



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA
AUTOMATIZAR EL PROCESO DE VACIADO Y LLENADO CON
ACEITE DE LOS MÓDULOS DE LAS HERRAMIENTAS DE LA
EMPRESA SCHLUMBERGER QUE OPERAN EN EL FONDO
DEL POZO DURANTE LA PERFORACIÓN**

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

ESTÉVEZ JIMÉNEZ CHRISTIAN MARCELO

GARCÉS ARGÜELLO IRINA TATIANA

DIRECTOR: INGENIERO CARLOS NARANJO

CODIRECTOR: INGENIERO LUIS ECHEVERRÍA

SANGOLQUÍ, MAYO DEL 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

i

El proyecto “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE VACIADO Y LLENADO CON ACEITE DE LOS MÓDULOS DE LAS HERRAMIENTAS DE LA EMPRESA SCHLUMBERGER QUE OPERAN EN EL FONDO DEL POZO DURANTE LA PERFORACIÓN”, fue realizado en su totalidad por CHRISTIAN MARCELO ESTÉVEZ JIMÉNEZ e IRINA TATIANA GARCÉS ARGÜELLO, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

INGENIERO CARLOS NARANJO
DIRECTOR

INGENIERO LUIS ECHEVERRÍA
CODIRECTOR

Sangolquí, Mayo del 2014

ii

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, CHRISTIAN MARCELO ESTÉVEZ JIMÉNEZ E
IRINA TATIANA GARCÉS ARGÜELLO

DECLARAMOS QUE:

La tesis / proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE VACIADO Y LLENADO CON ACEITE DE LOS MÓDULOS DE LAS HERRAMIENTAS DE LA EMPRESA SCHLUMBERGER QUE OPERAN EN EL FONDO DEL POZO DURANTE LA PERFORACIÓN**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de tercero y conforme a las citas cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

CHRISTIAN MARCELO ESTÉVEZ JIMÉNEZ
C.I.:1003506407

IRINA TATIANA GARCÉS ARGÜELLO
C.I.:171875320

Sangolquí, Mayo del 2014

iii

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, CHRISTIAN MARCELO ESTÉVEZ JIMÉNEZ E
IRINA TATIANA GARCÉS ARGÜELLO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE VACIADO Y LLENADO CON ACEITE DE LOS MÓDULOS DE LAS HERRAMIENTAS DE LA EMPRESA SCHLUMBERGER QUE OPERAN EN EL FONDO DEL POZO DURANTE LA PERFORACIÓN**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

CHRISTIAN MARCELO ESTÉVEZ JIMÉNEZ
C.I.:1003506407

IRINA TATIANA GARCÉS ARGÜELLO
C.I.:171875320

Sangolquí, Mayo del 2014

CERTIFICACIÓN SLB

DEDICATORIA

Cinco años de esfuerzo y dedicación se ven reflejados en el desarrollo y culminación de este proyecto que ahora me permite obtener el título de Ingeniero Mecánico; título que hace realidad una meta que empezó en mi niñez; una meta dedicada a mis padres, hermano, novia, amigos y formadores.

A mis padres, porque gracias a su amor y su esfuerzo es que pude culminar con éxito la primera etapa de mi desarrollo profesional; porque han sido un ejemplo de superación, de perseverancia, de pareja y de personas; porque han sabido ser padres y amigos; y además por sus valores, su incondicionalidad, su apoyo, sus enseñanzas y su confianza.

A mi hermano, mi mejor amigo, por ser el, por su incondicionalidad, por su confianza, compañía y fuerzas.

A mi novia, por llegar con amor a mi vida, por saber ser amiga y compañera de momentos inolvidables.

A mis amigos y formadores, quienes me han apoyado a cada instante y con quienes he compartido una de las mejores etapas de mi vida.

Christian Marcelo Estévez Jiménez

DEDICATORIA

Este trabajo, representa cinco años de estudio, dedicación, persistencia, amistades y triunfos.

Dedico este trabajo a mis padres, quienes han sabido mostrarme el camino de esfuerzo, perseverancia, tolerancia, y sacrificio. A ustedes, por haber sido mi apoyo incondicional en todo momento, brindarme oportunidades que ustedes nunca tuvieron y por su sabiduría cuando la necesitaba.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos. A ustedes por estar pendientes, por ser personas en las que siempre puedo confiar y sé que están ahí para extender su mano.

A mis amigos, por haber compartido junto a mí experiencias inolvidables y desafíos grandes. A ustedes por ser personas maravillosas que han enriquecido mi vida.

Al amor de mi vida, por haberme soportado con paciencia, cariño y ayudarme cada vez que se presentó un obstáculo.

Finalmente, dedico este trabajo a una de las mujeres más maravillosas que pude conocer. Por haberme dado un amor infinito y enseñarme amar la vida. A ti abuelita, porque los días no curan el dolor de ausencia.

Irina Tatiana Garcés Argüello

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa de mi vida, y con ella una meta, quiero agradecer especialmente a Dios por rodearme de tantas buenas personas como mis padres, mi hermano, mi novia, mi familia, mis amigos y formadores; porque sin estas personas a mi lado, yo no sería el mismo.

Quiero agradecer al Ingeniero Francisco Garcés, Ingeniero Jimmy Palomeque, Ingeniero Carlos Naranjo, Ingeniero Luis Echeverría, Ingeniero Santiago Pasquel, Ingeniero Franklin Valencia, Técnico Juan Alonso y demás profesionales que con total desinterés cooperaron para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Además quiero agradecer a mi amiga y compañera de proyecto, Irina Garcés; por tanto esfuerzo, tantas ganas, tanta paciencia y sobre todo por su amistad y los momentos compartidos.

Christian Marcelo Estévez Jiménez

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mi familia, a mi hermano Francisco por haberme brindado una gran oportunidad, a mi hermana Elena y su esposo David por haberme asesorado cada vez que los necesité y a todos los demás por haber sido un apoyo en cada etapa del proyecto.

Agradezco a aquellos en Schlumberger que nos ayudaron a culminar esta meta, Ingeniero Franklin Valencia, Ingeniero Santiago Pasquel, Técnico Juan Alonso.

Al Ingeniero Carlos Naranjo, Ingeniero Luis Echeverría, Ingeniero Carlos Suntaxi, Ingeniero Jimmy Palomeque, por ser magníficos profesionales, grandes ejemplos y personas.

A mi compañero Christian Estévez, por haber hecho junto a mí, este gran viaje de convertirnos en Ingenieros. Gracias por todos los momentos vividos.

Irina Tatiana Garcés Argüello

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	GENERALIDADES	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3	JUSTIFICACIÓN	3
1.4	ALCANCE	4
1.5	OBJETIVOS	6
1.5.1	OBJETIVO GENERAL	6
1.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
2	MARCO TEÓRICO	8
2.1	MÓDULOS DE LAS HERRAMIENTAS QUE REQUIEREN SOMETERSE AL PROCESO DE VACIADO Y LLENADO	8
2.1.1	TELESCOPE	8
2.1.2	IMPULSE	9
2.1.3	XCEED	10
2.1.4	RESUMEN	11
2.2	ESTACIONES ACTUALES DE VACIADO Y LLENADO	12
2.2.1	ESTACIÓN PARA TeleScope E ImPulse	14
2.2.2	ESTACIÓN PARA Xceed	16
2.3	PROCESOS ACTUALES DE VACIADO Y LLENADO	18
2.3.1	PROCESO PARA MMA	19
2.3.2	PROCESO PARA MTA	20
2.3.3	PROCESO PARA IPTA	20
2.3.4	PROCESO PARA CRSPA (6.75 & 9.00)	21
2.3.5	RESUMEN	23
3	DISEÑO CONCEPTUAL	24
3.1	PROCESOS DE VACIADO Y LLENADO AUTOMATIZADOS	24
3.1.1	PROCESO PARA MMA	25
3.1.2	PROCESO PARA MTA	26
3.1.3	PROCESO PARA IPTA	27
3.1.4	PROCESO PARA CRSPA (6.75 & 9.00)	28
3.2	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	30
3.2.1	MÓDULO DE CONTROL	31
3.2.2	MÓDULO DE ACOPLAMIENTO	43
3.2.3	MÓDULO HIDRAÚLICO	49
4	DISEÑO DE DETALLE	69
4.1	DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	69
4.1.1	INSTRUMENTACIÓN	69
4.1.2	CONTROL	77
4.1.3	SISTEMA ELÉCTRICO	85
4.2	DISEÑO MECÁNICO	88
4.2.1	MECANISMO DE GIRO	88
4.2.2	MECANISMO DE ACOPLAMIENTO	97
4.3	DISEÑO HIDRÁULICO	98
4.3.1	CONECTOR MULTIPLE PARA LAS VÁLVULAS	98
4.3.2	CONEXIONES	100

		ix
4.3.3	ACCESORIOS	103
4.3.4	RECIPIENTES	104
4.4	DISEÑO ESTRUCTURAL	106
4.4.1	REQUERIMIENTOS	106
4.4.2	PROPUESTA DE DISEÑO	107
4.4.3	BASTIDOR PRINCIPAL	110
4.4.4	BASTIDOR SECUNDARIO	116
4.4.5	SOPORTE DE BOMBAS	120
4.4.6	TUBO PRINCIPAL	123
4.4.7	PASADORES	127
4.4.8	PIEZAS DE ACOPLAMIENTO	138
4.4.9	GARRUCHAS	153
4.4.10	SOPORTE DE ACCESORIOS	160
5	SIMULACIÓN Y MODELADO	162
5.1	DETERMINACIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA LA SIMULACIÓN	162
5.2	MODELADO DE LA ESTACIÓN	162
5.2.1	LISTA DE MATERIALES	165
5.3	SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN	167
5.4	COMPROBACIÓN DE RESULTADOS	171
6	EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA	173
6.1	EVALUACIÓN ECONÓMICA	173
6.1.1	EVALUACIÓN DE COSTOS	173
6.1.2	EVALUACIÓN DE AHORROS PROYECTADOS.	176
6.2	EVALUACIÓN FINANCIERA	177
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	181
7.1	CONCLUSIONES	181
7.2	RECOMENDACIONES	183
8	REFERENCIAS	185
9	ANEXOS	195
9.1	ANEXO A - PLANOS	195
9.1.1	ANEXO A1 - PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE	195
9.1.2	ANEXO A2 - PLANOS DE LOS RECIPIENTES	196
9.1.3	ANEXO A3 - ESQUEMAS DE LOS MÓDULOS	197
9.2	ANEXO B - DIAGRAMA HIDRÁULICO	198
9.3	ANEXO C - DIAGRAMA ELÉCTRICO	199
9.4	ANEXO D – PROGRAMA PARA EL PLC Y MÓDULOS DE AMPLIACIÓN Y SOFTWARE PARA EL HMI	200
9.5	ANEXO E - REPORTES TÉCNICOS	201
9.5.1	ANEXO E1 - DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE CICLOS PARA MÓDULO IPTA	201
9.5.2	ANEXO E2 - GENERACIÓN DE VORTICES Y MEJORAMIENTO EN LA EFICIENCIA DE LA EXTRACCIÓN DE BURBUJAS	202
9.5.3	ANEXO E3 - CAUDAL DE CIRCULACIÓN, VOLUMEN MÍNIMO PARA CIRCULACIÓN	203

		X
9.5.4	ANEXO E4 - DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DEL ACTUADOR LINEAL	204
9.5.5	ANEXO E5 - DETERMINACIÓN DE LONGITUD MÁXIMA DE AGARRE PARA LOS MÓDULOS Y SU CENTRO DE GRAVEDAD	205
9.5.6	ANEXO E6 – DETERMINACIÓN DEL TIEMPO PROMEDIO DE INTERVENCIÓN DEL TÉCNICO EN LA EVL	206
9.5.7	ANEXO E7 – DETERMINACIÓN DE PRESIÓN DE VERIFICACIÓN DE VACÍO.	207
9.6	ANEXO F - MANUAL DE FUNCIONAMIENTO, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN	208
9.7	ANEXO G - CATÁLOGOS	209

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Ubicación de los módulos en una de las herramientas (Patrick, 2013).	2
Ilustración 1.2 Sistemas y módulos de la Estación.	5
Ilustración 2.1 Componentes de la herramienta TeleScope (IOCP, 2013).	9
Ilustración 2.2 Esquema del módulo MMA.	9
Ilustración 2.3 Esquema del módulo MTA-BC.	9
Ilustración 2.4 Vista de sección de la herramienta ImPulse (Schlumberger ImPulse, 2013).	10
Ilustración 2.5 Esquema del módulo IPTA.	10
Ilustración 2.6 Vista de sección de la herramienta Xceed (Schlumberger Xceed, 2013).	11
Ilustración 2.7 Esquema del módulo CRSPA 6.75.	11
Ilustración 2.8 Esquema del módulo CRSPA 9.00.	11
Ilustración 2.9 Efecto del diferencial de presión.	13
Ilustración 2.10 Estación de vaciado y llenado para herramientas TeleScope e ImPulse	15
Ilustración 2.11 Esquema de los recipientes de la estación Xceed.	16
Ilustración 2.12 Estación de llenado para Xceed (Elaboración propia, en base a fotografías tomadas en la base de Schlumberger – El Coca).	17
Ilustración 2.13 Proceso actual MMA (S.Hearn, 1994).	19
Ilustración 2.14 Proceso actual MTA – BC (M.Toro, 2007).	20
Ilustración 2.15 Proceso actual IPTA (M.Stucker).	21
Ilustración 3.1 Proceso General.	24
Ilustración 3.2 Proceso a implementar MMA.	26
Ilustración 3.3 Proceso a implementar MTA.	27
Ilustración 3.4 Proceso a implementar IPTA.	28
Ilustración 3.5 Proceso a implementar CRSPA.	29
Ilustración 3.6 Propuesta del mecanismo de giro del módulo.	45
Ilustración 3.7 Propuesta para mecanismo de sujeción manual (REMSACR, 2013).	48
Ilustración 3.8 Válvula 2/2 normalmente cerrada con mando manual o eléctrico por un lado y retorno por resorte (Sun Hydraulics, 2013).	59
Ilustración 3.9 Curvas de desempeño de las válvulas DLDA-XCN (Sun Hydraulics, 2013).	63
Ilustración 3.10 Válvula 6/2 con mando manual o eléctrico por un lado y retorno por resorte por el otro. (Sun Hydraulics, 2013).	66
Ilustración 3.11 Curvas de desempeño de las válvulas DNDYS-XN- (Sun Hydraulics, 2013).	67
Ilustración 3.12 Diseño conceptual del módulo hidráulico.	68
Ilustración 4.1 Uso de relés individuales y en paralelo en la EVL, sección del diagrama de eléctrico de conexiones.	81
Ilustración 4.2 Dispositivos dentro de TIA PORTAL.	82
Ilustración 4.3 Árbol de proyecto en TIA PORTAL.	83
Ilustración 4.4 Imágenes configuradas en HMI.	84
Ilustración 4.5 Secuencia de HMI.	85
Ilustración 4.6 Esquema de relaciones geométricas	91
Ilustración 4.7 Diagrama de cuerpo libre.	92

	xii
Ilustración 4.8 Relación entre ángulo θ y longitud D.	94
Ilustración 4.9 Cálculo de la carrera	94
Ilustración 4.10 Relación del ángulo ϕ vs. Variación θ .	96
Ilustración 4.11 Fuerza ejercida por el actuador lineal	97
Ilustración 4.12 Mordaza de banco con cadena (RIDGID, 2013).	98
Ilustración 4.13 Esquema de la pared superior del recipiente número 2 con sus respectivas conexiones.	105
Ilustración 4.14 Propuesta de diseño estructural de EVL.	107
Ilustración 4.15 Referencias ergonómicas.	108
Ilustración 4.16 Referencias dimensionales.	108
Ilustración 4.17 Modelado bastidor principal.	111
Ilustración 4.18 Fuerzas en bastidor principal.	114
Ilustración 4.19 Deformación total en bastidor principal.	115
Ilustración 4.20 Esfuerzos equivalentes de Von Misses en bastidor principal.	115
Ilustración 4.21 Factor de seguridad en bastidor principal.	116
Ilustración 4.22 Sujetadores de cables de bastidor secundario.	117
Ilustración 4.23 Modelado de bastidor secundario.	117
Ilustración 4.24 Fuerzas en bastidor secundario.	118
Ilustración 4.25 Deformación total de bastidor secundario.	119
Ilustración 4.26 Esfuerzos equivalentes de bastidor secundario.	119
Ilustración 4.27 Factor de seguridad de bastidor secundario.	120
Ilustración 4.28 Modelado soporte de bombas.	121
Ilustración 4.29 Fuerzas ejercidas en soporte de bombas.	121
Ilustración 4.30 Deformación total en soporte de bombas.	122
Ilustración 4.31 Esfuerzos equivalentes de Von Misses en soporte de bombas.	122
Ilustración 4.32 Factor de seguridad soporte de bombas.	123
Ilustración 4.33 Principio de modelamiento, reacciones en el módulo.	124
Ilustración 4.34 Fuerzas aplicadas al tubo.	125
Ilustración 4.35 Descomposición de fuerzas para el modelado.	126
Ilustración 4.36 Fuerzas aplicadas en tubo (izq) solo tubo (der) tubo con pin de sujeción.	126
Ilustración 4.37 Esfuerzos equivalentes en tubo.	127
Ilustración 4.38 Factor de seguridad en tubo.	127
Ilustración 4.39 Esquema de ubicación de pasadores.	128
Ilustración 4.40 Conjunto de movimiento para pasador 1	129
Ilustración 4.41 Diagrama de cuerpo libre del pasador 1.	130
Ilustración 4.42 Reacciones en el pasador 1 ejercido por la aplicación de la fuerza máxima.	131
Ilustración 4.43 Diagrama de cuerpo libre del pasador 1.	132
Ilustración 4.44 Geometría de pasador 1.	132
Ilustración 4.45 Anillo de retención (Corporation A. R., 2013)	133
Ilustración 4.46 Conjunto de movimiento para pasador 2.	134
Ilustración 4.47 Diagrama de cuerpo libre del pasador 2.	134
Ilustración 4.48 Geometría de pasador 2.	135
Ilustración 4.49 Conjunto de movimiento para pasador 3.	136
Ilustración 4.50 Diagrama de cuerpo libre del pasador 3.	136
Ilustración 4.51 Geometría pasador 3	137

	xiii
Ilustración 4.52 Modelado de alza.	139
Ilustración 4.53 Fuerzas en alza.	139
Ilustración 4.54 Deformación total en alza.	140
Ilustración 4.55 Esfuerzos Equivalentes de Von Misses en alza.	140
Ilustración 4.56 Modelado de pin de sujeción.	141
Ilustración 4.57 Fuerzas en pin de sujeción.	142
Ilustración 4.58 Deformación total en pin de sujeción.	142
Ilustración 4.59 Esfuerzos equivalentes de Von Misses en pin de sujeción.	143
Ilustración 4.60 Esfuerzos equivalentes de Von Misses en pin de sujeción.	143
Ilustración 4.61 Placa de roscar.	144
Ilustración 4.62 Placa de roscar central.	145
Ilustración 4.63 Propuesta de diseño para sujetador de Rodamientos.	146
Ilustración 4.64 Denominación de anillo de retención interior y ranura DIN para uso en la pieza Sujetador de Rodamientos (Company, 2014).	148
Ilustración 4.65 Modelado de la pieza sujetador de rodamientos.	148
Ilustración 4.66 Fuerzas aplicadas a la pieza.	149
Ilustración 4.67 Deformación total en la pieza.	149
Ilustración 4.68 Esfuerzos equivalentes de Von Mises.	150
Ilustración 4.69 Factor de seguridad.	150
Ilustración 4.70 Esquema de medidas del rodamiento 6203-8 marca WJB (GROUP, 2011).	152
Ilustración 4.71 Esquema de medidas del rodamiento 6203/12.7 NTN (Corporation N. B., 2013).	152
Ilustración 4.72 Esquema de Selección de Ruedas (Antonio, 2014).	154
Ilustración 4.73 Gráfico de Selección de ruedas (Piera, 2010).	155
Ilustración 4.74 Disposición de ruedas de bastidor principal.	156
Ilustración 4.75 Disposición de ruedas de bastidor secundario.	156
Ilustración 4.76 Garruchas giratorias IMSA-COLSON (IMSA-COLSON, 2013)	158
Ilustración 4.77 Disposición final de ruedas para EVL.	159
Ilustración 4.78 Modelado de soporte de válvulas.	160
Ilustración 5.1 Modelado de la estación, isometría vista frontal.	164
Ilustración 5.2 Modelado de la estación, vista trasera.	164
Ilustración 5.3 Configuración de entradas del PLC.	167
Ilustración 5.4 Pantalla de la simulación realizada en TIA PORTAL V12.	168
Ilustración 5.5 Imágenes del panel del operador (HMI) que indican la secuencia para el módulo de simulación.	169
Ilustración 5.6 Pantalla de la simulación realizada en SPS-VISU	170
Ilustración 5.7 Sección de la pantalla de la simulación para contabilizar el tiempo de intervención del operador en la estación.	172
Ilustración 6.1 Comparación del costo de la intervención del operador semanal, mensual y anual.	177
Ilustración 6.2 Flujo de fondos - Periodo de repago, costo del diseño y construcción de la EVL y ahorro efectuado al ponerla en funcionamiento.	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos de los módulos	12
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del aceite Shell OIL 560 Aero Shell	18
Tabla 2.3 Datos para el proceso de vaciado y llenado de los módulos	23
Tabla 3.1 Matriz de selección del medio electrónico a usarse para controlar el proceso	31
Tabla 3.2 Matriz de selección de la marca del PLC	33
Tabla 3.3 Matriz de selección entre controladores Modulares e Integrados SIMATIC	35
Tabla 3.4 Matriz de selección entre controladores SIMATIC S7 1500, 1200 y 200.	37
Tabla 3.5 Requerimientos de entradas y salidas del PLC	38
Tabla 3.6 Datos específicos de los CPU SIMATIC S7-1200, parte 1	40
Tabla 3.7 Datos específicos de los CPU SIMATIC S7-1200, parte 2	40
Tabla 3.8 Matriz de selección del CPU a usarse	41
Tabla 3.9 Matriz de selección entre controladores las interfaces HMI.	42
Tabla 3.10 Especificaciones Técnicas del interfaz HMI KTP600 BASIC COLOR PN	43
Tabla 3.11 Matriz de selección del mecanismo de giro	45
Tabla 3.12 Matriz de selección del mecanismo para la sujeción de los módulos	48
Tabla 3.13 Especificaciones técnicas bomba manual ENERPAC P-18	49
Tabla 3.14 Especificaciones técnicas bomba ENERPAC PUJ-1200B	50
Tabla 3.15 Especificaciones técnicas bomba ENERPAC PUJ-1201B	51
Tabla 3.16 Matriz de selección de la bomba hidráulica	51
Tabla 3.17 Especificaciones técnicas bomba de vacío Welch 1400B-01	52
Tabla 3.18 Especificaciones técnicas bomba de vacío Edwards RV5	53
Tabla 3.19 Especificaciones técnicas bomba de vacío Welch 1405B-01	54
Tabla 3.20 Especificaciones técnicas bomba de vacío Welch 1402B-01	54
Tabla 3.21 Matriz de selección de la bomba de vacío	55
Tabla 3.22 Matriz de selección de la disposición de los recipientes	57
Tabla 3.23 Especificaciones técnicas de la válvula DAAL	61
Tabla 3.24 Especificaciones técnicas de la válvula DAAA	62
Tabla 3.25 Especificaciones técnicas de la válvula DLDA	62
Tabla 3.26 Especificaciones técnicas de la bobina 770-712	64
Tabla 3.27 Especificaciones técnicas de la bobina 770-724	65
Tabla 3.28 Especificaciones técnicas de la válvula DNDYS-XN	66
Tabla 4.1 Necesidades de medición para los puntos de presión	70
Tabla 4.2 Especificaciones del transductor de presión OMEGA	70
Tabla 4.3 Matriz de selección de alternativas para la instrumentación de medición de presión de vacío	71
Tabla 4.4 Especificaciones del transmisor de presión ProSense PTD25	71
Tabla 4.5 Necesidades de medición para la instrumentación de nivel de líquido	72
Tabla 4.6 Especificaciones de los transmisores de nivel ultrasónicos Omega LVU30 para puntos 1, 2 y 3.	73
Tabla 4.7 Especificaciones del control de nivel Omega LV-120 para recipientes de aceite de 5 galones en el punto 4.	74

Tabla 4.8 Especificaciones del potenciómetro incorporado en el actuador lineal eléctrico	74
Tabla 4.9 Selección del actuador en base a dimensiones bases.	75
Tabla 4.10 Especificaciones del actuador lineal Thomson	76
Tabla 4.11 Dispositivos de mando y señalización para la EVL	77
Tabla 4.12 Especificaciones del PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1215C	77
Tabla 4.13 Especificaciones del módulo de expansión SM 1231	78
Tabla 4.14 Especificaciones del módulo de expansión SM 1222	79
Tabla 4.15 Especificaciones del módulo de expansión SM 1222	79
Tabla 4.16 Características de las cargas para conexión mediante relé	80
Tabla 4.17 Relés para la EVL	81
Tabla 4.18 Tabla de cargas para selección de transformadores de energía	86
Tabla 4.19 Tabla de cargas para el contactor térmico	87
Tabla 4.20 Tabla de especificaciones básicas de calibres AWG	88
Tabla 4.21 Tabla de posiciones de la distancia D	95
Tabla 4.22 Especificaciones de la mordaza de banco con cadena RIDGID 20205 BC510	98
Tabla 4.23 Especificaciones del conector múltiple U9H ¼" NPT para cavidades T-13A	100
Tabla 4.24 Especificaciones del conector múltiple A3D ¾" NPT para cavidades T-13A	100
Tabla 4.25 Especificaciones del conector múltiple MPA ¼" NPT para cavidades T-61A	100
Tabla 4.26 Listado de conexiones necesarias para la EVL, parte 1	102
Tabla 4.27 Listado de conexiones necesarias para la EVL, parte 2	103
Tabla 4.28 Listado de accesorios necesarios para la EVL	104
Tabla 4.29 Parámetros del rodamiento ½ plg	152
Tabla 4.30 Cargas totales en Bastidor Principal	157
Tabla 4.31 Cargas en bastidor secundario	157
Tabla 4.32 Descripción de garruchas giratorias IMSA-COLSON	158
Tabla 4.33 Pesos en soporte de válvulas	161
Tabla 5.1 Lista de materiales y componentes, parte 1	165
Tabla 5.2 Lista de materiales y componentes, parte 2	166
Tabla 6.1 Costos de materiales directos	174
Tabla 6.2 Flujo de fondos	179

RESUMEN

El presente proyecto de titulación define todos los parámetros necesarios para la implementación de una estación que automatice el proceso de vaciado y llenado de los módulos de las herramientas de la empresa Schlumberger que operan en el fondo del pozo durante la perforación y además demuestra su funcionamiento con una simulación de sus sistemas. Una caracterización de los procesos actuales de vaciado y llenado, y la aplicación de software especializado como AutoCad, SolidWorks, ANSYS, MathCad, TIA Portal, SPS-VISU y Microsoft Excel; contribuyeron y facilitaron el diseño y simulación de la estación de vaciado y llenado que mediante un PLC conectado a un HMI, controla todos los elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos e hidráulicos de manera que se pueda automatizar el proceso y así reducir el tiempo acumulado de la intervención del técnico al 12% , intervención limitada al montaje del módulo, iniciación del proceso de presurización en el que se colocarán en él los componentes necesarios para que la estación pueda presurizar la herramienta y finalmente el desmontaje del módulo en el que el operador verificará la presión final y opcionalmente el desplazamiento del pistón compensador; mediante el panel de operador HMI, botoneras y luces indicadoras, el técnico que realice el procedimiento tendrá una interacción total con la estación, permitiéndole seleccionar y visualizar los parámetros y pasos para cada procedimiento de vaciado y llenado.

