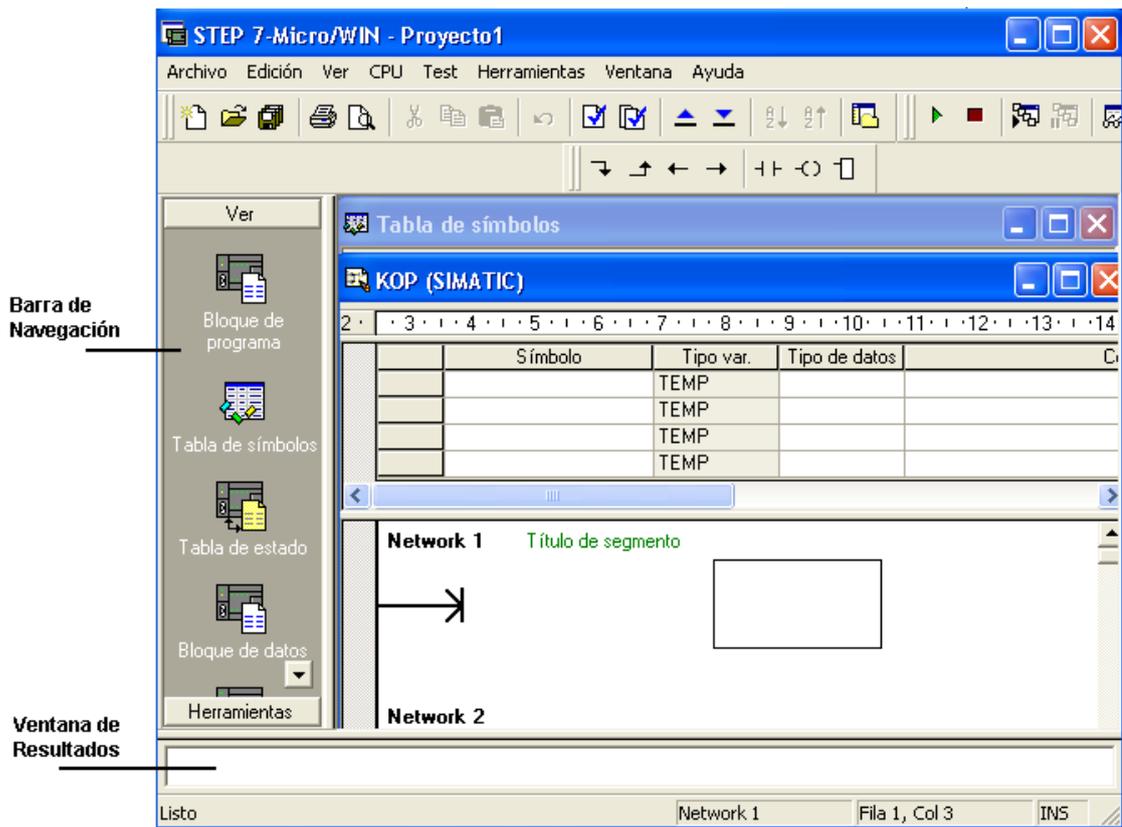


Figura 5.3. Componentes de la ventana de STEP 7 MicroWIN 32 V4.0.

En este programa se puede realizar una programación mediante el método escalera (KOP). La representación del lenguaje de programación gráfico KOP (esquema de contactos) es similar a la de los esquemas de circuitos. Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, se agrupan en segmentos o networks. Uno o varios segmentos constituyen el área de instrucciones de un bloque lógico.

Es necesario definir el funcionamiento de los elementos básicos que intervienen en la programación del PLC.

Operaciones lógicas con bits.

Contactos – representan condiciones lógicas de "entrada" similares a interruptores, botones, condiciones internas, etc.

Contacto normalmente abierto. Cuando se activa el valor del bit es igual a 1.



Figura 5.4. Contacto normalmente abierto.

Contacto normalmente cerrado. Cuando se activa el valor del bit es igual a 0.

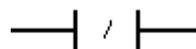


Figura 5.5. Contacto normalmente cerrado.

Bobinas – representan condiciones lógicas de salida similares a lámparas, arrancadores de motor, relés interpuestos, condiciones internas de salida, etc.

Asignar. La activación de esta bobina permite activar otros elementos, tales como actuadores o contactos a emplear posteriormente.



Figura 5.6. Operación asignar.

Poner a 1. Al energizar la bobina pone el valor de uno a la variable.

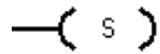


Figura 5.7. Operación poner a 1

Poner a 0. Al energizar la bobina pone el valor de cero a la variable.

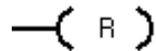


Figura 5.8. Operación poner a 0

Comparación.

Es posible dentro de la programación comparar valores, los cuales una vez que se cumplan las condiciones permitan cumplir con el proceso de control. Para ello se utiliza la comparación entre números enteros, cuyo símbolo es:

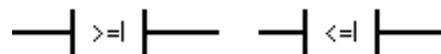


Figura 5.9. Operación de comparación de dos enteros.

Cuadros – representan operaciones adicionales tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

Transferencia.

La operación transferir palabra (MOV_W) transfiere la palabra de entrada (IN) a la palabra de salida (OUT), sin modificar el valor original.

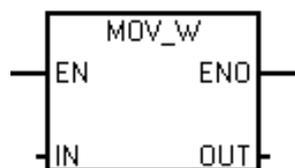


Figura 5.10. Operación transferir palabra.

Aritmética en coma fija.

La operación restar enteros (-I) restan dos enteros de 16 bits, arrojando un resultado de 16 bits (OUT).

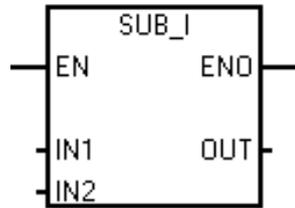


Figura 5.11. Operación restar enteros.

La operación sumar enteros dobles (+D) suman dos enteros de 32 bits, arrojando un resultado de 32 bits (OUT).

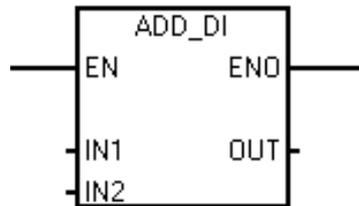


Figura 5.12. Operación sumar enteros dobles.

La operación multiplicar enteros a enteros dobles (MUL) multiplica dos números enteros de 16 bits, arrojando un producto de 32 bits.

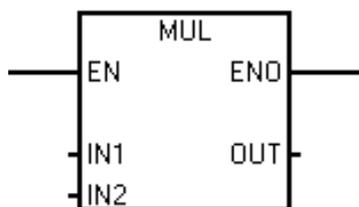


Figura 5.13. Operación multiplicar enteros dobles.

Contadores.

La operación Incrementar contador (CTU) empieza a contar adelante a partir del valor actual cuando se produce un flanco positivo en la entrada de contaje adelante CU. Si el valor actual (Cxxx) es mayor o igual al valor de preselección (PV), se activa el bit de contaje (Cxxx). El contador se inicializa cuando se activa la entrada de desactivación (R) o al ejecutarse la operación Poner a 0.

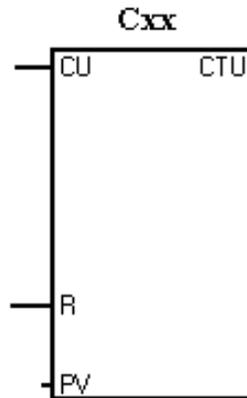


Figura 5.14. Operación incrementar contador.

Una vez definidos y aclarado el funcionamiento de los elementos que intervienen en la programación, se procede a desarrollar el flujo lógico de la programación del PLC y las líneas de trabajo de acuerdo a los requerimientos de la máquina.

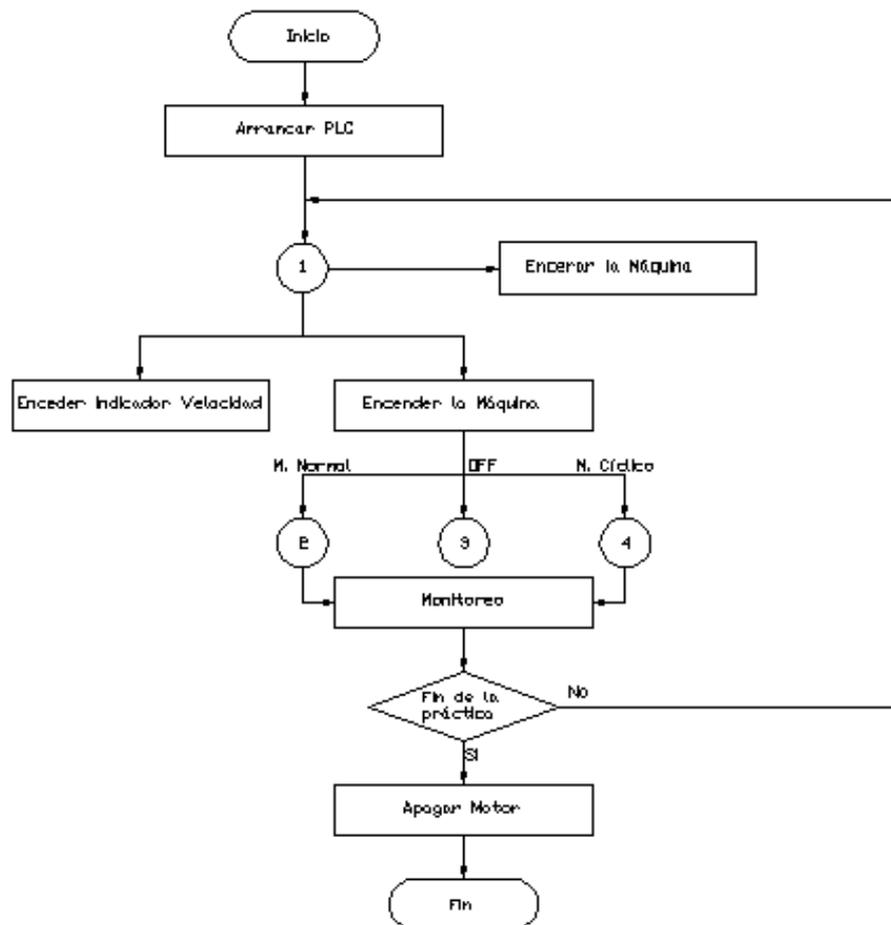


Figura 5.15. Diagrama de flujo lógico de la programación del PLC.

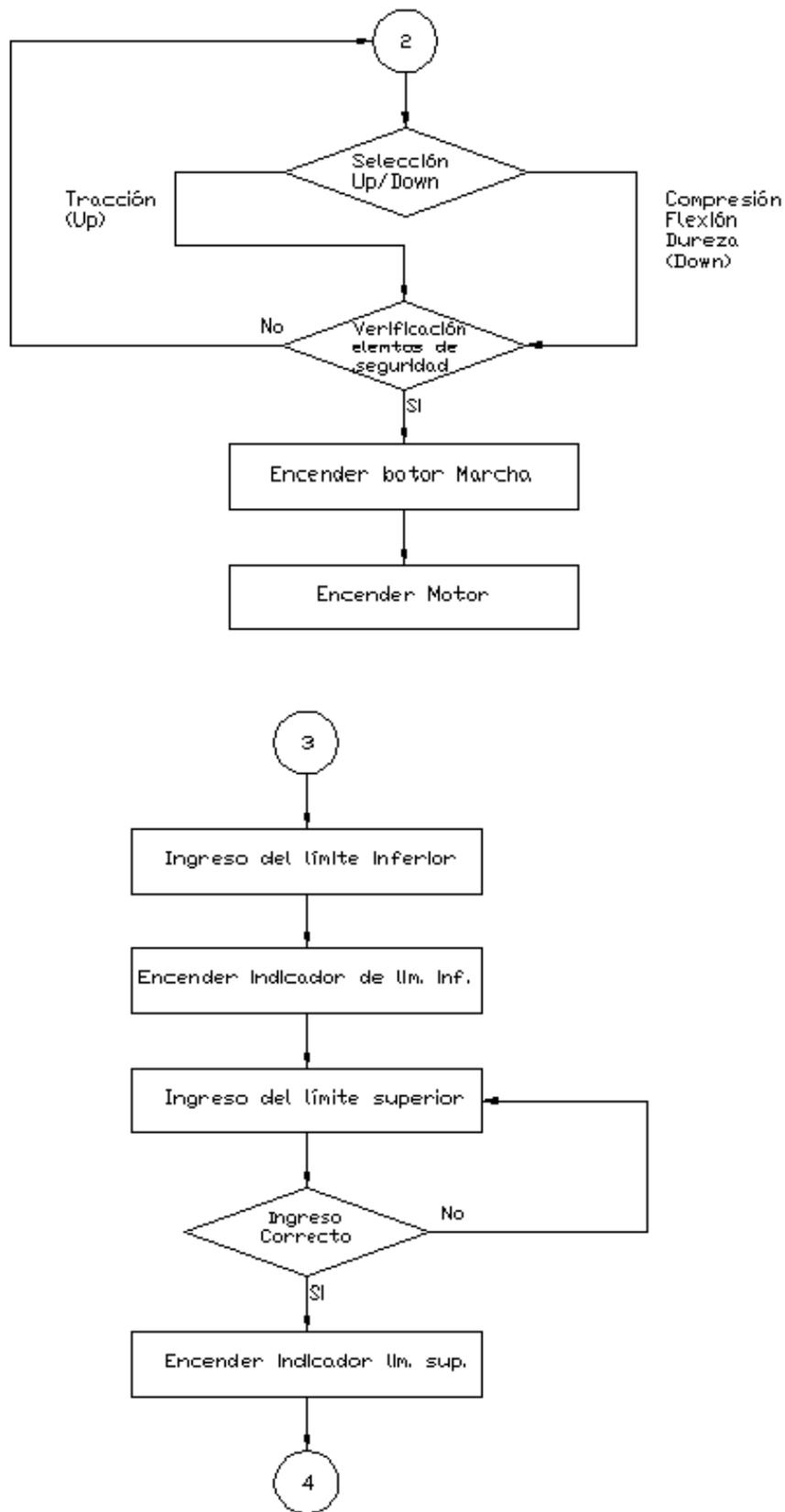


Figura 5.15. Diagrama de flujo lógico de la programación del PLC (Continuación).

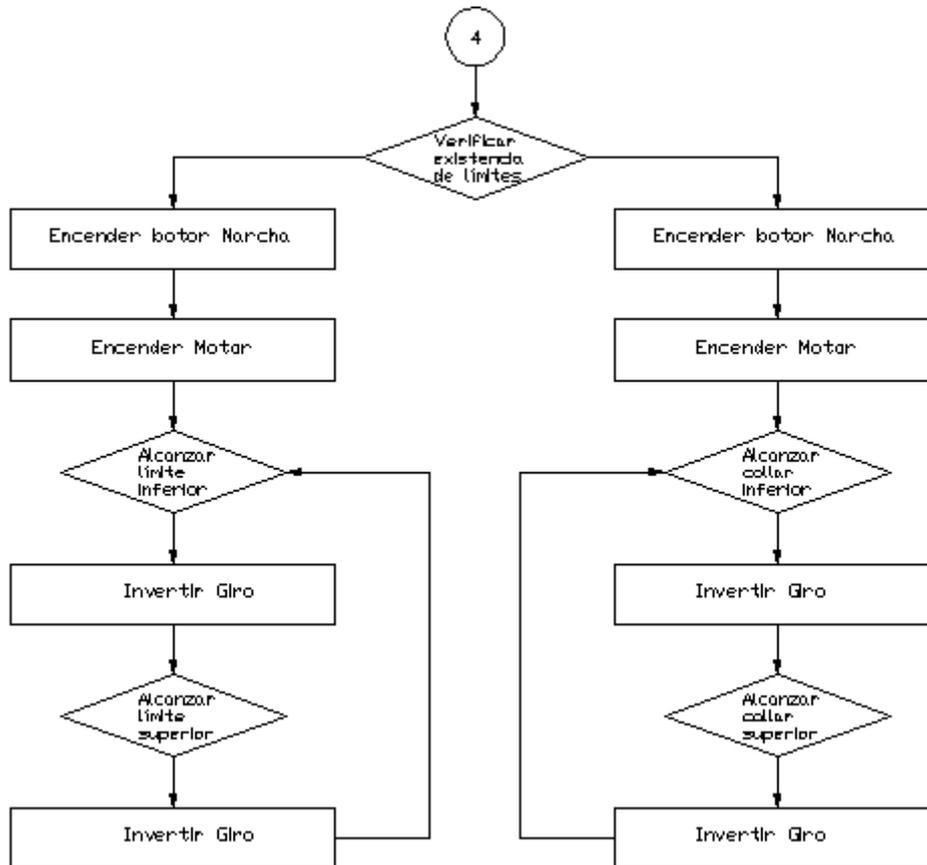


Figura 5.15. Diagrama de flujo lógico de la programación del PLC (Continuación).

La programación para el PLC Siemens necesaria para el control de la máquina MTS TK/T5002, se detalla a continuación:

Network 1. Encendido de luz principal

Esta línea de trabajo posee solamente un contacto normalmente abierto que representa el switch principal de encendido de la máquina, y el momento en que se selecciona manualmente la posición ON, se cierra este contacto y provoca la activación de la luz principal.



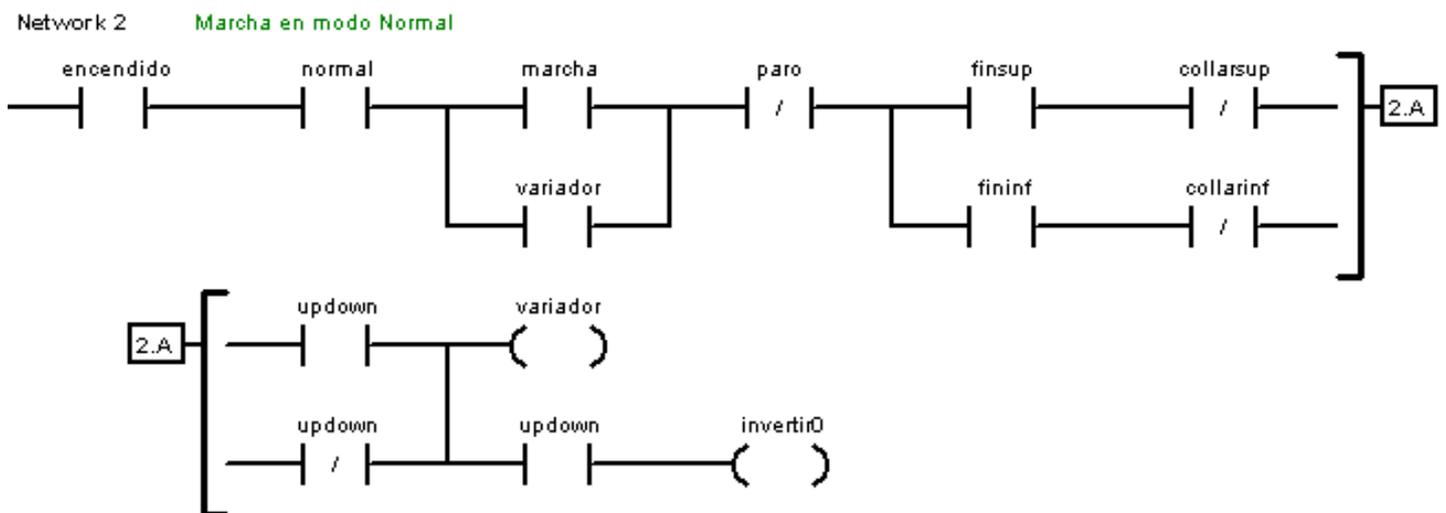
Símbolo	Dirección	Comentario
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
luz_p	Q0.2	Luz de switch principal.

Figura 5.16. Línea de programación 1 del PLC.

Network 2. Marcha en modo normal.

Mediante esta línea de trabajo, se controla el movimiento y sentido de dirección del cabezal móvil para el modo normal; para esto se debe cumplir ciertas condiciones: el switch principal en la posición ON, se debe pulsar el botón marcha, y seleccionar la dirección en que se moverá el cabezal móvil mediante el selector Up/Down. Además el circuito activa el variador de velocidad con el cual se puede controlar la velocidad de giro del motor.

Esta línea brinda también seguridad para evitar daños en la máquina; así pues, si se presiona el pulsante PARO, o si el cabezal llega hasta los fines de carrera o se activa el pulsante mediante los collares, el motor se detendrá automáticamente.



Símbolo	Dirección	Comentario
collarinf	I1.4	Pulsante doble. Collar Inferior.
collarsup	I1.5	Pulsante doble. Collar superior.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
fininf	I0.6	Fin de carrera normalmente cerrado inferior.
finsup	I0.5	Fin de carrera normalmente cerrado superior.
invertir0	M0.1	Invertir giro en modo normal.
marcha	I0.3	Pulsante de puesta en marcha.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.
paro	I0.4	Pulsante para parar el motor.
updown	I0.7	Dirección de giro del motor.
variador	M0.0	Variador de velocidad modo normal.

Figura 5.17 . Línea de programación 2 del PLC.

Network 3. Enceramiento de límites para ensayo de fatiga.

Esta línea de programación permite seleccionar los límites inferior y superior (en ese orden) a través de un potenciómetro regulable manualmente observando su desplazamiento en un visualizador. Todo el proceso que se detalla a continuación deberá realizarse en la posición OFF del selector secundario.

El instante en que se setea el límite inferior a través del pulsante SET LOW, se accionará la luz del límite inferior (LUZ LOW), y el valor que marque el potenciómetro se almacenará en la memoria del PLC, de similar forma se realiza el seteo para el límite superior, considerando que este valor debe lógicamente ser mayor al del límite inferior, caso contrario no se encenderá la luz de SET HIGH (LUZ HIGH). Para posteriores ensayos es necesario eliminar los valores de límites almacenados, por lo que el pulsante ZERO debe ser presionado en la posición OFF del switch secundario; esto provocará que se borren los valores de los límites y desactivará las luces.