Palabras claves: PRESIÓN DE VACÍO, AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, SCHLUMBERGER, DISEÑO DE UNA ESTACIÓN, SIMULACIÓN DE FUNCIONAMIENTO.

ABSTRACT

The present graduation project defines all the necessary parameters so that the sponsor, Schlumberger, implements the automatized vacuum oil fill station. In addition, the simulation showed the proper functioning of the station's systems. Through the characterization of the current vacuum oil fill processes and the application of the specialized software such as AutoCad, SolidWorks, ANSYS, MathCad, TIA Portal, SPS-VISU y Microsoft Excel, contributed to the design and simulation of the vacuum oil fill station. A PLC connected to an HMI controls all the electronic, electric, mechanical and hydraulic components, allowing the process to become automatized and reduce the accumulated operators' time to 12 %. The operators' intervention time is limited to the initial assembly of the module to the station, process's startup in which all the necessary components of the station carry on with the pressurization and finally the disassembly of the module in which the operator can verify the final pressure and optionally the pistons' displacement within the module assembly. With the help of a HMI, buttons, and indicating lights, the technician is able to carry out the process with a complete interaction with the station allowing him to select and visualize all the parameters of the vacuum oil fill process.

Key words:

VACUUM PRESSURE, INDUSTRIAL AUTOMATION. SCHLUMBERGER, STATION DESIGN, WORKING SIMULATION.

INTRODUCCIÓN

El actual crecimiento de la industria, y los altos estándares demandados por los clientes; fomentan la estandarización de los procesos así como el mejoramiento de los mismos. Hoy en día, la mejor manera de alcanzar y superar dichas demandas es automatizando los procesos.

La limitación de la interacción hombre-máquina es el efecto inmediato más apreciable proveniente de una automatización de procesos y es la principal razón por la cual Schlumberger vio la necesidad de automatizar el proceso de vaciado y llenado de los módulos de las herramientas que operan en el fondo del pozo durante la perforación para la extracción de petróleo y gas, cuya explotación está en apogeo en nuestro medio.

La extracción de estos recursos naturales en nuestro país está aumentando notablemente, este crecimiento sumado a la posibilidad de la explotación de campos antes protegidos por el estado Ecuatoriano, han permitido que Schlumberger-Ecuador se separe de México, Colombia, Perú y demás países para establecerse como un solo Geo-mercado. Esta independización supone un crecimiento y por lo tanto un aumento de actividades que trae consigo una mayor frecuencia con la que se realizan los procesos de vaciado y llenado para cada módulo.

Para suplir las necesidades actuales, es que mediante la aplicación de conceptos de ingeniería se define todos los parámetros necesarios para la implementación de la estación de vaciado y llenado y se simula su funcionamiento.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Schlumberger es el proveedor líder mundial de tecnología, gestión de proyectos integrados, información y soluciones en general para clientes que trabajan en la industria de petróleo y de gas alrededor del mundo. Emplea aproximadamente 120000 personas en representación de más de 140 nacionalidades que pertenecen a más de 85 países, Schlumberger proporciona la gama más amplia de productos y servicios desde la exploración hasta la producción.

Unos de los servicios que la empresa ofrece mediante su segmento D&M (Drilling and Measurements – Mediciones y Taladrado), son la realización de mediciones y el registro de datos durante el taladrado, MWD (Measurements While Drilling) y LWD (Logging While Drilling) respectivamente.

Los servicios avanzados que proporciona la línea LWD son la adquisición de datos de alta calidad para el direccionamiento geológico y evaluación de formación. Y los servicios de MWD entregan los datos en tiempo real cuadruplicando las tasas estándar en la industria; logrando así, en conjunto, mejorar la estabilidad del pozo y la calidad del agujero, así como la optimización de la colocación de pozos para maximizar y apresurar la producción.

Las líneas LWD y MWD tienen herramientas que requieren de algunos módulos para su correcto funcionamiento, en la imagen siguiente se presenta

un esquema de una de las herramientas y la ubicación de cada uno de los módulos.

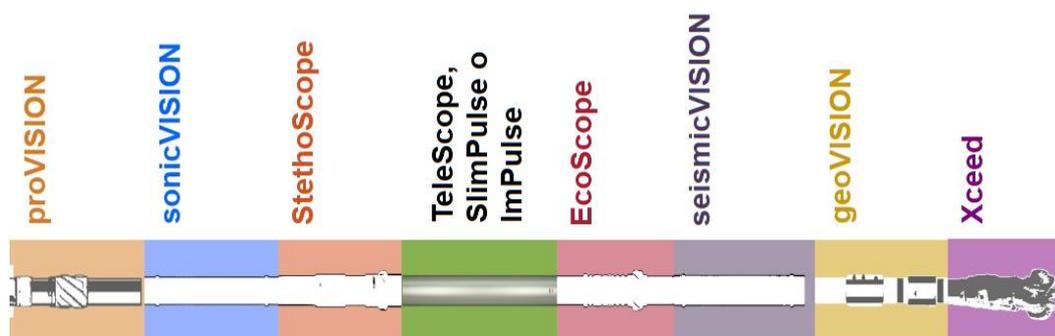


Ilustración 1.1 Ubicación de los módulos en una de las herramientas (Patrick, 2013).

Todos los módulos mecánicos de Schlumberger cuya operación se lleva a cabo en el fondo del pozo son llenados con aceite hidráulico por las siguientes razones:

- Lubricar los componentes móviles dentro de la herramienta.
- Enfriar los componentes internos de la herramienta mediante la disipación del calor generado hacia el lodo que circula alrededor.
- Evitar la invasión de lodo al interior de la herramienta manteniendo una presión positiva.

Los módulos que requieren someterse al proceso de vaciado y llenado son MMA y MTA-BC de la herramienta TeleScope, IPTA de la herramienta ImPulse, CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 ambos de la herramienta Xceed. Estos módulos se encargan de, en el caso de los moduladores de modificar las señales captadas por otro módulo en la misma herramienta y en el caso de las turbinas de generar energía para el funcionamiento de toda la herramienta.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El proceso actual de vaciado de los módulos de herramientas requiere la frecuente intervención de técnicos para la apertura o cierre de válvulas, prendido y apagado de bombas, inclinación y viraje de módulos, así como para la conexión o desconexión de acoples, mangueras y similares para llenar el reservorio interno de aceite. Cada ciclo toma actualmente 20 minutos y debe repetirse un mínimo de 5 veces, para finalmente llenar el módulo con una determinada cantidad de aceite que mantendrá una presión positiva evitando el ingreso de lodo; en total el proceso de vaciado y llenado toma como mínimo 150 minutos, tiempo que requiere la presencia permanente de un técnico que manipule y supervise el proceso.

Actualmente, en la Base de la empresa ubicada en El Coca, el proceso de vaciado y llenado se repite 15 veces por semana; cada técnico requerido en dicho proceso tiene para la empresa una productividad valorada en 30\$ en promedio por hora (Valor proporcionado por el Ingeniero Frankiln Valencia, Gerente de Mantenimiento de D&M de Schlumberger.), representando así un gasto semanal de 1125\$ por concepto de la intervención en el proceso de vaciado y llenado.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de la intervención permanente de un técnico en el proceso actual de vaciado y llenado durante periodos de tiempo prolongados

genera costos significativos a la empresa, es de aquí que nace la necesidad de automatizar el proceso para limitar la intervención de los técnicos en la nueva estación (se estima que se invierta un máximo de 90 minutos por módulo entre el montaje, inicio y desmontaje), esta limitación permitirá a los técnicos realizar otras actividades mientras el módulo es sometido al proceso de vaciado y llenado, disminuyendo el tiempo perdido por el operador y la probabilidad de error al estandarizar el proceso.

Además, el deseo de realizar un proyecto en el que se aplique los conceptos y principios de la Ingeniería Mecánica, específicamente de las áreas de Procesos de Manufactura, Mecánica de Fluidos, Soldadura, Diseño de Elementos, Sistemas Hidráulicos y Neumáticos, Instrumentación Industrial Mecánica y Automatización Industrial Mecánica; que nos lleve a la obtención del título de grado que nos acredite como Ingenieros Mecánicos.

1.4 ALCANCE

El presente proyecto simulará la automatización del proceso de llenado y vaciado de los módulos MMA y MTA-BC de la herramienta TeleScope, IPTA de la herramienta ImPulse, CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 ambos de la herramienta Xceed.

Se prevé que la estación reduzca el tiempo de intervención del técnico al 50%, intervención limitada al montaje del módulo, iniciación del proceso de vaciado y llenado, y desmontaje del módulo en el que se colocarán en él los componentes necesarios para que la estación pueda presurizar la herramienta

y finalmente el operador pueda verificar la presión final y el desplazamiento del pistón compensador.

Ilustración 1.2 Sistemas y módulos de la Estación.

En el modelamiento la estación contará con varios módulos en los que se



ubicarán cada uno de sus componentes; en el Módulo de Control se ubicará el panel táctil que permitirá interactuar con el proceso, así como las luces indicadoras, botón de inicio y fin, entre otros; el Módulo de Acoplamiento será en el que se ubique y conecte la herramienta para someterla al proceso; el Módulo de Reservorios contendrá los tanques de almacenamiento de aceite y el Módulo de Bombas en el que estarán ubicadas tanto las bombas de llenado como la de vacío; todos los módulos irán acoplados a una misma estructura para formar la estación de vacío Automatizada.

Para el proyecto propuesto se entregará una simulación de la estación que permita apreciar la automatización del proceso de vaciado y llenado; manual de usuario, planos, diagramas, programas y esquemas. Debido a la

política de confidencialidad de la empresa se limitará la entrega de información específica sobre el funcionamiento y partes de cada herramienta.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una estación que permita visualizar un procedimiento automatizado de vaciado y llenado con aceite para los módulos de las herramientas de la empresa Schlumberger que operan en el fondo del pozo durante la perforación.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar el procedimiento actual de vaciado y llenado con aceite.

Realizar el diseño de una estación de vaciado y llenado que limite la intervención del operador al montaje del módulo, iniciación del proceso, y posterior desmontaje.

Simular la estación de vaciado de manera que se muestre el correcto funcionamiento de la estación, que permita apreciar la reducción de tiempo de intervención del operador, e indique la secuencia de operación a realizarse

por parte del operador al someter uno de los módulos al proceso de vaciado y llenado.

Definir los costos de implementación del sistema.

2 MARCO TEÓRICO

A continuación se describe las funciones y características de las herramientas que requieren someterse al proceso de vaciado y llenado, así como los requerimientos y descripción de los procedimientos usados actualmente para realizar el vaciado y llenado.

2.1 MÓDULOS DE LAS HERRAMIENTAS QUE REQUIEREN SOMETERSE AL PROCESO DE VACIADO Y LLENADO

2.1.1 TELESCOPE

Los servicios brindados por la herramienta TeleScope y sus componentes son principalmente de telemetría durante la perforación de alta velocidad. Esta herramienta proporciona energía y transmite datos desde el fondo del pozo cuadruplicando las tasas estándar de la industria al usarlo integradamente con la plataforma de telemetría Orion II; este servicio entrega información para optimizar la ubicación del pozo, mejorar la eficiencia de taladrado, reducir riesgos e incrementar la producción mediante la maximización de cantidad de información entregada en tiempo real sobre las secciones del pozo, evaluación de formaciones y mediciones combinadas de dirección e inclinación (Schlumberger TeleScope, 2013).

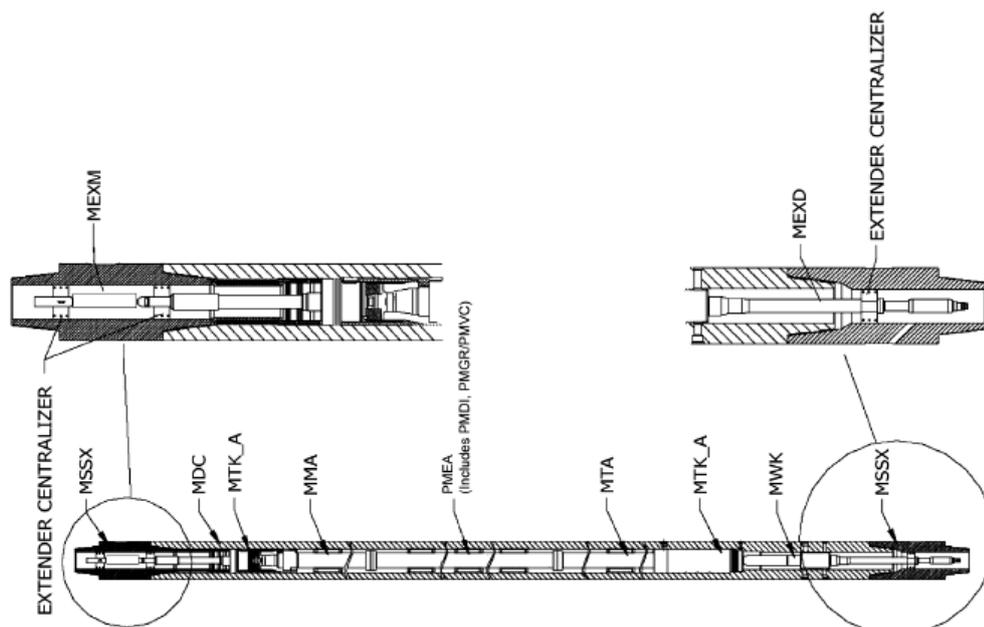


Ilustración 2.1 Componentes de la herramienta TeleScope (IOCP, 2013).

2.1.1.1 M10 Modulator Assembly - MMA



Ilustración 2.2 Esquema del módulo MMA.

2.1.1.2 M10 Turbine Assembly class BC - MTA-BC



Ilustración 2.3 Esquema del módulo MTA-BC.

2.1.2 IMPULSE

La herramienta ImPulse, a pesar de ser una herramienta de MWD, une los beneficios de MWD y LWD. El control de calidad de la topografía es memorizado en la herramienta, chequeado bajo el pozo y transmitido de la

manera más rápida posible llegando a una velocidad de hasta 6 bits por segundo mediante un sistema de telemetría llamado state-of-the-art. La herramienta mide formaciones de resistividad a múltiples profundidades usando una red de antenas electromagnéticas de cinco transmisores y dos receptores. Los receptores son colocados estratégicamente por encima y por debajo de los transmisores para conocer la verdadera formación de resistividad del pozo. La herramienta se puede combinar con la herramienta VPWD para sacar mediciones de presión así como proveer energía para obtención de datos mientras se extrae la herramienta del pozo (Schlumberger ImPulse, 2013).



Ilustración 2.4 Vista de sección de la herramienta ImPulse (Schlumberger ImPulse, 2013).

2.1.2.1 ImPulse Power and Telemetry Assembly IPTA



Ilustración 2.5 Esquema del módulo IPTA.

2.1.3 XCEED

La herramienta Xceed tiene un sistema rotativo direccional para perforar con éxito hasta en los ambientes más hostiles y resistentes dando a la perforación un grado superior de precisión y fiabilidad mediante una perforación direccional. Se la usa en lugares donde los mecanismos externos de dirección han alcanzado sus propios límites de rendimiento. Una de las

ventajas de esta herramienta es el control que se tiene en la perforación que permite hacerla de la manera más precisa (Schlumberger Xceed, 2013).



Ilustración 2.6 Vista de sección de la herramienta Xceed (Schlumberger Xceed, 2013).

2.1.3.1 CRSPA 6.75



Ilustración 2.7 Esquema del módulo CRSPA 6.75.

2.1.3.2 CRSPA 9.00



Ilustración 2.8 Esquema del módulo CRSPA 9.00.

2.1.4 RESUMEN

A continuación se muestra un resumen de todos los datos importantes de cada módulo involucrado en el proceso de vaciado y llenado.

Tabla 2.1 Datos de los módulos

HERRAMIENTA	MÓDULO	EXISTENCIAS EN LA	LONGITUD TOTAL	LONGITUD EXTREMO-	LONGITUD ACOUPLE-	LONGITUD ACOUPLE-	DIÁMETRO EN ZONA	PESOS
		BASE		ACOUPLE	ACOUPLE	EXTREMO	DE AGARRE	
		#	LT [plg]	Lea [plg]	Laa [plg]	Lae [plg]	de [plg]	W [lb]
TeleScope	MMA	24	54	9	33.5	11.5	3.75	110
	MTA- BC	22	68	12	20	36	3.75	140
ImPulse	IPTA	4	106.5	8	80	18.5	2.5 2.625	130
Xceed	CRSPA 6.75	2	64	4	52	8	4.125	190
	CRSPA 9.00	2	70.25	7.5	53	9.75	4.125	210

2.2 ESTACIONES ACTUALES DE VACIADO Y LLENADO

La función fundamental de la Estación de Vaciado y Llenado es el intercambio de aceite entre sus recipientes conectados el uno al otro por medio del módulo al cual se lo está sometiendo al proceso de vaciado y llenado; este proceso se da gracias al diferencial de presión generado por la

bomba de vacío y la presión del ambiente, si bien este proceso podría realizarse con bombas de desplazamiento positivo, se lo hace con bombas de desplazamiento negativo (bombas de vacío) para evacuar el aire del interior de la herramienta y evitar fallos durante su posterior funcionamiento (Ver Sección 1.1).

Como todos los sistemas, un sistema hidráulico obedece las leyes de Newton, y para entender por qué un fluido se mueve cuando existe un diferencial de presión se enuncia la segunda ley de Newton: “Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él” (García, 2003).

Entonces obedeciendo a este enunciado, un fluido tiende a equilibrarse, y para el caso de la EVL tomamos como ejemplo el siguiente gráfico.

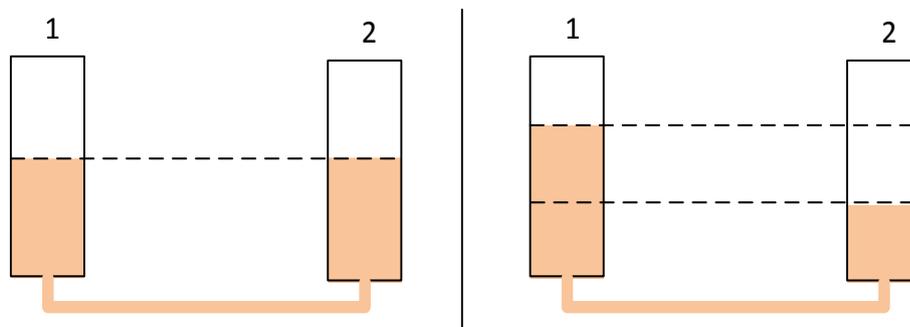


Ilustración 2.9 Efecto del diferencial de presión.

En la ilustración 2.9, en la parte izquierda se observa un mismo nivel de líquido para los recipientes 1 y 2, se atribuye esta igualdad a una misma presión en cada recipiente; a diferencia de la parte derecha del gráfico en la que se observa que existe una diferencia de alturas entre los recipientes

debido a suponemos que se aplicó presión en el recipiente 2 y el nivel de líquido disminuyó para que el sistema se mantenga en equilibrio.

Para lograr la diferencia de alturas de los recipientes en el ejemplo anterior fue necesario un movimiento del fluido desde el recipiente 2 al recipiente 1; para la perpetuidad de movimiento en los recipientes de la EVL se aplica el efecto de una bomba de desplazamiento negativo en uno de los recipientes (Presiones menores que la atmosférica (aproximadamente 14.7 psi)) y se lo deja a la presión ambiente al otro, manteniendo siempre un diferencial de presión que permita el flujo permanente y uniforme del fluido entre los recipientes.

En las estaciones existentes todo el proceso para lograr el desplazamiento de burbujas se hace de forma manual; necesitándose conectar y desconectar las líneas, encender y apagar las bombas, abrir y cerrar válvulas así como girar la herramienta a sus distintas posiciones. La presurización final también se la hace manualmente.

2.2.1 ESTACIÓN PARA TELESCOPE E IMPULSE

La estación actual mostrada en la figura siguiente es la utilizada para el vaciado y llenado de los módulos MMA, MTA e IPTA.

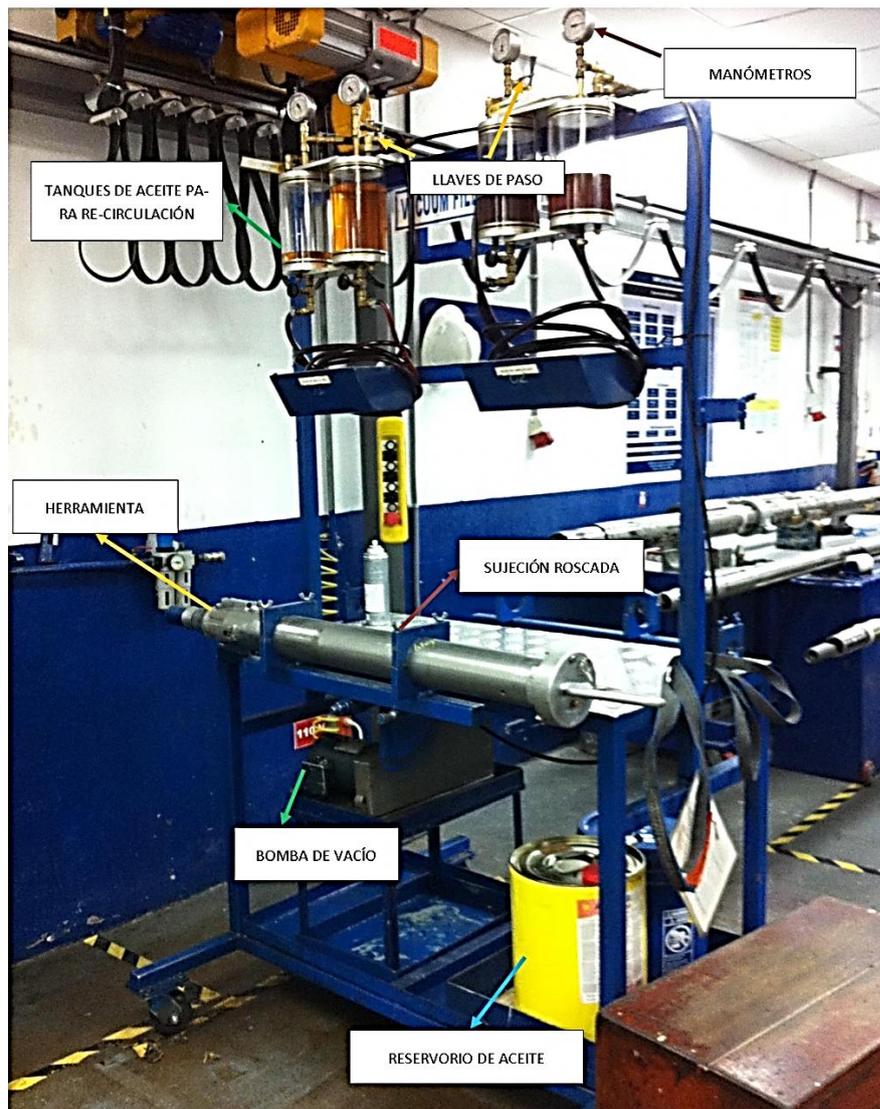


Ilustración 2.10 Estación de vaciado y llenado para herramientas TeleScope e ImPulse

2.2.1.1 Componentes de la estación actual

- Tanques de polietileno de 2.2 litros cada uno
- Mangueras
- Estructura de tubo cuadrado, con eje para rotación.
- Válvulas manuales
- Sujeción roscada para retención de módulos
- Reservorio de aceite

- Bomba de vacío
- Bomba manual de llenado
- Manómetros

2.2.2 ESTACIÓN PARA XCEED

A pesar de que el principio de funcionamiento de esta estación es el mismo que la estación para TeleScope e Impulse, esta se diferencia debido a que uno de los recipientes está dentro del otro y estos están interconectados como se observa en la figura a continuación.

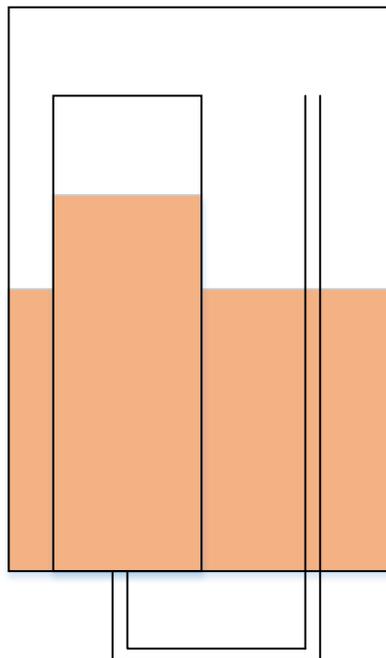


Ilustración 2.11 Esquema de los recipientes de la estación Xceed.

Y la otra diferencia es la presencia de una válvula multivía que si bien facilita el proceso de vaciado respecto al de la estación para TeleScope e ImPulse, aún es demoroso y tedioso, la estación actual mostrada en la figura

siguiente es la utilizada para el vaciado y llenado de los módulos Xceed 6.75 y 9.00.



Ilustración 2.12 Estación de llenado para Xceed (Elaboración propia, en base a fotografías tomadas en la base de Schlumberger – El Coca).

2.2.2.1.1 Componentes de la estación actual

- Blue knob (válvula de venteo hacia la atmósfera).
- Válvulas de vacío, se usan las dos para mejorar el vaciado.
- (Paralela abierta, perpendicular cerrada)
- Manómetro de presión.
- Válvula multivía.
- Válvula de transferencia.

2.3 PROCESOS ACTUALES DE VACIADO Y LLENADO

Para el desarrollo de la estación se deberá considerar todos los procesos de vaciado y llenado de aceite que tiene cada módulo de las diferentes herramientas. Entre las herramientas para cuyos módulos se propone automatizar el proceso antes mencionado se encuentran TeleScope, ImPulse, Xceed y SlimPulse; específicamente los módulos MMA, MTA-BC, IPTA, CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 que debido a su funcionamiento y al sistema de compensación de presión, cada herramienta posee un procedimiento diferente a seguir por el operador. Estos procedimientos y sus requerimientos fueron extraídos de los manuales de mantenimiento para cada módulo.

Todos los módulos arriba nombrados usan el mismo aceite, este es un Shell OIL 560 Aero Shell, a continuación se presentan las especificaciones.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del aceite Shell OIL 560 Aero Shell

Característica	Especificación
Fabricante	Shell
Aplicación	Turbinas
Denominación	Turbine OIL 560 Aero Shell
Código	MIL-PRF-23699F
Grado de estabilidad térmica	HTS (High Temperature Stability)
Código NATO	O-154
Tipo de aceite	Éster sintético
Densidad	996 kg/m ³ @ 15°C
Viscosidad cinemática	4.9 – 5.4 $\frac{mm^2}{s}$ a 100°C 23 $\frac{mm^2}{s}$ a 40°C 13000 $\frac{mm^2}{s}$ a – 40°C
Punto de inflamación	<i>mínimo</i> 246°C
Punto de fluidez	<i>máximo</i> – 54°C

(Shell, 2013)

2.3.1 PROCESO PARA MMA

El proceso de vaciado y llenado para el módulo MMA está estandarizado (Proceso descrito en los manuales de mantenimiento del módulo) y este al final debe cumplir con un determinado desplazamiento del pistón compensador de presión verificado con un imán llamado stud finder; a continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso.

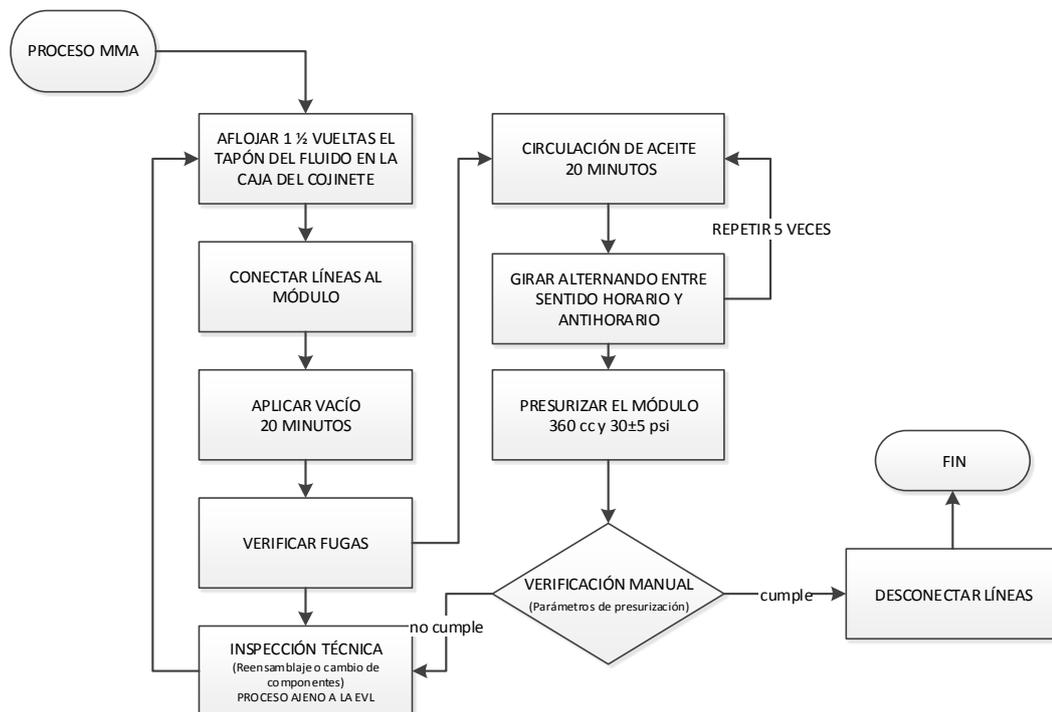


Ilustración 2.13 Proceso actual MMA (S.Hearn, 1994).

2.3.1.1 Requerimientos

- Presión nominal del reservorio: 30 ± 5 psi
- Volumen de presurización: 360 cc
- Volumen total: 1440 cc
- Durante el proceso se requiere que la herramienta se gire alternando sentidos con el propósito de que se evite que las burbujas se queden atrapadas.

2.3.2 PROCESO PARA MTA

El procedimiento del módulo MTA es muy similar al proceso llevado a cabo para MMA, en base al procedimiento estandarizado se realiza el siguiente diagrama de flujo.

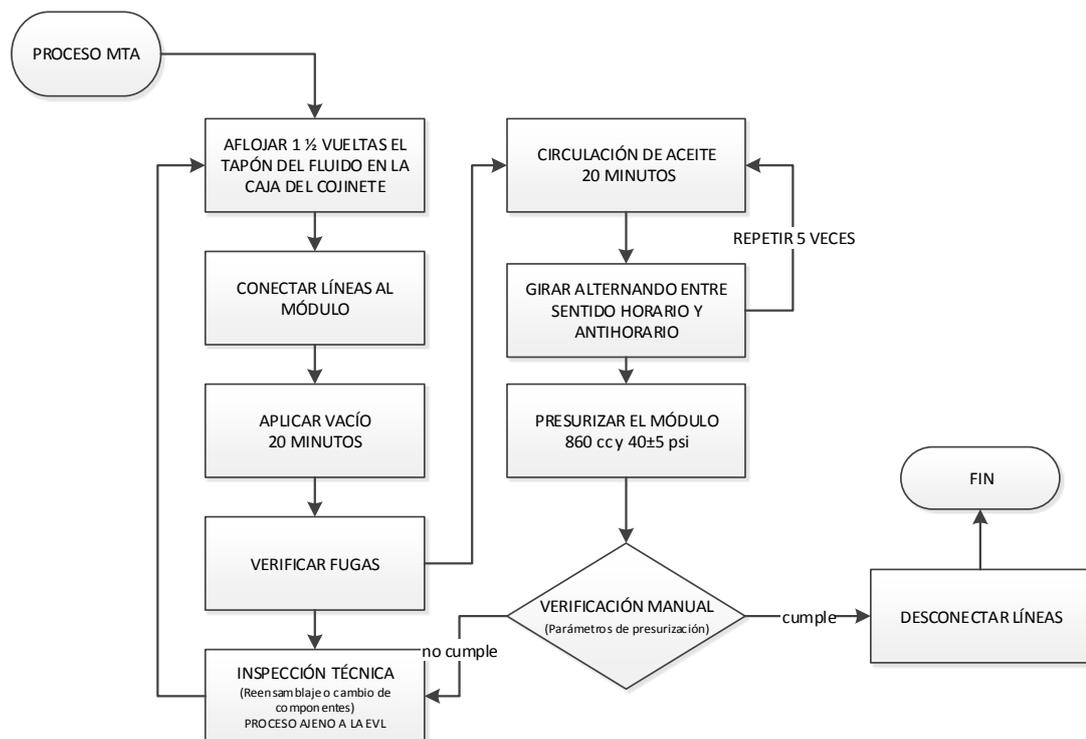


Ilustración 2.14 Proceso actual MTA – BC (M.Toro, 2007).

2.3.2.1 Requerimientos

- Presión nominal del reservorio: 40 ± 5 psi
- Volumen de presurización: 860 cc
- Volumen total: 2250 cc
- Durante el proceso se requiere que la herramienta se gire alternando sentidos con el propósito de que se evite que las burbujas se queden atrapadas.

2.3.3 PROCESO PARA IPTA

Debido a la similitud del procedimiento de llenado y vaciado para el módulo IPTA se utiliza la misma estación que para MMA y MTA; procedimiento detallado en el siguiente diagrama de flujo.

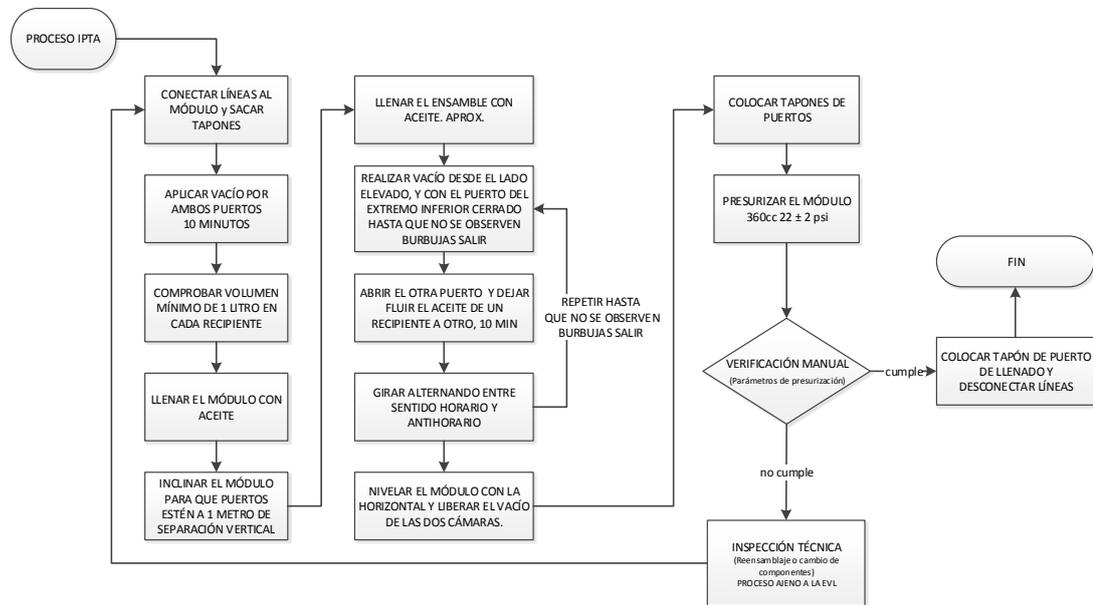


Ilustración 2.15 Proceso actual IPTA (M.Stucker).

2.3.3.1 Requerimientos

- Presión nominal del reservorio: 22 ± 2 psi
- Volumen de presurización: 360 cc
- Volumen total: 1270 cc
- Durante el proceso se requiere que la herramienta se gire alternando sentidos con el propósito de que se evite que las burbujas se queden atrapadas.

2.3.4 PROCESO PARA CRSPA (6.75 & 9.00)

Este procedimiento difiere de los anteriores ya que se lo realiza con una estación diferente, en el diagrama de flujo siguiente se detalla el

procedimiento de vaciado y llenado para los módulos CRSPA de la herramienta Xceed.

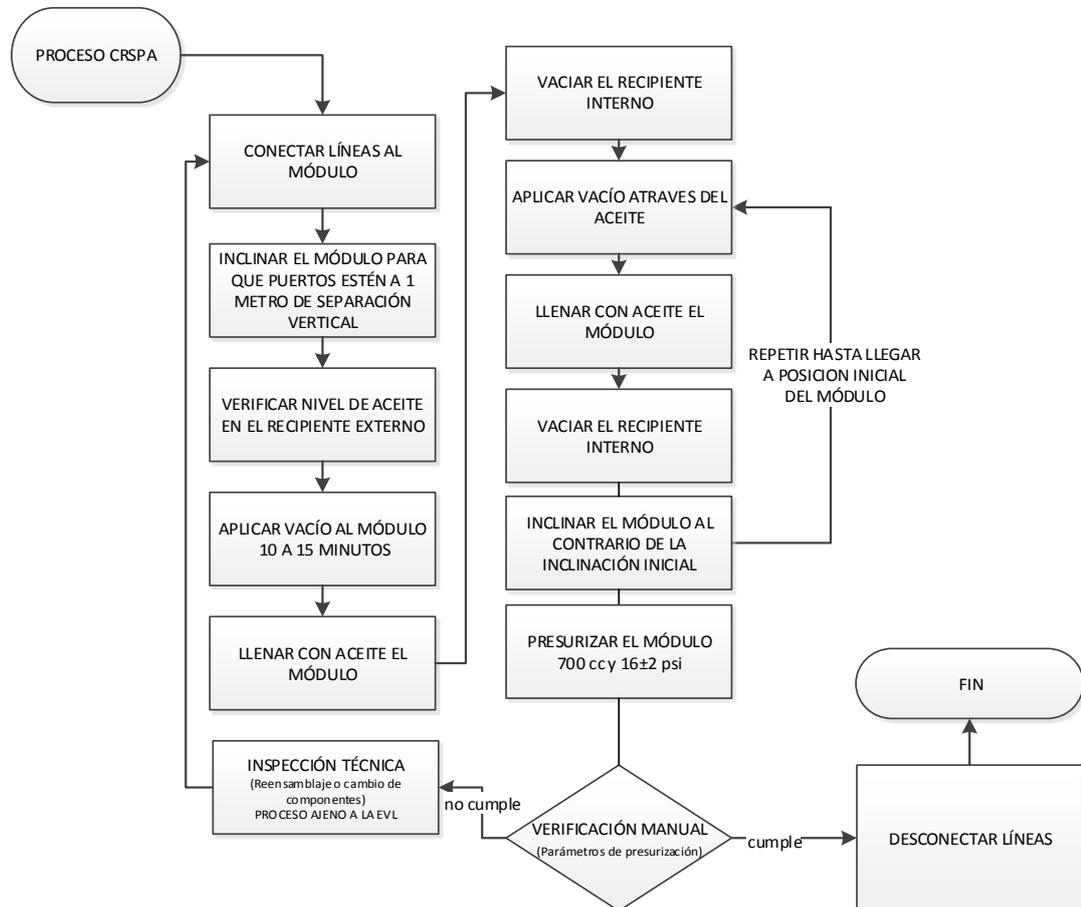


Ilustración 2.16 Proceso actual Xceed (AD, 2010).

2.3.4.1 Requerimientos

- Presión nominal del reservorio: 16 ± 2 psi
- Volumen de presurización: 700 cc
- Volumen total: entre 1900 cc y 2300 cc para CRSPA 6.75, entre 3200 cc y 3600 cc para CRSPA 9.00
- Durante el proceso se requiere que la herramienta se gire alternando sentidos con el propósito de que se evite que las burbujas se queden atrapadas.

2.3.5 RESUMEN

A continuación se muestra un resumen de todos los parámetros para la realización del procedimiento de vaciado y llenado.

Tabla 2.3 Datos para el proceso de vaciado y llenado de los módulos

HERRAMIENTA	MÓDULO	TIEMPO DE CIRCULACIÓN DE ACEITE	PRESIÓN FINAL DEL RESERVORIO	VOLUMEN MUERTO	VOLUMEN DE PRESURIZACIÓN	VOLUMEN TOTAL	REQUERIMIENTOS DE GIRO
		t[min]	P [psi]	V _m [cc]	V _p [cc]	V _t [cc]	a [°]
TeleScope	MMA	20	30 \pm 5	1080	360	1440	N/E (Los operadores lo realizan a 45°)
	MTA-BC	20	40 \pm 5	1400	860	2260	N/E (Los operadores lo realizan a 45°)
ImPulse	IPTA	30	22 \pm 2	910	360	1270	27° (Acoples a 3ft de distancia vertical)
Xceed	CRSP A 6.75	40	16 \pm 2	1200 a 1600	700	1900 a 2300	35° (Acoples a 3ft de distancia vertical)
	CRSP A 9.00	40	16 \pm 2	2500 a 2900	700	3200 a 3600	35° (Acoples a 3ft de distancia vertical)

3 DISEÑO CONCEPTUAL

A continuación se presentan los procesos automatizados para cada módulo, junto a un diagrama de flujo que esquematiza las funciones que la estación de vaciado y llenado (EVL) en conjunto con el técnico realizará para completar el proceso de vaciado y llenado.

3.1 PROCESOS DE VACIADO Y LLENADO AUTOMATIZADOS

El desarrollo de la EVL propone juntar todos los procesos de vaciado y llenado, de manera que el operador pueda seleccionar mediante un interfaz el proceso que debe seguir la EVL, además la estación guiará al operador a través del proceso.

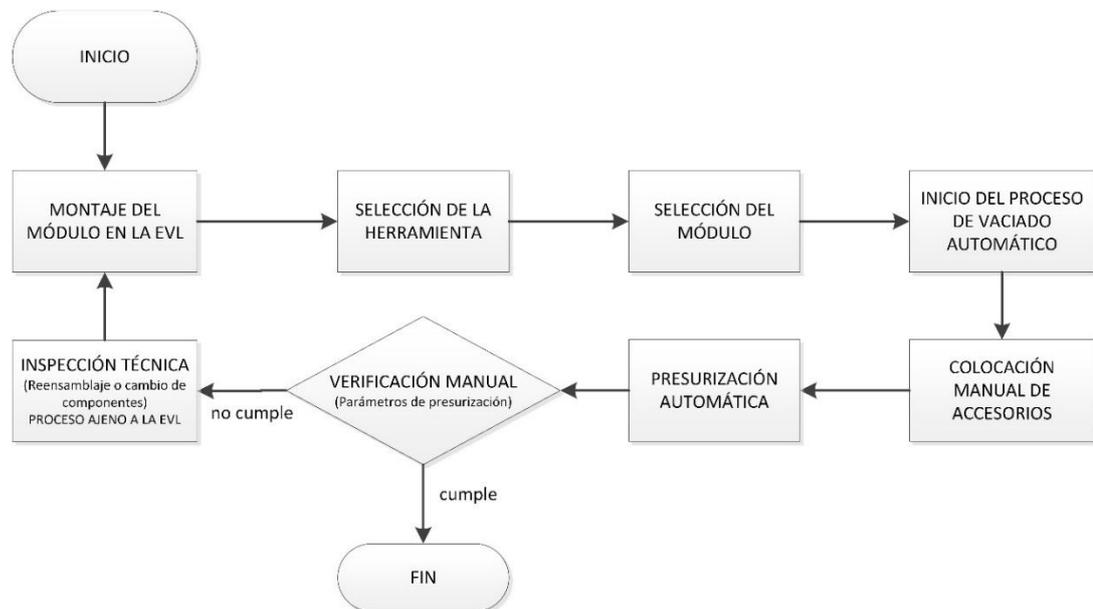


Ilustración 3.1 Proceso General.

El proceso de vaciado automático, llenado, colocación de accesorios y posterior presurización varían según el módulo con el que se esté trabajando,

es así que a continuación se describen los procesos automatizados para cada módulo.

Un aspecto importante a considerar, es el proceso de vacío inicial a realizarse en todos los módulos. Un correcto vacío a la herramienta sugiere el buen estado del módulo, este proceso se comprueba al mantener la presión dentro de cierto rango (menor a la presión atmosférica) pasados los primeros 5 minutos del vacío. Para poder acoplar este proceso en la automatización, se realizó una serie de pruebas en las cuales se comprobó que la presión máxima de vacío que deberá mantenerse en el proceso es de 2 psi (Ver Reporte Técnico del Anexo 9.5.7), siendo entonces el rango desde 0 a 2 psi.

3.1.1 PROCESO PARA MMA

El nuevo proceso del módulo MMA se presenta en el siguiente diagrama de flujo, comparado con el proceso actual es evidente la reducción de la intervención del operador.

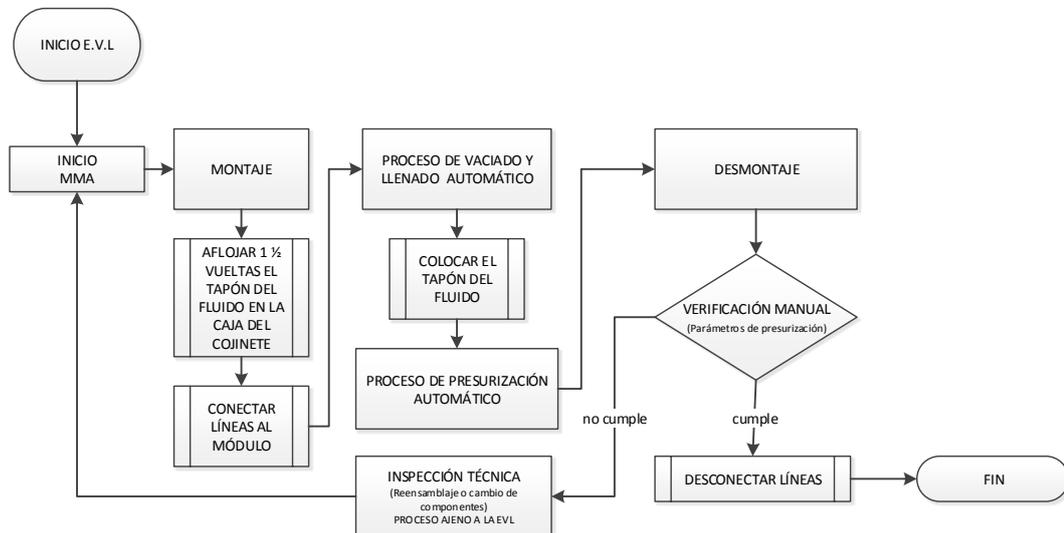


Ilustración 3.2 Proceso a implementar MMA.

3.1.1.1 Requerimientos

- Cumplir con los parámetros de presurización establecidos por la empresa, detallados en la Tabla 2.1.

3.1.2 PROCESO PARA MTA

El nuevo proceso del módulo MTA se presenta en el siguiente diagrama de flujo, que al igual que para el módulo MMA es evidente la reducción de la intervención del operador.

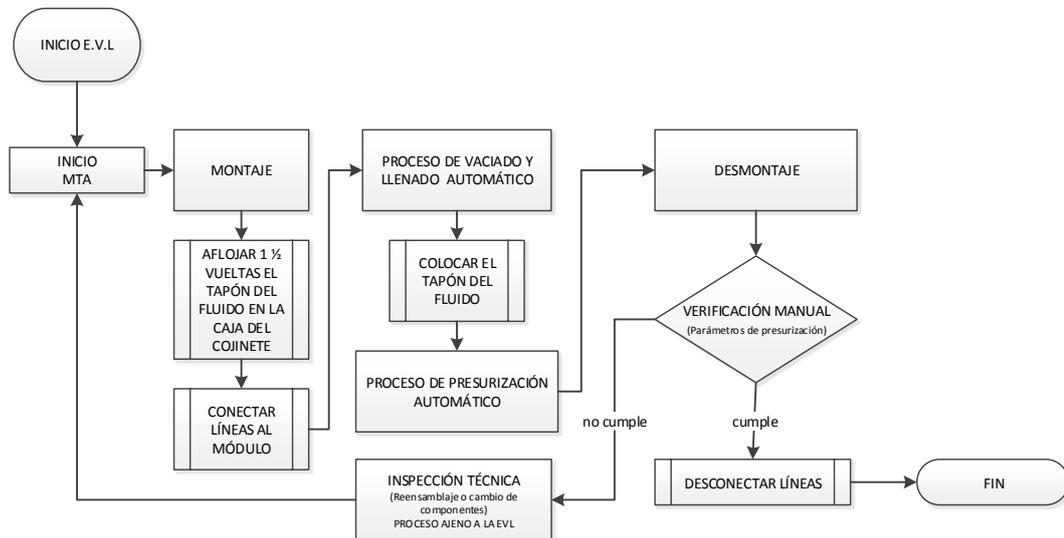


Ilustración 3.3 Proceso a implementar MTA.