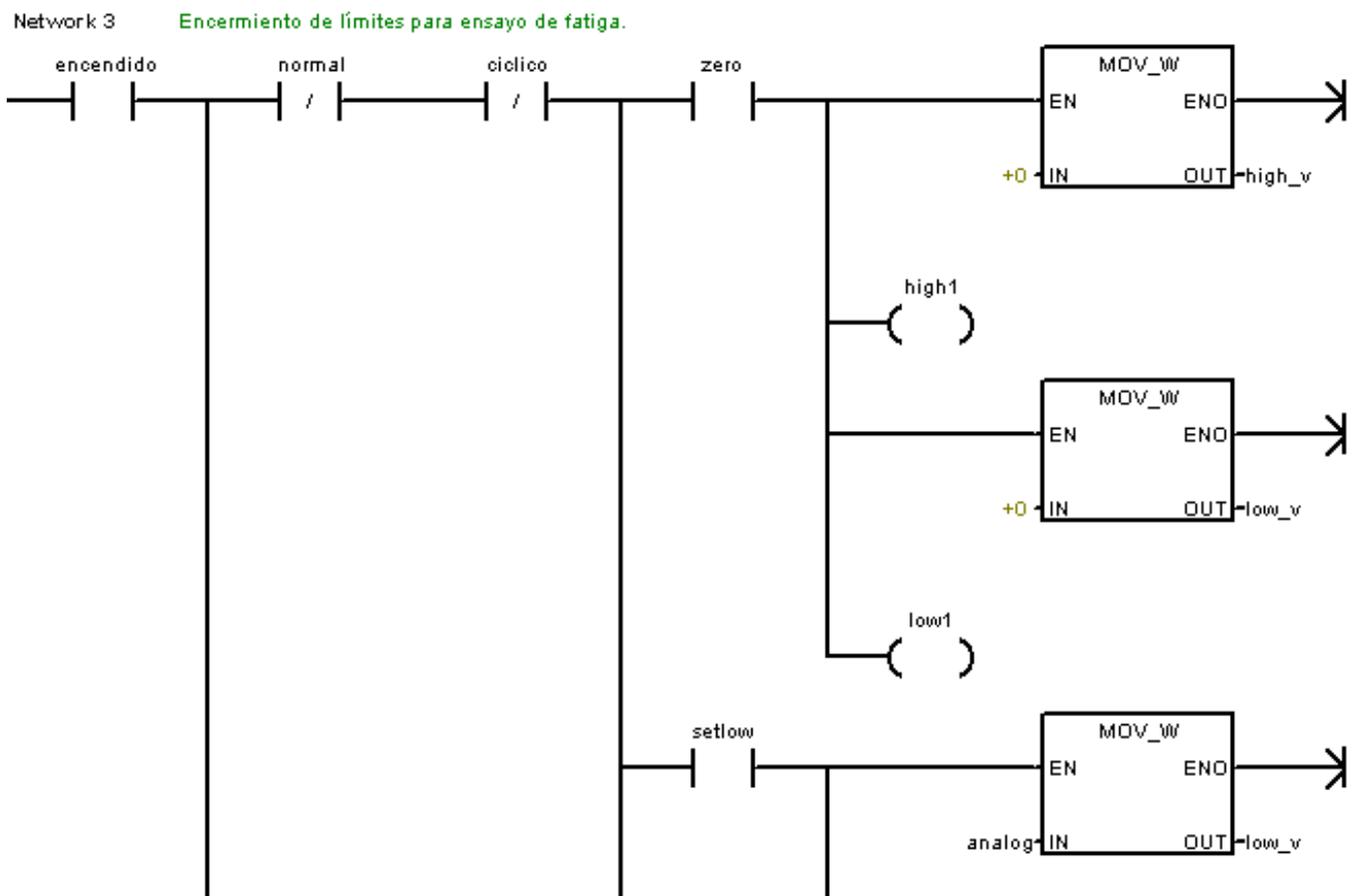
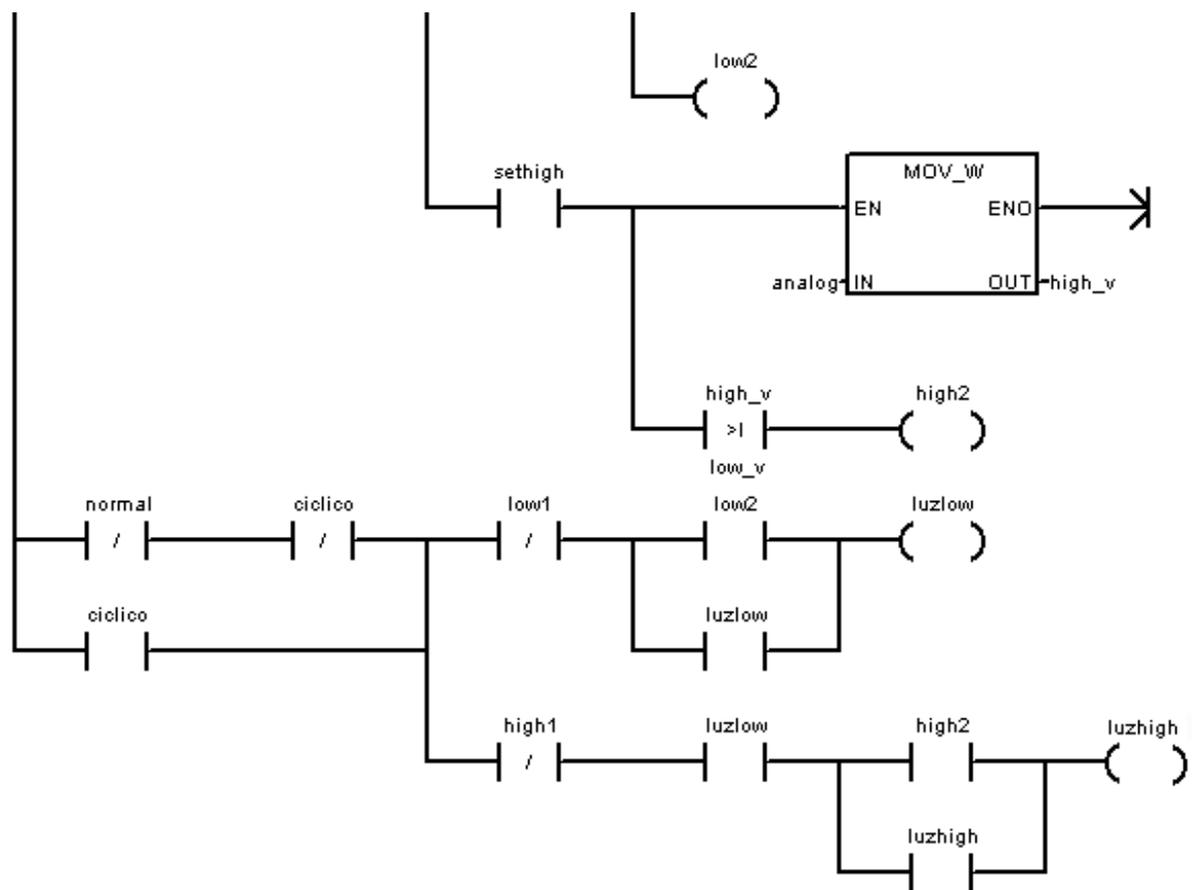


Figura 5.18. Línea de programación 3 del PLC.



Símbolo	Dirección	Comentario
analog	AIW4	Ingreso de valor desde potenciómetro.
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
high1	M0.6	Variable auxiliar de la luz de límite superior.
high2	M0.7	Variable auxiliar para encendido de luz de límite superior.
high_v	VW16	Valor de límite superior en modo cíclico.
low1	M0.4	Variable auxiliar de la luz de límite inferior.
low2	M0.5	Variable auxiliar para encendido de luz de límite inferior.
low_v	VW12	Valor de límite inferior en modo cíclico.
luzhigh	Q0.1	Luz de accionamiento límite superior.
luzlow	Q0.0	Luz de accionamiento límite inferior.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.
sethigh	I1.3	Límite Superior ensayo de Fatiga.
setlow	I1.2	Límite inferior ensayo de Fatiga.
zero	I1.0	Encerrar límites de posición.

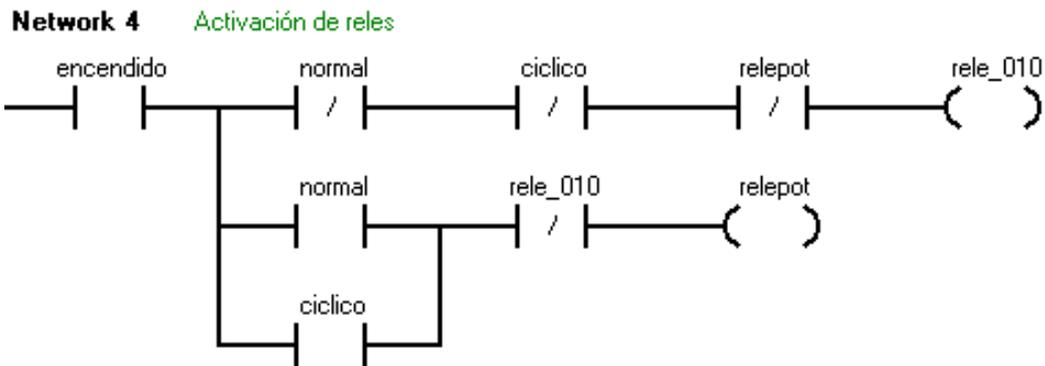
Figura 5.18. Línea de programación 3 del PLC (continuación).

Network 4. Activación de relés.

Esta línea de programación permite la activación del potenciómetro y del visualizador de posición. Si el selector secundario se ubica en el modo normal

o cíclico, se podrá registrar el valor de la posición que se muestra en el visualizador inferior.

Para la opción OFF del selector secundario se puede manipular en el visualizador mediante el potenciómetro, las posiciones para el seteo de los límites del modo cíclico.



Símbolo	Dirección	Comentario
cíclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.
rele_010	Q0.6	Relé para indicar entrada de fuente de 0-10V.
relepot	Q0.5	Relé para alimentación del visualizador.

Figura 5.19. Línea de programación 4 del PLC.

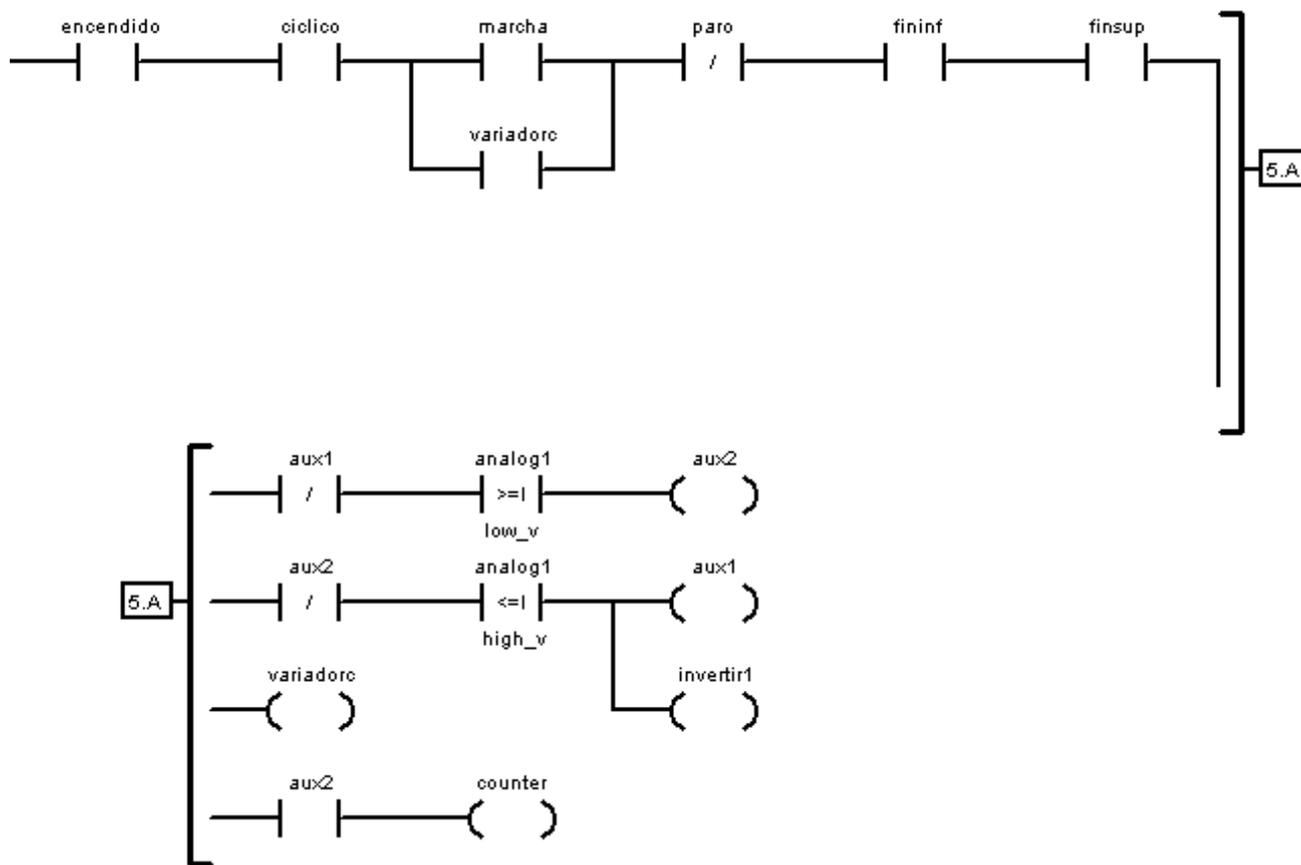
Network 5. Modo cíclico encerado con el potenciómetro.

Esta línea de programación permite el desplazamiento del cabezal móvil dentro de los límites establecidos en la línea de trabajo anterior con el potenciómetro en el modo cíclico. Para activar esta línea de trabajo se ubica el selector en la posición CÍCLICO y se activa el pulsante MARCHA; provocando el movimiento del cabezal móvil tomando en cuenta que se puede controlar la velocidad de giro del motor a través del potenciómetro. Una vez que llega a los límites, se invertirá el giro del motor y la dirección del cabezal, y se moverá hasta el límite opuesto donde se invertirá nuevamente la dirección del cabezal.

Se utiliza también un contador que emitirá una señal el instante en que el cabezal llegue a uno de los límites del recorrido, permitiendo registrar el número de ciclos que tiene el ensayo.

La seguridad también está presente en esta línea de programación para evitar daños en la máquina, deteniéndose si se pulsa el botón PARO, o si el cabezal llega a los fines de carrera.

Network 5 **Modo cíclico seteado con el potenciómetro**



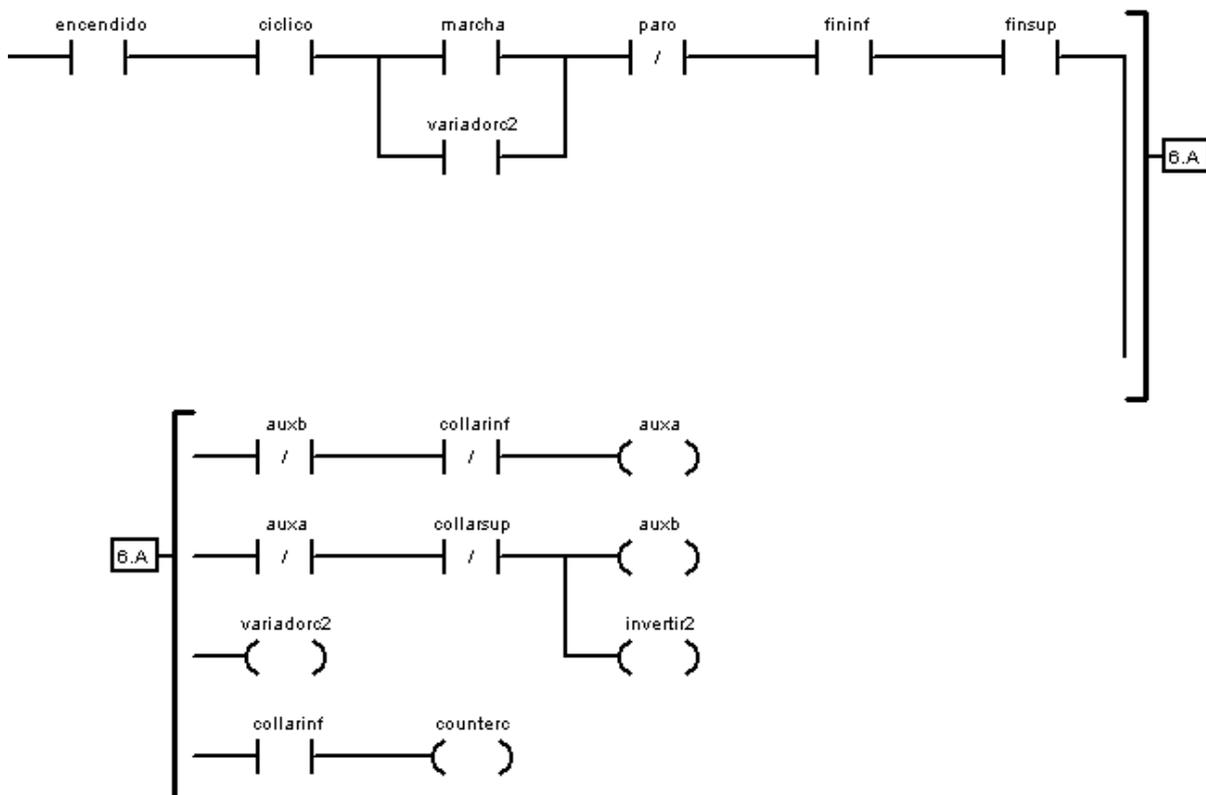
Símbolo	Dirección	Comentario
analog1	AIW2	Valor sentido por transductor de posición.
aux1	M0.2	Variable auxiliar para modo cíclico (potenciómetro).
aux2	M0.3	Variable auxiliar para modo cíclico (potenciómetro).
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
fininf	I0.6	Fin de carrera normalmente cerrado inferior.
finsup	I0.5	Fin de carrera normalmente cerrado superior.
high_v	VW16	Valor de límite superior en modo cíclico.
invertir1	M2.7	Invertir giro en modo cíclico (potenciómetro).
low_v	VW12	Valor de límite inferior en modo cíclico.
marcha	I0.3	Pulsante de puesta en marcha.
paro	I0.4	Pulsante para parar el motor.
variadorc	M1.3	Variador de velocidad modo cíclico (potenciómetro).

Figura 5.20. Línea de programación 5 del PLC.

Network 6. Modo cíclico encendido con collares.

Otro procedimiento para realizar el ensayo de fatiga en el modo cíclico, consiste en establecer los límites tanto superior como inferior mediante el uso de collares, los cuales deberán posicionarse a una distancia elegida por el usuario. Estos collares provocan la activación de un fin de carrera de doble pulsante normalmente abierto, el cual emite señales para invertir el giro del motor en ambos límites. La línea de programación permite regular la velocidad de giro del motor, y posee también un contador para registrar el número de ciclos del ensayo que funciona de similar manera que para la línea de trabajo 5.

Network 6 Modo cíclico seteado con collares



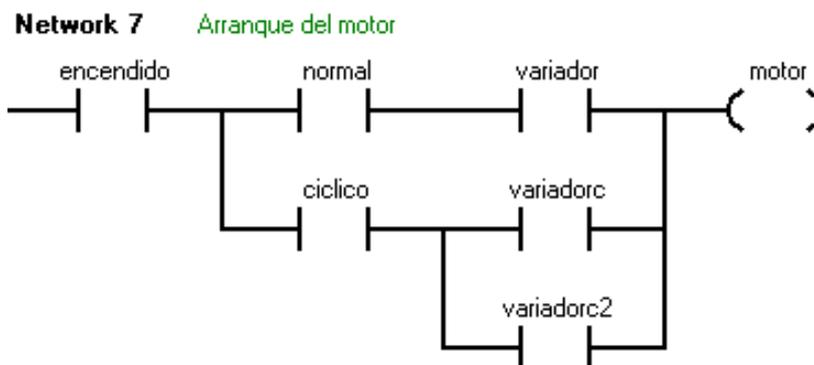
Símbolo	Dirección	Comentario
auxa	M1.4	Variable auxiliar para limites con collares.
auxb	M1.5	Variable auxiliar para limites con collares.
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
collarinf	I1.4	Pulsante doble. Collar Inferior.
collarsup	I1.5	Pulsante doble. Collar superior.
counterc	M2.1	Contador de ciclos (collares).
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
fininf	I0.6	Fin de carrera normalmente cerrado inferior.
finsup	I0.5	Fin de carrera normalmente cerrado superior.
invertir2	M1.1	Invertir giro en modo cíclico (collares).
marcha	I0.3	Pulsante de puesta en marcha.
paro	I0.4	Pulsante para parar el motor.
variadorc2	M1.0	Variador de velocidad modo cíclico (collares).

Figura 5.21. Línea de programación 6 del PLC.

Network 7. Arranque del motor.

Esta línea de programación permite la activación real del motor, esto se produce para diferentes estados de la máquina siempre y cuando esta se encuentre encendida. Para el modo normal es necesario que se cumpla la línea de programación 2, con lo cual el variador de velocidad se activará y controlará la velocidad de giro del motor.

Para el modo cíclico tenemos dos formas de activar el motor; una mediante el cumplimiento de la línea de programación 5 que activará el variador de velocidad, y otra forma si se cumple la línea de programación 6 que activará el variador. No es necesario que se cumplan las dos condiciones, es suficiente que se produzca una de ellas en el modo cíclico para la activación del motor.

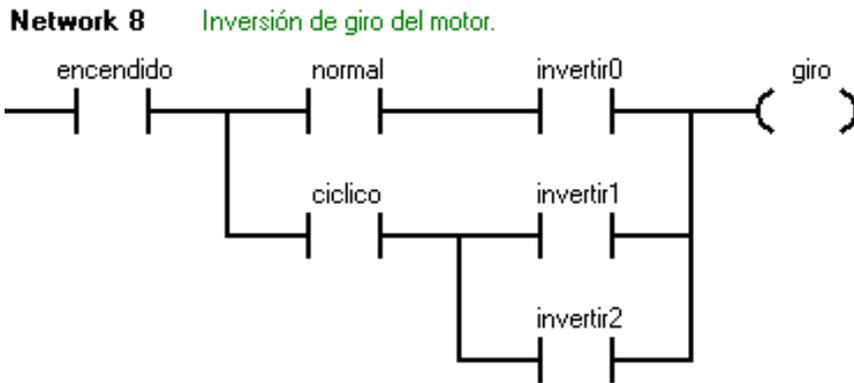


Símbolo	Dirección	Comentario
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
motor	Q0.7	Activación del motor Siemens.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.
variador	M0.0	Variador de velocidad modo normal.
variadorc	M1.3	Variador de velocidad modo cíclico (potenciometro).
variadorc2	M1.0	Variador de velocidad modo cíclico (collares).

Figura 5.22. Línea de programación 7 del PLC.

Network 8. Inversión de giro del motor.

Esta línea permite invertir el sentido de giro del motor y con ello la dirección del cabezal móvil. En la posición normal el sentido de giro es controlado a través del selector Up/Down del panel de control, mientras que en el modo cíclico, la inversión de giro del motor depende de la activación de cualquier línea de programación de las dos existentes (5 y 6), lo que a su vez activará las variables respectivas que activen la presente línea de trabajo.



Símbolo	Dirección	Comentario
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
giro	Q1.0	Control de giro de motor.
invertir0	M0.1	Invertir giro en modo normal.
invertir1	M2.7	Invertir giro en modo cíclico (potenciómetro).
invertir2	M1.1	Invertir giro en modo cíclico (collares).
normal	I0.1	Selector en la posición normal.

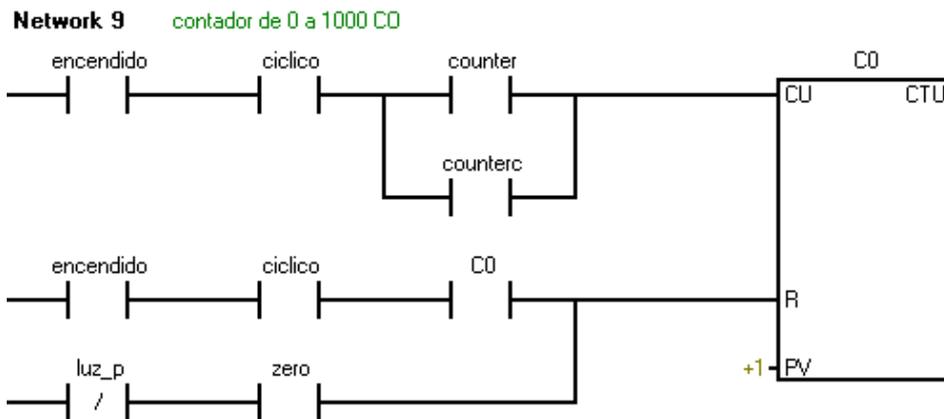
Figura 5.23. Línea de programación 8 del PLC.

Network 9. Contador de 0 a 1000 C0

El contador de ciclos es activado solamente cuando la máquina funciona en el modo cíclico; específicamente cuando se llega a uno de sus límites para el ensayo de fatiga, siendo este el límite activado por potenciómetro o por collares.

Como se especificó anteriormente, las líneas de programación 5 y 6 involucran en su estructura a dos contadores, de los cuales es necesario y suficiente que solo uno de ellos logre ser activado para que el contador funcione.

Este contador presentará un rango de conteo de 0 a 1000, el cual se puede inicializar automáticamente cuando llegue a su valor máximo (1000 ciclos), o manualmente cuando se presione el botón ZERO con la máquina apagada.

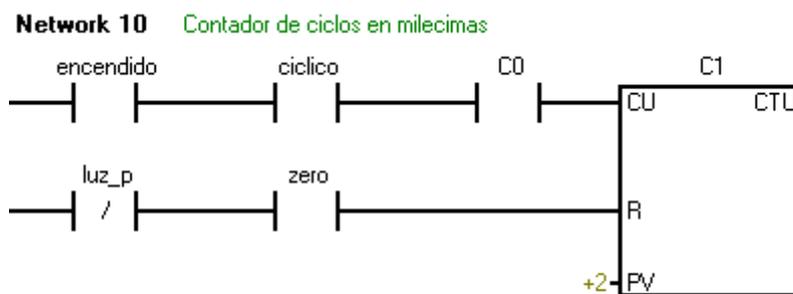


Símbolo	Dirección	Comentario
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
counter	M2.0	Contador de ciclos (potenciómetro).
counterc	M2.1	Contador de ciclos (collares).
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
luz_p	Q0.2	Luz de switch principal.
zero	I1.0	Encerar límites de posición.