3.1.2.1 Requerimientos

- Cumplir con los parámetros de presurización establecidos por la empresa, detallados en la Tabla 2.1.

3.1.3 PROCESO PARA IPTA

Siendo un proceso similar a los de los módulos MMA y MTA, al compararlo con el proceso actual, para este se evidencia una mayor reducción de la intervención del operador.

Debido a que el procedimiento estandarizado no especifica un número de repeticiones del proceso de vaciado y circulación de aceite, se determinó en base a pruebas que el número adecuado de repeticiones para que se dejen de observar burbujas saliendo de la herramienta es de 5 repeticiones (Ver Anexo 9.5.1).

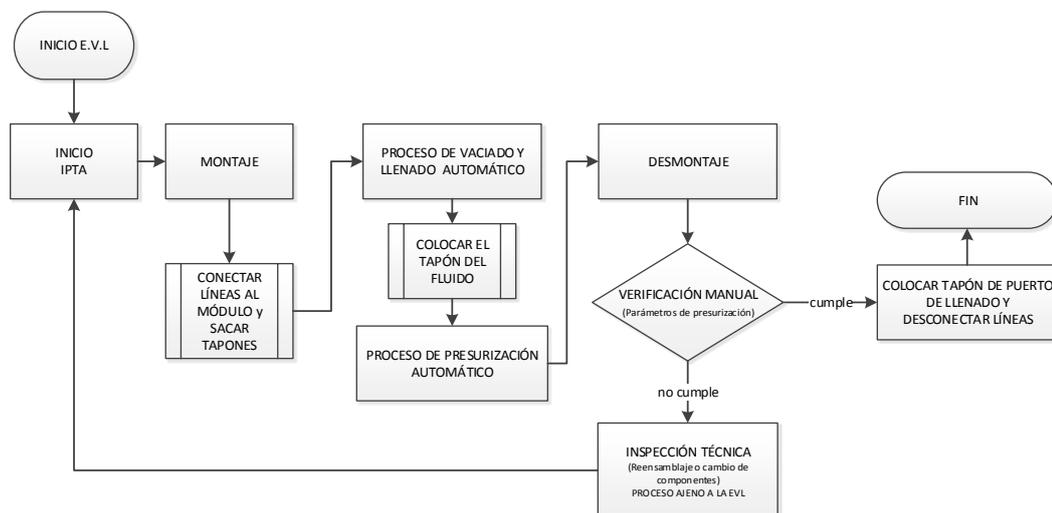


Ilustración 3.4 Proceso a implementar IPTA.

3.1.3.1 Requerimientos

- Cumplir con los parámetros de presurización establecidos por la empresa, detallados en la Tabla 2.1.

3.1.4 PROCESO PARA CRSPA (6.75 & 9.00)

Al igual que para los demás módulos, se evidencia una reducción de la intervención del operador, para este módulo no se requiere una presurización adicional, al culminar el proceso de circulación de aceite se deja a la presión requerida en el procedimiento estandarizado.

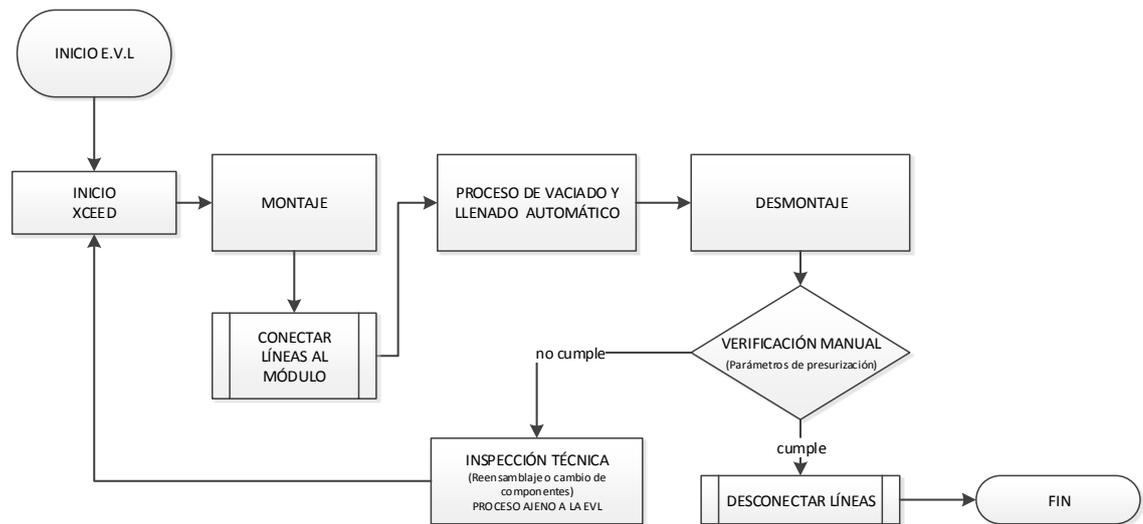


Ilustración 3.5 Proceso a implementar CRSPA.

3.1.4.1 Requerimientos

- Cumplir con los parámetros de presurización establecidos por la empresa, detallados en la Tabla 2.1.

3.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Un estudio preliminar de las funciones que deberá realizar la EVL estableció los elementos que la estación deberá tener, y al clasificarlos por tipo se definieron tres módulos principales que contendrán a todos los elementos, es así que se dice que la estación de vaciado y llenado deberá contener los siguientes módulos que funcionando conjuntamente automatizarán el proceso de llenado y vaciado de los módulos de las herramientas.

Módulo de control

Exteriormente, en este se ubicará el panel táctil que permitirá interactuar con el proceso, las luces indicadoras, el botón de inicio, fin, entre otros; en su interior se encontrarán el medio electrónico y accesorios necesarios para controlar el proceso.

Este módulo deberá estar colocado en un lugar de fácil y adecuado acceso para el operador.

Módulo de acoplamiento

Este será el módulo en el que se ubique y conecte el módulo para someterla al proceso.

Deberán ubicarse en un lugar accesible que no dificulte el posicionamiento de los módulos al operador.

Módulo hidráulico

Este módulo comprende los reservorios, bombas, tanques de almacenamiento así como la bandeja para evitar que cualquier fuga o derrame caiga al suelo de la base.

No necesita ubicarse en un lugar de fácil acceso ya que solamente se necesitará manipular el módulo en caso de que se necesite mantenimiento.

3.2.1 MÓDULO DE CONTROL

Los elementos de la estación deberán ser controlados mediante un medio electrónico, a continuación se procede a elegir el más adecuado de entre las opciones comúnmente más usadas.

Tabla 3.1 Matriz de selección del medio electrónico a usarse para controlar el proceso

	COSTO	DESEMPEÑO	PROGRAMABILIDAD	RAPIDEZ DE REPUESTA	VERSATILIDAD	SOPORTE TÉCNICO	TOTAL
	10.00%	25.00%	5.00%	17.50%	25.00%	17.50%	100.00%
Controlador lógico programable (PLC)	8	10	10	10	10	10	97.5
Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)	10	9	10	8	10	7.5	89.63
Microprocesador	5	8	0	9	5	5	62

Como era de esperarse, la alternativa mejor puntuada es el PLC, debido a su versatilidad, rapidez, disponibilidad, programabilidad y demás

características que hacen del controlador lógico programable el medio de control más usado actualmente por las industrias.

3.2.1.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

3.2.1.1.1 Requerimientos

- Conexión con un interfaz hombre-máquina (Human Machine Interface – HMI).
- Capacidad de conexión de entradas digitales y analógicas.
- Conexión a salidas digitales.

3.2.1.1.2 Parámetros indicadores

La interfaz HMI deberá permitir seleccionar el proceso según el módulo, observar el progreso del mismo, dar las indicaciones de las actividades que el operario debe realizar y pararlo en caso de que se necesite.

3.2.1.1.3 Alternativas de elección

Debido a que todos los requerimientos de la EVL pueden satisfacerse tanto con controladores modulares como con compactos la siguiente selección a realizarse será la marca del PLC, cuyas alternativas se presentan en la Tabla 3.2, se tomaron las marcas más conocidas en el mercado y con mayor renombre. Como se verá el fabricante SIEMENS tiene el total más alto de las calificaciones obteniendo 92%.

Tabla 3.2 Matriz de selección de la marca del PLC

	COSTO	DISPONIBILIDAD DE MERCADO	SOPORTE TÉCNICO	SOFTWARE PARA PRUEBAS Y EVALUACIONES	TOTAL
	10.00%	15.00%	50.00%	25.00%	100.00%
SIEMENS	5	10	10	10	95
TOSHIBA	8	10	10	7.5	91.3
MITSUBISHI	10	5	6	10	72.5

A partir de la selección de la marca del PLC, se tiene las siguientes opciones:

Módulo Lógico LOGO

Siendo un PLC compacto, es el módulo líder para micro automatizaciones, fácil de programar y simple de instalar reduciendo el uso de cables. El sistema de control logo es perfecto para proyectos de automatización a pequeña escala. La falta de compatibilidad con un interfaz que permita la interacción del operario (HMI) con la máquina deja a un lado esta serie de Siemens para implementarse en la EVL.

Controladores Modulares SIMATIC S7

Como su nombre lo indica es una familia de PLC de organización modular; que tiene una variedad de módulos para expandirse, resiste vibraciones y está libre de mantenimiento.

Controladores Integrados SIMATIC

Este tipo de controladores son los indicados para controlar, automatizar o realizar cualquier otra función que se necesite en una plataforma abierta y robusta. Estos paquetes son una combinación de hardware y software pre configurados que brindan un sistema extremadamente resistente con un sistema operativo adaptable y optimizado para el hardware utilizado.

Controladores mediante una PC

Este tipo de PLC al requerir un computador para su funcionamiento no cumple con los requerimientos de la EVL.

En la Tabla 3.3 podemos observar la matriz de selección entre los controladores modulares y controladores integrados.

Tabla 3.3 Matriz de selección entre controladores Modulares e Integrados SIMATIC

	DISEÑO	DESEMPEÑO	INTERFAZ E/S	COMPATIBILIDAD							
	COSTO	ROBUSTEZ	DISPONIBILIDAD DE PARTES EN EL FUTURO	REINICIO RÁPIDO	PROCESAMIENTO DEL PROGRAMA	SEGUIDAD INTEGRADA	CENTRAL	DISTRIBUIDA	INTEGRACIÓN CON PROGRAMAS C++	MODULARIZACIÓN CON INTELIGENCIA DISTRIBUIDA (CBA)	TOTAL
	10%	20%	20%	5.00%	25%	10%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	100.00%
Modulares SIMATIC S7	10	10	10	10	5	5	10	5	0	10	78.75
Integrados SIMATIC	9	5	5	0	10	10	10	10	10	10	74

Datos de: (SIEMENS, 2013).

Se observa que por una pequeña diferencia (4.75%) el PLC elegido será uno perteneciente a la familia de Moduladores SIMATIC S7; entre las opciones están los PLC S7-1200, S7-1500 y S7-200, excluyendo a los PLC S7-300 y S7-400 ya que no pueden acoplarse a un interfaz para un mejor manejo de la EVL por el operario.

SIMATIC S7-1500

Eficiencia y usabilidad mejoradas; excepcional eficacia para tiempos de respuesta extremadamente cortos y el más alto control de calidad; concebido

con el fin de ayudar en tareas de automatización, control, registro y monitoreo para grandes industrias; presenta una infinidad de opciones para la interfaz HMI, desde paneles de botones hasta pantallas LED táctiles.

SIMATIC S7-1200

Este controlador es extremadamente flexible, ampliable y fácil de usar; diseñado como una opción de automatización, control, registro y monitoreo para grandes líneas de producción, ensamblaje o cualquier proceso industrial; ofrece un tiempo de respuesta corto y versatilidad en su programación, además puede conectarse a una interfaz HMI básica.

SIMATIC S7-200

Compacto y potente, diseñado para tareas básicas de automatización; fácil comunicación y alta productividad en tiempo real. Fácilmente expandible y compatible con interfaces HMI básicas.

En la Tabla 3.4 a continuación se presenta la matriz de la selección para los PLC arriba enunciados, para este caso a diferencia de las otras tablas se aumentó el porcentaje de influencia del parámetro costo ya que hay una abismal diferencia de costos entre las propuestas, llegando la más costosa de las 3 a ocupar el 25% del presupuesto total asignado para el presente proyecto.

Tabla 3.4 Matriz de selección entre controladores SIMATIC S7 1500, 1200 y 200.

	COSTO	CARACTERÍSTICAS DE E/S	CALIDAD Y VERSATILIDAD DEL HMI	RAPIDEZ DE RESPUESTA	TOTAL
	35%	15%	25%	25.00%	100.00%
S7-1500	2.5	9	10	10	72
S7-1200	9	9	6	8	80
S7-200	10	10	6	5	78

Datos de: (SIEMENS, 2014).

Como se puede apreciar, el grupo de controladores S7-1200 es el que más puntaje obtuvo y por lo tanto el que se elegirá para la EVL.

Continuando con la selección, se procede a definir por completo el PLC a usarse basándose en los requerimientos de la EVL que se presentan a continuación.

Tabla 3.5 Requerimientos de entradas y salidas del PLC

	Cantidad	Requerimiento	Tipo	Factores limitantes	
ENTRADAS	3	pulsadores y botones de inicio, emergencia y fin	Digital	N/A	N/A
	3	medición de presión	analógico	N/A	N/A
	3	medición de nivel de líquido	analógico	N/A	N/A
	2	medición multinivel de líquido	Digital	N/A	N/A
	1	medición de desplazamiento del actuador lineal	analógico	N/A	N/A
SALIDAS	1	control bomba de llenado	Digital	115 VAC	5 A
	1	control bomba de vacío	Digital	115 VAC	5 A
	12	control válvulas solenoides	Digital	24 VDC	1150 mA
	2	control actuador lineal	Digital	24 VDC	15 A
	3	luces indicadoras	Digital	115 VAC	0.1–0.4 A
	1	sirena emergencia	Digital	115 VAC	0.1–0.4 A

De entre las opciones de CPU de la familia SIMATIC S7-1200 se tiene las siguientes:

CPU 1211C

CPU expandible para tareas más complejas, paquete compacto capaz de realizar tareas de automatización de máquinas complejas.

CPU 1212C

CPU para mejor comunicación y requerimientos computacionales, este CPU de alto desempeño está diseñado para realizar tareas complejas que requieran velocidad y capacidades especiales de comunicación.

CPU 1214C

Es un CPU de alto desempeño, con gran número de salidas digitales, gran capacidad de memoria, alta rapidez de respuesta; la opción exacta para tareas que no requieran de salidas digitales o de pulso, así como tareas que requieran un solo interfaz.

CPU 1215C

Es una variación del 1214C, es de alto desempeño para tareas técnicas de considerable tamaño con entradas y salidas expandibles así como dos interfaces y dos salidas analógicas.

De las alternativas presentadas, no se descarta ningún CPU, dado que todos podrían cumplir las tareas requeridas en la EVL, es así que a continuación se presentan datos específicos de los CPU separados en dos tablas y posteriormente la matriz de selección, para verificar cual CPU cumpliría con las tareas de automatización de manera más eficiente.

Tabla 3.6 Datos específicos de los CPU SIMATIC S7-1200, parte 1

	PROGRAMACIÓN	MEMORIA DE TRABAJO y CARGA	TIEMPOS DE PROCESAMIENTO	ENTRADAS DIGITALES	SALIDAS DIGITALES	ENTRADAS ANALÓGAS
CPU 1211C	STEP 7	30 kb 1 Mb	0.085 us/ bit	6 integradas	4	2 integradas
CPU 1212C	STEP 7	50 kb 1 Mb	0.085 us/ bit	8 integradas	6	2 integradas
CPU 1214C	STEP 7	75 kB 4 Mb	0.085 us/ bit	14 integradas	10	2 integradas
CPU 1215C	STEP 7	100 kB 4 Mb	0.085 us/ bit	14 integradas	10	2 integradas

(SIEMENS, 2014)

Tabla 3.7 Datos específicos de los CPU SIMATIC S7-1200, parte 2

	INTERFAZ	FUNCIONES DE COMUNICACIÓN		CONTADORES	CONTROLADOR PID	MEDIDOR DE FRECUENCIA (MAX)	CONTROL DE POSICIONAMIENTO
CPU 1211C	Ethernet	SI	3		SI	100 kHz	SI
CPU 1212C	Ethernet	SI	4		SI	100 kHz	SI
CPU 1214C	Ethernet	SI	6		SI	100 kHz	SI
CPU 1215C	Ethernet	SI	6		SI	100 kHz	SI

(SIEMENS, 2014)

En base a la Tabla 3.6 y Tabla 3.7 se desarrolla la matriz de selección de alternativas que se presenta a continuación, tomando como parámetros las características de mayor importancia para la EVL.

Tabla 3.8 Matriz de selección del CPU a usarse

	COSTO	ENTRADAS/SALIDAS INTEGRADAS	ENTRADAS/SALIDAS AMPLIABLES	MEMORIA DE PROGRAMAS	MEMORIA DE DATOS	MEMORIA DE BACKUP	INTENSIDAD DE CORRIENTE DE LA ALIMENTACIÓN	TOTAL
	10.00%	17.50%	10.00%	22.50%	10.00%	10.00%	20.00%	100.00%
CPU 1211C	10	4	8	4	2	5	4.5	50
CPU 1212C	5.2	6	10	6	8	10	7	71.2
CPU 1214C	4.1	8	10	9	10	10	7	82.35
CPU 1215C	3.7	10	10	10	10	10	10	93.7

Datos de: (SIEMENS, 2014).

Entonces se observa que la alternativa adecuada a implementarse en la EVL será el CPU 1215, en el capítulo siguiente se seleccionarán los módulos de ampliación según los requerimientos específicos de la EVL

3.2.1.2 Panel de control (HMI)

3.2.1.2.1 Requerimientos

- Control totalmente interactivo que permita cumplir con todas las funciones propuestas para la EVL.
- Visualización de datos de presiones y volúmenes en tiempo real.
- Visualización de mensajes al operario.

3.2.1.2.2 Parámetros indicadores

Versatilidad para el operario en el manejo de la EVL.

3.2.1.2.3 Alternativas de diseño

Se tiene como alternativas las cuatro interfaces HMI compatibles con el controlador Siemens S7-1200; los HMI KTP400, KTP600, KTP1000 y TP15000 de los cuales a continuación se presenta la matriz de alternativas.

Tabla 3.9 Matriz de selección entre controladores las interfaces HMI.

	VERSATILIDAD	RESISTENCIA Y DURABILIDAD	TAMAÑO	RESOLUCIÓN	TOTAL
	50%	20%	15%	15%	100.00%
KTP400	6	9	8	7	70.5
KTP600	10	10	10	8	97
KTP1000	10	10	6	9	92.5
TP1500	8	10	4	10	81

Datos de: (SIEMENS, 2013).

Las alternativas se reducen a una al observar la mayor calificación del interfaz KTP 600, esta ventaja se debe a que si bien no es el panel de mayor desempeño (tamaño y resolución), es el que mejor se adapta a la aplicación. Quedando así elegida la interfaz KTP 600 para implementarse en la EVL, dentro de la serie elegida hay varias opciones, para una mayor resolución y visión de la interfaz se elige la versión BASIC COLOR PN.

Tabla 3.10 Especificaciones Técnicas del interfaz HMI KTP600 BASIC COLOR PN

Característica	Especificación
Modelo	6AV6647-0AD11-3AX0
Pantalla	5.7 plg, TFTT, 256 colores
Resolución	320x240 pixeles
Elementos de control	Pantalla táctil analógica 6 teclas
Memoria	512 KB
Interfaces	1 x Ethernet
Grado de protección	IP 65 frontal IP 20 trasero
Recorte para instalación	196x140 mm
Panel frontal	214x158 mm
Profundidad	44mm
Software de configuración	WinCC / TIA Portal

(SIEMENS, 2013)

3.2.2 MÓDULO DE ACOPLAMIENTO

3.2.2.1 Mecanismo de giro

3.2.2.1.1 Requerimientos

- Ángulo de barrido amplio, 45° en ambos sentidos.
- Movimiento suave, sin golpeteo o vibraciones.

3.2.2.1.2 Parámetros indicadores

La fuerza producida deberá ser mayor que la del momento producido por el módulo más pesado.

3.2.2.1.3 Alternativas de diseño

Pistón neumático

Se puede usar la línea de aire presurizado de la base para su accionamiento.

Comparado con un pistón hidráulico de las mismas dimensiones, este produce menos fuerza.

El tiempo de respuesta es muy corto por lo que el movimiento sería extremadamente brusco.

Pistón hidráulico

Se necesitaría una bomba solamente para su accionamiento.

Comparado con un pistón neumático de las mismas dimensiones, este produce más fuerza.

Tiempo de respuesta es considerable, y la velocidad de desplazamiento del pistón puede ser controlada fácilmente.

Sistema mecánico

Necesidad de un motor adicional para accionar el sistema.

Se necesitaría un reductor de velocidades para que la velocidad de rotación sea la adecuada para la EVL.

Actuador lineal eléctrico

Presenta mucha versatilidad en cuanto a tamaños y fuerzas, su instalación es mucho más sencilla que las demás alternativas.

Se tiene amplias opciones en cuanto al tiempo de respuesta.

Una vez que se conocen los requerimientos del mecanismo se presenta la matriz de selección.

Tabla 3.11 Matriz de selección del mecanismo de giro

	COSTO	TIEMPO ASOCIADO	AUTOMATIZABILIDAD	INSTALACIÓN	FUNCIONALIDAD	TOTAL
	10%	15%	25%	10%	40%	100%
Pistón neumático	10	10	10	7.5	5	77.50
Pistón hidráulico	7.5	10	10	2.5	10	90.00
Sistema mecánico	5	10	10	1	10	86.00
Actuador lineal eléctrico	8.5	10	10	10	10	98.50

La alternativa con mayor puntaje y por lo tanto la que se implementará en la EVL para el mecanismo de giro será un sistema manejado por un actuador lineal eléctrico como el de la Ilustración 3.6.



Ilustración 3.6 Propuesta del mecanismo de giro del módulo.

El actuador lineal eléctrico podría funcionar con 12 o 24 voltios de corriente continua y según su capacidad manejan corrientes de entre 1 y 5 amperios sin carga y de entre 5 a 15 amperios a carga máxima. (DC Actuators, 2013).

Al ser los mecanismos de 24 voltios más potentes, más estables manteniendo cargas durante tiempos prolongados y al trabajar a menores intensidades que los de 12 voltios esta será la tensión con la que se elegirá el actuador lineal eléctrico.

3.2.2.2 Sujeción del módulo

3.2.2.2.1 Requerimientos

- Sujeción de los módulos con varios diámetros, debido a que en la misma estación se procesarán módulos desde 2 1/2" hasta 4 1/8".
- Sujeción necesaria para soportar el giro del módulo con un peso de hasta 210 lb.

3.2.2.2.2 Parámetros indicadores

La presión de la pinza deberá ser mayor que la de la del momento producido por el módulo más pesado para evitar su desplazamiento o rotación, pero esta fuerza no deberá dañar la superficie del módulo.

3.2.2.2.3 Alternativas de diseño

Pinzas neumáticas

Se puede usar la línea de aire presurizado de la base para su accionamiento

Comparado con un sistema hidráulico de las mismas dimensiones, este produce menos fuerza.

Al igual que en la selección para el mecanismo de giro, la desventaja de este tipo de acople es la velocidad de respuesta que para este caso causaría un impacto de las pinzas con el módulo.

Sistema hidráulico

Se necesitaría una bomba solamente para su accionamiento, pero esta sería la misma utilizada para accionar el pistón del mecanismo de giro.

Comparado con un sistema neumático de las mismas dimensiones, este produce más fuerza.

Tienen una velocidad de respuesta totalmente controlable.

Sistema manual

Se evitaría muchos sistemas y mecanismos adicionales pero el objetivo de la estación es limitar la interacción hombre-máquina y al instalar pinzas manuales no se estaría aportando a este objetivo.

Se presenta a continuación la matriz de selección para la sujeción de los módulos en la que el costo tiene una mayor valoración debido al alto precio de los sistemas de agarre en relación al presupuesto asignado para la EVL.

Sistema eléctrico

Presenta mucha versatilidad en cuanto a tamaños y fuerzas, su instalación es mucho más sencilla que las demás alternativas.

Se tiene amplias opciones en cuanto al tiempo de respuesta.

Tabla 3.12 Matriz de selección del mecanismo para la sujeción de los módulos

	COSTO	TIEMPO ASOCIADO	INTERVENCIÓN DEL TÉCNICO	INSTALACIÓN	FUNCIONALIDAD	TOTAL
	30%	15%	15%	10%	30%	100%
Sistema neumático	5	10	10	2.5	5	62.50
Sistema hidráulico	4	10	10	2.5	10	74.50
Sistema manual	10	7	0	10	10	80.50
Sistema eléctrico	5	10	10	2.5	10	77.50

Dado el mayor porcentaje alcanzado por el sistema manual, será este el mecanismo seleccionado para la EVL. Se tomó un porcentaje del 15% del total para la intervención del técnico ya que este es un proceso rápido que solo necesita hacerse al inicio y al final del proceso de vaciado y llenado y por lo tanto no es imprescindible su automatización al ser parte del montaje y desmontaje del módulo.