Figura 5.24. Línea de programación 9 del PLC.

Network 10. Contador de ciclos

Esta línea de trabajo permite realizar el conteo en unidades de mil, el cual se activará cuando el contador de la línea de programación anterior (contador C0) haya llegado a su valor límite máximo. Este contador también puede ser inicializado cuando se presione el botón ZERO con la máquina apagada.

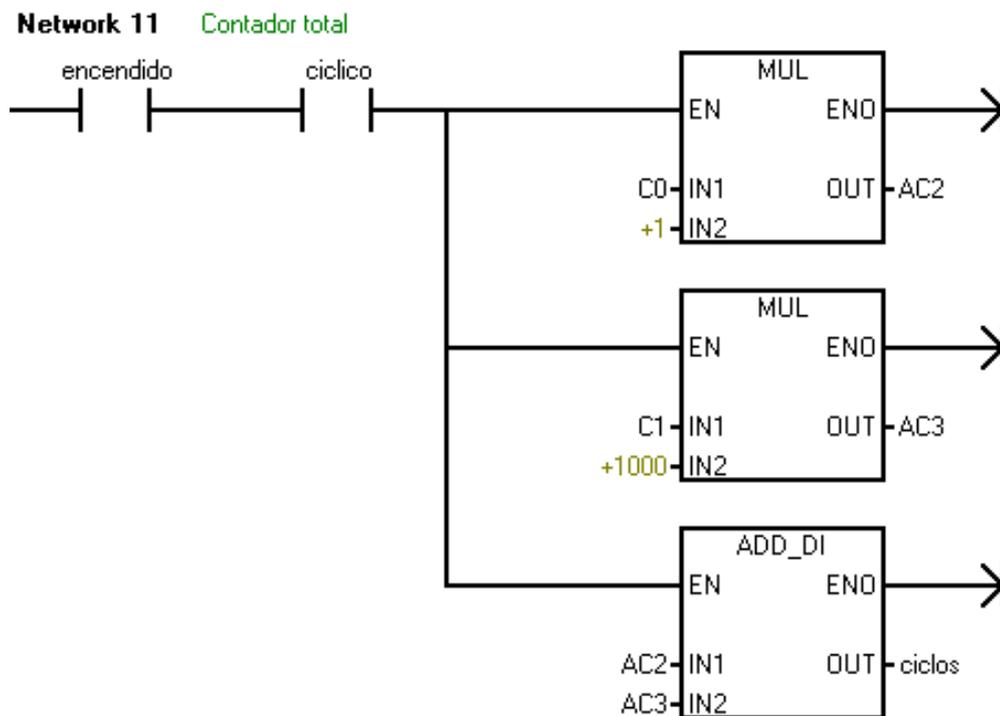


Símbolo	Dirección	Comentario
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
luz_p	Q0.2	Luz de switch principal.
zero	I1.0	Encerar límites de posición.

Figura 5.25. Línea de programación 10 del PLC.

Network 11. Contador total.

Esta línea de programación realiza la suma de los dos contadores, este se activa cuando se ha sobrepasado los mil ciclos, es decir para ello se emplean dos contadores, el primero que cuenta de 0 a 1000, y el otro que contabiliza las milésimas, posteriormente estos dos valores son sumados mediante el cuadro de operación sumar enteros dobles, y se almacenan en una variable que permitirá mostrar los datos posteriormente.



Símbolo	Dirección	Comentario
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
ciclos	V00	Variable interna de programa para contador de ciclos.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.

Figura 5.26. Línea de programación 11 del PLC.

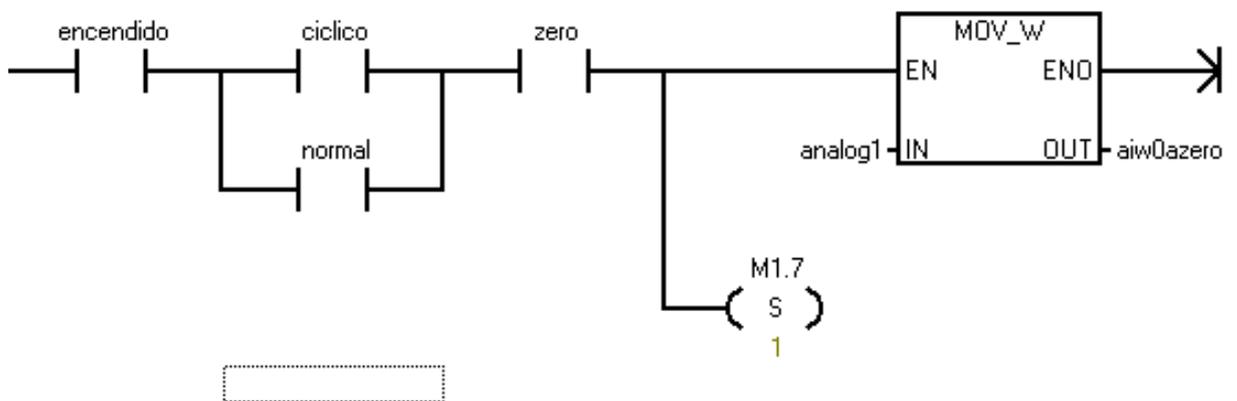
Network 12. Seteo de valores del potenciómetro para un eje relativo y animación.

Esta línea de programación permite elegir un eje relativo, es decir en cualquier posición en que se encuentra el cabezal móvil, este puede ser encerado.

Este eje relativo puede ser utilizado para los distintos ensayos que posee la máquina, tanto en el modo cíclico como en el modo normal. El enceramiento se produce cuando se pulsa el botón ZERO cuando la máquina está encendida.

La operación lógica que se tiene en esta línea de poner a 1 será utilizada posteriormente para el programa de monitoreo.

Network 12 Setea los valores del potenciómetro para un eje relativo y animación



Símbolo	Dirección	Comentario
aiw0azero	VW2	Variable de referencia para el envío de datos.
analog1	AIW2	Valor sentido por transductor de posición.
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.
zero	I1.0	Encerar límites de posición.

Figura 5.27. Línea de programación 12 del PLC.

Network 13. Desplazamiento respecto a un eje relativo.

La presente línea de trabajo permite obtener la distancia que existe entre el desplazamiento del cabezal móvil y un eje de referencia establecido en la línea de programación 12. La señal que se emite es almacenada en una variable temporal (extensión), la cual podrá ser utilizada para el monitoreo de este desplazamiento.

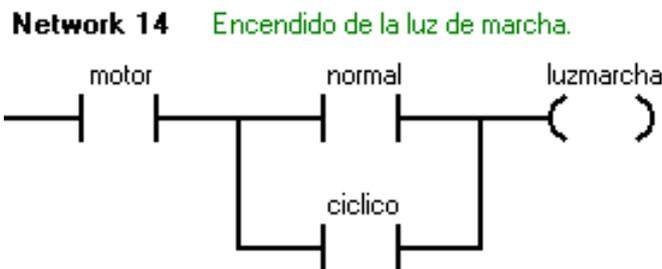


Símbolo	Dirección	Comentario
aiw0azero	VW2	Variable de referencia para el envío de datos.
analog1	AIW2	Valor sentido por transductor de posición.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
extension	VW6	Variable del transductor de posición para envío de datos.

Figura 5.28. Línea de programación 13 del PLC.

Network 14. Encendido de la luz de marcha.

Esta línea de trabajo tiene como finalidad la activación de la luz de marcha cuando se produce el encendido del motor sin importar si se lo realiza en el modo cíclico o normal.

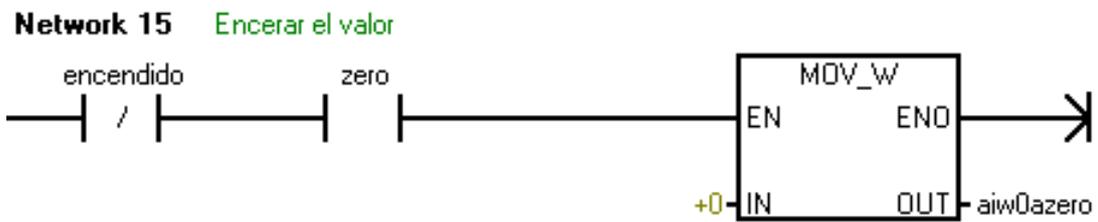


Símbolo	Dirección	Comentario
ciclico	I0.2	Selector en la posición cíclico.
luzmarcha	Q0.3	Luz de encendido motor.
motor	Q0.7	Activación del motor Siemens.
normal	I0.1	Selector en la posición normal.

Figura 5.29. Línea de programación 14 del PLC.

Network 15. Encerar el valor de monitoreo.

Esta línea encera el valor de la variable del eje relativo, para lo cual la máquina debe estar apagada y se debe presionar el botón ZERO.

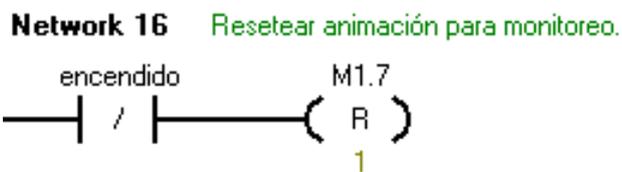


Símbolo	Dirección	Comentario
aiw0azero	VW2	Variable de referencia para el envío de datos.
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.
zero	I1.0	Encerar límites de posición.

Figura 5.30. Línea de programación 15 del PLC.

Network 16. Resetear animación para monitoreo.

La línea de programación facilitará el seteo cada vez que se utilice el software para el monitoreo. Cuando la máquina se encuentre apagada, se activará la operación de puesta a cero que se ejecutará en la variable M1.7 interna del proceso.



Símbolo	Dirección	Comentario
encendido	I0.0	Switch principal de la máquina.

Figura 5.31. Línea de programación 16 del PLC.

Una vez finalizadas las líneas de trabajo y la programación de acuerdo a lo que la máquina requiere para su funcionamiento; se debe verificar que no exista errores, para ello el programa ofrece la opción de *compilar todo* en la barra de herramientas CPU del programa STEP 7, se comprueba que no exista errores

en la *ventana de resultados* obteniéndose la información que se muestra en la siguiente figura.

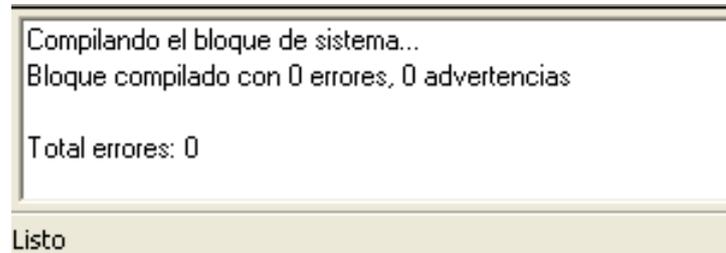


Figura 5.32. Ventana de resultados de compilación del programa STEP 7.

Luego de la compilación se procede a descargar el programa en el PLC seleccionando la opción *cargar en CPU* del menú *archivo* en la barra de herramientas.

Para la descarga es indispensable la intercomunicación entre el PLC y la computadora mediante un accesorio que es el cable Siemens PC/PPI.

Los requerimientos para poder descargar el programa en el PLC son:

- El cable debe estar conectado tanto en el slot del PLC como en el puerto serial del computador, caso contrario se producirá un error en la comunicación;
- El PLC debe colocarse en la posición STOP, con el selector de este dispositivo, y;
- La programación realizada en el software STEP 7 no debe presentar errores en su compilación.

Si los requerimientos son cumplidos a cabalidad se podrá visualizar la siguiente ventana en la cual se escoge la opción *cargar en CPU*.

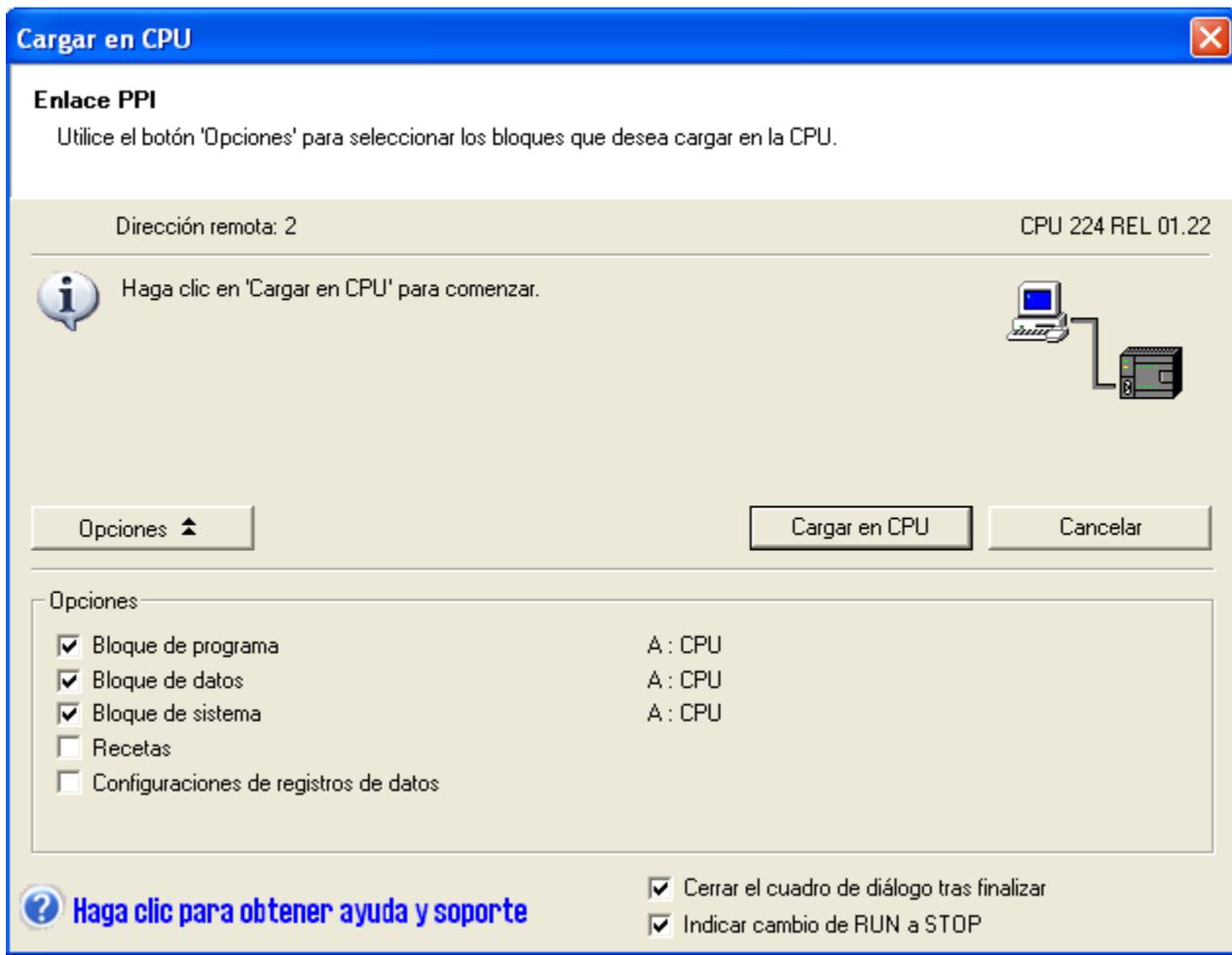


Figura 5.33. Ventana cargar en CPU del programa STEP 7.

Si la descarga del programa es exitosa, la *ventana de resultados* presentará la información que muestra la figura 5.34

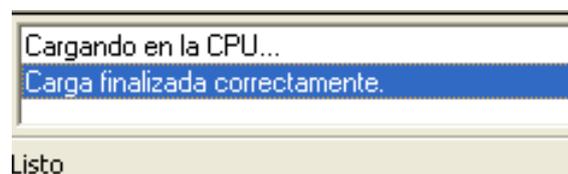


Figura 5.34. Ventana de resultados de carga en la CPU del PLC.

Finalmente se coloca el PLC en la opción RUN para poder ejecutar y probar el funcionamiento del programa para lo cual se conectan los cables de los botones, selectores, LED's, switch, potenciómetros, visualizadores en las salidas acorde con las líneas de trabajo de la programación realizada.

Las entradas y salidas del PLC Siemens S7 CPU 224 relé se muestran en la siguiente figura.

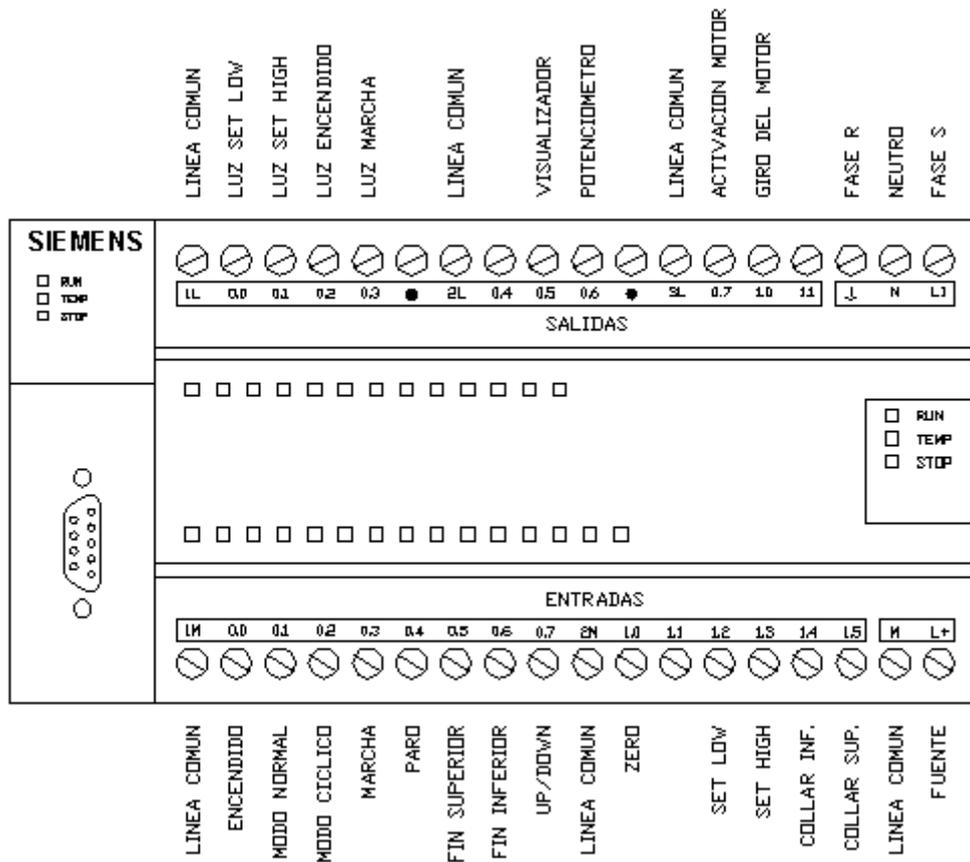


Figura 5.35. Esquema de entradas y salidas del PLC Siemens S7 CPU 224.

5.1.2. ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DE DESPLAZAMIENTO AL COMPUTADOR.

La adaptación de señal del sensor de desplazamiento desde el PLC al computador se lo realiza mediante el cable SIEMENS PC/PPI, el cual puede ser conectado en un puerto serial o en un puerto USB. Para usar un puerto USB es necesario adquirir un cable de adaptación USB.

La comunicación que se establece entre el PLC y el software de monitoreo requiere de un programa el cual es un I/O server que permite una conversión de protocolos de comunicación, del PPI (Interfaz punto a punto) usado por el

PLC y el cable SIEMENS PC/PPI, a un protocolo DDE (Dirección de datos externos) necesario para el computador.

La figura siguiente muestra un esquema sobre la adaptación de la señal de desplazamiento desde el PLC hasta el programa de monitoreo en el computador:

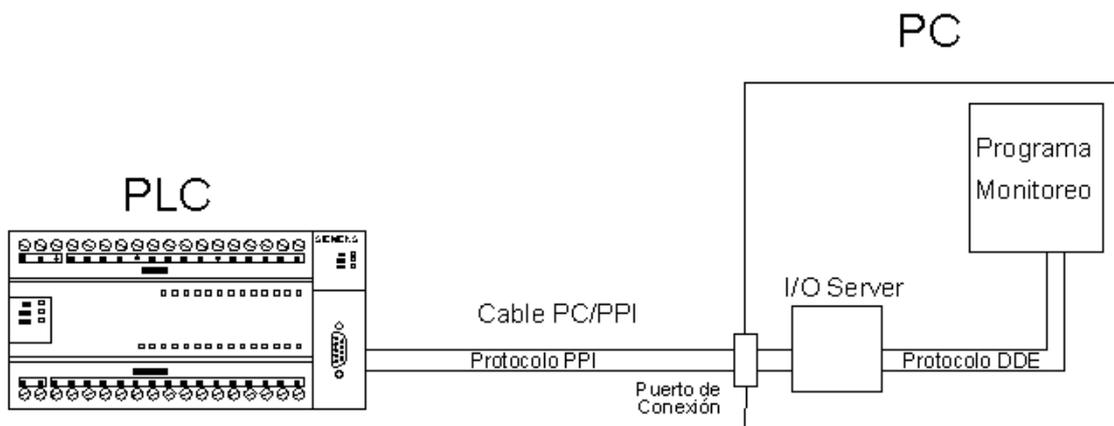


Figura 5.36. Esquema de adaptación de la señal de desplazamiento.

El programa I/O Server que se va a utilizar s7200ppi, permite comunicarse con algunos programas como Visual Basic, LabVIEW, InTouch, que pueden recibir señales del PLC para ser monitoreadas.

La configuración del programa es muy amigable para el usuario, puesto que permite seleccionar el puerto y la velocidad de conexión.

En cuanto a la conexión de velocidad debe existir coherencia de valores entre los seleccionados en el cable SIEMENS PC/PPI, y el programa s7200ppi.

Para configurar la conexión del puerto serial o USB, se debe ingresar al programa, y posteriormente en la barra principal se selecciona el menú **Configure**, y en la opción **COM Port Settings**, se escoge el puerto y la velocidad de conexión.

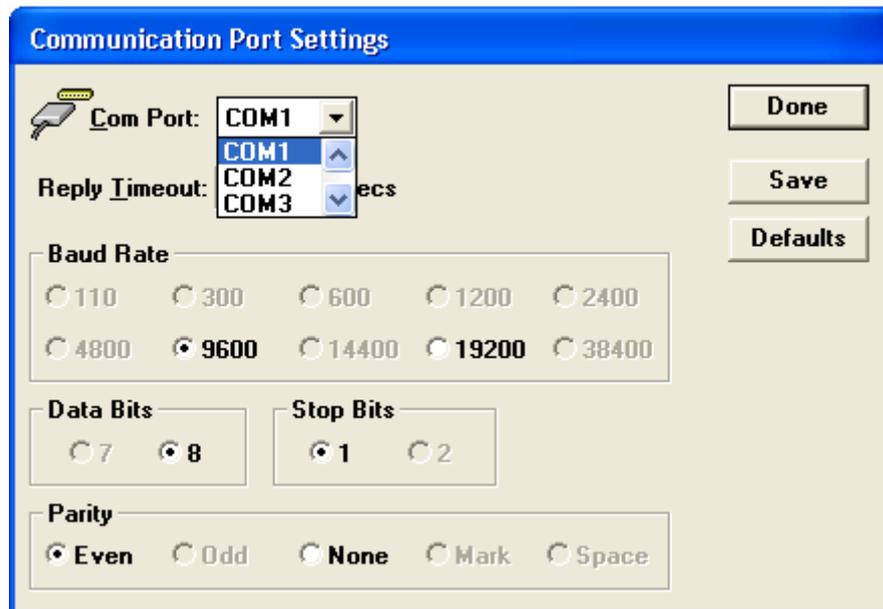


Figura 5.37. Configuración del software de conversión de protocolos.

En la opción **Topic Definition** se debe crear un nuevo tópico dando un clic sobre el botón **New** con lo cual aparecerá la siguiente ventana, donde se debe llenar los datos como se indica a continuación, tomando en cuenta la selección de un mismo puerto.

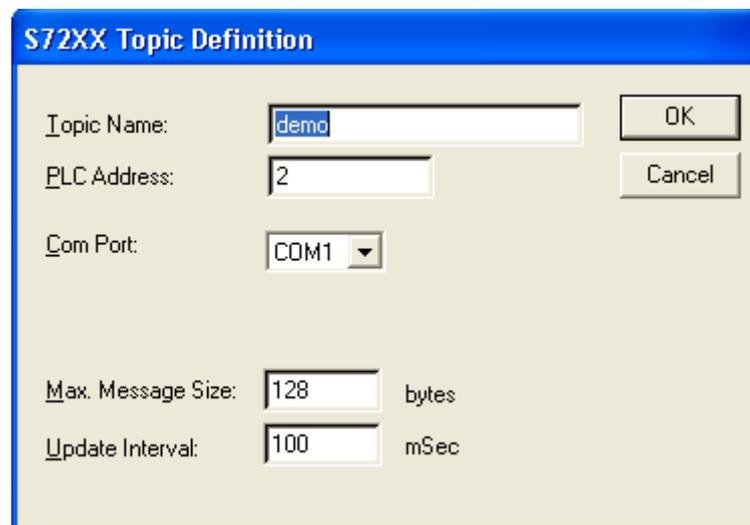


Figura 5.38. Topic Definition.

Una vez finalizada la configuración, el programa se encuentra listo para crear un enlace entre el programa de monitoreo y el PLC.

Este programa se ejecutará desde el programa de monitoreo de las señales.

5.1.3. ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DE FUERZA AL COMPUTADOR.

La adaptación de la señal de fuerza desde la celda de carga tipo “S”, hasta la computadora presenta el siguiente esquema de conexión:

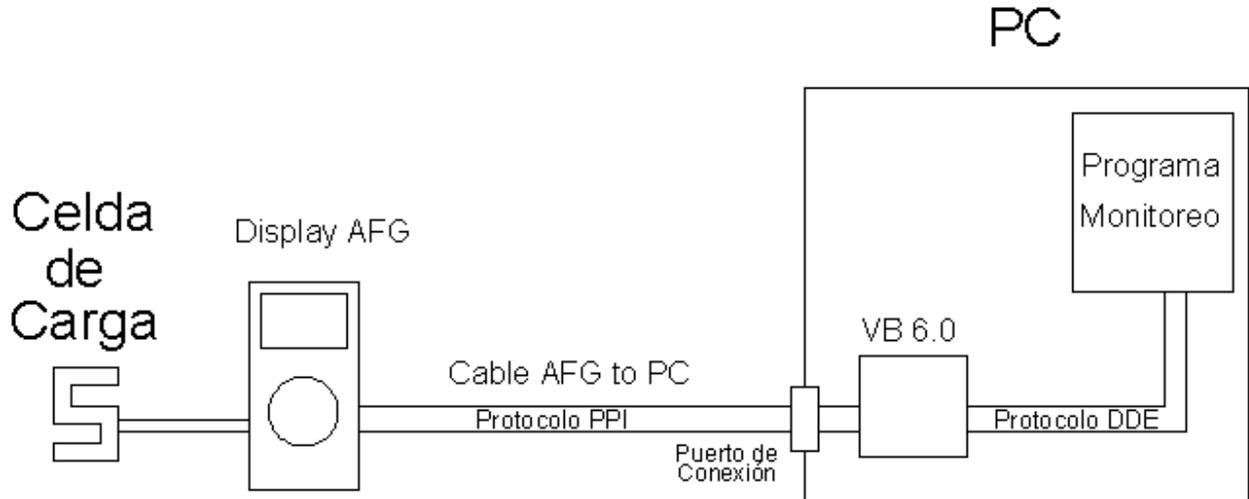


Figura 5.39. Esquema de la adaptación de señal de la celda de carga.

La celda de carga tipo “S” se conecta al display AFTI, donde se puede leer el valor de la fuerza; posteriormente mediante un cable **AFG to PC**, se conecta en un puerto serial RS232 del computador. El fabricante de la celda de carga ofrece un programa para visualizar la señal de fuerza en función del tiempo, este programa se denomina DILLON Quantrol DataPLot V1.05a.

El programa DataPlot no posee la capacidad de comunicarse con otros programas y transmitir los datos en tiempo real para realizar un monitoreo simultáneo con las señales de desplazamiento; es por ello que su uso queda limitado al simple monitoreo de la señal de fuerza, y se debe buscar la manera de recibir la señal de la celda de carga, convertirla en un protocolo de comunicación DDE y adaptarla a los programas de monitoreo.

Debido a que la mayoría de programas manejan un protocolo DDE, es necesario modificar la transmisión de datos a este tipo de protocolo, y por tanto es necesario seleccionar un programa que nos permita satisfacer estos requerimientos.

Condiciones generales para selección del software.

- Debido a que las señales deben ser monitoreadas desde el computador, el programa a utilizarse debe permitir una fácil adquisición de las señales a través de los puertos seriales o puertos USB.
- El programa debe ser compatible con Windows puesto que es el sistema operativo de mayor uso en la actualidad.

Los programas más empleados para la adquisición de datos en el computador son el LabVIEW y Visual Basic.

LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el análisis de datos, la adquisición de datos y el control de instrumentos. Al ser LabVIEW un lenguaje de programación gráfico y basado en un sistema de ventanas, muchas veces es más sencillo de utilizar que otros lenguajes más típicos.

Características del programa.

- Una ventaja de usar LabVIEW es que es compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar a la vez con programas de otra área de aplicación, como Matlab o Excel para manejar datos a conveniencia del usuario.
- Este programa fue creado por National Instruments y se puede utilizar en muchos sistemas operativos, incluyendo Windows, Linux y UNIX.
- Es muy simple de manejar, debido a que está basado en un nuevo sistema de programación gráfica, llamado lenguaje G.
- LabVIEW maneja una compatibilidad con módulos específicos de National Instruments como Compact PCI o PXI. Para desempeño en tiempo real, se combina Labview con el hardware PCI ejecutándose en un sistema operativo en tiempo real basado en PC.

- Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y versátiles.
- Es un programa que contiene librerías especializadas para manejos de DAQ (tarjetas de adquisición de datos), redes, comunicaciones, análisis estadístico, comunicación con bases de datos (útil para una automatización de una empresa a nivel total).
- Su principal característica es que, para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones.

Visual Basic.

Visual Basic es un software que utiliza un lenguaje de programación por líneas, el cual puede ser utilizado dentro del campo de control de instrumentos, análisis y adquisición de datos. Posee librerías de mucha utilidad que facilitan la comunicación o manejo de los datos externos.

Es un lenguaje de fácil aprendizaje pero requiere de un nivel básico de experiencia en programación. Tanto en programadores principiantes como expertos, facilita el rápido desarrollo de aplicaciones gráficas. Su principal innovación, que luego fue adoptada por otros lenguajes, fue el uso de archivos de extensión dll. que facilitan el acceso a muchas funciones del sistema operativo y la integración con otras aplicaciones.

No requiere de manejo de punteros (direccionamiento de lugares donde se almacena información) y posee un manejo muy sencillo de cadenas de caracteres. Posee varias bibliotecas para manejo de bases de datos.

Las versiones de Visual Basic ofrecen una buena compatibilidad con Windows puesto que su creación fue desarrollada específicamente para este sistema operativo. A continuación se menciona algunas de sus características más importantes:

- Visual Basic es un lenguaje simple y por tanto fácil de aprender.
- Su mayor facilidad radica en el dibujado de formularios, mediante el arrastre de controles.
- La sintaxis es cercana al lenguaje humano.
- Es un lenguaje de programación relativamente fácil y se conseguir en el menor tiempo posible los resultados deseados, por eso mismo su mayor uso está en las pequeñas aplicaciones, como gestión de bares o empresas
- Permite el tratamiento de mensajes de Windows.
- Gran parte del trabajo en el diseño de formularios está realizado, gracias a la gran gama de controles incorporados junto al lenguaje que ahorran costes de tiempo de desarrollo.
- Soporta el uso de componentes COM para comunicaciones con puerto serial, paralelo o USB y Active X.
- Visual Basic tiene la capacidad de modificar los datos de entrada a protocolos que son usados por algunos softwares del computador para el monitoreo de señales.
- Sólo existe un compilador llamado igual que el lenguaje.
- Sólo genera ejecutables para Windows.
- La sintaxis de programación es bastante inflexible; es decir no permite errores en las líneas de programación

Tabla 5.3. Matriz de decisión para software de adaptación de la señal de fuerza.

Parámetros de decisión	LabVIEW	Visual Basic	Puntaje óptimo
Manejo del programa.	3	6	10
HMI.	8	6	10
Facilidad de programación.	8	7	10
Disponibilidad de hardware de conexión.	7	10	10
Protocolo DDE (facilidad).	5	8	10
<i>Total.</i>	<i>31</i>	<i>37</i>	<i>50</i>

Como muestra la matriz de decisión, la mejor alternativa que se ajusta a los requerimientos de la máquina y el programador es el programa Visual Basic, por cada uno de los parámetros calificados, por lo que procederemos a usar este programa para lograr la conversión a un protocolo DDE.

Conversión a protocolo DDE.

La versión del programa Visual Basic que permite una fácil lectura de información a través del puerto serial es: Visual Basic 6.0, puesto que posee librerías de programación tales como MSCOMM, que sirven específicamente para este fin.

A continuación se explicará el proceso de programación para obtención de señal de fuerza desde la celda de carga tipo "S":

Primero se realizó la ventana donde se mostrarán los datos y luego la programación de la ventana.

Creación de la ventana

Para crear la ventana que se muestra a continuación se debe seguir el siguiente proceso:

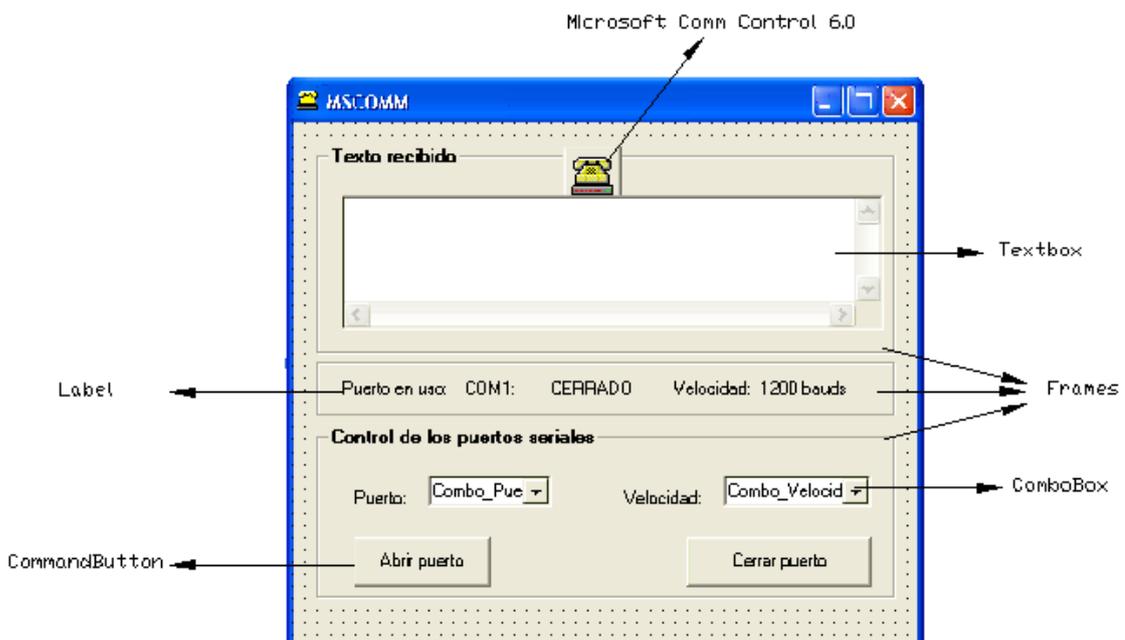


Figura 5.40. Ventana del programa ABeamdde.

- 1) Crear un **Nuevo proyecto**.
- 2) Dentro del menú **Proyecto** en la opción **Componentes** se debe activar **Microsoft Comm Control 6.0** al proyecto. Con ello aparece un icono de un teléfono en la ventana de componentes, el cual habilitará la comunicación con el puerto.
- 3) Insertar tres **Frames** que proporciona un agrupamiento de controles, los cuales pueden ser identificables colocando títulos en su parte superior.
- 4) Insertar el **Comm Control 6.0** que servirá para establecer la comunicación con el puerto.
- 5) Insertar un **TextBox** de la barra de herramientas de componentes, la cual es el espacio donde se permite el ingreso de los datos.
- 6) Insertar dos **ComboBox**, que permitirán escoger las opciones de puerto y su velocidad a través de un menú desplegable
- 7) Insertar dos **CommandButton** que permitirán accionar la apertura o cierre del puerto.
- 8) Insertar **Label**, que permitirán la información de la acción de los controles.

Programación en Visual Basic.

Para la programación de la ventana se requiere de subprogramas anidados que contienen la información de cada control, para ello se detalla paso a paso la función de cada subprograma.

Es necesario dar un nombre a cada uno de los controles en la ventana de propiedades; el nombre de cada control de la ventana es usado para identificar un objeto en la línea de programación. La siguiente tabla muestra el nombre que se le asigno a los controladores.

Tabla 5.4. Controladores para el programa ABeamdde de Visual Basic.

Controlador	Nombre Asignado
Abrir Puerto	Boton_Abrir
Cerrar Puerto	Boton_Cerrar
Combo_Puerto	Combo_Puerto
Combo_Velocidad	Combo_Velocidad
Texto recibido	Texto_Recibido
MSComm	MSComm1
COM1	Etiquetado_puerto
CERRADO	Etiquetado_estado
1200 baudios	Etiquetado_velocidad

Después de crear las ventanas donde se ingresarán los datos desde la celda de carga, es necesario realizar la programación para cada uno de los controladores, utilizando líneas de programación básica y que a su vez logren un buen funcionamiento de la recepción de datos.

Para ello es necesario conocer la acción de cada comando a utilizar. A continuación se explica la función que cumple cada comando dentro de la programación:

Private Sub (Nombre del controlador(Acción))

Ejemplo. Private Sub Boton_Abrir_Click(). Al pulsar en el botón abrir (nombre del controlador) con la acción de un clic con el mouse, ingresa al subprograma donde se ejecutarán las líneas de programación contenidas dentro de este.

On Error GoTo (línea de programación)

Ejemplo. On Error GoTo manejar_errores. Si se ocurre un error va al línea del programa direccionada, en este caso se dirige a manejar errores, caso contrario se ejecutan las siguientes líneas.

MSComm1.(Propiedades) = (Dato)

Ejemplo. MSComm1.CommPort = nro_puerto. Guarda en la memoria del controlador la información del número de puerto el cual será escogido por el usuario en el menú desplegable del combobox puerto.

Ejemplo. MSComm1.Settings = Str\$(velocidad) + ",N,8,1"

Se escoge los parámetros de comunicación como es la velocidad, paridad, cantidad de transferencia de bits y cantidad de bits de parada.

Ejemplo. MSComm1.RThreshold = 1 Dar un valor de 1 a esta propiedad, provoca que el controlador MSComm genere un evento OnComm cada vez que un dato es situado en el buffer de llegada.

MsgBox ("Texto" + Str\$(Dato seleccionado))

Ejemplo. MsgBox ("Puerto COM" + Str\$(nro_puerto) + ": abierto OK")

En esta línea crea una nueva ventana en la que comunica que el puerto seleccionado se ha abierto.

Ejemplo. MsgBox ("Error al intentar abrir COM" + Str\$(nro_puerto))

En esta línea aparece una nueva ventana comunicando que ha existido un error al tratar de abrir el puerto seleccionado.

Nombre del controlador.(Propiedades) = "Texto" + Str\$(Dato)

Ejemplo. Etiq_Puerto.Caption = "COM" + Str\$(nro_puerto) + ":"

Con esta línea de programación modifica el texto de la ventana principal, mostrando el número de puerto que se ha escogido.

Ejemplo. Etiq_Estado.ForeColor = &HFF00&

En esta línea se modifica el color del texto de la ventana principal, escogiendo el color verde por el código

GoTo (Línea de programación)

La ejecución de esta línea provoca un salto a la línea de programación especificada.

Dim (Name) As (Tipo de variable)

Ejemplo. Dim viejo_puerto As Integer. Dim es utilizado para declarar una variable local es decir dentro del subprograma, procedimiento o formulario.

As es utilizado para especificar el tipo de variable, en este caso Integer (valores entre -32768 y 32767).

If (Condición 1) (Operador lógico) (Condición 2) Then (Acción)

Ejemplo. If (nro_puerto <> viejo_puerto) And (mensajes_cambios = True)
Then MsgBox "Debe abrir este puerto antes de usarlo".

Este comando realiza una acción siempre y cuando se cumpla una validación.

Private Sub Form_Load()

En este subprograma se configura los parámetros de recepción de datos y además se inicializan las variables cuando se arranca el programa.

Set excelApp = CreateObject("Excel.Application")

Con el uso de esta línea de programación se inicializa un documento de Excel, donde posteriormente se enviarán datos.

Set excelWb = excelApp.Workbooks.Add

Este comando asigna referencias de objeto a las variables y lo hace mediante el uso de métodos Add para crear nuevos objetos de libro de trabajo y hoja de cálculo.

excelApp.Visible = True

La referencia .Visible permite al programador visualizar el documento, libro y hoja de Excel que es inicializada con las líneas anteriores.

excelApp.UserControl = True

La referencia. User Control permite al programador obtener el control de las hojas y celdas de Excel desde Visual Basic donde se podrá elaborar cálculos o el desarrollo de fórmulas directamente.

Private Sub MSComm1_OnComm()

Este Subprograma intercepta los eventos que se producen durante la comunicación RS232. Cada vez que pasa algo relativo al puerto COM en uso, cambia el valor de la propiedad CommEvent Ejemplo: Si suena el teléfono, y el

MODEM está conectado a la línea, y se está utilizando el puerto COM correspondiente al modem, se generará el evento OnComm y la propiedad CommEvent valdrá 6. (6 es el valor de la constante commEvRing, ya definida internamente por Visual Basic).

InStr(Start, string1,End)

La línea de programación In String funciona dentro de un bloque de valores; si se desea coger un valor dentro de todo el bloque se debe usar este comando, donde Start será el inicio del bloque o una posición en general, string 1 es el bloque de donde se obtendrá valores, y End es la posición hasta donde se desea coger el valor. Finalmente la función InStr arrojará una cadena de valores.

Ejemplo. InStr(Ini, valor, chr(13)) .

Mid(string, Start[, length])

El comando Mid permite al usuario obtener un valor exacto dentro de una cadena. Es decir buscar posiciones específicas dentro de la cadena. String es el bloque de donde se obtendrán los valores, Start es desde donde se buscará ciertos valores, y length es hasta donde se desea recoger la cadena de valores.

Ejemplo. Mid(valor, Ini, Pos - Ini).

Trim(Cadena)

El comando Trim es usado para cortar la cadena o una serie de valores si existen espacios en blanco en los extremos de esta. Así por ejemplo suponemos que existen 3 espacios en blanco dentro de la cadena y dos al final (___25 N__), la función Trim se encarga de mostrar una nueva cadena sin espacios externos. (25 N).

Len(string)

Esta función arroja el número de valores recibidos sea cual fuere este. Ejemplo. Len (valor) ejecutará la acción deseada hasta que ya no existan datos en la variable valor.

Resume Salir

El comando Resume permite continuar con el programa.

End Sub

Este comando finaliza la programación dentro de un subprograma.

Codificación de los subprogramas:

1. Programación para el controlador “Boton_Abrir_Click()”

```
Private Sub Boton_Abrir_Click()  
    On Error GoTo manejar_errores  
    MSComm1.CommPort = nro_puerto  
    MSComm1.Settings = Str$(velocidad) + ",N,8,1"  
    MSComm1.PortOpen = True  
    MsgBox ("Puerto COM" + Str$(nro_puerto) + ": abierto OK")  
    Etiq_Puerto.Caption = "COM" + Str$(nro_puerto) + ":"  
    Etiq_Velocidad.Caption = Str$(velocidad) + " bauds"  
    Etiq_Estado.ForeColor = &HFF00&  
    Etiq_Estado.Caption = "Abierto"  
    GoTo Salir  
    manejar_errores:  
        MsgBox ("Error al intentar abrir COM" + Str$(nro_puerto))  
        MsgBox ("Error detectado por Visual Basic: " + Err.Description)  
        Resume Salir  
    Salir:  
End Sub
```

2. Programación para el controlador “Boton_Cerrar_Click()”

```
Private Sub Boton_Cerrar_Click()  
    On Error GoTo manejar_errores  
    MSComm1.PortOpen = False  
    MsgBox ("Puerto COM" + Str$(nro_puerto) + ": cerrado OK")  
    Etiq_Estado.ForeColor = &HFF&  
    Etiq_Estado = "CERRADO"
```

```

GoTo Salir
manejar_errores:
    MsgBox ("Error al intentar cerrar COM" + Str$(nro_puerto))
    MsgBox ("Visual basic detectó: " + Err.Description)
    Resume Salir
Salir:
End Sub

```

3. Programación para el controlador “Combobox_Puerto_Click()”

```

Private Sub Combo_Puerto_Click()
    Dim viejo_puerto As Integer
    viejo_puerto = nro_puerto
    nro_puerto = Combo_Puerto.ListIndex
    nro_puerto = Combo_Puerto.ItemData(nro_puerto)
    If (nro_puerto <> viejo_puerto) And (mensajes_cambios = True) _
    Then MsgBox "Debe abrir este puerto antes de usarlo"
End Sub

```

4. Programación para el controlador “Combobox_Velocidad_Click()”

```

Private Sub Combo_Velocidad_Click()
    Dim vieja_velocidad As Integer
    vieja_velocidad = velocidad
    velocidad = Combo_Velocidad.ListIndex
    velocidad = Combo_Velocidad.ItemData(velocidad)
End Sub

```

5. Programación para el controlador “Form Load()”

```

Private Sub Form_Load()
    Set excelApp = CreateObject("Excel.Application")
    Set excelWb = excelApp.Workbooks.Add
    Set excelWs = excelWb.Worksheets("Hoja1")
    excelApp.Visible = True
    excelApp.UserControl = True
    mensajes_cambios = False

```

```

velocidad = 1200
nro_puerto = 9600
Combo_Puerto.ListIndex = 0
Combo_Velocidad.ListIndex = 3
mensajes_cambios = True
MSComm1.InputLen = 0
MSComm1.RThreshold = 1
MSComm1.SThreshold = 1
MsgBox "Recuerde, debe abrir un puerto antes de empezar a usarlo"
Etiq_Estado.ForeColor = &HFF& 'Rojo
Etiq_Estado.Caption = "CERRADO"
End Sub

```

6. Programación para el controlador “OnComm()”

```

Private Sub MSComm1_OnComm()
On Error GoTo err1
    Dim envio As Boolean
    Dim i As Integer
    Dim Cadena As String
    Dim Pos, Ini As Integer
    envio = False
    If MSComm1.CommEvent = comEvReceive Then
        valor = MSComm1.Input + Chr(13)
        Texto_Recibido.Text = Texto_Recibido.Text + valor
        Ini = 1
        Pos = 1
        Do
            Pos = InStr(Ini, valor, Chr(13))
            Cadena = Mid(valor, Ini, Pos - Ini)
            If Trim(Cadena) <> "" Then
                excelWs.Cells(1, 1).Value = Mid(Trim(Cadena), 1, InStr(1, Trim(Cadena), Chr(32)) - 1)
                excelWs.Cells(1, 2).Value = Mid(Trim(Cadena), InStr(1, Trim(Cadena), Chr(32)), Len(Trim(Cadena)))
            End If
        Loop
    End If
err1:

```

```

        End If
        Ini = Pos + 2
        Loop While Ini < Len(valor)
    End If
    If MSCComm1.CommEvent = comEvSend Then
        Texto_Mensajes = "Se envió texto"
    End If
Exit Sub
err1:
    MsgBox "Se produjo un error:" + Err.Description
End Sub

```

Con la programación descrita anteriormente en lenguaje de Visual Basic, se lee los datos de la celda de carga tipo "S", que vienen desde un puerto serial, y que pueden ser leídos posteriormente, mediante el enlace adecuado, desde el software de monitoreo a través de Excel.