UNE 16560



Ilustración 3.7 Propuesta para mecanismo de sujeción manual (REMSACR, 2013).

3.2.3 MÓDULO HIDRAÚLICO

3.2.3.1 Bomba de llenado

3.2.3.1.1 Requerimientos

- Caudal de alrededor de 3 l/min.
- Manejo de presiones de hasta 45 psi.

3.2.3.1.2 Parámetros indicadores

La bomba deberá ser capaz de manejar el aceite a un régimen laminar de flujo. Además su caudal permitirá un control del volumen de aceite que ingresará al módulo que se esté sometiendo al proceso en la EVL

A continuación se presentan las especificaciones técnicas de la bomba manual de la estación de vaciado y llenado actual.

Tabla 3.13 Especificaciones técnicas bomba manual ENERPAC P-18

Característica	Especificación
Fabricante	Enerpac
Modelo	P-18
Tipo de Bomba	pistón
Capacidad de aceite utilizable	260 cm ³
Presión nominal	200 bar – 2900 psi
Desplazamiento de aceite por carrera	2.46 cm ³
Máximo esfuerzo de la palanca	16 kg
Carrera del pistón	25.4 mm
Peso	5 kg

(Enerpac, 2013)

3.2.3.1.3 Alternativas

Para la EVL, se continuará trabajando con bombas de la marca ENERPAC ya que son aprobadas y probadas por la empresa auspiciante Schlumberger. La selección es sencilla y parte de la bomba que actualmente se tiene para opcionalmente presurizar las herramientas o llenar los reservorios.

La bomba es de la serie PUJ del fabricante mencionado, que comprenden bombas electro-hidráulicas. Se usan estas bombas ya que son las de menor caudal y presión moderada, ideales para los requerimientos de la EVL. Además tienen dos velocidades, lo que las hacen aún más eficientes para las necesidades de la EVL.

De la serie mencionada, las bombas que cumplen con los requerimientos de la EVL son la 1200B y 1201B, cuyas especificaciones técnicas se presentan a continuación.

Tabla 3.14 Especificaciones técnicas bomba ENERPAC PUJ-1200B

Característica	Especificación
Fabricante	Enerpac
Modelo	1200B
Tipo de Bomba	Pistón
Tipo de válvula	3/2 manual
Potencia del motor	0.37 kW
Tensión y frecuencia del motor	115 V AC 50/60 Hz
Capacidad de aceite utilizable	0.5 gl
Presión nominal primera etapa	200 psi
Presión nominal segunda etapa	10000 psi
Flujo de salida primera etapa	200 in ³ /min - 3.2 lt/min
Flujo de salida segunda etapa	20 in ³ /min – 0.32 lt/min
Conexión a proceso	3/8" NPTF
Peso	10 kg
Dimensiones	244x244x362 mm

(Enerpac, 2013)

Tabla 3.15 Especificaciones técnicas bomba ENERPAC PUJ-1201B

Característica	Especificación
Fabricante	Enerpac
Modelo	1201B
Tipo de Bomba	Pistón
Tipo de válvula	3/2 manual
Potencia del motor	0.37 kW
Tensión y frecuencia del motor	115 V AC 50/60 Hz
Capacidad de aceite utilizable	1.5 gl
Presión nominal primera etapa	200 psi
Presión nominal segunda etapa	10000 psi
Flujo de salida primera etapa	200 in ³ /min - 3.2 lt/min
Flujo de salida segunda etapa	20 in ³ /min – 0.32 lt/min
Conexión a proceso	3/8" NPTF
Peso	16.5 kg
Dimensiones	368x309x373 mm

(Enerpac, 2013)

Entonces se tienen dos alternativas cuya elección depende de la matriz de selección que se presenta a continuación.

Tabla 3.16 Matriz de selección de la bomba hidráulica

	COSTO	TIEMPO ASOCIADO	CONTROL AUTOMÁTICO	INSTALACIÓN	FUNCIONALIDAD	TOTAL
	10%	25%	25%	0%	40%	100%
ENERPAC PUJ-1200B	10	10	10	10	10	100.00
ENERPAC PUJ-1201B	8	10	10	10	10	98.00

Se observa que por una nimiedad la de mayor porcentaje es la PUJ-1200B; la única diferencia entre las dos alternativas es la capacidad del reservorio, factor que no hace diferencia para el funcionamiento de la EVL ya que la bomba será conectada a un barril de aceite quedando el reservorio

propio de la bomba inutilizado; por lo tanto la bomba a implementarse en la EVL será la Enerpac PUJ-1200B.

3.2.3.2 Bomba de vacío

3.2.3.2.1 Requerimientos

- Mayor caudal de desplazamiento de aire que las bombas usadas actualmente (25 l/min y 117 l/min) (Ver Tabla 3.17 y Tabla 3.18).
- Igual o menor presión última que las usadas en las estaciones actuales (1×10^{-4} Torr y 1.5×10^{-3} Torr) (Ver Tabla 3.17 y Tabla 3.18).

3.2.3.2.2 Parámetros indicadores

No se deberán producir vórtices que faciliten el ingreso de burbujas de aire al módulo.

Se presentan las especificaciones técnicas de la bomba de vacío de la estación de actual para los módulos MMA, MTA, IPTA y SPMA.

Tabla 3.17 Especificaciones técnicas bomba de vacío Welch 1400B-01

Característica	Especificación
Fabricante	Welch
Modelo	1400B-01
Caudal de desplazamiento de aire	25 l/min
Presión última	1×10^{-4} Torr
Velocidad del motor	580 rpm
Tensión y frecuencia del motor	115V AC, 50/60Hz
Potencia del motor	1/3 HP
Capacidad del reservorio	0.59 litros
Diámetro de la tubería recomendada	3/4" a 7/8"
Peso	26 kg
Dimensiones	17.8x9x12.6 cm

(WelchVaccum, 2013)

Al igual, se presentan las especificaciones técnicas de la bomba de vacío de la estación actual para los módulos CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 de la herramienta Xceed.

Tabla 3.18 Especificaciones técnicas bomba de vacío Edwards RV5

Característica	Especificación
Fabricante	Edwards
Modelo	RV5
Caudal de desplazamiento de aire	117 l/min
Presión última	1.5×10^{-3} Torr
Velocidad del motor	1800 rpm
Tensión y frecuencia del motor	230V AC, 50/60Hz
Potencia del motor	550W
Capacidad del reservorio	0.7 litros
Peso	55 lb

(Edwards, 2013)

3.2.3.2.3 Alternativas

Para la EVL, se continuará trabajando con bombas de la marca Welch ya que al igual que en la bomba de presurización y llenado son aprobadas y probadas por la empresa auspiciante Schlumberger. Inicialmente se presentan como alternativas las dos bombas con mayor caudal de desplazamiento de aire que la Welch 1400 y de la misma familia de bombas pequeñas de doble etapa ya que son de las que se usan actualmente en el proceso y las recomendadas por el fabricante para aplicaciones industriales (Existe la opción de implementar una bomba de menor presión última, pero no se recomienda para uso industrial; razón por la cual esta opción se convierte en inválida), además de que su tamaño es el adecuado para la estación y al tener dos etapas la presión última es menor.

Welch 1405B-01**Tabla 3.19 Especificaciones técnicas bomba de vacío Welch 1405B-01**

Característica	Especificación
Fabricante	Welch
Modelo	1405B-01
Caudal de desplazamiento de aire	91 l/min
Presión última	1x10 ⁻⁴ Torr
Velocidad del motor	525 rpm
Tensión y frecuencia del motor	115V AC, 50/60Hz
Potencia del motor	1/2 HP
Capacidad del reservorio	2.1 litros
Diámetro interno de la tubería necesaria	3/4" a 7/8"
Peso	51 kg
Dimensiones	20x12x15 cm

(WelchVaccum, 2013)**Welch 1402B-01****Tabla 3.20 Especificaciones técnicas bomba de vacío Welch 1402B-01**

Característica	Especificación
Fabricante	Welch
Modelo	1402
Caudal de desplazamiento de aire	160 l/min
Presión última	1x10 ⁻⁴ Torr
Velocidad del motor	525 rpm
Tensión y frecuencia del motor	115V AC, 50/60Hz
Potencia del motor	1/2 HP
Capacidad del reservorio	2.1 litros
Diámetro interno de la tubería necesaria	3/4" a 7/8"
Peso	51 kg
Dimensiones	20x12x15 cm

(WelchVaccum, 2013)

Al comparar las dos alternativas con la bomba de vacío Edwards RV5 se observa que la Welch 1405 tiene menor caudal de desplazamiento de aire, y por lo tanto no realizaría más eficazmente el proceso, quedando así como única opción válida la bomba Welch 1402.

Para comprobar que al aumentar el caudal de desplazamiento de aire de la bomba de vacío no se generen vórtices que permitan el ingreso de aire a los módulos se realizaron pruebas detalladas en el reporte técnico del Anexo 9.5.1.

A pesar de que en base a las razones expuestas en párrafos anteriores es obvio la bomba que ha de usarse, a continuación se presenta la matriz de selección para la elección de la bomba de vacío para la EVL.

Tabla 3.21 Matriz de selección de la bomba de vacío

	COSTO	TIEMPO ASOCIADO	AUTOMATIZABILIDAD	INSTALACIÓN	FUNCIONALIDAD	TOTAL
	10%	25%	25%	10%	30%	100%
Welch 1400	10	5	10	10	10	87.50
Welch 1405	8	7.5	10	10	10	91.75
Welch 1402	7	10	10	10	10	97.00

Como era de esperarse, la bomba con mayor porcentaje en la calificación total es la Welch 1402 y por lo tanto es la elegida para la EVL. La configuración de la bomba de 115 VAC y 60 Hz, es la correspondiente a la numeración 1402B-01.

3.2.3.3 Recipientes

3.2.3.3.1 Requerimientos

- Cierre hermético.

- Capacidad de mínimo la mayor suma de volumen de presurización, volumen muerto de los módulos y volumen de circulación (Esta sumatoria de volúmenes se define en la sección 3.2.3.3.3).
- Transparentes por requerimiento de la empresa auspiciante.

3.2.3.3.2 Parámetros indicadores

El cierre tendrá que mantener presiones de hasta 1×10^{-4} Torr completamente aisladas del ambiente.

3.2.3.3.3 Alternativas de diseño

Material de los recipientes

La única opción válida que resista presiones superiores e inferiores a la atmosférica y que cumpla con el requerimiento de transparencia es el plástico, específicamente el polietileno.

Disposición de los recipientes

Recipientes separados

Esta es la disposición de los recipientes que actualmente se tiene en la estación de vacío para los módulos de TeleScope, no hay ninguna diferencia técnica al compararla con la disposición de los tanques en la estación para los módulos Xceed. Presentan fácil mantenimiento y reparación al estar separados.

Un recipiente dentro de otro

Esta es la disposición de los recipientes que actualmente se tiene en la estación de vacío para los módulos Xceed, no hay ninguna diferencia técnica al compararla con la disposición de los tanques en la estación para los

módulos de TeleScope. Al estar uno dentro del otro, su mantenimiento o reparación es más compleja y laboriosa.

Se presenta a continuación la matriz de selección para la disposición de los recipientes.

Tabla 3.22 Matriz de selección de la disposición de los recipientes

	COSTO	TIEMPO ASOCIADO	REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	FUNCIONALIDAD	TOTAL
	10%	15%	25%	50%	100%
Recipientes separados	7.5 0	10	10	10	97.5 0
Un recipiente dentro de otro	10	10	10	8	88

Debido al mayor porcentaje en el total, la alternativa a usarse en la EVL es la disposición de recipientes separados.

Volumen de los recipientes

Para definir esta dimensión se deberá tener en cuenta la mínima cantidad de aceite para mantener la circulación durante el tiempo demandado por el proceso estandarizado de vaciado y llenado (Ver Tabla 2.3), esta cantidad será la que quede después de llenar los módulos.

Entonces la cantidad de aceite necesaria para lograr una circulación permanente de aceite durante el mayor tiempo estimado de entre los módulos

(30 minutos para IPTA y CRSPA, Ver reporte técnico del Anexo 9.5.3), es de alrededor de 8 litros.

Además de los recipientes para el proceso de circulación de aceite se requiere un recipiente adicional para controlar la cantidad de aceite con el que se presurizará las herramientas, este recipiente será idéntico a los demás recipientes en forma y materiales por requerimientos, e idéntico respecto a las dimensiones por facilidad de mantenimiento y reemplazo.

3.2.3.4 Válvulas

3.2.3.4.1 Requerimientos

- Control de flujo automático que a la vez permita la operación manual de las válvulas.
- Funcionamiento de la válvula a plena carga y sin carga.
- Flujo bidireccional.
- Control total del flujo (abierta o cerrada).

3.2.3.4.2 Parámetros indicadores

Obstrucción completa del paso del fluido al cerrar la válvula.

Control manual del sistema en caso de fallo de la EVL.

3.2.3.4.3 Selección de alternativas

Tipo de control

El control deberá hacerse mediante un mecanismo eléctrico para así evitar la instalación de un sistema neumático o hidráulico, quedando a un lado los sistemas piloto de control y dejando a las válvulas solenoides como alternativa.

Posición inicial

Un rápido análisis determinó que las válvulas a usarse deberán ser del tipo normalmente cerradas con retorno mediante resorte, ya que es en esta posición que pasarán la mayor parte del tiempo y así se alargará la vida útil de mecanismo.

Vías y posiciones

Dado el requerimiento que la EVL debe poder manejarse también de forma manual, el uso de válvulas de 2 vías y 2 posiciones simplificará al operador su manipulación; además que su mantenimiento, reparación o reemplazo será más económico y fácil en comparación a una válvula de más vías o más posiciones.

Direccionalidad del flujo

La necesidad de que el flujo que pase por la válvula en ambos sentidos limita que el tipo de obstrucción que tenga sea mediante pistón o aguja y no como usualmente se lo realiza por medio de diafragma.

Seleccionadas estas alternativas se ha definido ya la válvula, cuya representación está en la Ilustración 3.8 siguiente.

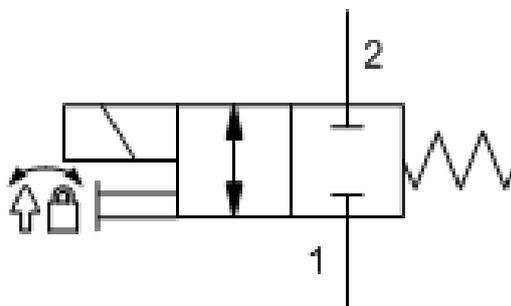


Ilustración 3.8 Válvula 2/2 normalmente cerrada con mando manual o eléctrico por un lado y retorno por resorte (Sun Hydraulics, 2013).

3.2.3.4.4 Alternativas de elección

Hay solamente un fabricante de renombre que ofrecen las válvulas con la configuración requerida para la EVL, esto se debe a que es poco común incluir un control manual en una válvula solenoide así como no es usual que estas sean bidireccionales. Este fabricante es SUN-HYDRAULICS.

3.2.3.4.5 Tipo de control manual

El fabricante ofrece cuatro posibilidades para implementar el control manual, el control de tipo T, L, D y E.

Control T

Permite al operador cambiar la posición de la válvula momentáneamente a su posición des energizada o energizada, esto quiere decir que para la válvula requerida podría cambiarla no permanente mente a abierta o cerrada; no presenta una configuración para bloquear la válvula.

Control L

Permite al operador solamente bloquear por completo el funcionamiento de la válvula, sin dejarla intercambiar entre sus posiciones.

Control D

Permite al operador bloquear por completo el funcionamiento de la válvula, así como mantenerla en su posición des energizada o energizada, esto quiere decir que para la válvula requerida podría dejarla abierta o cerrada.

Control E

Permite al operador mantener la válvula en su posición des energizada o energizada, esto quiere decir que para la válvula requerida podría dejarla abierta o cerrada; no presenta una configuración para bloquear la válvula.

Por lo tanto el control elegido será el tipo D, ya que mediante este mando se podrá mantener la posición de la válvula manualmente y bloquearla en caso de una urgencia u otros motivos que pudiesen surgir.

Quedando así una última elección para las válvulas, de entre las opciones disponibles se tienen las siguientes

Tabla 3.23 Especificaciones técnicas de la válvula DAAL

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	DAAL-XCN-(no incluye mando manual)
Cavidad	T-8 A, cabeza hexagonal 7/8" de HSS, modelo número 998-100-006 P/N:SIML280
Capacidad	1 litro/minuto
Fuerza requerida control manual	33N/100 bar – 5lbs/1000psi
Carrera control manual	2,5 mm
Máxima operación manual	350 bar - 5000 psi
Fuga máxima de la válvula a 24 cST	0,7 cc/min @ 350 bar
Tiempo de respuesta	50 ms
Serie de la cavidad	Serie P
Frecuencia de cambio	15000 ciclos/hora
Diámetro de tubo de solenoide	19 mm – 0.75 plg
Tamaño hexagonal de la válvula	22.2 mm – 7/8 plg
Torque de instalación de la válvula	27 ^a 34 Nm – 20 ^a 25 lbf ft
Peso (con el solenoide)	0.45 kg
Peso (sin el solenoide)	0.25 kg

(Sun Hydraulics, 2013)

Tabla 3.24 Especificaciones técnicas de la válvula DAAA

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	DAAA-MCN- (incluye mando manual)
Cavidad	T-8 A, cabeza hexagonal 7/8" de HSS, modelo número 998-100-006 P/N:SIML280
Capacidad	1 litro/minuto
Fuerza requerida control manual	66N/100 bar – 10lbs/1000psi
Máxima presión de operación	350 bar - 5000 psi
Fuga máxima de la válvula a 24 cST	0,7 cc/min @ 350 bar
Tiempo de respuesta	30 ms
Serie de la cavidad	Serie P
Frecuencia de cambio	15000 ciclos/hora
Diámetro de tubo de solenoide	14.2 mm – 0.56 plg
Tamaño hexagonal de la válvula	22.2 mm – 7/8 plg
Torque de instalación de la válvula	27 ^a 34 Nm – 20 ^a 25 lbf ft
Peso (sin el solenoide)	0.15 kg

(Sun Hydraulics, 2013)**Tabla 3.25 Especificaciones técnicas de la válvula DLDA**

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	DLDA-XCN- (no incluye mando manual)
Cavidad	T-13 A, cabeza hexagonal 7/8" de HSS, modelo número 998-100-001 P/N:S281
Capacidad	45 litro/minuto
Fuerza requerida control manual	33N/100 bar – 5lbs/1000psi
Carrera control manual	2,5 mm
Máxima operación manual	350 bar - 5000 psi
Fuga máxima de la válvula a 24 cST	80 cc/min @ 350 bar
Tiempo de respuesta	50 ms
Serie de la cavidad	Serie 1
Frecuencia de cambio	15000 ciclos/hora
Diámetro de tubo de solenoide	19 mm – 0.75 plg
Tamaño hexagonal de la válvula	22.2 mm – 7/8 plg
Torque de instalación de la válvula	41 ^a 47 Nm – 30 ^a 35 lbf ft
Peso (sin el solenoide)	0.29 kg

(Sun Hydraulics, 2013)

Haciendo referencia a la sección en este capítulo donde se seleccionaron las bombas tanto de vaciado como de llenado, se observa que los caudales a

manejarse son mayores a 1 litro por minuto que es la capacidad de las válvulas DAAL y DAAA, por lo tanto la válvula seleccionada es la DLDA-XCN con mando manual tipo D cuyo modelo es DLDA-DCN.

En la Ilustración 3.9 siguiente se observa las curvas de desempeño de las válvulas elegida, para la opción de normalmente cerradas se deberá mirar las curvas indicadas por la letra C.

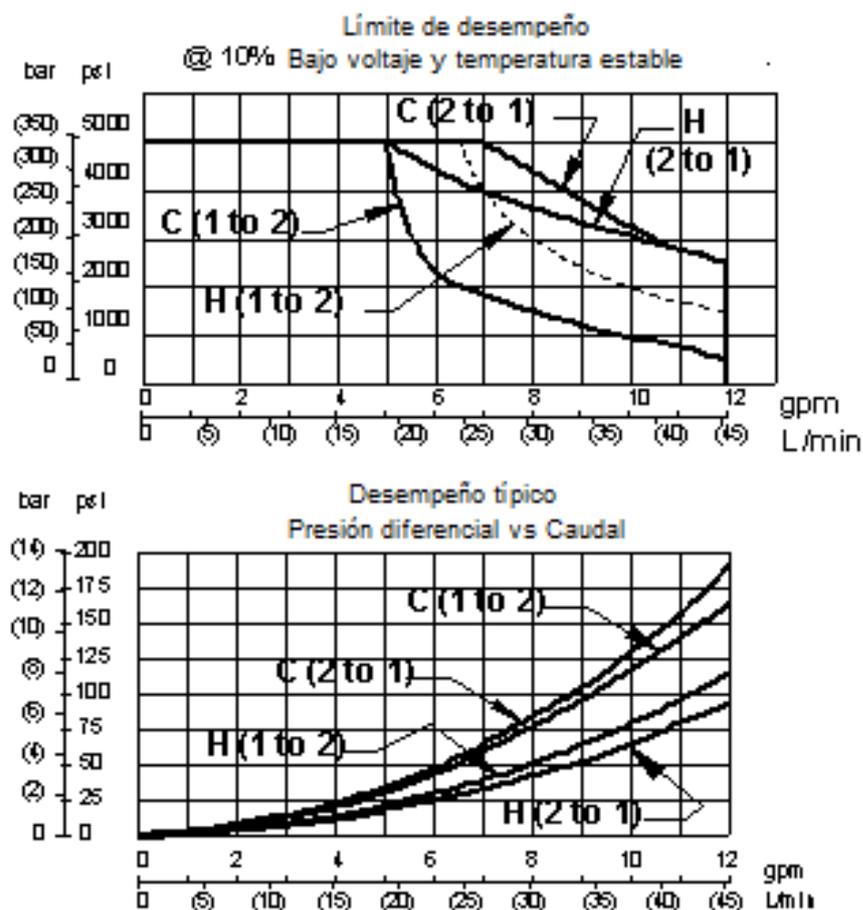


Ilustración 3.9 Curvas de desempeño de las válvulas DLDA-XCN (Sun Hydraulics, 2013).

Estas válvulas son operadas con bobinas de distintas tensiones con y sin protección de picos de voltaje. Para la EVL se suprimirán las opciones de 28

VDC, 36 VDC y las que no cuentan con el diodo protector de picos de voltaje, esta supresión se realiza debido a que se plantea que tanto los actuadores como los sensores, transductores o transmisores funcionen con corriente continua a 12 o 24 voltios. Posteriormente se definirá la tensión con la que los elementos de la EVL funcionarán dependiendo si estos cumplen o no con los requerimientos de funcionamiento.

Tomando en cuenta estas particularidades, las especificaciones de las opciones válidas de bobinas compatibles con las válvulas seleccionadas son las siguientes:

770-712

Tabla 3.26 Especificaciones técnicas de la bobina 770-712

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	770-712
Supresión de arco	Estándar
Máxima temperatura de la bobina	105 °C
Consumo de corriente	22 watts
Tensión	12 VDC
Rango de operación de tensión	±10%
Conector	Bifilar 18 AWG x 460mm
Diámetro del tubo del solenoide	19 mm - 0.75 in
Torque del acople de la bobina	0,5 Nm – 4.5 lbf plg
Peso del modelo	0.24 kg – 0.54 lb
Máxima corriente	1150 mA
Resistencia nominal a 50°C	9.4 ± 8% ohm
Resistencia nominal a 20°C	6.4 ± 8% ohm

(Sun Hydraulics, 2013)

720-724

Tabla 3.27 Especificaciones técnicas de la bobina 770-724

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	770-724
Supresión de arco	Estándar
Máxima temperatura de la bobina	105 °C
Consumo de corriente	22 watts
Tensión	24 VDC
Rango de operación de tensión	±10%
Conector	Bifilar 18 AWG x 460mm
Diámetro del tubo del solenoide	19 mm - 0.75 in
Torque del acople de la bobina	0,5 Nm – 4.5 lbf plg
Peso del modelo	0.24 kg – 0.54 lb
Máxima corriente	590 mA
Resistencia nominal a 50°C	37.2 ± 5% ohm
Resistencia nominal a 20°C	26.2 ± 5% ohm

(Sun Hydraulics, 2013)

Debido a que los componentes de la estación en su mayoría funcionan con 24 voltios, la bobina selecciona es la 770-724, así la configuración final de la bobina será la correspondiente al modelo DLDA-DCN-.724.

Hay un requerimiento extra de una válvula que permita seleccionar entre el circuito de llenado de los reservorios o la presurización del módulo, la selección de estos circuitos se hace para evitar la implementación de una bomba adicional. Debido a los motivos planteados en esta sección del capítulo en lo que al proveedor Sun Hydraulics respecta se buscó una válvula del mismo proveedor que cumpla con los requerimientos para este punto de la EVL.

La válvula idónea para realizar este trabajo es una válvula 6/2 de accionamiento manual y eléctrico con retorno por muelle con la misma configuración de bobina y mando manual que las seleccionadas

anteriormente, así la válvula a implementarse en este punto de la EVL será la correspondiente al modelo DNDYS-XN-724 + 991-227 cuyas especificaciones técnicas, ilustración y curvas de desempeño se presentan a continuación.