Para realizar el monitoreo, es necesario la configuración del programa de comunicación entre la celda de carga y el computador (ABeamdde).

El programa ABeamdde presenta una configuración de fácil acceso para el usuario, pues se debe seleccionar el puerto al cual estará conectada la celda de carga, y la velocidad de transferencia de datos.

La velocidad de transferencia de datos desde el display AFTI hacia el puerto USB, es constante e igual a 9600 baudios.

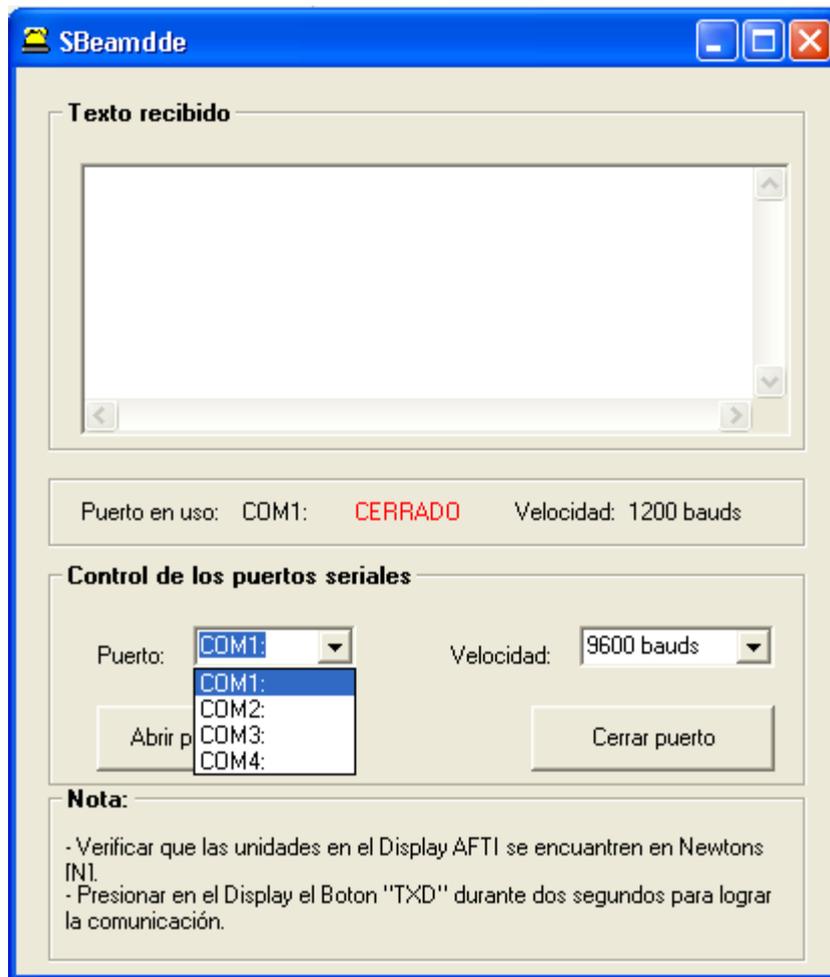


Figura 5.41. Configuración del programa ABeamdde.

Este programa se ejecutará desde el software de monitoreo de las señales.

5.1.4. INTERCONEXIÓN DE SEÑALES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN SOFTWARE.

El software que desempeña la función de interconexión de señales desde el PLC y desde es sensor de fuerza, debe adecuarse a ciertas exigencias y parámetros para ser considerado como la mejor alternativa para ser aplicado en el monitoreo de la máquina MTS TK/T5002.

Se conoce que existen programas usados actualmente en cuanto al control y monitoreo de sistemas, pero se debe buscar que el software que requiere la máquina deba permitir un fácil monitoreo de datos; es decir, que pueda recibir

señales del sensor de desplazamiento a través del PLC, y señales de la celda de carga a través de un display propio del fabricante.

El programa debe tener compatibilidad con Windows, para poder realizar un análisis de los datos por medio de gráficas, valores y estadísticas; y además se debe buscar un software de fácil manejo y que presente una interfaz amigable entre el usuario y el computador, para que su programación permita visualizar de forma rápida y sencilla lo que esta ocurriendo con el funcionamiento de la máquina.

Dentro del mercado local existen muchos programas reconocidos mundialmente para el control de procesos, pero las alternativas de software que más se ajustan a los requerimientos de la máquina MTS TK/T5002 se detallan a continuación:

- InTouch.
- LabVIEW.
- Lookout.

InTouch.

InTouch de Wonderware es un sistema de visualización y control de procesos HMI diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como la adquisición de datos, el control de instrumentos y el monitoreo de señales.

El software InTouch es muy reconocido mundialmente por su facilidad de uso y también debido a que permite realizar más rápido la creación y modificación de los gráficos en las aplicaciones.

Un usuario puede desarrollar gráficos que sean intuitivos y fáciles de usar con una variedad de herramientas en el ambiente de edición de gráficos WindowMaker de Wonderware, ayudando a los usuarios a desarrollar e instalar aplicaciones de visualización de manera rápida.

La versión 9.5 de InTouch es la más actual hasta el momento y se diferencia de las versiones anteriores debido a las mejoras que presenta en productividad operacional y de ingeniería. Los comandos Wizards y los nuevos SmartSymbols de Wonderware permiten a los usuarios crear e instalar de manera rápida aplicaciones personalizadas que se conectan y entregan información en tiempo real.

Las aplicaciones de InTouch son suficientemente flexibles para cumplir necesidades inmediatas y poder escalarlas para satisfacer requerimientos, mientras conserva el valor de la inversión y los esfuerzos de la ingeniería.

Las aplicaciones de InTouch son versátiles y pueden usarse desde dispositivos móviles, computadoras remotas e incluso a través de internet. Además, la HMI InTouch extensible y abierta ofrece incomparable conectividad con la más amplia gama de equipos y dispositivos de automatización en la industria.

El software InTouch puede conectarse prácticamente a cualquier dispositivo de control de automatización industrial (PLC's) gracias a los cientos de servidores de I/O y OPC diseñados para conectarse a productos Wonderware. Los servidores de Wonderware ofrecen acceso a las aplicaciones de InTouch a través de la comunicación por Microsoft DDE, como también con el protocolo SuiteLink de Wonderware o a la tecnología OPC.

El software InTouch ha recibido la certificación "diseñado para Windows XP" El riguroso proceso de certificación asegura a los usuarios que el software certificado para el sistema operativo Windows XP trabajará de manera óptima con las nuevas características.

Lookout.

Es un Software con conectividad a PLC para crear interfaces hombre-máquina. Lookout de National Instruments es el software HMI/SCADA que permite fácilmente crear poderosas aplicaciones de monitoreo y control de procesos. Con Lookout, el desarrollo de la interfase HMI toma menos tiempo permitiendo ahorrar costos totales de un proyecto.

Dentro de sus características podemos nombrar las siguientes:

- Lookout elimina completamente la programación, scripts o compilación separada. Solamente se tiene que configurar y conectar objetos para desarrollar aplicaciones de monitoreo y control.
- Con Lookout, usted puede monitorear y controlar su proceso usando un browser de web (como internet explorer o Netscape) sin necesidad de programar en HTML o XML. Solamente seleccione exportar su proceso como una página web en Lookout y esta cumple con su finalidad.
- Desempeño confiable para ciertas aplicaciones de Windows.
- Herramientas de manejo de datos.
- Visualización. Posee más de 3200 gráficas adicionales y una paleta con 16 millones de colores.
- Se puede utilizar cualquier control Active X, o usar lenguajes de programación como C, C++, o Visual Basic para incrementar la funcionalidad de Lookout.

LabVIEW.

LabVIEW de National Instruments es un software que proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos, ofreciendo una gran flexibilidad gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de las herramientas de desarrollo tradicionales, lo que hace de este software que utilice un interfaz amigable con el programador.

Este programa puede aumentar la productividad en la aplicación de cualquier proceso debido a que establece una interfaz con señales de tiempo real, analiza datos para información significativa y comparte resultados con otros programas. En LabVIEW se puede crear aplicaciones que van desde la simple monitorización de temperatura hasta la simulación y diseño de sistemas de control.

Características principales:

- Posee un intuitivo lenguaje de programación gráfico.
- Herramientas de desarrollo y librerías específicas para aplicaciones.
- Despliegue en ordenadores personales, móviles, industriales y sistemas de computación empotrados.

El entorno de desarrollo LabVIEW simplifica las simples tareas así como los grandes proyectos de desarrollo en equipo debido a que maneja un lenguaje abierto con lo cual aprovecha el código ya existente, se integra fácilmente con sistemas de herencia y se incorpora a softwares como .NET, Active X, DLLs, objetos, TCP, tecnología de redes, etc.

LabVIEW puede adaptarse a PLC's para el control y monitoreo de señales mediante la utilización de herramientas especiales como módulos o programas complementarios, que faciliten la comunicación entre estos equipos y el software.

Tabla 5.5. Matriz de decisión del software para la interconexión de señales

Parámetros de decisión.	InTouch.	Lookout.	LabView.	Puntaje óptimo
Monitoreo de datos (facilidad)	8	7	7	10
Compatibilidad con Windows	9	6	8	10
Manejo del programa	9	7	6	10
Disponibilidad en el mercado	5	5	6	10
HMI	8	6	8	10
Control del PLC	9	6	7	10
<i>Total.</i>	<i>48</i>	<i>37</i>	<i>42</i>	<i>60</i>

La matriz de decisión muestra que el mejor software existente en el medio, de fácil manejo y amigable con el usuario para el monitoreo de datos, lo realiza el programa InTouch de Wonderware.

5.1.4.1. Software para interconexión de señales.

La recepción de datos se hace a través del programa InTouch cuya versión más actualizada es el InTouch 9.5; este programa es el más común en procesos industriales que involucren PLC en su control.

El proceso de creación de un programa de monitoreo para el desplazamiento de la máquina MTS TK/T 5002 consta de 3 puntos:

- Diseño de ventanas en el InTouch.
- Fuente para almacenamiento y declaración de variables para el PLC y la celda de carga tipo “S”.
- Activación de comandos Wizards.

5.1.4.1.1. Diseño de ventanas en el InTouch.

Previo al diseño de las ventanas, es necesario crear una aplicación, y para ello se requiere del siguiente procedimiento:

- Se debe ingresar al InTouch 9.5; luego en la ventana principal seleccionar un nuevo proyecto en la opción **New** del menú **File**.

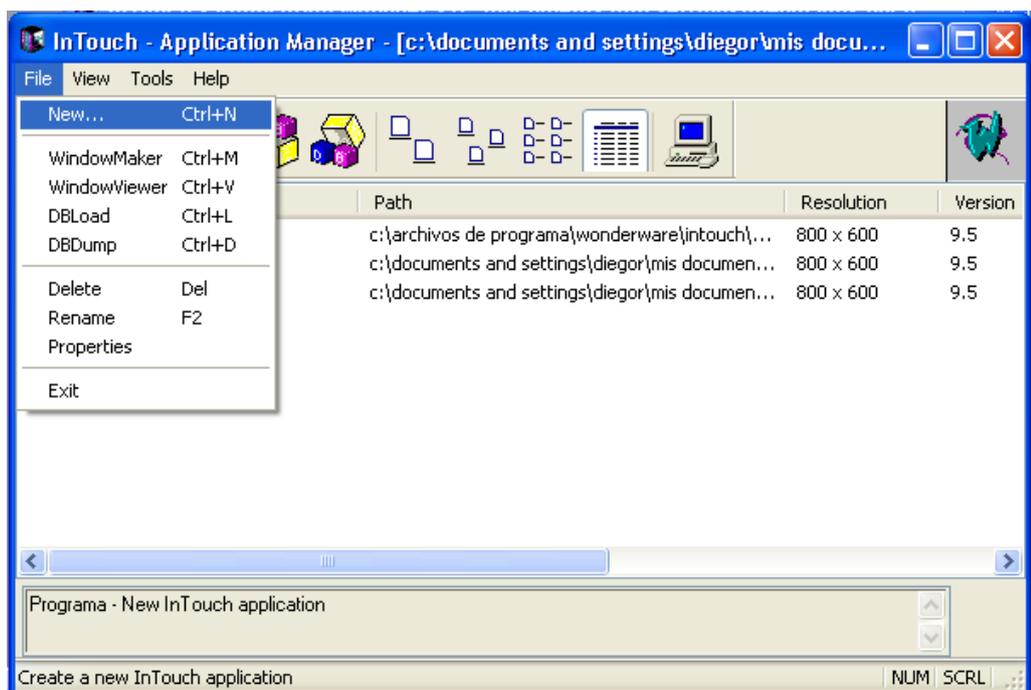


Figura 5.42. InTouch – Application Manager.

- En la ventana Create New Application se direcciona la ubicación del documento desde el botón **Browse**; y una vez seleccionada la ubicación se hace un clic en **Siguiente**.

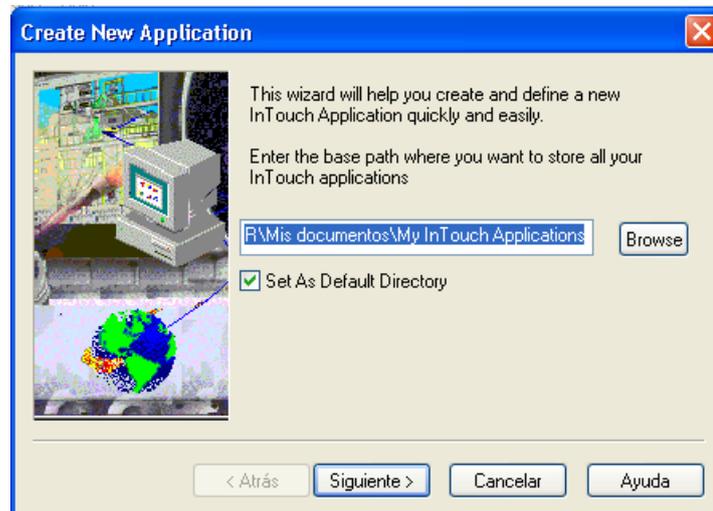


Figura 5.43. InTouch – Create New Application.

- La siguiente ventana nos permite dar un nombre cualquiera a la nueva aplicación. Hacemos clic en **Siguiente** y posterior a esto **Finalizar**.



Figura 5.44. InTouch – Application Name.

- Ingresamos en la aplicación creada dando doble clic en la ventana Application Manager.

- Aparece la siguiente ventana para localizar la licencia física del programa. Hacemos clic en **Aceptar**.

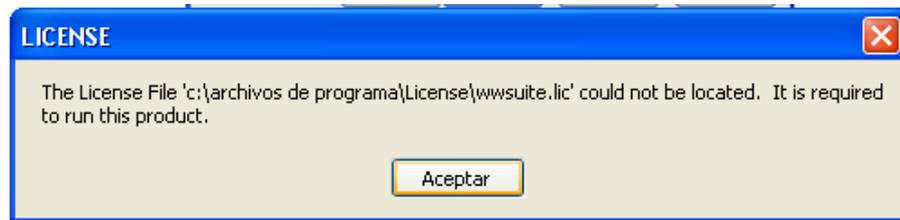


Figura 5.45. InTouch – License.

- Aparecerá una nueva ventana reiterando la información anterior para reintentar encontrar la licencia física, donde se escogerá la opción **Omitir**.



Figura 5.46. InTouch – License Window.

Una vez creada la aplicación se continuará con la construcción de ventanas en el programa InTouch 9.5.

- 1) Haciendo clic derecho en la opción **Windows** del Application Explorer, seleccionamos **New**. Aparecerá una nueva ventana.

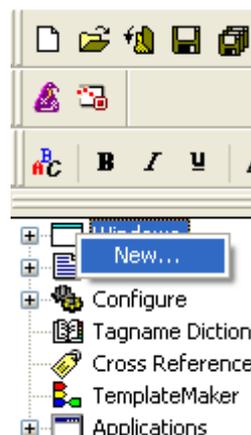


Figura 5.47. InTouch – Application Manager.

- 2) La ventana Window Properties permite llenar los datos de nombre, ubicación, tamaño, color, y un comentario si así se lo requiere. Para la ventana tracción se llenó el Window Properties con la siguiente información:

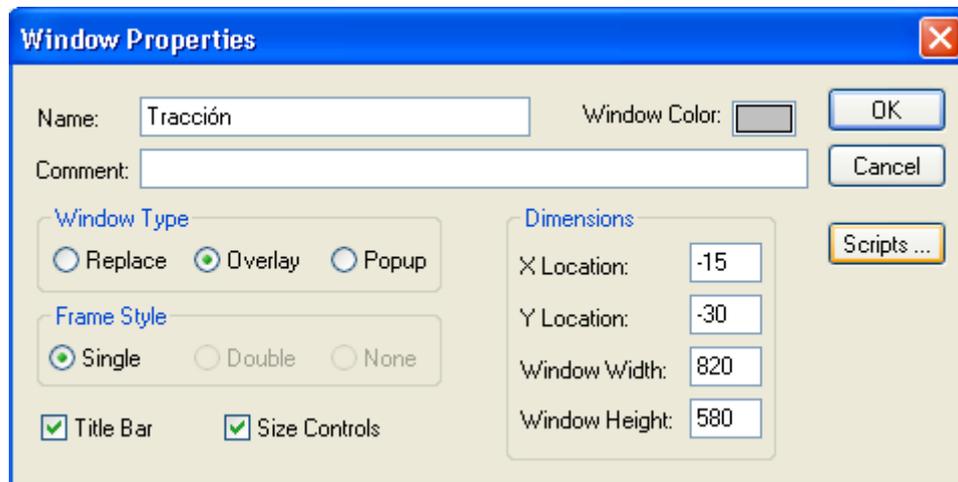


Figura 5.48. InTouch – Windows Properties

- 3) Luego de esto aparece una ventana con fondo del color seleccionado donde se podrá insertar gráficos, texto o botones.

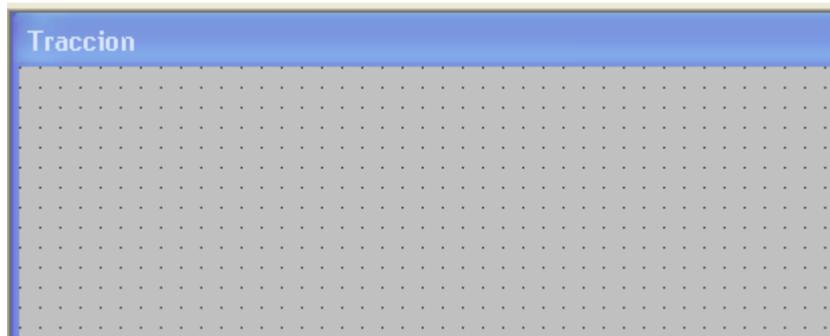


Figura 5.49. InTouch – Windows.

- 4) Para agregar un fondo se escoge el botón Bitmap ubicado a la derecha de la pantalla, y se dibuja un rectángulo con las dimensiones requeridas.

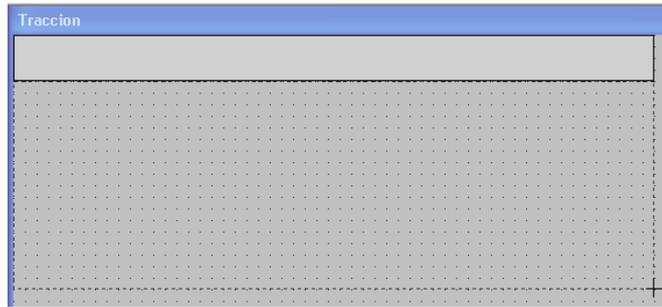


Figura 5.50. InTouch – Bitmap.

- 5) Se puede escoger el color del fondo desde la barra de herramientas con el botón **Fill Color**.

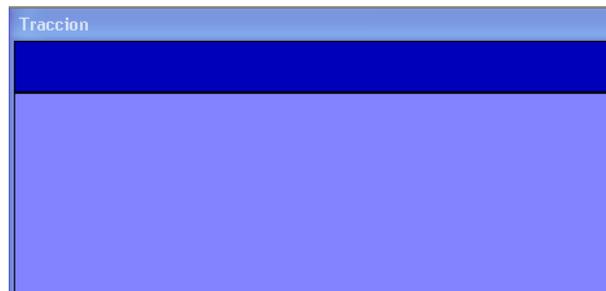


Figura 5.51. InTouch – Windows Fill Color.

- 6) Para ingresar texto se puede realizar mediante el botón **Text** de la barra de herramientas **Drawing**; se localiza la posición donde se desea escribir y se modifican las propiedades del Texto mediante la barra de herramientas **Format**.

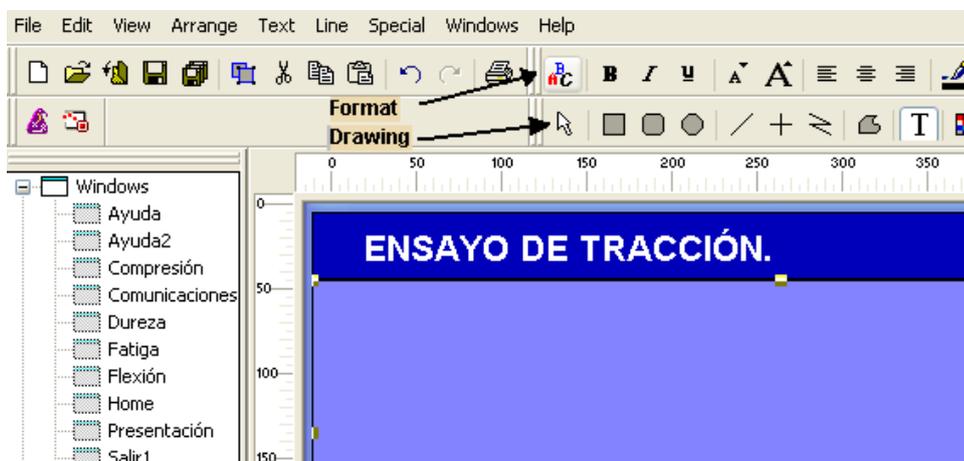


Figura 5.52. InTouch – Text.

- 7) Para ingresar una figura a una ventana del InTouch, se debe realizar un Bitmap que alojará a la imagen. Luego se realiza clic derecho con el mouse y se selecciona la opción **Import Image**, para poder insertar una imagen desde un archivo.

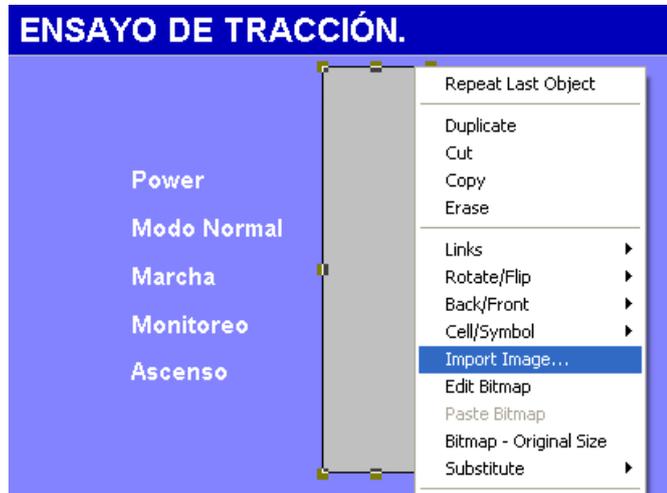


Figura 5.53. InTouch – Import Image.

- 8) Para insertar luces a las ventanas se lo realiza mediante el botón **Wizard** de la barra de herramientas del programa, se escoge la opción **Lights**, se escoge un LED y a continuación se hace clic en la opción **Ok**. Luego de ello se escoge la ubicación de la luz con el mouse.

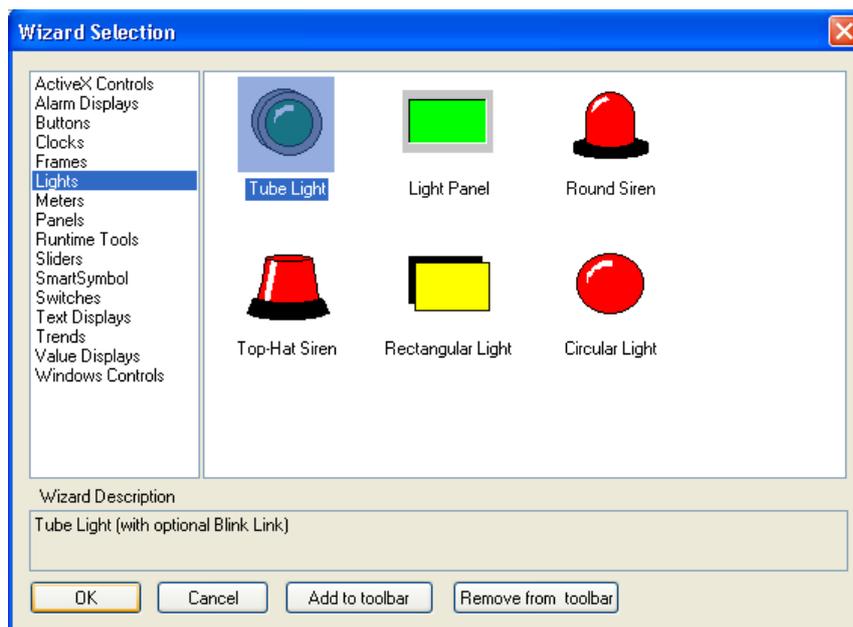


Figura 5.54. InTouch – Lights.

- 9) Para insertar un gráfico se escoge la opción **Trends** del menú del botón **Wizard**, se selecciona la opción **Hist Trend w/Scooters and Scale** y a continuación **Ok**.

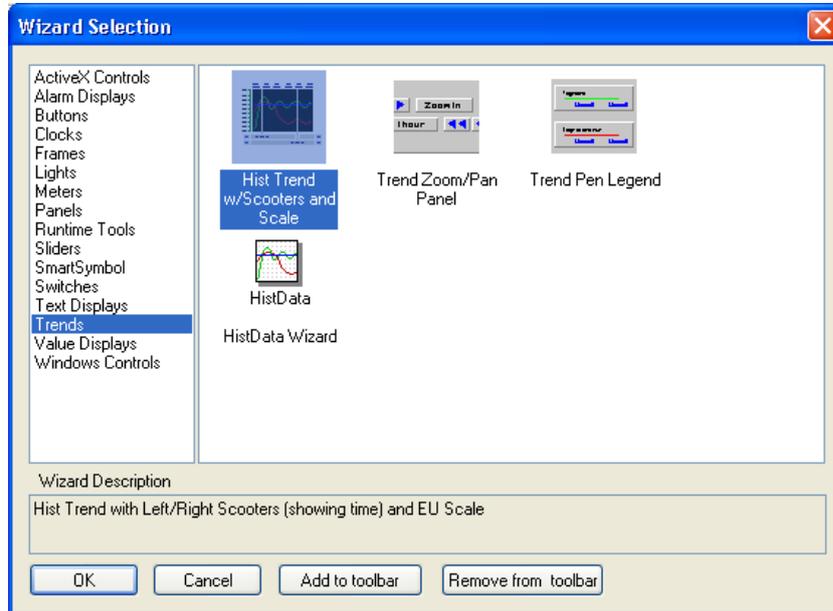


Figura 5.55. InTouch – Hist Trend w/Scooters and Scale.

- 10) Para presentar en la ventana la opción de grabar los datos del gráfico, se lo realiza escogiendo la opción **HistData Wizard**, en la opción **Trends** del botón **Wizard**.

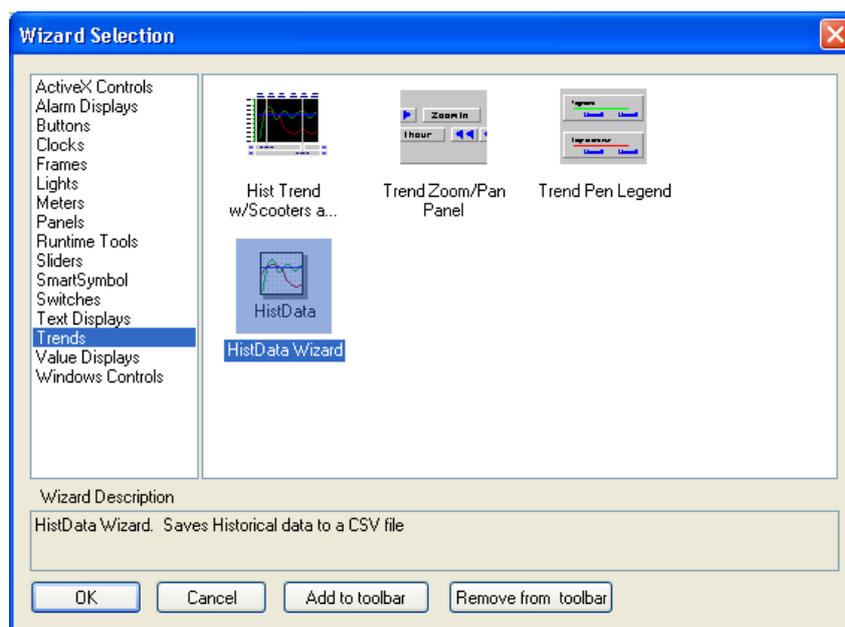


Figura 5.56. InTouch – HistData Wizard.

11) La creación de los hipervínculos de las ventanas se lo realiza con el siguiente procedimiento:

- Primero se debe dar clic derecho con el Mouse sobre un bitmap, un texto o una imagen en la opción **Animation Link**.

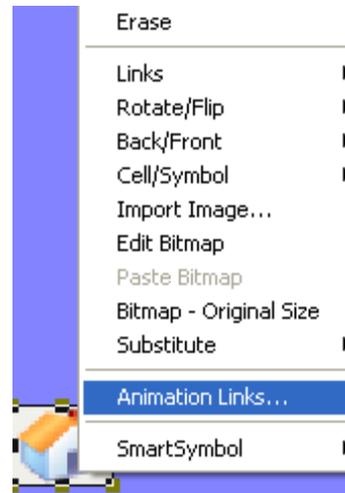


Figura 5.57. InTouch – Animation Links.

- Una vez ingresada a la opción **Animation Links**, aparece una nueva ventana en la escogemos el botón **Show Windows**.

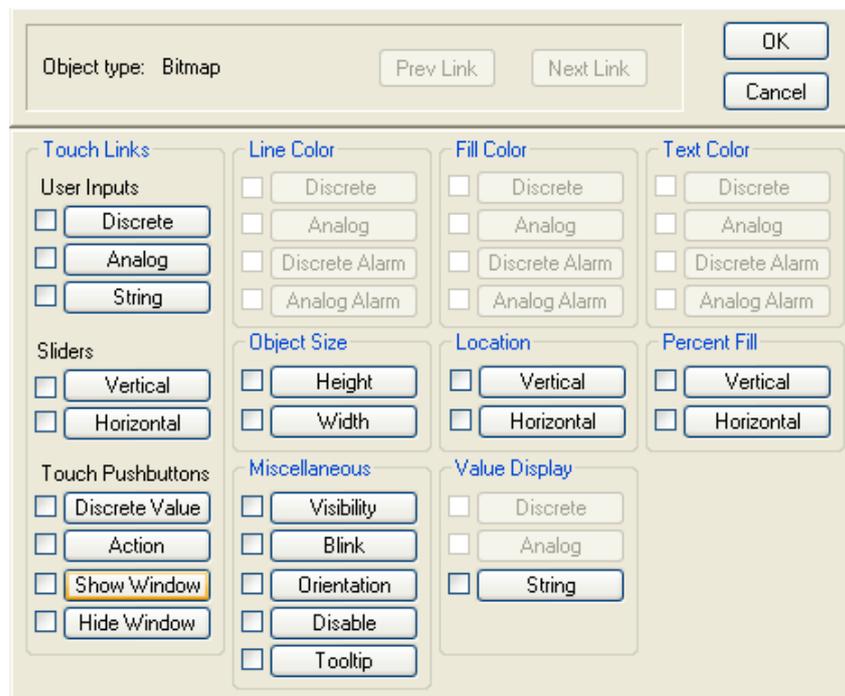


Figura 5.58. InTouch – Touch Pushbuttons.

- En la ventana de **Show Window** procedemos a señalar la ventana que aparecerá cuando ejecutemos el hipervínculo y a continuación el botón **Ok**.

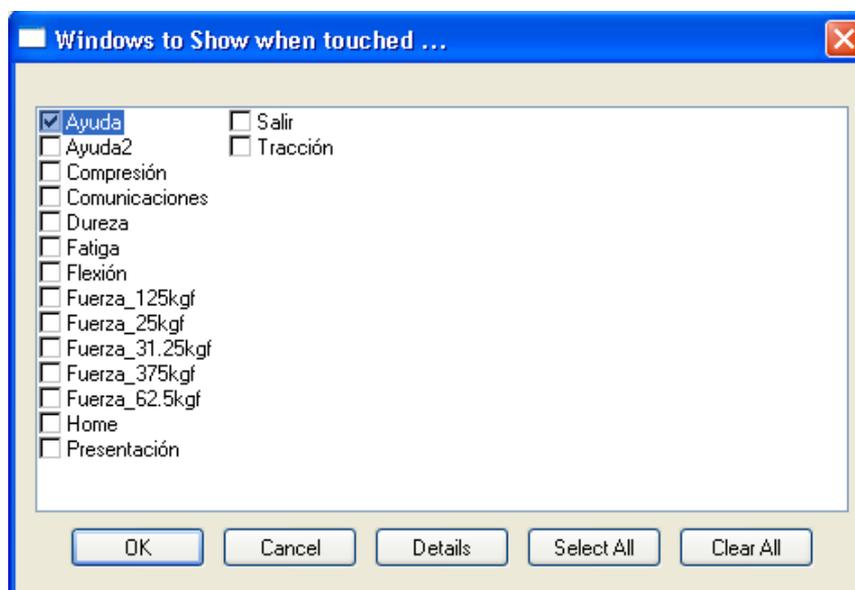


Figura 5.59. InTouch – Show Windows.

5.1.4.1.2. Fuente para almacenamiento y declaración de variables para el PLC y la celda de carga tipo "S".

Para la declaración de variables es necesario primero crear una fuente en la cual se alojarán estas variables.

- 1) Para crear la fuente donde se almacenarán las variables se ingresa primero en la opción **Access Names** del menú **Special**, en la barra principal del programa.
- 2) En la ventana que aparece se debe seleccionar el botón **Add** para poder ingresar una nueva fuente, y luego se registrarán los datos como se indica en la figura siguiente.

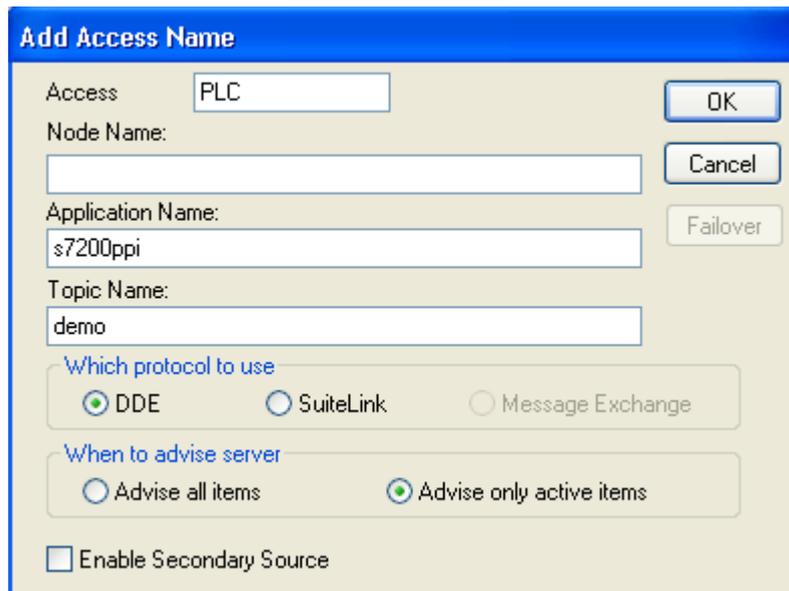


Figura 5.60. InTouch – Add Access Name.

En **Access** introducimos el nombre de la fuente donde se almacenarán las variables.

En **Application Name** se debe llenar con el nombre del programa que sirve como comunicación entre el PLC y el Computador (s7200ppi) o entre la celda de carga y el computador (ABeamdde) y el programa de almacenamiento de de datos registrados (HistData), y se selecciona el protocolo **DDE** (Dirección de datos externos), que es aquel que se maneja por la mayoría de programas de computadora.

Estas Aplicaciones serán ejecutadas al iniciar el monitoreo de las señales a través de las ventanas de aviso de ejecución, que aparecen al arrancar el programa de monitoreo (WindowsViewer); caso contrario se podrá ejecutar los programas mencionados desde las opciones que brinda el software.

Finalmente ingresamos en **Topic Name**, el nombre del archivo de la aplicación. Damos un clic en **OK** para finalizar la creación de la fuente.

La declaración de variables se debe realizar de acuerdo a la entrada o salida en el PLC.

Ingresamos al menú **Special**, seleccionando en la opción **Tagname Dictionary**. En la ventana que se abre escogemos el botón **New**, y se procede a definir cada uno de los parámetros de la ventana, como: nombre y tipo de

variable, parámetros (de ser el caso), la fuente donde se almacenará esta variable, y la identificación de variable interna, de entrada o de salida en el PLC.

Es recomendable activar **Log Data**, para permitir que los datos de la variable se almacenen en la memoria del programa para su posterior graficación.

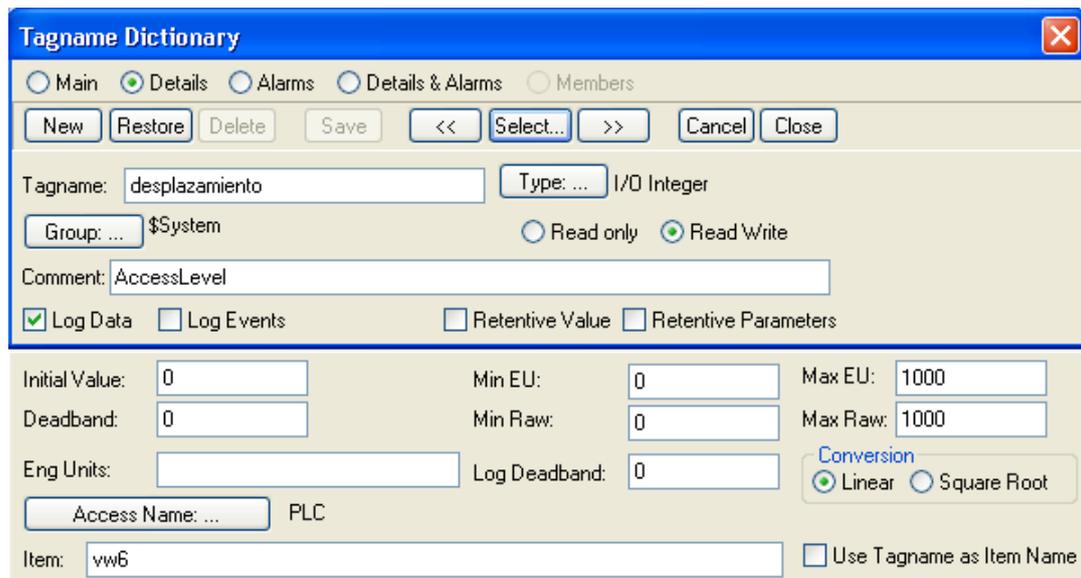


Figura 5.61. Menú diccionario de etiquetas.

Siguiendo los pasos descritos anteriormente, se procede a declarar las variables que se utilizarán para esta aplicación. La grafica muestra los parámetros de declaración para las variables.

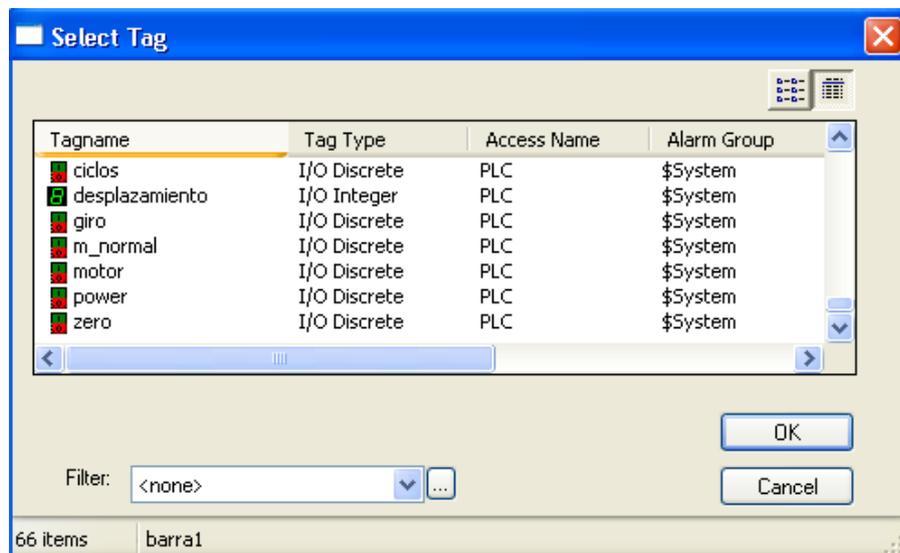


Figura 5.62. Declaración de variables del PLC en InTouch.

Para la declaración de variables para el monitoreo de la celda de carga se debe direccional de acuerdo a la localización de los datos en el programa Excel.

El procedimiento para declarar variables es similar a la declaración que se hizo para el PLC, es decir, ingresamos al menú **Special**, en la opción **Tagname Dictionary**. En la ventana que se abre escogemos el botón **New**, y se ingresan los datos de acuerdo a como se indica en la siguiente figura.

The screenshot shows the 'Tagname Dictionary' dialog box with the following details:

- Tab: Details
- Buttons: New, Restore, Delete, Save, <<, Select..., >>, Cancel, Close
- Tagname: fuerza
- Type: I/O Real
- Group: \$System
- Read only: Read Write:
- Comment: (empty)
- Log Data: Log Events: Retentive Value: Retentive Parameters:
- Initial Value: 0
- Min EU: -32768
- Max EU: 32767
- Deadband: 0
- Min Raw: -32768
- Max Raw: 32767
- Eng Units: (empty)
- Log Deadband: 0
- Conversion: Linear Square Root
- Access Name: excel
- Item: L1C1
- Use Tagname as Item Name:

Figura 5.63. Declaración de variables para celda de carga en InTouch.

Es necesario indicar que para este caso se debe escoger la fuente respectiva para la celda de carga, es decir seleccionamos la fuente de fuerza. Es recomendable activar también **Log Data**, para permitir que los datos de la variable se almacenen en la memoria del programa para un posterior uso.

5.1.4.1.3 Activación de comandos Wizards.

La activación de los comandos Wizards, los cuales pueden ser botones, gráficos, luces, texto, etc. dependen de los valores que tomen las variables que han sido declaradas anteriormente.

Para la opción **Trend** de **Wizard**, la activación de sus comandos se la realiza dando doble clic en el gráfico. En la ventana que se abre, se selecciona la opción **Pens**, para ingresar aquí las variables que se visualizarán en la gráfica.

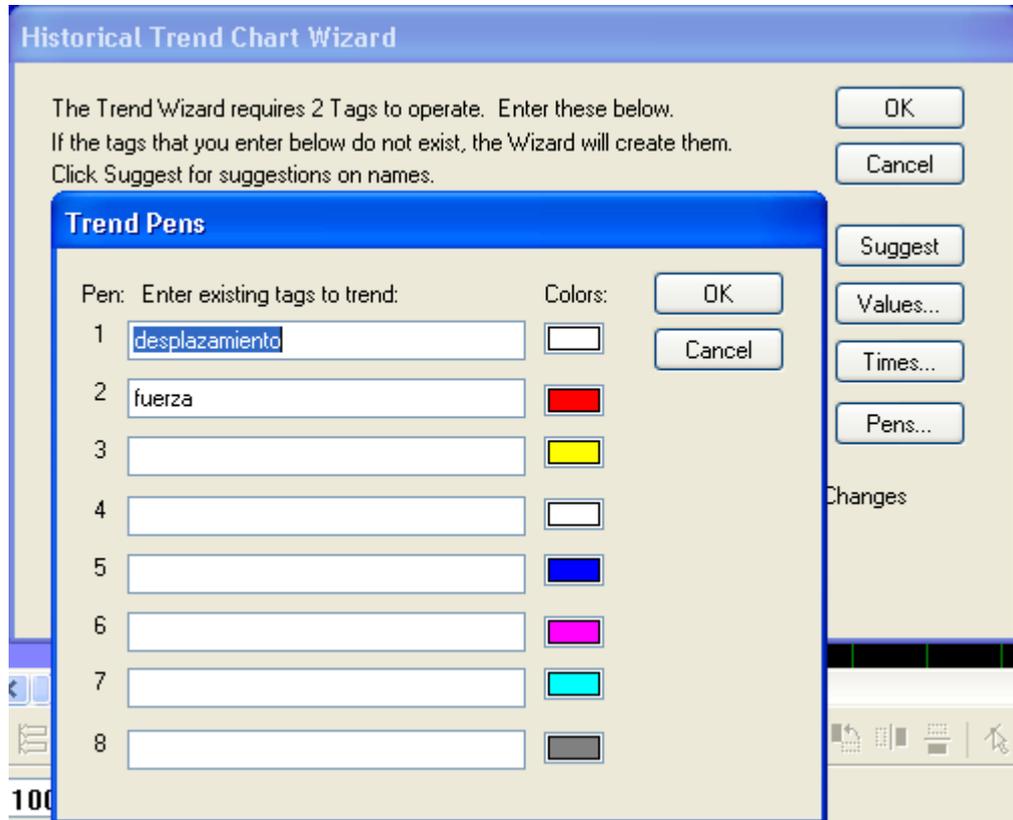


Figura 5.64. Variables para visualizar en la gráfica de InTouch.

A continuación se selecciona el botón **Suggest**, con lo cual el programa asigna automáticamente los datos requeridos en la ventana **Hist Trend Chart Wizard**, finalmente damos clic en **OK**.

Posteriormente se hace clic derecho en el botón **Save To File** del Trend Wizard, donde se escoge la opción **Propiedades** para modificar el número de grabaciones a escribir por cada archivo, como se ve en la figura siguiente.

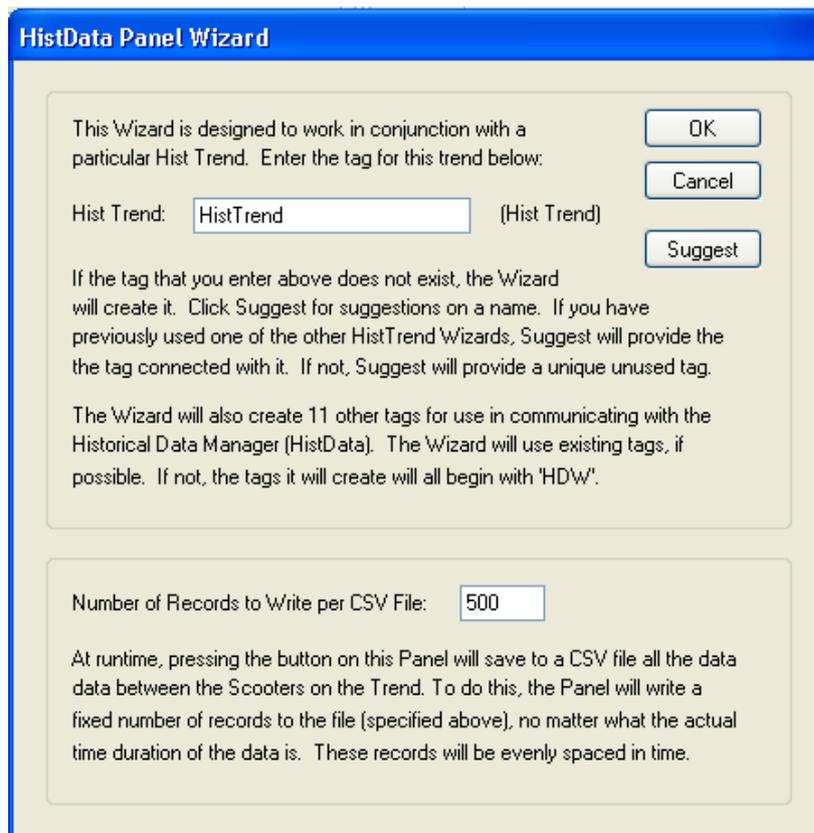


Figura 5.65. Menú de selección de datos a guardar por archivo.