Tabla 3.28 Especificaciones técnicas de la válvula DNDYS-XN

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	DNDYS-XN + 991-227
Cavidad	T-61A, cabeza hexagonal 7/8" de HSS, modelo número 998-100-001
Capacidad	20 litro/minuto
Fuerza requerida control manual	33N/100 bar – 5lbs/1000psi
Carrera control manual	2,5 mm
Máxima operación manual	350 bar - 5000 psi
Fuga máxima de la válvula a 24 cST	80 cc/min @ 350 bar
Serie de la cavidad	Serie 1
Diámetro de tubo de solenoide	19 mm – 0.75 plg
Tamaño hexagonal de la válvula	22.2 mm – 7/8 plg
Torque de instalación de la válvula	41 a 47 Nm – 30 a 35 lbf ft
Peso (sin el solenoide)	0.43 kg

(Sun Hydraulics, 2013)

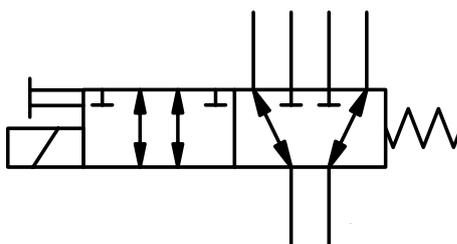


Ilustración 3.10 Válvula 6/2 con mando manual o eléctrico por un lado y retorno por resorte por el otro. (Sun Hydraulics, 2013).

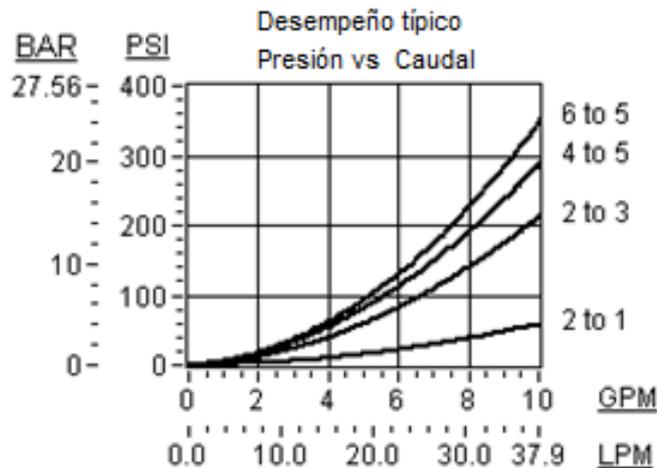


Ilustración 3.11 Curvas de desempeño de las válvulas DNDYS-XN- (Sun Hydraulics, 2013).

Un requerimiento extra de esta válvula es la obstrucción del flujo para la comprobación del vacío inicial, y dado que las curvas de desempeño y especificaciones técnicas se acoplan a esta necesidad, se confirma el uso de esta válvula en la EVL.

3.2.3.5 Sensores, Transductores o Transmisores

Para cumplir con los requerimientos de la EVL se necesitarán dispositivos que obtengan la información de la presión, caudal y nivel del líquido. Posteriormente en el siguiente capítulo se definirán por completo estos dispositivos.

A continuación se presenta un esquema del diseño conceptual del módulo hidráulico, el mismo que estará sujeto a cambios que permitan a la EVL cumplir con sus funciones.

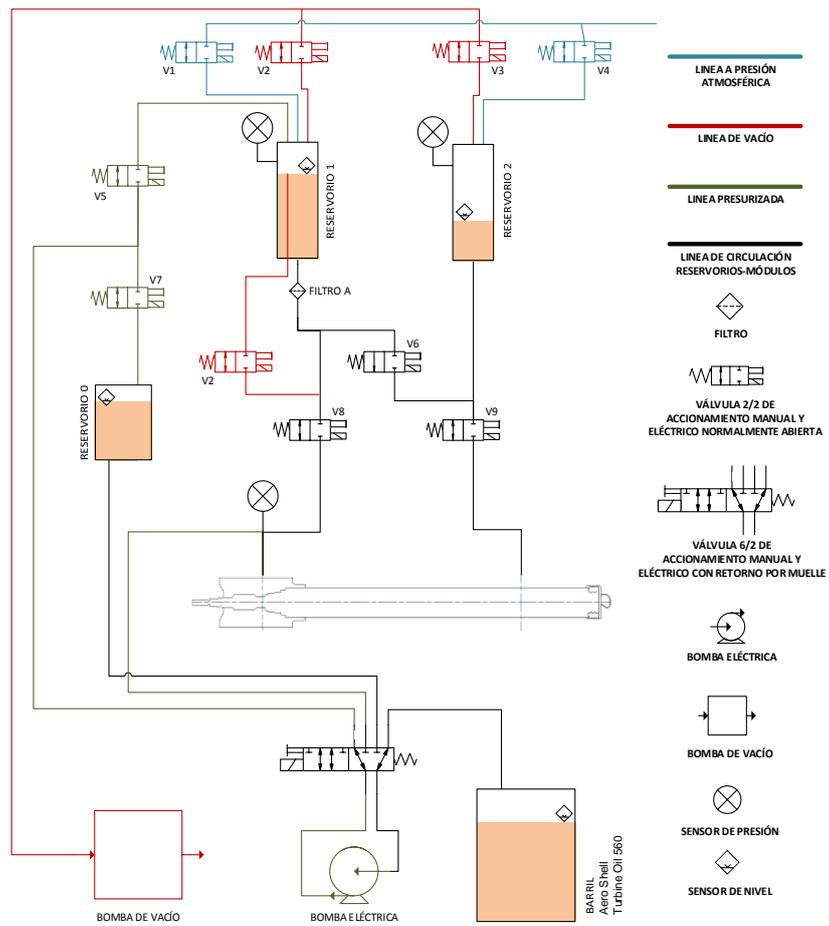


Ilustración 3.12 Diseño conceptual del módulo hidráulico.

4 DISEÑO DE DETALLE

En el presente capítulo se definirán todos los elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos e hidráulicos de la EVL; para al culminar poder desarrollar el programa que mediante el PLC y sus accesorios automatizarán el funcionamiento de la Estación de Vaciado y Llenado.

4.1 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

En esta sección se determinarán todas las características de los componentes eléctricos, de instrumentación y control para la EVL.

En el diagrama eléctrico de conexiones del Anexo 9.3 se puede observar todos los componentes seleccionados a lo largo de esta sección.

4.1.1 INSTRUMENTACIÓN

Para el presente capítulo se denominarán como entradas a todo dispositivo que nos permita conocer un parámetro de la EVL, tal como los sensores, transmisores, transductores, entre otros; así como salidas a todo tipo de actuadores, motores, luces, entre otros.

4.1.1.1 Entradas

4.1.1.1.1 Medición de presión

Se requiere medir presión absoluta en 3 puntos distintos del sistema de la EVL (Ver Ilustración 3.12), de los cuales 1 punto es en la línea de presurización de la herramienta y los 2 restantes en la parte superior de los recipientes, a continuación se definen las necesidades de medición para cada punto.

Tabla 4.1 Necesidades de medición para los puntos de presión

	Parámetro	Requerimiento
PUNTO 1	Medio de medición	aceite
	Viscosidad	23 cSt @ 40°C
	Temperatura	ambiente
	Presión absoluta	14.5 a 45 psi / 1 a 3.1 bar
	Caudal	0.5 a 3.2 l/min
PUNTO 2 y 3	Medio de medición	aire
	Densidad	ambiente (1.2 kg/m ³)
	Temperatura	ambiente (20°C)
	Presión absoluta	0 a 14.5 psi / 1x10 ⁻⁴ a 760 Torr
	Caudal	160 l/min

Para el punto 1, la instrumentación recomendada por la empresa auspiciante (Recomendación dada en base a la elección de los transmisores de nivel e interruptores de nivel del presente proyecto, para en lo posible tener un solo proveedor de la instrumentación) según las necesidades de medición son los transductores de presión OMEGA, del cual se presenta en la Tabla 4.2 a continuación.

Tabla 4.2 Especificaciones del transductor de presión OMEGA

Característica	Especificación
Fabricante	OMEGA
Numero serie	MMA050V10P4C0T3A5CE
Modelo	Custom transducer
Unidades	psi
Rango	50
Salida	0-10 VDC
Precisión	+/- 0.20%
Conexión a proceso	¼ NPT MACHO
Terminación eléctrica	Cable (2m)
Compensación de temperatura	-7 a 60°C

(OMEGA, 2014)

Para cumplir con los requerimientos de los puntos 2 y 3, se realiza una tabla de selección de alternativas de instrumentación para trabajar en vacío

disponibles en el mercado debido a que Omega no tiene instrumentación que cumpla con las necesidades para estos puntos.

Tabla 4.3 Matriz de selección de alternativas para la instrumentación de medición de presión de vacío

	COSTO	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	VERSATILIDAD DE SALIDAS	TOTAL
	20.00%	50.00%	15.00%	15.00%	100.00%
MKS 910 DualTrans MicroPirani	6	10	8	5	81.5
Transduce Vacuum Pressure TDH31	10	8	6	10	84
Panduction PX409	2	9	10	10	79
ProSense PTD25-20-VH	9	10	8	10	95
Grainer IFM Transmitter	4	10	8	10	85

Datos de: (MKS, 2013) (TRANSDUCERS, 2013) (PANDUCTION, 2013) (AUTOMATIONDIRECT, 2013) (GRAINGER, 2013).

Entonces debido al puntaje obtenido, para medir la presión de vacío en la EVL se usará el transmisor ProSense PTD25-20-VH cuyas especificaciones técnicas se presentan a continuación.

Tabla 4.4 Especificaciones del transmisor de presión ProSense PTD25

Característica	Especificación
Fabricante	ProSense
Modelo	PTD25-10-VH
Desviación curva característica	< $\pm 0.75\%$
Tensión de operación, consumo	16 a 32 VDC, < 18 mA
Mínima carga	2000 Ω
Rango de medición	0 a 14.5 psi absoluta
Salida	0-10 V
Tipo de conexión eléctrica	4 pin M12
Tipo de conexión al proceso	1/4" NPT macho

(ProSense, 2013)

4.1.1.1.2 Medición de nivel de líquido

Se requiere medir nivel de líquido en 4 puntos distintos del sistema de la EVL (Ver Ilustración 3.12), de los cuales 3 puntos están ubicados en la parte superior de los recipientes, 1 punto está en el barril de aceite, a continuación se define las necesidades de medición para cada punto.

Para los puntos ubicados en los recipientes se requiere medir el nivel de líquido en los dos recipientes de la EVL, ambos recipientes estarán expuestos a presiones de vacío, y forman parte de un sistema aceite/aire.

Tabla 4.5 Necesidades de medición para la instrumentación de nivel de líquido

	Parámetro	Requerimiento
PUNTO 1y2	Medio de medición	aceite/aire
	Tipo de medición	continua
	Viscosidad aceite	23 cSt @ 40°C
	Densidad aire	1.2 kg/m ³
	Temperatura	ambiente
	Presión absoluta	0 a 14.5 psi
PUNTO 3	Medio de medición	aceite
	Tipo de medición	continua
	Densidad	23 cSt @ 40°C
	Temperatura	ambiente (20°C)
	Presión absoluta	14.5 a 45 psi / 1 a 3.1 bar
PUNTO 4	Medio de medición	aceite
	Tipo de medición	multinivel
	Densidad	23 cSt @ 40°C
	Temperatura	ambiente (20°C)
	Presión absoluta	ambiente (14.5 psi)
	Dimensiones del recipiente	Recipiente estándar de 5 galones (altura de 45cm)

De acuerdo a las recomendaciones de la empresa auspiciante en lo que respecta a marcas, garantías, costos y ubicación del producto, se trabajará

con instrumentación de la marca Omega para cumplir con el requerimiento de medición de nivel de líquido.

Por sus similares características, la instrumentación de los puntos 1, 2 y 3 será la misma, en esta se implementarán transmisores ultrasónicos de nivel cuyas características se presentan a continuación.

Tabla 4.6 Especificaciones de los transmisores de nivel ultrasónicos Omega LVU30 para puntos 1, 2 y 3.

Característica	Especificación
Fabricante	Omega
Línea de producto	LVU3X
Modelo	LVU32
Frecuencia ultrasónica	150 kHz
Ángulo del cono de lectura	8 grados
Rango	102mm a 2.5 m
Resolución	0.25mm
Requerimiento energético	12 a 24 V DC, 20mA
Impedancia de salida	100Ω
Salida	0 a 10.25 V DC
Tiempo de respuesta	60 ms
Resolución	10 bits
Conexión a recipiente	1 NPT
Cableado	5 x 22 AWG, 200 mm

(OMEGA, 2013)

Y para el punto 4, la instrumentación elegida es un sistema de medición multiniveles diseñada por Omega, personalizable según la aplicación deseada. Este kit para medición multinivel incluye: 2 estaciones de nivel (contacto, tubo, flotador), 1 tubo conector, 1 acople de montaje, 1 acople de final de tubo, 4 uniones, 2 tubos de 10". Las especificaciones del sistema de medición son las siguientes.

Tabla 4.7 Especificaciones del control de nivel Omega LV-120 para recipientes de aceite de 5 galones en el punto 4.

Característica	Especificación
Fabricante	Omega
Línea de producto	LV
Modelo	LV-120.
Material del vástago	Cobre N
Material del flotador	Cobre N
Temperatura de operación	-40 a 149 °C
Índice de presión relativa	100 psi
Acople para el tanque	2" NPT
Tipo de contacto	Unipolar tipo lengüeta
Mínima gravedad específica	0.55

(OMEGA, 2013)

4.1.1.1.3 Medición de posición

No será necesario instrumentación extra para cubrir esta necesidad puesto que por compatibilidad y funcionalidad se trabajará con un actuador lineal que incorpore un potenciómetro, a continuación se especifican las características técnicas de dicho potenciómetro.

Tabla 4.8 Especificaciones del potenciómetro incorporado en el actuador lineal eléctrico

Característica	Especificación
Tipo	Potenciómetro
Resistividad	10k OHM
Número de vueltas	10

(Thomson, 2013)

4.1.1.2 Salidas

Debido a que la mayoría de salidas fueron seleccionadas en el capítulo anterior, en esta sección se procede a seleccionar solamente el actuador.

4.1.1.2.1 Actuador lineal eléctrico para sistema de movimiento

Del capítulo anterior se sabe que este dispositivo deberá funcionar con una tensión de 24 voltios, y para conocer la carrera y la fuerza del actuador

se realizan los cálculos presentes en el reporte técnico del Anexo 9.5.4 y en la sección 4.2.1.2.2 respectivamente.

Se tiene entonces que el actuador lineal deberá tener mínimo una carrera útil de 388mm (15.29 pulgadas) y una fuerza de 1400 N. Adicionalmente se requiere que el actuador tenga un control de límite de carga y un potenciómetro para conocer la posición del émbolo además de un montaje tipo clevis que le permita rotar y cumplir con su función.

Una vez más, de acuerdo a las recomendaciones de la empresa auspiciante en lo que respecta a marcas, garantías y ubicación del producto, el actuador lineal a implementarse será de la marca Thomson, y por las necesidades especificadas en el párrafo anterior será de la línea Electrak PPA-DC.

A continuación se realiza una tabla que nos permitirá observar cual será el actuador que mejor se acople a nuestras necesidades.

Tabla 4.9 Selección del actuador en base a dimensiones bases.

	CARRERA ACTUADOR		DISTANCIA ACTUADOR	DISTANCIA CLEVIS MOUNT	LONGITUD RECOGIDA ACTUADOR		DISTANCIA ACTUADOR GIRO SENTIDO ANTIHORARIO	DISTANCIA ACTUADOR GIRO SENTIDO HORARIO
	in	mm	mm	mm	in	mm		
Actuador carrera 24	24	609.6	782.32	203.2	985.52	38.8	0.209	16.641
Actuador carrera 18	18	457.2	629.92	203.2	833.12	32.8	6.209	22.641

Datos de: (Thomson, 2013).

De la tabla Tabla 4.9 anteriormente se observa que el Actuador de carrera 24 in se acopla bien a las dimensiones de la EVL, no así el de 18 in cuya máxima carrera no cumple con el requerimiento. Entonces el actuador a usarse en la EVL será el que se especifica a continuación.

Tabla 4.10 Especificaciones del actuador lineal Thomson

Característica	Especificación
Fabricante	Thomson
Línea de producto	Electrak PPA-DC Actuator
Modelo	PPA24-58B65-24NPOX con potenciómetro
Kit para montaje	Kit para montaje tipo Clevis P/N 7827320
Tensión de corriente	24 VDC
Intensidad a mínima carga	7 A
Intensidad a máxima carga	15 A
Máxima carga dinámica	1500 lbs (6670 N)
Máxima carga estática	1350 lbs (3000 N)
Torque limitante	200 lbf plg
Velocidad a máxima carga	0.37 plg/s (9.4 mm/s)
Velocidad sin carga	0.49 plg/s (12.5 mm/s)
Carrera del émbolo	24 plg (610 mm)
Tipo de rosca	Ball
Relación de transmisión	20:1
Montaje	Horquilla en ambos extremos, rotación de hasta 150° en la base.
Peso	15 lb (6.8 kg)
Freno de suspensión de carga	Integrado

(Thomson, 2013)

4.1.1.3 Dispositivos de mando y señalización

Para este tipo de dispositivos no existen requerimientos especiales, por lo que después de analizar la disponibilidad en el mercado y sus costos se optó por utilizar dispositivos CAMSCO y SIEMENS, a continuación se detallan los dispositivos necesarios para la EVL.

Tabla 4.11 Dispositivos de mando y señalización para la EVL

Descripción	Fabricante / Modelo
Torre luminaria – Baliza 115VAC	CAMSCO / LTA-205
Perilla principal negra	3SB3602-2KA11
Botón pulsador metálico verde	3SB3602-0AA41
Botón emergencia tipo hongo	3SB3603-1CA21

(SUMELEC, 2014) (SIEMENS, 2013)

4.1.2 CONTROL

Del capítulo de Diseño Conceptual se sabe que para el control de la EVL se utilizará un PLC Siemens, CPU 1215C perteneciente a la familia SIMATIC S7-1200 cuyas características se definen a continuación.

Tabla 4.12 Especificaciones del PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1215C

Característica	Especificación
Fabricante	Siemens
Modelo	SIMATIC S7-1200, CPU 1215C AC/DC/Relay 6ES7215-1BG31-0XB0
Entradas digitales	14 – 24 VDC
Salidas digitales	10 – RELÉ 2A
Entradas Analógicas	AC 85–264 V AC @ 47-63 Hz
Memoria programas/datos	100 kb
Memoria de carga	4 Mb
Dimensiones	130x100x75 mm
Peso	550g

(SIEMENS, 2014)

De acuerdo a los requerimientos de entradas y salidas (Ver Tabla 3.5) y lo abastecido por el CPU se tiene una demanda remanente de 7 entradas analógicas y 10 salidas digitales, este remanente queda debido a que el CPU seleccionado no cuenta con entradas analógicas así como tampoco cuenta con suficientes salidas digitales; teniendo en cuenta estos requerimientos se procede a seleccionar los módulos de expansión.

4.1.2.1 Módulo de entradas analógicas

Después de analizar las entradas analógicas requeridas y la compatibilidad con los módulos de expansión de entradas analógicas disponibles por el fabricante para el CPU seleccionado se determinó el uso de un módulo SM 1231 cuyas especificaciones se detallan a continuación.

Tabla 4.13 Especificaciones del módulo de expansión SM 1231

Característica	Especificación
Fabricante	Siemens
Modelo	S7-1200 Signal Modules, Analog module, SM 1231 6ES7231-4HF32-0XB0
Número de entradas.	8
Tipo de entrada	0-10V / 0-20mA
Rango de Tensión o Corriente	0-10V, 0-5V, $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2.5V$, 0-20mA.
Resolución	13 Bit
Aislamiento	No
Dimensiones	45x100x75 mm
Peso	180 g

(SIEMENS, 2014)

4.1.2.2 Módulo de salidas digitales

La disponibilidad de módulos de salidas digitales activadas por relé no cumplen con los requerimientos de los actuadores de la EVL, ya sea por su limitado número de salidas (4 para corrientes de más de 5A) o su limitada corriente (10 amperios utilizando una sola salida); es por esta razón que se instalarán relés individuales para cada actuador y estos serán conectadas a las salidas incluidas en el CPU, pero aun así se sigue teniendo un faltante de 10 salidas por lo que se seleccionará un módulo de expansión para salidas digitales.

Tabla 4.14 Especificaciones del módulo de expansión SM 1222

Característica	Especificación
Fabricante	Siemens
Modelo	S7-1200 Signal Modules, Digital output module, SM 1222 6ES7 222-1HH32-0XB0
Número de salidas	16
Tipo de salida	Relé
Salida de corriente	2 A, conectables en paralelo en grupos para mayor potencia
Salida de tensión DC	20.4 – 28.8 V
En grupos de	1 salida
Dimensiones	45x100x75 mm
Peso	260g

(SIEMENS, 2014)

A pesar de que el módulo de expansión de 16 salidas de la tabla anterior es la mejor opción para la EVL, por disponibilidad en el mercado se seleccionan dos módulos de 8 salidas cada uno cuyas especificaciones están en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Especificaciones del módulo de expansión SM 1222

Característica	Especificación
Fabricante	Siemens
Modelo	S7-1200 Signal Modules, Digital output module, SM 1222 6ES7 222-1HF32-0XB0
Número de salidas	8
Tipo de salida	Relé
Salida de corriente	2 A, conectables en paralelo en grupos para mayor potencia
Salida de tensión DC	20.4 – 28.8 V
En grupos de	1 salida
Dimensiones	45x100x75 mm
Peso	260g

(SIEMENS, 2014)

4.1.2.2.1 Conexiones con relé

Para las cargas con alto amperaje o de corriente alterna, para evitar la implementación de un módulo de ampliación extra, se utilizarán las salidas del CPU conectadas a un relé.

Los relés deberán ser capaces de manejar cargas de las características que se especifican en la Tabla 4.16, al igual que para los dispositivos de mando y señalización se verificó la disponibilidad en el mercado y así se decidió usar relés SIEMENS cuyas especificaciones están en la tabla siguiente a las de las características de las cargas.

Tabla 4.16 Características de las cargas para conexión mediante relé

Cantidad	Tipo de corriente	Tensión [V]	Intensidad [A]
2	AC	115 AC	5
1	DC	24 DC	15
1 DPDT	DC	24 DC	15

Por disponibilidad de los relés en el mercado local, para las intensidades de 15A se conectarán en paralelo dos relés de 10A para lograr la intensidad deseada. Esto basándose en la ley de corrientes de Kirchoff que enuncia lo siguiente: “En cualquier nodo, la suma de las corrientes que entran en ese nodo es igual a la suma de las corrientes que salen. De forma equivalente, la suma de todas las corrientes que pasan por el nodo es igual a cero” (Clayton, 2001).

A continuación se presentan los relés a usarse en la EVL.

Tabla 4.17 Relés para la EVL

Cantidad	Descripción	Intensidad [A]	Número de parte Siemens
4	Relé industrial miniatura LZS/LZX	10	LZS:PT3A5L24 (LZX:PT370024+LZS:PT78730)
1	Relé de estado sólido 3RF2020	20	3RF2120-1AA02

(SIEMENS, 2013) (SIEMENS, 2013)

Además de la Tabla 4.17 se presenta una sección del diagrama eléctrico de conexiones del Anexo 9.3 para apreciar el uso de los relés individualmente y en paralelo en la EVL.

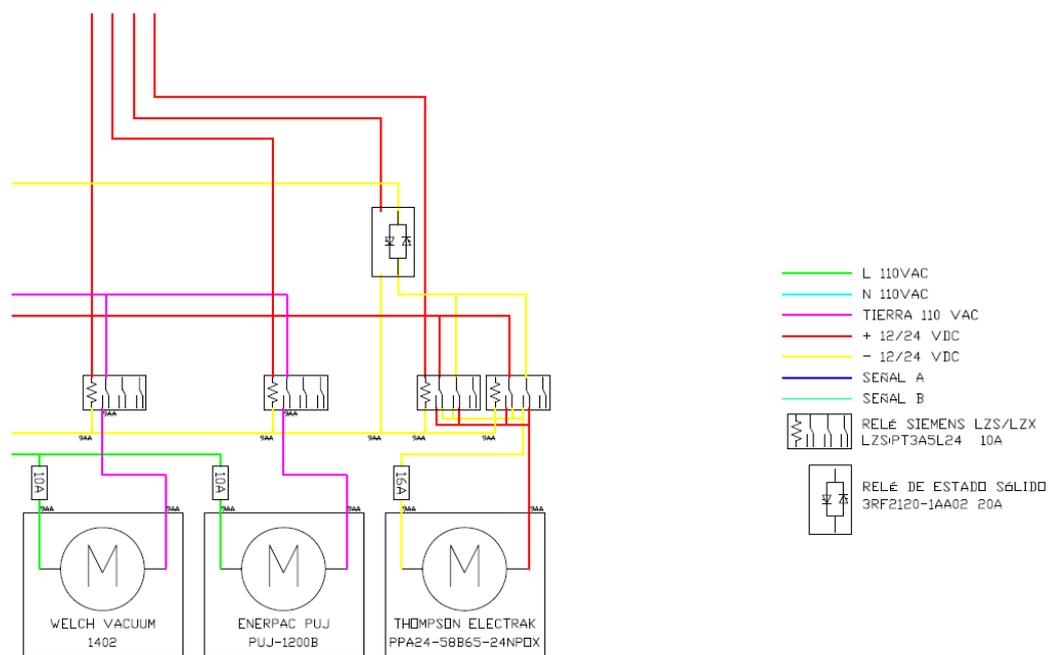


Ilustración 4.1 Uso de relés individuales y en paralelo en la EVL, sección del diagrama de eléctrico de conexiones.