Para asignar las variables a los botones, es necesario romper la celda, realizando clic derecho sobre el botón y seleccionando la opción **Cell/Symbol – Break Cell**. Luego dando doble clic, aparecerá una ventana **Animation Links**, donde se debe seleccionar el botón **Analog** del grupo **Value Display**, luego se abre la siguiente ventana, donde se ingresa el nombre de la variable declarada anteriormente.

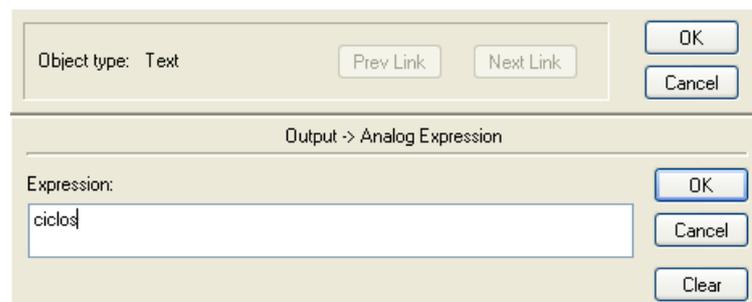


Figura 5.66. Menú de selección de las variables a visualizar.

Este procedimiento se lo realiza para los botones de las variables desplazamiento, fuerza y ciclos.

Una vez vinculados los botones a las variables correspondientes, se puede agrupar nuevamente los elementos en la celda original, seleccionando todos los elementos y seleccionando la opción **Make Cell** de **Cell/Symbol**

Para asignar variables a las luces existentes en las ventanas, se debe romper la celda de estos elementos, y posteriormente se realiza doble clic en la luz; y llenamos la expresión de acuerdo a los requerimientos, con simples operaciones lógicas, como se muestra en la figura.



Figura 5.67. Menú de asignación de variables para luces.

Para realizar vínculos entre las ventanas de intouch, es decir si se desea que al pulsar un botón se abra otra ventan, se debe realizar doble clic el botón, imagen, texto, etc. y a continuación seleccionamos la opción Show Windows (para mostrar nuevas ventanas) o Hide Windows (para ocultar ventanas) del grupo **Touch Pushbuttons**, donde podremos escoger las ventanas que aparecen o se esconden según los requerimientos.

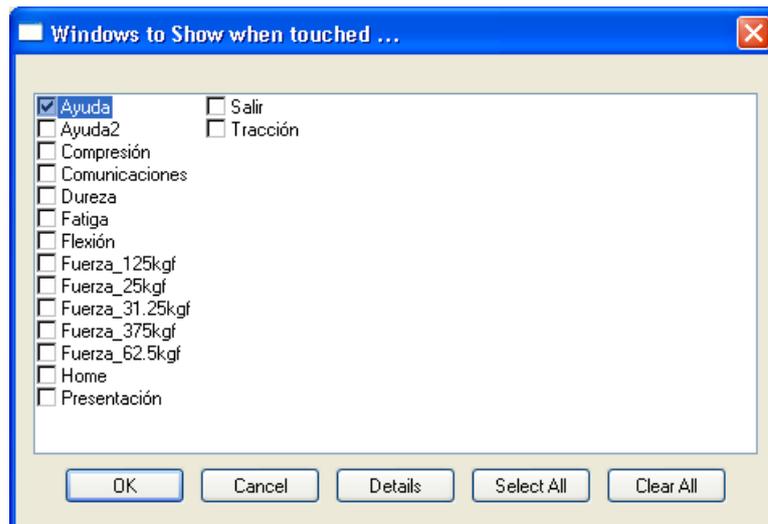


Figura 5.68. Vinculación de botones con ventanas.

InTouch brinda la posibilidad de realizar funciones específicas con un botón, luz, texto o con la aplicación en general, a través de la opción **Action** del grupo **Touch Pushbuttons** en la ventana **Animation Links**.

Para llamar a softwares externos desde InTouch se puede aprovechar de estos comandos.

A continuación se detalla la programación necesaria para abrir los softwares de comunicación que utiliza en PLC, la celda de carga con el InTouch. La programación necesaria para ejecutar el software **s7200ppi** se muestra en la siguiente figura.

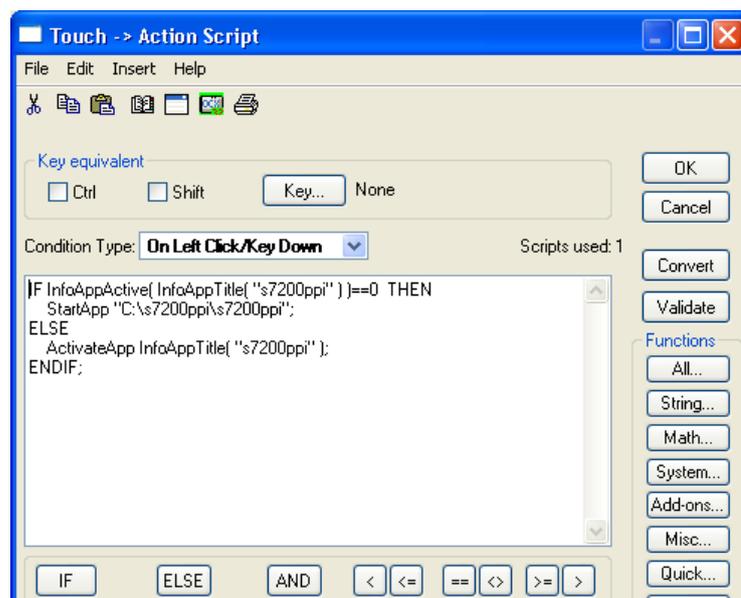


Figura 5.69. Ejecución de programa s7200ppi desde InTouch.

La programación necesaria para ejecutar el software **ABeamdde** se muestra en la siguiente figura.

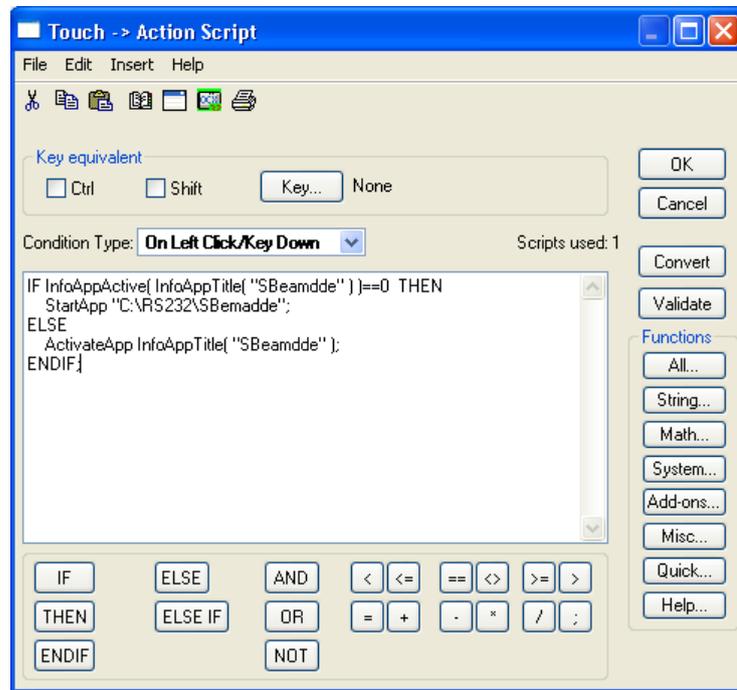


Figura 5.70. Ejecución de programa ABeamdde desde InTouch.

Como último paso se debe configurar el programa para almacenar los archivos históricos, donde se guardan los datos que se han adquirido en los ensayos, para lo cual se ingresa en el menú **Special**, en la opción **Historical Logging**, en el cual se debe activar la propiedad **Enable Historical Logging**.

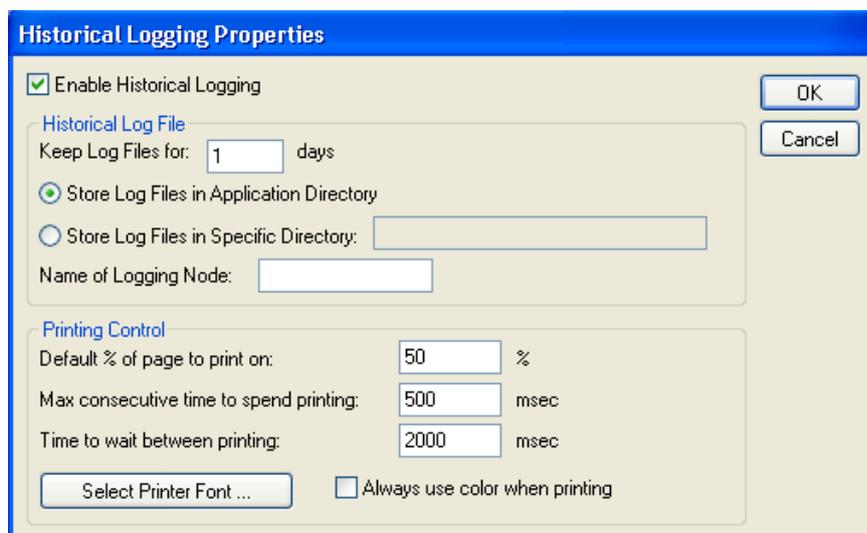


Figura 5.71. Activación de almacenamiento de archivos históricos.

CAPÍTULO 6

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para el ensayo de flexión es necesario colocar los accesorios respectivos en la máquina MTS TK/T5002; en el elemento del cabezal fijo se debe ubicar los rodillos que servirán de apoyo para la probeta, y en la celda de carga se debe acoplar el rodillo que transmitirá la carga sobre el material en ensayo.

Luego se debe colocar la probeta sobre los apoyos, verificando que esta se encuentre aproximadamente centrada en los rodillos.

Se procede a colocar el rodillo superior a una distancia no mayor al espesor de la probeta sobre esta, con el fin de no provocar impactos o movimiento de la muestra.

Se debe tener en cuenta que es preferible realizar el ensayo a velocidades no superiores a 1.0 mm/s. para una mejor recopilación de información y evitar que se produzca un impacto en la probeta y debido a esto resultados erróneos

Posteriormente se va a visualizar los datos que marquen tanto el sensor de desplazamiento como la celda de carga, desde el programa de monitoreo de la máquina.

La muestra a ser ensayada es una probeta de madera de laurel que posee las siguientes dimensiones: 260 mm de longitud, 20.10 mm de ancho y 20.08 mm de altura. Estas dimensiones obedecen a la norma modificada de flexión que utiliza el laboratorio de resistencia de materiales de la ESPE.

La luz considerada para el ensayo fue la máxima de 240 mm y la distancia para comenzar el ensayo de: 1,05 mm. En la siguiente figura se muestra la disposición de la probeta de madera en la máquina MTS TK T5002:



Figura 6.1 Ensayo de flexión de madera en la máquina MTS TK/T5002.

La velocidad para realizar el ensayo fue de 0.510 mm/s. En la siguiente tabla se puede observar los datos que arroja el ensayo de una probeta de madera, y que fueron recopilados mediante el programa de monitoreo y archivados en un documento con HISTDATA. El documento Prueba.csv muestra los datos de fuerza y desplazamiento que se produjeron en el ensayo de flexión

Tabla 6.1 Resultados de los datos del ensayo de flexión (fragmento).

\$Date	\$Time (s)	DOWN (mm)	FUERZA (N)
11/28/06	59:07.8	0.6103702	0
11/28/06	59:08.1	1.0460738	-2
11/28/06	59:08.4	1.190222	-14
11/28/06	59:08.7	1.190222	-72
11/28/06	59:09.0	1.373333	-126
11/28/06	59:09.3	1.648	-200
11/28/06	59:09.6	1.800592	-259
11/28/06	59:09.9	1.800592	-320
11/28/06	59:10.2	2.04474	-401
11/28/06	59:10.5	2.197333	-462
11/28/06	59:10.8	2.441481	-543
11/28/06	59:11.1	2.441481	-603
11/28/06	59:11.7	2.685629	-739
11/28/06	59:12.0	2.990814	-817
11/28/06	59:12.3	2.990814	-874
11/28/06	59:12.6	3.204443	-948
11/28/06	59:13.2	3.753777	-1078
11/28/06	59:13.5	3.753777	-1133
11/28/06	59:13.8	3.936888	-1206
11/28/06	59:14.1	4.150517	-1260
11/28/06	59:14.4	4.394665	-1331
11/28/06	59:14.7	4.394665	-1384
11/28/06	59:15.0	4.638813	-1453
11/28/06	59:15.3	4.69985	-1505
11/28/06	59:15.6	5.005036	-1572
11/28/06	59:15.9	5.005036	-1621
11/28/06	59:16.2	5.12711	-1687
11/28/06	59:16.5	5.340739	-1736
11/28/06	59:16.8	5.554369	-1801
11/28/06	59:17.1	5.554369	-1848
11/28/06	59:17.4	5.73748	-1894
11/28/06	59:17.7	5.890072	-1954
11/28/06	59:18.0	5.981628	-1998
11/28/06	59:18.3	5.981628	-2051
11/28/06	59:18.6	6.286813	-2087
11/28/06	59:18.9	6.591998	-2130
11/28/06	59:19.2	6.836146	-2158

**Tabla 6.1 Resultados de los datos del ensayo de flexión (Continuación
fragmento).**

11/28/06	59:19.5	6.836146	-2193
11/28/06	59:19.8	7.080294	-2217
11/28/06	59:20.1	7.141331	-2247
11/28/06	59:20.4	7.385479	-2266
11/28/06	59:20.7	7.385479	-2292
11/28/06	59:21.0	7.477035	-2309
11/28/06	59:21.3	7.629627	-2333
11/28/06	59:21.6	7.873775	-2350
11/28/06	59:21.9	7.873775	-2371
11/28/06	59:22.2	8.209479	-2387
11/28/06	59:22.5	8.301035	-2405
11/28/06	59:22.8	8.545183	-2414
11/28/06	59:23.1	8.545183	-2416
11/28/06	59:23.4	8.728294	-2430
11/28/06	59:23.7	9.063997	-2449
11/28/06	59:24.0	9.277627	-2461
11/28/06	59:24.3	9.277627	-2474
11/28/06	59:24.6	9.491256	-2489
11/28/06	59:24.9	9.61333	-2500
11/28/06	59:25.2	9.796442	-2512
11/28/06	59:25.5	9.796442	-2521
11/28/06	59:25.8	9.949034	-2534
11/28/06	59:26.1	10.19318	-2542
11/28/06	59:26.4	10.46785	-2553
11/28/06	59:26.7	10.46785	-2561
11/28/06	59:27.0	10.83407	-2569
11/28/06	59:27.3	11.07822	-2576
11/28/06	59:27.6	11.13926	-2584
11/28/06	59:27.9	11.13926	-2589
11/28/06	59:28.2	11.3834	-2594
11/28/06	59:28.5	11.56652	-2598
11/28/06	59:28.8	11.74963	-2601
11/28/06	59:29.1	11.74963	-2605
11/28/06	59:29.4	11.99377	-2611
11/28/06	59:29.7	12.05481	-2616
11/28/06	59:30.0	12.29896	-2620
11/28/06	59:30.3	12.29896	-2625
11/28/06	59:30.6	12.54311	-2631
11/28/06	59:30.9	12.6957	-2638
11/28/06	59:31.2	12.90933	-2643
11/28/06	59:31.5	12.90933	-2649
11/28/06	59:31.8	13.06192	-2647
11/28/06	59:32.1	13.27555	-2490
11/28/06	59:32.4	13.5197	-1099
11/28/06	59:32.7	13.5197	-1138

A continuación se procede a realizar una gráfica fuerza vs. desplazamiento con el fin de analizar las propiedades de la probeta y al mismo tiempo verificar el correcto funcionamiento de la máquina MTS TK/T5002 al realizar el ensayo de flexión. De los datos anteriores se pudo obtener la siguiente gráfica:

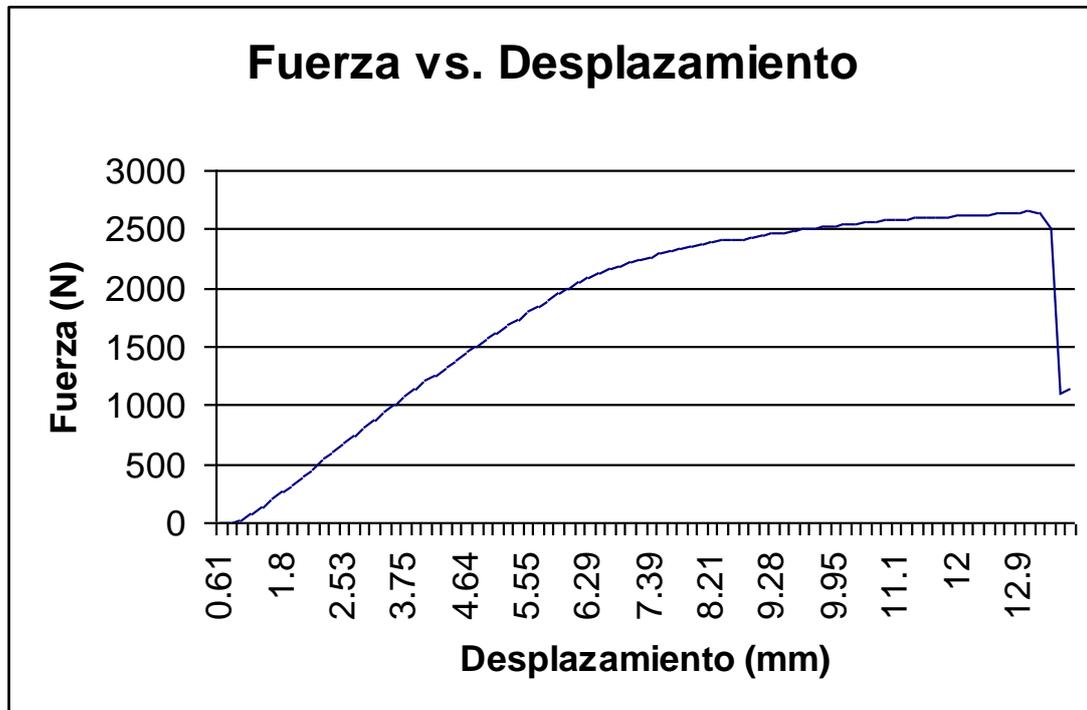


Figura 6.2. Gráfica fuerza vs. desplazamiento para el ensayo de flexión de madera en la máquina MTS TK/T5002.

De la gráfica y los datos se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 6.2 Resultados de los datos del ensayo de flexión en la máquina MTS TK/T5002.

Parámetros	Valores
Fy (N.)	1505
δy (mm.)	3.65
Fu (N.)	2649
δu (mm.)	11.86

Para obtener las deformaciones reales que sufrió la probeta fue necesario restarle a las deformaciones de la respectivas fuerzas (Fy y Fu) la distancia que recorrió el cabezal móvil hasta alcanzar a la probeta el cual es de 1.05 mm.

Para determinar el esfuerzo de fluencia que sufrió la probeta requiere de cálculos previos para determinar este valor.

Cálculo de la inercia para la probeta de madera utilizada en la máquina MTS TK /T5002 para el ensayo de flexión:

$$I = \frac{(a * b^3)}{12} \quad (6.1)$$

donde : I es la inercia de la probeta, a es el ancho de a probeta, b es la altura de la probeta.

$$I = \frac{(20.1 * 20.08^3)}{12} = 13561.44 \text{ mm}^4.$$

Cálculo del momento para la fuerza de fluencia:

$$M_y = Fy * \frac{Luz}{2}$$

$$M_y = 1505 * \frac{240}{2} = 180600 \text{ Nmm}.$$

Cálculo del esfuerzo de fluencia:

$$\sigma_y = \frac{M_y * y}{I} \quad (6.2)$$

donde M_y es el momento flector de fluencia, y es la distancia perpendicular desde el plano neutro al punto de la viga, I es la inercia de la probeta.

$$\sigma_y = \frac{180600 * (20.08/2)}{13561.44} = 133.70 \text{ MPa}.$$

Para el cálculo del módulo de Young se lo realiza de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E = \frac{F_y * Luz^3}{48 * I * y_{max}} \quad (6.3)$$

donde: E es el módulo de elasticidad, F_y es la fuerza de fluencia, Luz es la distancia entre el centro de los rodillos de apoyo, I es la inercia de la muestra , y_{max} es la deflexión máxima a la fluencia.

$$E = \frac{1505 * 240^3}{48 * 13561.44 * 3.75} = 8756.50 \text{ MPa.}$$

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN ENSAYO DE DUREZA.

Para el ensayo de dureza se requiere de la instalación previa de los accesorios necesarios para este ensayo, es decir, en el cabezal inferior se debe colocar el elemento que cumplirá las funciones de alojar el material a analizar, mientras que al cabezal superior se acoplará el indentador que cumple la función de transmitir la carga y provocar la huella sobre el material ensayado para el cálculo de la dureza.

Luego se debe colocar la probeta sobre la base, verificando que esta se encuentre centrada y posicionada de acuerdo a las dimensiones que especifica la norma en cuanto a la distancia entre fillos u otras indentaciones.

Se procede a colocar el indentador a una distancia muy pequeña respecto al material de ensayo con el fin de no provocar impactos o movimiento de la probeta.

Se debe tener en cuenta que es preferible realizar el ensayo a velocidades no superiores a 0.25 mm/s. para una mejor visualización y precisión exacta para alcanzar la fuerza, ya que de esta manera se garantiza un ensayo correctamente realizado.

Posteriormente se va a visualizar los datos que marque la celda de carga desde el programa de monitoreo, y se detendrá la máquina presionando el botón PARO cuando se observe la fuerza que se desea aplicar; se dejará

durante 15 s. para que se mantenga la misma carga y cumplir con la norma de ensayos de dureza, y posteriormente se realizará el calculo del número de dureza HBN mediante la ecuación 2.5.

Una vez calculado el valor de la fuerza para el material en ensayo, se procede a comparar este valor con las tablas existentes en el ensayo de dureza del programa de monitoreo, así se tendrá un valor teórico y un valor experimental para poder obtener errores sobre el ensayo.

La muestra a ser ensayada es hierro fundido la cual posee la siguientes dimensiones: $\varnothing 16$ mm. x 13.40 mm. La fuerza aplicada para esta muestra es de: 3675 N. durante 15 s.



Figura 6.3. Ensayo de dureza en hierro fundido en la máquina MTS TK/T5002.

Realizado el ensayo se pudo obtener las siguientes dimensiones de la indentación utilizando el microscopio micrómetro del laboratorio de metrología:

Tabla 6.3. Diámetros de la indentación para ensayo de dureza de hierro fundido en la máquina MTS TK/T5002.

Lectura de diámetros	Valores (mm.)
Vertical	1.526
Horizontal	1.537
Promedio	1.5315

En la siguiente tabla se puede observar los datos para determinar el número de dureza Brinell para una fuerza de 3675 N. La cual se determina interpolando los datos de la tabla, una dureza Brinell de: 199.1

Tabla 6.4. Tablas de dureza Brinell para una fuerza de 3675 N.

<i>∅ Indent. (mm.)</i>	<i>HBN</i>	<i>∅ Indent. (mm.)</i>	<i>HBN</i>	<i>∅ Indent. (mm.)</i>	<i>HBN</i>
1,00	472,6	1,40	238,7	1,80	142,4
1,02	454,1	1,42	231,9	1,82	139,2
1,04	436,6	1,44	225,4	1,84	136,1
1,06	420,1	1,46	219,1	1,86	133,1
1,08	404,5	1,48	213,1	1,88	130,1
1,10	389,8	1,50	207,3	1,90	127,3
1,12	375,8	1,52	201,8	1,92	124,6
1,14	362,6	1,54	196,4	1,94	121,9
1,16	350,0	1,56	191,3	1,96	119,3
1,18	338,1	1,58	186,4	1,98	116,8
1,20	326,7	1,60	181,6	2,00	114,4
1,22	315,9	1,62	177,0	2,02	112,0
1,24	305,7	1,64	172,6	2,04	109,7
1,26	295,9	1,66	168,4	2,06	107,5
1,28	286,6	1,68	164,3	2,08	105,4
1,30	277,7	1,70	160,3	2,10	103,3
1,32	269,2	1,72	156,5	2,12	101,2
1,34	261,0	1,74	152,8	2,14	99,2
1,36	253,3	1,76	149,2	2,16	97,3
1,38	245,8	1,78	145,8	2,18	95,4

Aplicando la fórmula de la ecuación 2.5 para una fuerza de 375 kgf. (3675 N) y con una esfera de 5 mm. y una indentación de 1.5315 mm. obtenemos la dureza Brinell de 198.67.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.3.1 ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para poder comparar los resultados obtenidos en un ensayo con la máquina MTS TK/T5002 se realizó un ensayo de flexión utilizando la

máquina de ensayos universales AMSLER RM-09 del laboratorio de resistencia de materiales. Se utilizó una probeta de madera de 260 mm. de longitud, 20.30 mm de ancho y de 20.15 mm. de altura.



Figura 6.4. Ensayo de flexión de madera en la máquina AMSLER RM-09.

Realizado el ensayo se obtuvo la siguiente gráfica donde cada milímetro en eje vertical equivale a 5 kgf. La escala que se utilizó en la máquina ASLER es de 1:10, es decir la distancia que existe en el eje x se divide para 10.

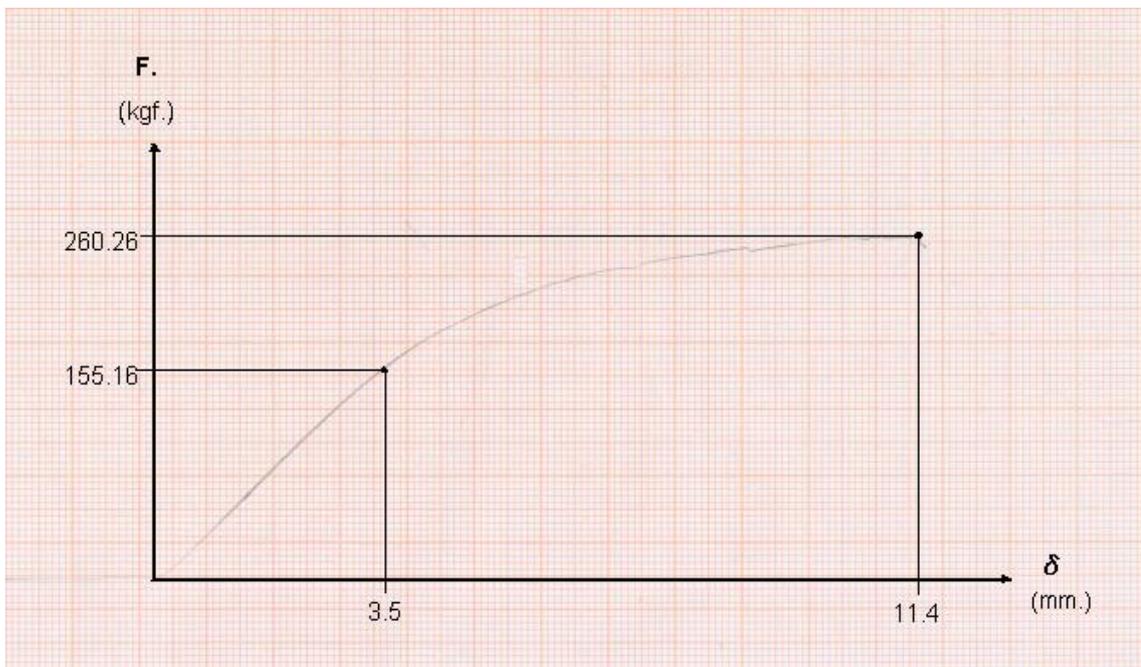


Figura 6.5. Gráfica fuerza vs. desplazamiento para el ensayo de flexión de madera en la máquina AMSLER RM-09.

Con los datos de la gráfica se pueden obtener los siguientes resultados:

Tabla 6.5 Resultados de los datos del ensayo de flexión en la máquina MTS TK/T5002.

Parámetros	Valores
Fy (N)	1520.55
δy (mm.)	3.5
Fu (N)	2550.6
δu (mm.)	11.4

Para obtener las deformaciones reales que sufrió la probeta fue necesario restarle a las deformaciones de la respectivas fuerzas (Fy y Fu) la distancia que recorrió el cabezal móvil hasta alcanzar a la probeta el cual fue de 9.2 mm.

Para determinar el esfuerzo de fluencia que sufrió la probeta requiere de cálculos previos para determinar este valor.

Para el cálculo de la Inercia para la probeta de madera utilizada en la máquina AMSLER RM09 para el ensayo de flexión se utiliza la ecuación 6.1:

$$I = \frac{(20.30 * 20.15^3)}{12} = 13840.12 \text{ mm}^4$$

Cálculo del momento para la fuerza de fluencia:

$$M_y = Fy * \frac{Luz}{2}$$

$$M_y = 1520.55 * \frac{240}{2} = 182466 \text{ Nmm}$$

Para el cálculo del esfuerzo de fluencia se utiliza la ecuación 6.2:

$$\sigma_y = \frac{132.87 * (20.15/2)}{13840.12} = 132.87 \text{ MPa.}$$

Para el cálculo del módulo de Young se lo realiza de acuerdo a la ecuación 6.3:

$$E = \frac{1520.55 * 240^3}{48 * 13840.12 * 3.5} = 9040.35 \text{ MPa}$$

Tabla 6.6. Resultados de la máquina MTS TK/T5002 y la máquina AMSLER para un ensayo de flexión en madera.

Parámetros	AMSLER RM09	MTS TK / T5002	Error (%)
Fy (N.)	1520.55	1505.00	1.02
δy (mm.)	3.50	3.65	-4.29
Fu (N.)	2550.60	2649.00	-3.86
δu (mm.)	11.40	11.86	-4.91
σy (MPa.)	132.87	133.70	-0.66
E (MPa.)	9040.35	8756.49	3.14

Los resultados que se presentan en la tabla anterior, muestran valores de error inferiores al 5%, con lo que se verifica la capacidad de la máquina en brindar resultados confiables para un ensayo de flexión.

6.3.2. ENSAYO DE DUREZA.

Para comparar los datos obtenidos en el ensayo de dureza de la máquina MTS TK/T5002 se realizó un ensayo de dureza sobre la misma muestra de hierro fundido en la máquina AMSLER RM-09 y se aplicó una fuerza de 1500 kgf. y se utilizó una esfera de 10 mm. como indentador.

De los valores obtenidos en el ensayo podemos ver que en la probeta se ha generado una huella, la cual deberá ser medida en un microscopio micrómetro. Con este valor medido en mm. se debe buscar en las tablas del programa de monitoreo el valor teórico de la dureza Brinell para este material, y se procede a calcular el valor experimental. Finalmente se

realiza una comparación entre estos dos valores para verificar el funcionamiento de la máquina MTS TK/T5002.

Realizado el ensayo se pudo obtener las siguientes dimensiones de la indentación utilizando el microscopio micrómetro del laboratorio de metrología:

Tabla 6.7. Diámetros de la indentación para ensayo de dureza de hierro fundido en la máquina AMSLER.

Lectura de diámetros	Valores (mm.)
Vertical	2.999
Horizontal	3.013
Promedio	3.006

Luego se procedió a calcular la dureza Brinell según la ecuación 2.5 y se pudo determinar el valor de la dureza Brinell de 206.47 HBN.

Tabla 6.8. Error en el ensayo de dureza de la máquina MTS TK/T5002 respecto a los valores teóricos de tablas de dureza.

Máquina	Valor
MTS TK T5002 tablas	199.1
MTS TK T5002 Ec 2.5	198.67
Error (%)	0.21

Tabla 6.9. Error en el ensayo de dureza de la máquina MTS TK/T5002 respecto a los valores de la máquina AMSLER.

Máquina	Valor
AMSLER	206.47
MTS TK T5002 Ec 2.5	198.67
Error (%)	3.78%

De acuerdo a la norma para un ensayo de dureza los errores no deben sobrepasar el 3% en la comparación entre tablas de dureza Brinell y el cálculo

de dureza mediante la ecuación 2.5. En el caso del ensayo de dureza Brinell de la máquina MTS TK/T5002 presenta un valor inferior el cual es de 0.21%, con lo cual cumple con lo estipulado en la norma ASTM E10.

El error que presenta la máquina respecto a la máquina AMSLER RM-09 son inferiores al 5% permitido, con lo cual se verifica que el funcionamiento es el adecuado y sus resultados son aceptables para los ensayos que se realice.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Es conveniente y necesario realizar una evaluación económica del proyecto para obtener información y determinar si su ejecución es viable y rentable para la Escuela Politécnica del Ejército.

Una evaluación económica requiere de un análisis del costo total del proyecto, para lo cual es indispensable mostrar detalladamente los costos que intervienen en la culminación del proyecto, ya sean estos directos o indirectos.

7.1.1 COSTOS INDIRECTOS.

Tabla 7.1. Costos indirectos a personal.

Cargo	Tiempo Horas	Valor hora	Costo total
		(USD)	(USD)
Laboratoristas (CIME)	30	5	150
	Total 1.1	5	150

Tabla 7.2. Costos de misceláneos.

Artículos	Costo Total (USD)	
Útiles de oficina	30	
Transporte terrestre	200	
Servicios básicos (teléfono, agua potable, electricidad, otros)	80	
Internet	60	
	Total 1.2	370
	Subtotal 1	520

7.1.2 COSTOS DIRECTOS.

Tabla 7.3 Remuneración a profesionales.

			Valor H	Costo total
Nombre	Cargos	Tiempo Horas	(USD)	(USD)
Ing. José Pérez	Director	50	15	750
Ing. Iván Sandoval	Codirector	30	15	450
		Total 2.1	40	1200

Tabla 7.4 Remuneraciones a estudiantes.

			Valor H	Costo total
Nombre	Cargo	Tiempo Horas	(USD)	(USD)
Sr. Cristian Garzón	Responsable del proyecto	400	3	1200
Sr. Diego Ramos	Responsable del proyecto	400	3	1200
			Total 2.2	2400

Tabla 7.5 Costo de adquisición de materiales y equipos.

Cantidad	Descripción	C/unidad [USD]	Costo total [USD]
4	Papel (500 unidades)	3.75	15
2	Tintas de impresora	15	30
500	Copias	0,03	15
1	Cable adaptador USB a Pto. serial	26	26
18	Pernos	0.02	0.36
		Total 2.3	86,36

Tabla 7.6 Otros costos directos.

Descripción	Costo total [USD]
Materia prima (Acero)	20
Construcción de accesorios	170
Tratamiento superficial de accesorios	15
Total 2.4	205
Subtotal 2	3891,36

Total = Subtotal 1 + Subtotal 2 **4411,36** [USD]

Nota: El financiamiento del presente proyecto fue cubierto en totalidad por los ejecutores de la tesis de grado, excepto en los rubro de honorarios a profesionales y al laboratorista de resistencia de materiales.

7.1.3. CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO Y DEL VALOR ACTUAL NETO.

Para evaluar si el presente proyecto es rentable, se realizó el análisis de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

Para los cálculos del ingreso que recibirá el laboratorio de resistencia de materiales de la Carrera de Ciencia de la Energía y Mecánica por el uso de la máquina MTS TK/T5002 se considera una vida útil de 10 años. El valor de ingreso se calcula por las prácticas que realizan los estudiantes de cuarto y quinto nivel de la carrera obteniendo el siguiente resultado:

$$Ingreso = 25.5 \frac{USD}{crédito} * 2 \frac{créditos}{periodo} * 1 \frac{periodo}{20semanas} * 4 \frac{semana_uso}{alumno} * 80 \frac{alumnos}{semestre} * 2 \frac{semestres}{año}$$

$$Ingreso = 1632 \frac{USD}{año}$$

Las ecuaciones para el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) se describen a continuación para una proyección de 10 años:

La fórmula para calcular el VAN se muestra a continuación:

$$VAN = -Inversión + \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNC}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 7.1}$$

donde: FNC es el flujo neto de caja, e i es igual a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).

Cálculo del TMAR

$$TMAR = i_1 + f + i_1 f \quad \text{Ecuación 7.2}$$

donde: i_1 es el premio al riesgo, y f es la inflación.

El premio al riesgo tomado en el proyecto se considera el 2% debido a que el riesgo se limita a que no exista estudiantes en la carrera lo cual es improbable y la inflación es del 3.21%, entonces el valor del TMAR es del 5.21%

La inflación ha sido tomada del Banco Central del Ecuador para el mes de octubre del año en curso.

Para obtener el TIR se despeja el valor de i en la siguiente ecuación:

$$Inversión = \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNCn + VS}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 7.3}$$

donde: FNC es el flujo neto de caja y VS es el valor de salvamento.

El valor de la máquina cuando se comenzó el proyecto era de \$ 5613.58

El costo de la rehabilitación y actualización de la máquina fue \$ 4411.36

El costo al término del proyecto es de: \$ 10024.94

La depreciación a 10 años se estima en un valor de \$ 1002.49

Tabla 7.7 Flujo de caja a 10 años.

Ingresos Proyectados a 10 años

Períodos en años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	0	1632.00	1795.20	1974.72	2172.19	2389.41	2628.35	2891.19	3180.31	3498.34	3848.17

Costos Proyectados a 10 años

Períodos en años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energía	0	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Mantenimiento	0	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Depreciación	0	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49	1002.49
Total	0	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49	1077.49

Sub Total = Ingresos - Costos	0	554.506	717.706	897.226	1094.7	1311.92	1550.86	1813.69	2102.81	2420.84	2770.68
-------------------------------	---	---------	---------	---------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Períodos en años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-10024.9										
Flujo de caja	-10024.94	554.51	717.71	897.23	1094.70	1311.92	1550.86	1813.69	2102.81	2420.84	2770.68

Tabla 7.8 Cálculo de valores de VAN y TIR.

		VAN	TIR
Año	Flujo de caja	5.21%	6.5496%
0	-10024.94	-10024.94	-10024.94
1	554.51	527.05	520.42
2	717.71	648.38	632.18
3	897.23	770.43	741.73
4	1094.70	893.44	849.35
5	1311.92	1017.70	955.31
6	1550.86	1143.48	1059.89
7	1813.69	1271.06	1163.32
8	2102.81	1400.70	1265.86
9	2420.84	1532.69	1367.72
10	2770.68	1667.31	1469.15
	$\Sigma =$	847.29	0.00

Para decidir si un proyecto se acepta o se rechaza según el criterio del VAN es el siguiente. Si el VAN es mayor que cero se acepta el proyecto, para el caso del proyecto de grado el valor del VAN es mucho mayor ($847.29 > 0$), es decir, que genera un rendimiento mayor al costo de financiamiento del proyecto, por lo cual es conveniente ejecutar el proyecto. Además el TIR es mayor que el TMAR ($6.55 > 5.21$) por lo tanto se acepta el proyecto como ejecutable por ser muy rentable.

7.2. EVALUACIÓN FINANCIERA.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO REALIZADO

Los parámetros de la lista de factibilidad se califican entre 0 y 10, asignándole 0 a criterios de factibilidad sin influencia en el proyecto y 10 a los criterios importantes.

Una vez calificados los criterios de factibilidad se debe obtener el índice de mérito relativo (IMR) del proyecto mediante la siguiente expresión:

$$IMR = \frac{\sum (\text{Ponderación de criterio de factibilidad} * \text{calificación})}{\sum (\text{Ponderación de criterio de factibilidad} * 10)} \quad \text{Ecuación 6.4}$$

$$IMR = \frac{\sum Total \ 1}{\sum Total \ 2}$$

Tabla 7.9 Criterios de factibilidad técnica.

Criterios de factibilidad técnica	Puntaje Optimo	Calificación (/ 10)	Ponderación Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1. Probabilidad de éxito	10	9	6	54	60
2. Propiedad industrial	10	8	6	48	60
3. Posible desarrollo futuro	10	4	6	24	60
4. Efectos medio ambiente	10	9	6	54	60
5. Tiempo desarrollado	10	7	6	42	60
$\Sigma =$				222	300
IMR =				0.74	

El valor del IMR obtenido muestra que para el criterio de factibilidad técnica se consiguió un valor del 74% de la máxima valoración siendo este un valor aceptable.

Para este proyecto no existe un estudio de mercado ni un análisis de entorno, pues la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 es de propiedad de la Escuela Politécnica del Ejército, y no se pretende comercializar esta máquina. Debido a que la visión del proyecto no considera una producción en serie de máquinas de ensayos universales, no se requiere de un análisis de criterios basados en la producción.

Tabla 7.10 Criterios financieros.

Criterios financieros	Puntaje Optimo	Calificación (/ 10)	Ponderación Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1. Costes I + D	10	10	8	80	80
2. Inversión de fabricación	10	8	8	64	80
3. Inversión de	10	1	8	8	80
4. Flujo de caja	10	0	8	0	80
5.TIR	10	5	8	40	80
$\Sigma =$				192	400
IMR =				0.48	

La inversión realizada para el desarrollo del proyecto se ve beneficiada por un índice bajo de la inversión realizada en la fabricación de accesorios y en la investigación para cumplir con el propósito fijado.

Para que un proyecto sea viable debe tener un índice de mérito relativo superior al 20%, y los resultados de la tabla anterior muestran un IMR de 48%, por lo que se comprueba su viabilidad.

Tabla 7.11 Criterios de investigación.

Criterios de investigación	Puntaje Optimo	Calificación (/ 10)	Ponderación Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1. Instalaciones y laboratorio	10	8	8	64	80
2. Tradición de innovación	10	7	8	56	80
3. Equipo innovador	10	9	8	72	80
$\Sigma =$				192	240
IMR =				0.8	

Por contener un alto índice de parámetros evaluados, pruebas técnicas y un posible desarrollo a futuro se da una calificación de 8.

El valor del índice de mérito relativo (IMR) que se muestra en la tabla para criterios de investigación es del 80%, debido a que la realización del proyecto utilizó diversas fuentes actualizadas de estudio de programas y comunicación de señales. El proyecto nuevamente resulta viable para su ejecución.

Tabla 7.12 Criterios institucionales.

Criterios institucionales	Puntaje Optimo	Calificación (/ 10)	Ponderación Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1. Historial empresarial	10	10	8	80	80
2. Actitud de innovación	10	8	8	64	80
3. Actitud frente al riesgo	10	8	8	64	80
4. Clima laboral	10	9	8	72	80
$\Sigma =$				280	320
IMR =				0.88	

La Carrera de Ingeniería Mecánica es una institución dentro de la Escuela Politécnica del Ejército, por lo tanto se considera como una empresa para calificar los criterios institucionales y su criterio de ponderación adquiere un valor de 8.

El resultado obtenido muestra un valor de IMR del 88%, el cual es un índice que promueve la ejecución de un proyecto de esta naturaleza.

De acuerdo a los índices de mérito relativo (IMR) obtenidos considerando diferentes criterios de calificación, se observa una tendencia de estos hacia la viabilidad de ejecución del proyecto. Se puede concluir que estos valores sobrepasan valores mínimos de factibilidad, con una diferencia considerable.

Este proyecto puede ser utilizado en el laboratorio de resistencia de materiales, por los estudiantes de la carrera de ingeniería civil y de ingeniería mecánica, para realizar prácticas de laboratorio para ensayos de tracción, compresión, flexión, fatiga y dureza, brindando resultados confiables y prácticos.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES.

- 1) Para el diseño de los rodillos, el porta rodillos superior, y las bases de los accesorios de flexión y dureza se realizó un análisis de esfuerzos en el programa COSMOSWorks utilizando los criterios de rigidez y resistencia donde se obtuvo factores de seguridad entre 1.3 y 3.3, mediante la teoría de fallas de von Misses. Para el resto de elementos se realizó el análisis utilizando el criterio de diseño por funcionalidad, atendiendo a las dimensiones y limitaciones de la máquina, y se obtuvo factores de seguridad superiores a 5.4.
- 2) Para el diseño mecánico y la construcción de los accesorios de dureza se utilizó lo estipulado en la norma ASTM E-10, y para los accesorios de flexión las exigencias de la norma ASTM E-290.
- 3) La programación del PLC ha sido desarrollada en el software demo STEP7 MicroWIN 32, el cual es un programa recomendado por el fabricante SIEMENS, lo cual garantiza la correcta operabilidad de la máquina, en estricta concordancia con sus elementos de control.
- 4) Para establecer comunicación de la celda de carga tipo "S" con el computador fue necesario la creación del I/O server denominado ABeamdde desarrollado en Visual Basic, el cual recibe la señal de fuerza y la envía al programa de monitoreo. Para la comunicación del PLC con el computador se ha utilizado como I/O server, una versión demo del programa s7200ppi recomendado por el fabricante del PLC, el cual transfiere las señales al programa de monitoreo InTouch en versión demo.
- 5) Mediante las pruebas de funcionamiento para los ensayos de flexión y dureza realizados en la máquina MTS TK/T5002, se pudo comprobar la versatilidad de la máquina puesto que se obtuvieron datos confiables que arrojan errores menores al 5% permitido.

8.2 RECOMENDACIONES.

- 1) Se recomienda al Laboratorio de resistencia de materiales de la ESPE, adquirir las licencias de los programas que se emplearon en el presente proyecto, puesto que este fue desarrollado con versiones demo para aprovechar de mejor manera el manejo de cada uno de los programas.
- 2) Se recomienda en el futuro desarrollar accesorios para realizar ensayos de torsión en la máquina MTS TK/T5002, para aumentar la versatilidad de la máquina y de esta manera fortalecer los principios de mejoramiento continuo que son políticas de esta institución.
- 3) El programa de monitoreo posee ciertos avisos, los cuales deben ser tomados en cuenta el momento de ejecutar cualquier ensayo para prevenir daños o deformaciones permanentes en los dispositivos de la máquina provocando su inoperabilidad. Estos avisos indican parámetros de uso de la máquina o alertas de seguridad para evitar que se produzcan daños.
- 4) Se recomienda realizar una capacitación del personal durante el tiempo de 5 horas con el fin de que se realice el procedimiento adecuado para optimizar la ejecución de cada ensayo y obtener datos confiables.
- 5) Para abrir el documento donde se han almacenado los datos, se recomienda cerrar previamente todos los programas que intervienen en el monitoreo de las señales.

BIBLIOGRAFÍA

- ROBER L. NORTON. Diseño de Máquinas. 1ra edición México 1999. Prentice Hall. Pp 57-69, 287-299.
- JOSEPH E. SHIGLEY, CHARLES R. MISCHE. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ta edición Mexico 2003 Traducido del Inglés McGraw Hill, pp 179 -196, 259-266.
- EUGENE A. AVALLONE, THEODORE BAUMEISTER III. Marks- Manual del Ingeniero Mecánico. 9na edición inglés, 3ra edición español México 2002. pp 5-2 - 5-26
- ROBERT L. MOTT. Diseño de Elementos de Máquinas. 2da edición México 1992. pp 255-270.
- NICOLÁS LARBURU ARRIZABALGA. Prontuario de Máquinas. 10ma edición 1998 México. Pp 277 – 297.
- ANTONIO HIDALGO, MARCELINO ELOSUA Y JULIÁN PAVÓ. Dirección de Empresas Pequeñas y Medianas del Siglo XXI, 2da edición 2001, Madris España, pp 371-373.

- IVAN BOHMAN C.A, Catálogos de Aceros. Enero 2000 pp 39-40
- NORMAS ASTM E290-97, E10.

- <http://personales.ya.com/canalPLC/index.htm>
- <http://www.automatas.org/index.htm>
- <http://support.microsoft.com/kb/823179/>
- <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/brinell.htm>
- <http://www.integratedsoftsolution.com/index.htm>

PLANOS

ANEXOS