4.1.2.3 Programa y software

Al finalizar esta sección, se cuenta con todas las herramientas necesarias para desarrollar el programa y software para el PLC y sus módulos de

ampliación como y para el HMI respectivamente, programa y software desarrollados en conjunto en el software especializado de SIEMENS, TIA PORTAL V12. Este conjunto se presenta en el ANEXO 9.4.

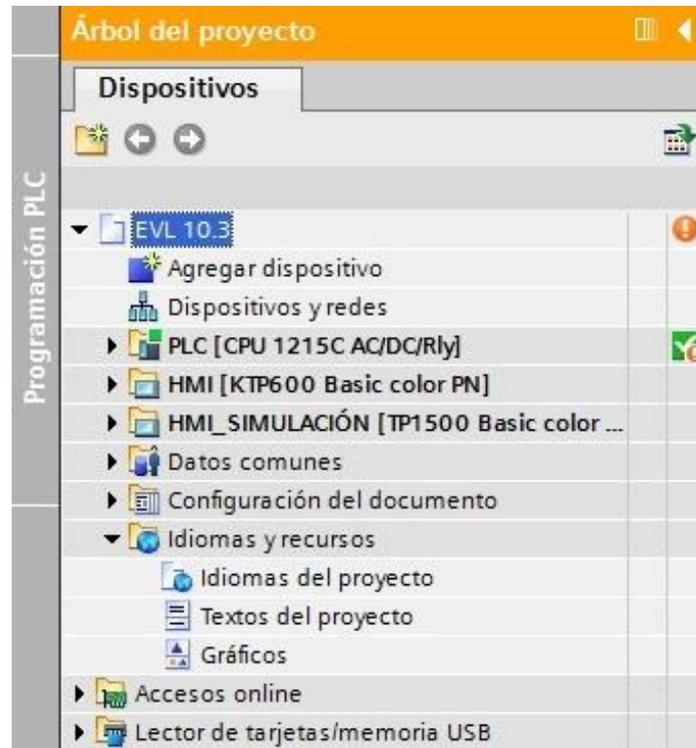


Ilustración 4.2 Dispositivos dentro de TIA PORTAL.

El programa se desarrolló con el lenguaje KOP, o de escalera. Se configuró el PLC s7-1200 junto con el HMI KT600. Se configuró las direcciones para obtener una conexión entre el PLC, HMI y computador, una vez insertados los dispositivos el programa terminó con la configuración de la Ilustración 4.2 .

El programa consta de una función principal, y sub funciones que fueron llamadas conforme el requerimiento del proceso. El programa conforma de 18 funciones de programa denotadas de color verde, cuyos resultados solo pueden ser leídos dentro de las mismas. Se utilizaron 3 bloques de funciones

cuyos resultados se utilizaron en varios puntos del programa. Además se crearon 6 bloques de datos a los cuales se les llamo desde el HMI o a su vez en otras partes del programa. Todas las funciones se pueden observar en el árbol del proyecto como muestra la Ilustración 4.3.

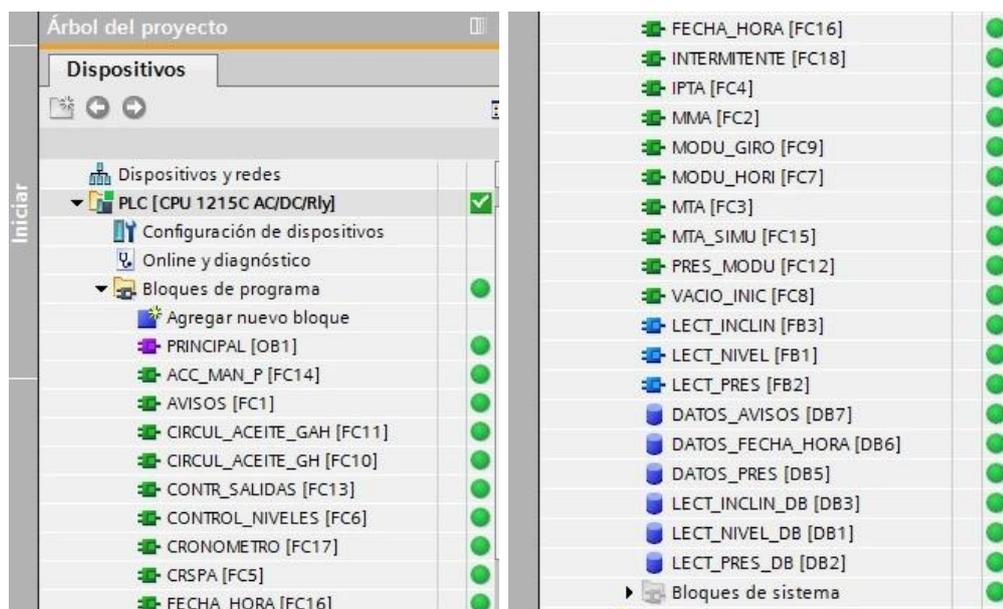


Ilustración 4.3 Árbol de proyecto en TIA PORTAL.

Para el HMI se configuraron 40 imágenes. El HMI tiene una imagen principal la cual muestra el logo de la empresa y sigue una secuencia intuitiva. El panel táctil está configurado para que el operador lea en el caso de necesitar una instrucción del procedimiento, además incluye todo tipo de avisos y advertencias, información del sistema y configuraciones especiales con clave para que solo el personal autorizado pueda acceder. Por pedido de la empresa auspiciante, el HMI tiene la opción de cambiar el idioma de operación, inglés o español.

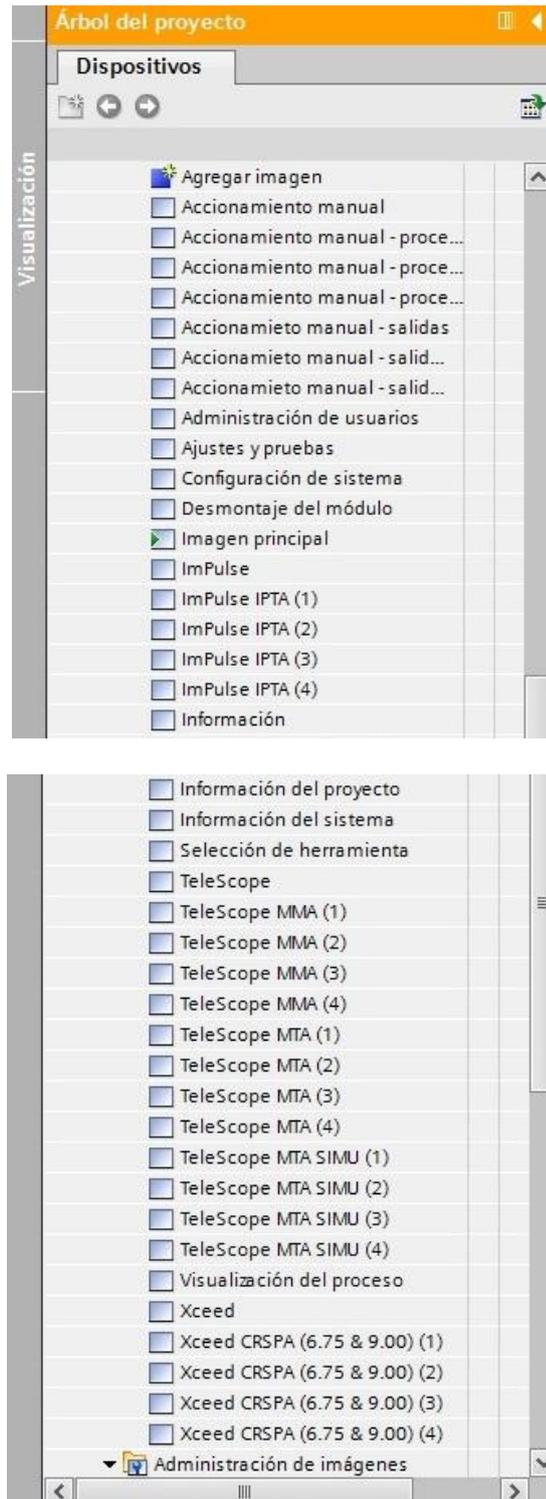


Ilustración 4.4 Imágenes configuradas en HMI.

Las imágenes se pueden apreciar en el manual de funcionamiento, reparación y mantenimiento del Anexo 9.5.7.

La secuencia que el operador podrá seguir mediante el HMI, se muestra en la Ilustración 4.5.

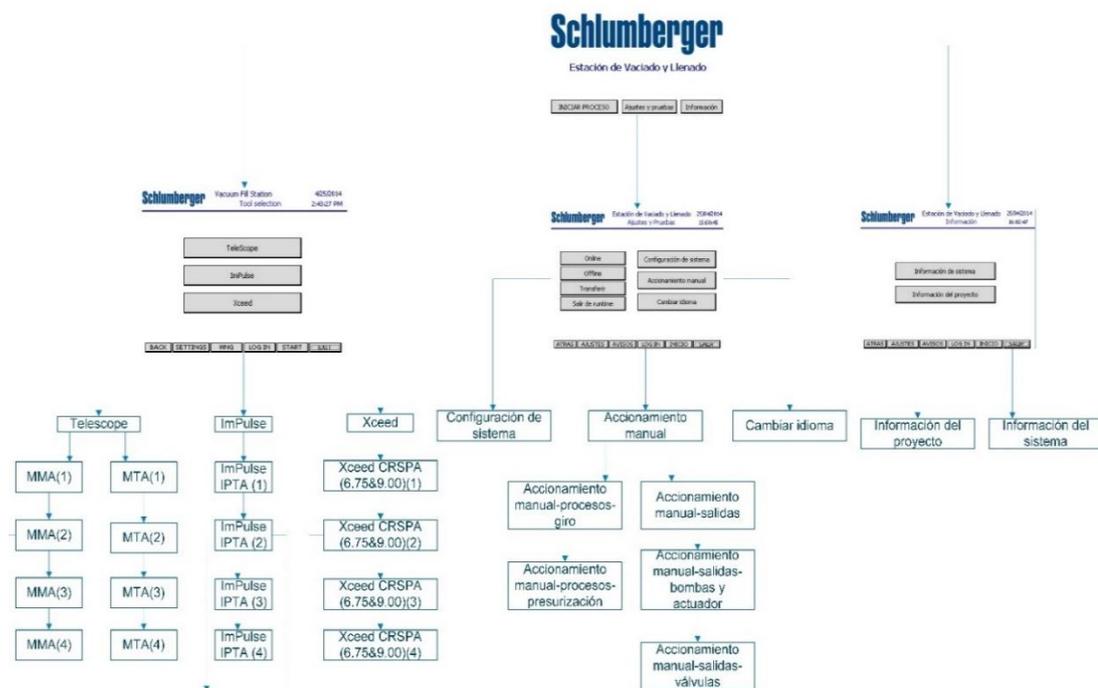


Ilustración 4.5 Secuencia de HMI.

4.1.3 SISTEMA ELÉCTRICO

Para terminar con el diseño eléctrico de la EVL es necesario definir la capacidad de los transformadores de energía así como del contactor térmico al que se conectarán todos los elementos en la EVL.

4.1.3.1 Transformadores de energía

Para el funcionamiento de los elementos de la EVL se necesitarán dos transformadores de energía, uno de 12 VDC y otro de 24 VDC.

Los transformadores se adquirirán en el mercado local, y las únicas restricciones serán su potencia y fuente de poder. La fuente será la red eléctrica de 110 VAC, y la potencia dependerá de los requerimientos que se

detallan a continuación para las distintas tensiones que se manejarán en la EVL. Los resultados obtenidos son el mínimo de potencia requerida para cada transformador.

Tabla 4.18 Tabla de cargas para selección de transformadores de energía

12 VDC	
Elemento	Carga
OMEGA CUSTOM (Transductor presión punto 24)	1x7mA
PROSENSE PTD (Transmisor presión punto 2 y 3)	2x18mA
OMEGA LVU32 (Transmisores nivel puntos 1, 2 y 3)	3x20mA
POTENCIOMETRO (Actuador lineal)	1x2mA
TOTAL	105mA
	1.26 W @ 12 VDC
24 VDC	
Elemento	Carga
THOMPSON PPA (Actuador lineal)	1x1500mA
Relés (Bombas y actuador lineal)	4x250mA
SUNHYDRAULICS DNDYS-XN (Válvula punto)	1x590mA
SUNHYDRAULICS DLDA-XCN (Válvulas puntos 7 al 16)	9x590mA
EM 1231 (Módulo entradas analógicas)	1x20mA
EM 1222 (Módulos salidas digitales)	2x40mA
TOTAL	2200mA=22A
	528 W @ 24 VDC

Se utiliza un factor de seguridad de 3 para asegurarse abastecimiento permanente de energía, entonces se necesitarán transformadores de un mínimo 3.78 W para el de 12 VDC y mínimo 528 W para el de 24 VDC.

4.1.3.2 Contactor térmico

Para determinar la capacidad del contactor se debe sumar las cargas tanto de 12 VDC, 24 VDC como las de 115VAC, ya que el contactor se ubicará después de la fuente de 115VAC con la que funcionan los transformadores a 12 VDC y a 24 VDC.

Tabla 4.19 Tabla de cargas para el contactor térmico

Elemento	Carga
Transformador 12 VDC	105 mA
Transformador 24 VDC	21960 mA
Bomba Enerpac PUJ-1200B	5000 mA
Bomba Welch 1402	5000 mA
TOTAL	32065mA=32A

Usualmente se toma el contactor térmico inmediato superior al total de la carga, entonces se selecciona un contactor térmico de 40A.

4.1.3.3 Cableado

Para la EVL se propone el uso de cableado de tres calibres, esto para facilitar la instalación, mantenimiento y reparación.

Así entonces, se separarán las corrientes en 3 grupos, el primer grupo corrientes menores a 10A, el segundo corrientes entre 10 y 20A, y el tercer grupo para corrientes mayores a 20A.

Para la selección del calibre a usarse en cada grupo, se plantea usar un factor de seguridad de 1.5 para dar mayor resistencia al cable en caso de eventos fortuitos, así basándose en la Tabla 4.20 se procede a aproximar el calibre a usarse sabiendo que la corriente máxima en la EVL será la del contactor térmico (32^a, Ver Tabla 4.19).

Tabla 4.20 Tabla de especificaciones básicas de calibres AWG

Calibre AWG	Diámetro del conductor [mm]	Área transversal del conductor [mm ²]	Máxima corriente admisible [A]
10	2.58	5.26	55
12	2.05	3.31	41
14	1.63	2.08	32
16	1.29	1.31	22
18	1.02	0.824	16

(Power Stream, 2014)

$$I_{\text{real1}} = 10 \quad (\text{A})$$

$$I_{\text{real2}} = 20 \quad (\text{A})$$

$$I_{\text{real3}} = 32 \quad (\text{A})$$

$$\text{FS} := 1.5$$

$$I_{\text{real1}} \cdot \text{FS} = 15 \quad (\text{A})$$

$$I_{\text{real2}} \cdot \text{FS} = 30 \quad (\text{A})$$

$$I_{\text{real3}} \cdot \text{FS} = 48 \quad (\text{A})$$

Comparando los resultados de las intensidades (I_{real}) multiplicados por el factor de seguridad (FS) se define el uso de calibres AWG 18, AWG 14 y AWG 10 para cada grupo.

4.2 DISEÑO MECÁNICO

En esta sección se determinarán las características mecánicas de la EVL así como de sus componentes.

4.2.1 MECANISMO DE GIRO

Será el encargado de hacer variar los ángulos de inclinación de los módulos según se requiera.

A continuación se detallan los requerimientos del mecanismo.

4.2.1.1 Requerimientos

El mecanismo propuesto debe cumplir con lo siguiente:

- Movimiento suave y continuo (Aceleración cercana a 0 m/s^2).
- Soportar pesos de todos los módulos, hasta 210 libras.
- Acoplarse a todas las herramientas situando el centro de gravedad entre los dos puntos de apoyo.

Para el mecanismo de giro se consideró la longitud de agarre de las herramientas, esta longitud será la máxima posible de modo que balancee los momentos y cargas generadas. La longitud, denominada como (b) en la

Ilustración 4.6, será la mitad de la máxima longitud de agarre tomando en cuenta los puntos de sujeción de cada una de las herramientas y la forma irregular de estas. Se denomina esta longitud como la longitud de agarre máxima, limitada por la herramienta MMA al poseer la menor distancia de todos los módulos, siendo esta de 700mm (Ver reporte técnico del ANEXO 0). Para que el actuador lineal funcione correctamente se propone que (b) tenga una distancia para que actuador lineal cumpla los ciclos de giro ($b=230 \text{ mm}$) (Ver Tabla 4.21).

La distancia que tendrá el soporte de la herramienta al suelo, denominada (c) en la

Ilustración 4.6, se determina al tomar la distancia de la herramienta más larga (IPTA) con su ángulo crítico de giro y se la regula de modo que esta se acople ergonómicamente al operador.

Tomando en cuenta las dimensiones del actuador lineal seleccionado (Ver sección 4.1.1.2.1), y la combinación entre (b) y (c), se define las siguientes distancias:

$$\begin{aligned} a &:= 230 && \text{mm} \\ b &:= 230 && \text{mm} \\ c &:= 1100 && \text{mm} \\ \theta &= 45 \dots 45 \end{aligned}$$

4.2.1.2 Cálculos del mecanismo

Una vez definidos todos los parámetros, se realiza una esquematización de las relaciones geométricas que existen en el mecanismo. Seguido se realiza el cálculo de las fuerzas mediante un diagrama de cuerpo libre para obtener una relación entre los parámetros de geometría y fuerzas para determinar la fuerza máxima a la que el actuador lineal será sometido.

4.2.1.2.1 Restricciones geométricas

De la ilustración 4.6, se observa que se forma un triángulo escaleno en el extremo izquierdo, con una longitud variable denominada (d) que será modificada conforme el ángulo ϕ o θ varían. A partir del esquema de la

Ilustración 4.6 y mediante geometría básica se puede obtener las ecuaciones de las restricciones geométricas.

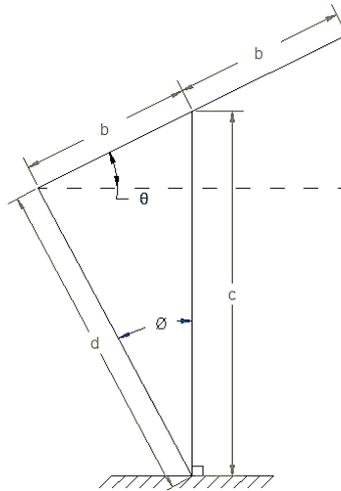


Ilustración 4.6 Esquema de relaciones geométricas

Se consideran las siguientes ecuaciones:

$$b \cdot \cos(\theta) = d \cdot \sin(\phi) \quad 4.1$$

$$b \cdot \sin(\theta) + d \cdot \cos(\phi) = c \quad 4.2$$

Despejando 4.2 y reemplazando en 4.1

$$b \cdot \sin(\theta) + d \cdot \frac{(d^2 + c^2 - b^2)}{2 \cdot d \cdot c} = c \quad 4.3$$

$$d(\theta) = \sqrt{2 \cdot c \cdot (c - b \cdot \sin(\theta)) + b^2 - c^2} \quad 4.4$$

Obteniendo de la Ley de Cosenos

$$b^2 = d^2 + c^2 - 2 \cdot d \cdot c \cdot \cos(\phi) \quad 4.5$$

Por lo que al despejar se obtiene la siguiente ecuación parametrizable

$$\phi(d) = \frac{180}{\pi} \cdot \text{acos} \left(\frac{d^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot d \cdot c} \right) \quad 4.6$$

4.2.1.2.2 Fuerza ejercida por el actuador

Para realizar el cálculo de las fuerzas ejercidas se considerarán los siguientes aspectos:

- El mecanismo solo girará en un plano (XY).
- Se considera que no existen efectos dinámicos (el mecanismo se mueve lento, por lo que no existirá aceleración).

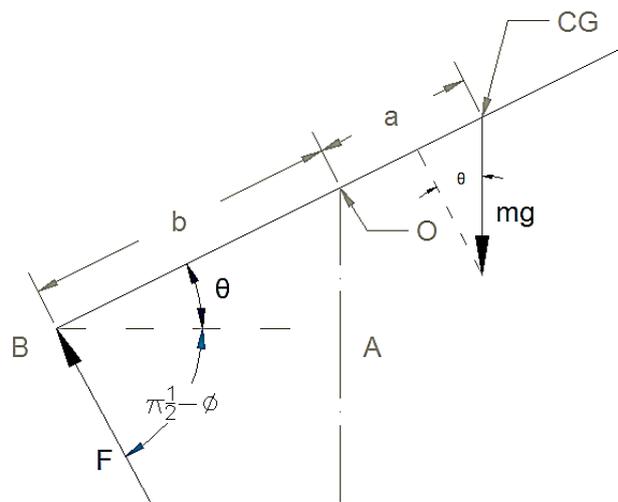


Ilustración 4.7 Diagrama de cuerpo libre.

Al realizar una sumatoria de momentos en torno al punto O.

$$\sum M_0 = I_G \cdot \alpha \quad 4.7$$

$$a \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) = b \cdot F \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi + \theta\right)$$

$$a \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) = b \cdot F \cdot \cos(\theta - \phi) \quad 4.8$$

$$F = \frac{(a \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta))}{(b \cdot \cos(\theta - \phi))} \quad 4.9$$

Y al sustituir , se obtiene la función

$$F(\theta) = \left[\frac{a \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta)}{b \cdot \cos\left[\theta - \arccos\left[\frac{c - b \cdot \sin(\theta)}{\sqrt{2 \cdot c \cdot (c - b \cdot \sin(\theta) + b^2 - c^2)}}\right]\right]} \right] \quad 4.10$$

4.2.1.2.3 Relaciones entre variables y fuerza máxima

Para obtener la descripción del movimiento durante los ángulos más críticos ($-45^\circ, 45^\circ$), se grafica la variación de la distancia (d) descrita en la Ilustración 4.6.

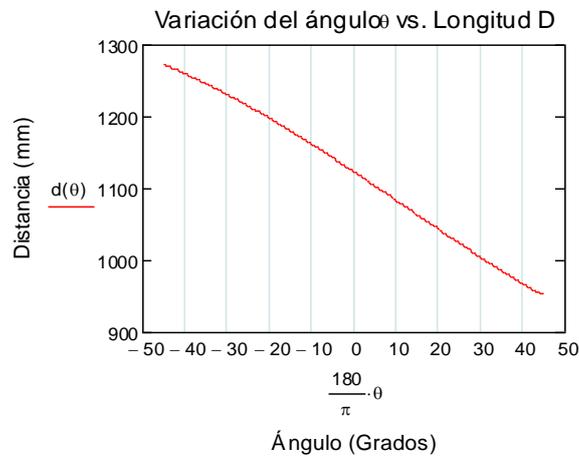


Ilustración 4.8 Relación entre ángulo θ y longitud D.

En la gráfica se puede apreciar el recorrido que deberá tener el actuador lineal, para comprobación de los cálculos se realizó una simple relación geométrica para obtener el recorrido, como se sigue:

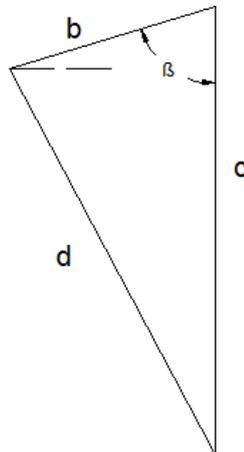


Ilustración 4.9 Cálculo de la carrera

Se obtiene un triángulo, que al aplicar la ley de cosenos, despejando la distancia (d) y evaluando para cada uno de los ángulos que requiere cada

herramienta, se obtiene que la carrera del actuador lineal será la diferencia entre la distancia mayor y la menor. Se establece la ecuación como sigue:

$$d = \sqrt{b^2 - c^2 - 2bc(\cos\beta)}$$

Tabla 4.21 Tabla de posiciones de la distancia D

HERRAMIENTA	MÓDULO	ÁNGULO DE GIRO	ANGULO DE GIRO ANTIHORARIO	DISTANCIA D ANTIHORARIA		ANGULO DE GIRO HORARIO	DISTANCIA D HORARIA	
				mm	in		mm	in
				TeleScope	MMA		45	45
TeleScope	MTA-BC	45	45	990.84	39.01	135	1408.20	55.44
ImPulse	IPTA	27	63	1077.49	42.42	117	1343.07	52.88
Xceed	CRSPA 6.75	35	55	1037.45	40.84	125	1374.22	54.10
Xceed	CRSPA 9.00	35	55	1037.45	40.84	125	1374.22	54.10

Para ejemplificación de la variación de la distancia D se procede a realizar las siguientes gráficas.

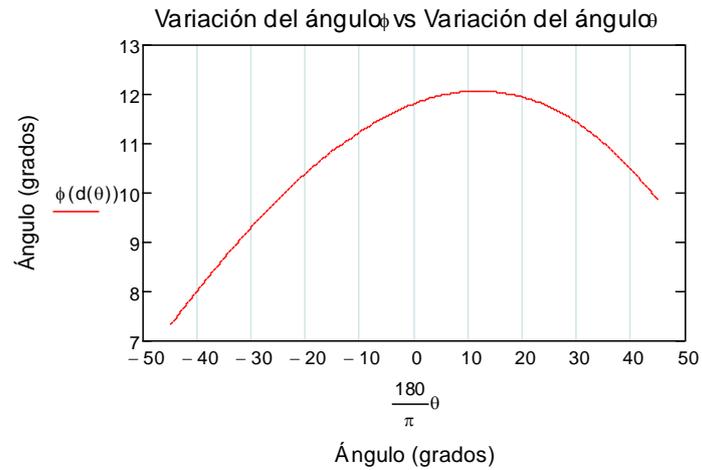


Ilustración 4.10 Relación del ángulo ϕ vs. Variación θ .

La fuerza máxima que deberá soportar el actuador lineal, se obtiene de la gráfica de la función fuerza (ecuación 4.10), la cual deberá ser menor que la fuerza permisible del actuador lineal (Ver sección 4.1.1.2.1).

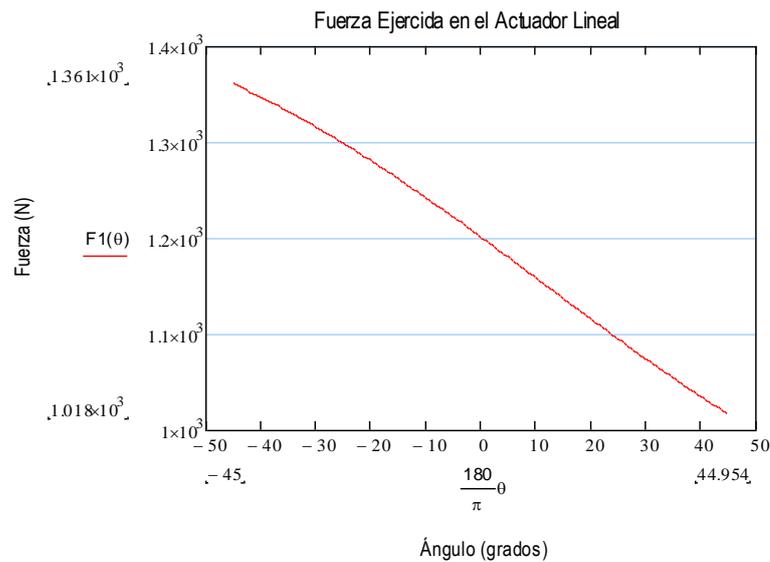


Ilustración 4.11 Fuerza ejercida por el actuador lineal

La fuerza máxima que el actuador lineal tendrá que ejercer es de 1380 N, aproximadamente 1400 N (140 Kg); teniendo así todos los parámetros para la elección del actuador lineal y comprobando la decisión previamente definida (Ver Tabla 4.10).

4.2.2 MECANISMO DE ACOPLAMIENTO

Del capítulo 3, se define el uso de un mecanismo de sujeción manual. El mercado ofrece varias opciones, pero la que más se acopla a la EVL, debido a la variación de diámetros de los módulos y la posición del sistema de sujeción. Este mecanismo se denomina mordaza de banco con cadena.



Ilustración 4.12 Mordaza de banco con cadena (RIDGID, 2013).

La selección de este elemento se basa en la variación de diámetros requerida en la EVL (2 1/2" a 4 1/8"). Se propone usarse la marca RIDGID, que son aprobadas y probadas por la empresa auspiciante Schlumberger. A continuación se especifican las características de la mordaza seleccionada.

**Tabla 4.22 Especificaciones de la mordaza de banco con cadena
RIDGID 20205 BC510**

Característica	Especificación
Fabricante	RIDGID
Modelo	BC510
Capacidad de diámetro	1/4" a 5"
Peso	6.7 kg – 14.75 lb
Medidas generales	10.5" x 10.3" x 6 "

(RIDGID, 2013)

4.3 DISEÑO HIDRÁULICO

En esta sección se determinarán las características hidráulicas de la EVL así como se definirán los componentes hidráulicos a usarse.

4.3.1 CONECTOR MULTIPLE PARA LAS VÁLVULAS

En lo referente a las válvulas, después de haber seleccionado el tipo de control manual (tipo D), el tipo de válvula solenoide (DLDA-XCN y DNDYS-XN) y el tipo de bobina (770-724) aún hay una elección pendiente para definir por completo las válvulas, el conector múltiple.

El mismo fabricante de las válvulas, bobinas y control manual ofrece algunos tipos de conectores en distintas medidas y configuraciones, nuestra restricción para la EVL es el diámetro del puerto de aceite de los módulos (1/8"); se toma esta medida como restrictiva ya que no hay efectos beneficiosos o perjudiciales en el proceso si se aumenta el diámetro de tuberías y accesorios más allá de la menor del proceso (1/8"), por lo que el conector múltiple elegido será uno de igual diámetro o inmediato superior en la medida estandarizada, como el fabricante no ofrece conectores múltiples de 1/8" NPT se opta por la medida de 1/4" NPT para todas las líneas a excepción de la línea de vacío, en la que se utiliza la recomendación del fabricante de la bomba de vacío que es usar una tubería de entre 3/4" a 7/8", como el fabricante de los conectores no nos ofrece medidas de 13/16" o 7/8" se opta por cavidades de 3/4" para esta línea.

A continuación se describe el conector a usarse en las válvulas DLDA-XCN (cavidad T-13A) de 1/4", luego el mismo conector para 3/4" y finalmente para las válvulas DNDYS-XN (cavidad T-61A).

Tabla 4.23 Especificaciones del conector múltiple U9H ¼" NPT para cavidades T-13A

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	U9H
Cavidad	T-13A
Tipo	Montaje en línea ¼" NPT
Características	90 grados
Diámetro de agujero para montaje	1 x 0.34 plg (8.6 mm)
Peso	0.79 lb (0.36 kg)
Material	Aluminio 6061-T651

(Sun Hydraulics, 2013)**Tabla 4.24 Especificaciones del conector múltiple A3D ¾" NPT para cavidades T-13A**

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	A3D
Cavidad	T-13A
Tipo	Montaje en línea ¾" NPT
Características	90 grados
Diámetro de agujero para montaje	1 x 0.34 plg (8.6 mm)
Peso	0.90 lb (0.41 kg)
Material	Aluminio 6061-T651

(Sun Hydraulics, 2013)**Tabla 4.25 Especificaciones del conector múltiple MPA ¼" NPT para cavidades T-61A**

Característica	Especificación
Fabricante	Sun Hydraulics
Modelo	MPA
Cavidad	T-61A
Tipo	Montaje en línea ¼" NPT
Características	90 grados
Diámetro de agujero para montaje	2 x 0.34 plg (8.6 mm)
Peso	1.41 lb (0.64 kg)
Material	Aluminio 6061-T651

(Sun Hydraulics, 2013)

4.3.2 CONEXIONES

Para definir las conexiones y reafirmar la elección del diámetro de los conectores múltiples, a continuación se calcula el número de Reynolds para saber si el flujo es laminar o turbulento.

El cálculo del número de Reynolds se lo hace usando los datos del aceite AEROSHELL 560 (común para todas las herramientas involucradas), cuyas especificaciones están detalladas en la Tabla 2.2; además se usa el caudal de la bomba de llenado ENERPAC PUJ-1200B especificado en la Tabla 3.14 y el diámetro propuesto de 1/4”.

$$\rho := 998 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$D := \frac{0.0254}{4} \quad (\text{m})$$

$$a := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 3.167 \times 10^{-5} \quad (\text{m}^2)$$

$$Q := \frac{3.2}{1000 \cdot 60} = 5.333 \times 10^{-5} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$v := \frac{Q}{a} = 1.684 \quad \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\mu := \frac{23 \cdot \rho}{1000^2} = 0.023 \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \right)$$

$$re := \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = 464.951$$

Al tener un número de Reynolds menor a 2000 se dice que el flujo es laminar y los parámetros de pérdidas por longitudes o accesorios no son relevantes, por lo que se trabajará con mangueras debido a facilidad de conexión y mantenimiento, estas serán de 1/4” de diámetro interno (diámetro de la conexión usada en los conectores múltiples de las válvulas) y se utilizarán para unir los accesorios y demás elementos hidráulicos; a excepción de la línea de vacío en la que todos sus conexiones tienen un diámetro interno

de 3/4" y se utilizará tubería de cobre por recomendación del fabricante; para estas tuberías no es necesario el cálculo del número de Reynolds debido a que se manejará aire y para el proceso de la EVL no influye si su flujo es laminar o turbulento.

A continuación se presenta un cuadro de resumen de las mangueras a usarse en la EVL, para ver el detalle completo de las conexiones ver el Diagrama hidráulico del Anexo 9.2, en el cual además del detallado hidráulico principal se presentan los estados del circuito hidráulico para cada función de la EVL.

Tabla 4.26 Listado de conexiones necesarias para la EVL, parte 1

Cantidad	Línea	Puntos de unión	Longitud	Diámetro interno
1	Vacío	4-19 (de bombas o reservorios)	6600	3/4" NPT
2	Vacío	19-8, 19-9 (accesorios-válvulas)	950	3/4" NPT
2	Vacío	8-2, 9-3 (válvulas-reservorios)	1600	3/4" NPT
1	Vacío	2-13 (reservorios-válvulas)	550	1/4" NPT
1	Vacío	13-25 (accesorios-válvulas)	230	1/4" NPT
2	Ambiente	20-7, 20-10 (accesorios-válvulas)	950	1/4" NPT
2	Ambiente	7-2, 10-3 (válvulas-reservorios)	1550	1/4" NPT
5	Circulación	11-2, 12-1, 1-34, 1-18, 2-22, 3-24 (válvulas-reservorios/accesorios)	5650	1/4" NPT
3	Circulación	5-18, 6-22, 22-18 (de bombas o reservorios)	6050	1/4" NPT

Tabla 4.27 Listado de conexiones necesarias para la EVL, parte 2

Cantidad	Línea	Puntos de unión	Longitud	Diámetro interno
9	Circulación	21-11, 21-12, 21-18, 22-23, 23-14, 14-25, 23-15, 15-24, 24-16 (accesorios-válvulas)	6300	1/4" NPT
3	Presurizada	18-27, 27-17, 17-26 (accesorios-válvulas)	1200	1/4" NPT
1	Presurizada	5-18 (de bombas o reservorios)	2800	1/4" NPT
2	Circulación y presurizada	26-28, 16-29 (a acoples antes de módulos)	5500	1/4" NPT
2	Circulación y presurizada	28-30, 29-31 (a módulos)	3000	1/4" NPT
4	Manual	34-35, 36-37, 38-39, 30-41 (reservorios-accesorios)	1200	1/4" NPT
3	Manual	35-40, 37-41, 39-41 (reservorios-válvulas)	3000	1/4" NPT
1	Manual	40-42 (accesorios-bombas o reservorios)	1000	1/4" NPT

4.3.3 ACCESORIOS

Para interconectar las válvulas, los recipientes, sensores y demás elementos del módulo hidráulico de la EVL se necesitan algunos accesorios como acoples, aumentos, divisiones, filtros entre otros. Todos los accesorios y elementos se detallan por completo en el plano hidráulico en el Anexo 9.2, y a continuación se presenta un resumen de los accesorios necesarios, así como del filtro para garantizar la calidad del aceite usado en la EVL.

Tabla 4.28 Listado de accesorios necesarios para la EVL

Cantidad	Accesorio	Diámetro interno
1	Acople	13/16" NPT a 3/4"NPT
2	Acoples	3/8" NPT a 1/4" NPT
2	Acoples	1/8" NPT a 1/4" NPT
8	Divisiones T	1/4" NPT
1	División T	3/4" NPT
2	Conjunto de acoples rápidos para montaje en panel	1/4" NPT
2	Conjunto de acoples rápidos para montaje en línea	1/4" NPT
2	Cañería rígida 45cm	1/4" NPT en un extremo
1	Filtro para montaje en línea doble salida	1/4" NPT

4.3.4 RECIPIENTES

De las consideraciones tomadas en la sección 3.2.3.3.3 del capítulo de Diseño Conceptual, se sabe que el volumen mínimo que deberán tener los reservorios 2 y 3 es de 8.014 litros, y de 2 litros para el recipiente 1; por facilidad de pedido, de reparación y de mantenimiento el reservorio 1 se construirá de la misma capacidad que los recipientes 2 y 3, conservando las medidas de diámetros y alturas para todos los recipientes, y aumentando sus volúmenes a 10 litros para tener un 25% de aceite de reserva.

Debido a que la medida del volumen de aceite en el recipiente se lo hace en base a la altura de líquido, se sabe que para un menor diámetro se tendrá una mayor altura para un mismo volumen, y por lo tanto cualquier variación o error en la medición de la altura se traducirá en errores de medición de volúmenes menores; por lo que se toma el recipiente dos como ejemplo ya que es el que más conexiones requiere y gráficamente se determina el menor diámetro requerido tomando en cuenta los diámetros de los hexágonos

asociados a las conexiones NPT así como las holguras que se debe dejar para permitir su ensamblaje. A continuación se presenta el esquema de la pared superior del recipiente 2.

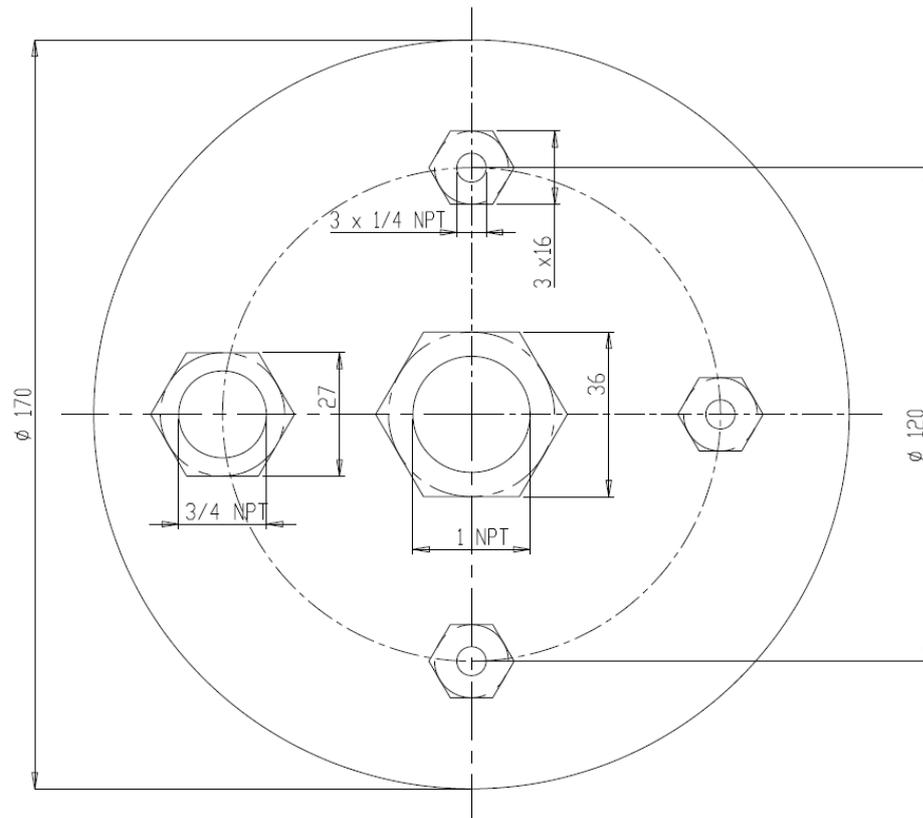


Ilustración 4.13 Esquema de la pared superior del recipiente número 2 con sus respectivas conexiones.

En el gráfico se observa el diámetro mínimo para los recipientes, siendo este de 170 mm; faltando aún determinar la altura para lograr la capacidad deseada, se necesita tomar en cuenta la altura mínima de medición del transmisor de nivel elegido (102 mm, (OMEGA, 2013)), entonces a la altura obtenida para alcanzar una capacidad de 10 litros con un diámetro de 170 mm se le aumenta 102 mm. A continuación se realizan los cálculos para definir por completo las medidas de los recipientes.

$$d := 170 \quad (\text{mm})$$

$$v := 10000000 \quad (\text{mm}^3)$$

$$h := 0 \quad (\text{mm})$$

$$\text{Dado } v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot (h - 102)$$

$$\text{Find}(h) = 542.567 \approx 540 \quad (\text{mm})$$

Así los recipientes tendrán un diámetro interno de 170 mm y una altura de 540 mm. Según los requerimientos de conexiones y con las medidas obtenidas en la presente sección para cada recipiente, en el Anexo 9.1.29.1 están los planos con los que se encargará a la empresa ETE-FLOEX la construcción de los recipientes. Esta empresa está asociada con Schlumberger y tienen experiencia en la construcción de recipientes para procesos aire/aceite en vacío y presurizados.

4.4 DISEÑO ESTRUCTURAL

4.4.1 REQUERIMIENTOS

La estructura a proponerse deberá cumplir con los siguientes aspectos:

- Ser ergonómica para el posicionamiento de las herramientas, mando de panel táctil y botoneras.
- Estética.
- Contener en su interior todos los componentes.
- Acoplar el mecanismo de giro.
- Tener compuertas de acceso fácil para el mantenimiento.

- Ser móvil, a pesar que la máquina tendrá su lugar fijo de trabajo.
- Deberá brindar acceso a los controles manuales.
- Que se pueda observar las burbujas ascendentes dentro de los recipientes para verificación visual.
- Proporcionar las seguridades necesarias para el operador.

4.4.2 PROPUESTA DE DISEÑO

Se propone el siguiente diseño para cumplir las expectativas de la empresa auspiciante.

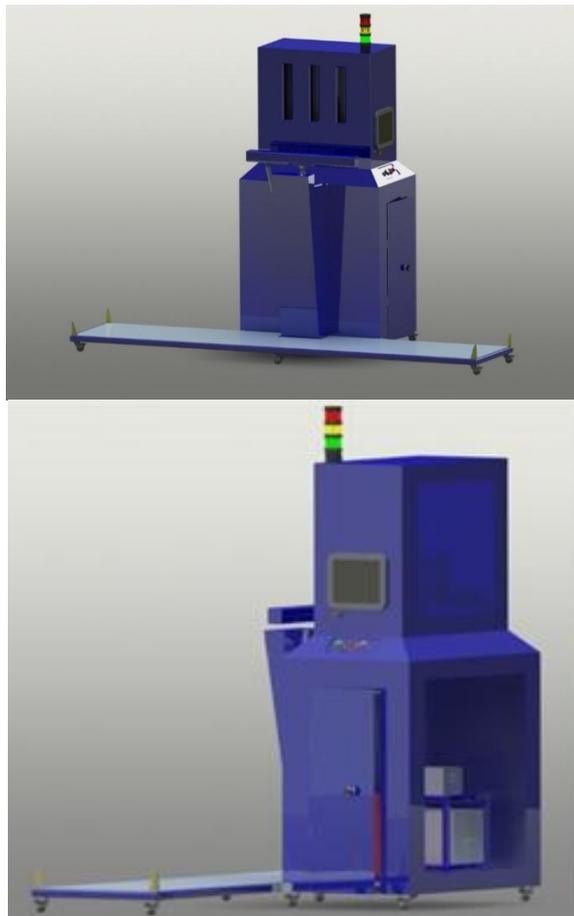


Ilustración 4.14 Propuesta de diseño estructural de EVL.

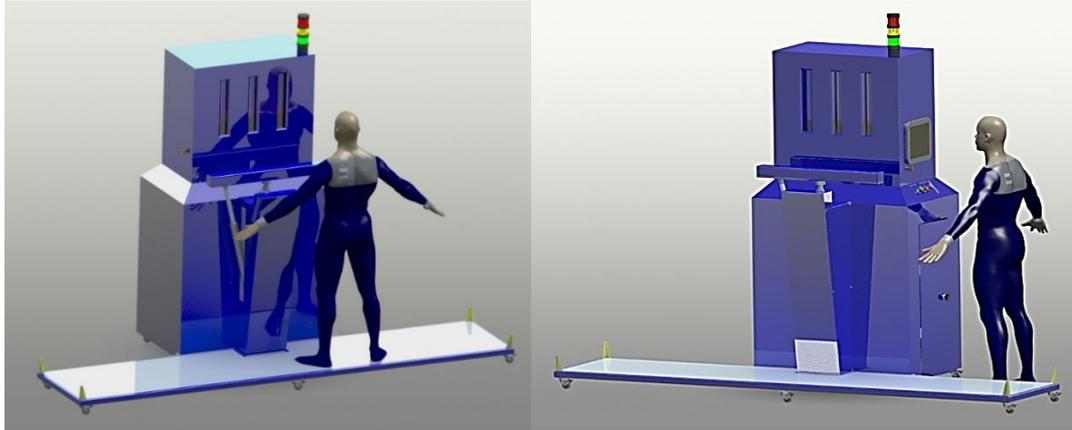


Ilustración 4.15 Referencias ergonómicas.

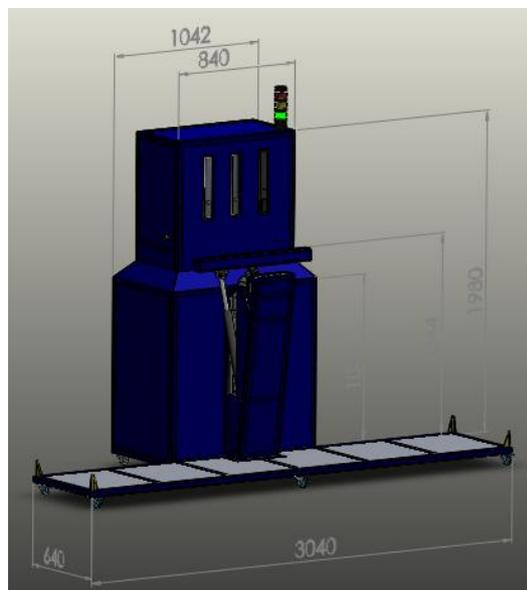


Ilustración 4.16 Referencias dimensionales.

Se propone que el panel táctil y el panel de botones se encuentren a un costado de la máquina para evitar cualquier contacto que el operario tenga con la herramienta móvil.

La luz indicativa junto con la correspondiente alarma se encontrará en lo alto de la máquina para su visibilidad.

Los recipientes se encontrarán a la vista del operario para verificación visual que las burbujas se hayan retirado del módulo a prepararse.

El mecanismo de giro se sitúa en la parte frontal de la EVL, de manera que su ubicación sea fácil para el montaje.

La EVL contiene una plataforma adicional en la parte frontal para evitar que cualquier operario cruce los límites de movimiento. Esta plataforma tendrá las dimensiones más una holgura de 10 cm a cada lado, de la herramienta más larga (IPTA). La plataforma vendrá sujeta por un perno de paso grueso a cada lado, de modo que si se requiera desmontarla, se pueda hacer de manera fácil y rápida.

Se proporciona una puerta en la cara lateral izquierda de manera que el operario pueda realizar el cambio de aceite de manera rápida, así como cualquier tipo de limpieza. Además se incluyen paredes posteriores desmontables por medio de mariposas con el objetivo que se pueda realizar mantenimientos de acceso a válvulas, bombas, PLC u otras conexiones.

Para que el módulo a realizarse el procedimiento posea un acceso fácil de conexión con EVL, se ha proporcionado acoples rápidos a los lados, con pequeñas mangueras que se encontrarán sujetas por ganchos proporcionando que el operario tenga un acceso rápido, eficaz y limpio.

Para cumplir el requisito de que la máquina pueda moverse, se le ha implementado ruedas de 101.6 mm (4 plg) tanto a la plataforma desmontable como a la EVL.

Debido a que la máquina se encontrará en un lugar central y no pegada a una pared, se estableció una geometría que sea estética por cualquier lado observable.

Ergonómicamente se ha situado la herramienta a la altura del ombligo del operario. Se ha situado el panel táctil y botonera de manera que sea de acceso fácil para el operador.

Todos los componentes de la maquinaria se encontrarán en el interior de esta.

Toda la estructura se encontrará recubierta con planchas de acero de 1 mm como recubrimiento. A excepción de planchas que se especificará su espesor (Ver Anexo 9.1.1).

4.4.3 BASTIDOR PRINCIPAL

Para el estudio de la estructura principal se propone la siguiente geometría observada en la Ilustración 4.17 . Se toma en cuenta donde se situará la puerta y el bastidor de herramientas, el cual soportará el módulo a realizar el procedimiento de vaciado y llenado. El bastidor de herramientas se unirá soldado a la estructura principal. Se incorporará una bandeja para la sujeción de los recipientes, válvulas, tubería y mangueras, soportada por dos tubos transversales, además se consideran las dos bases de piso. Para cumplir con el movimiento del actuador lineal, se incorporan dos cortes laterales en el bastidor de herramientas.



Ilustración 4.17 Modelado bastidor principal.

4.4.3.1 Modelado

Todo el modelado de la estructura se realizó con la versión Estudiante ANSYS Workbench, software proporcionado por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. El modelado se realizó como estático estructural.

Para el modelado, se simplificó la estructura, evitando bordes, redondeos y geometrías innecesarias.

4.4.3.1.1 Propuesta estructural

- Para el estudio de la estructura se propone tubo cuadrado de 40 x 40 x 1.2 mm.
- Se proponen uniones soldadas ya que la estructura no requiere ser desmontable.
- Como base del bastidor de herramientas se encuentra una plancha de acero de 4 mm de espesor, la cual soportará la fuerza del actuador lineal ejercida.

4.4.3.1.2 Fuerzas

Para el modelado de la estructura, se tienen cuatro fuerzas principales:

La primera fuerza actúa en los dos tubos superiores del bastidor de herramientas, correspondiente al peso del módulo junto con las piezas de acoplamiento y peso de las mordazas de cadena. Se considera la primera fuerza tener una magnitud de:

Al considerar los pesos:

$m_h := \frac{210}{2.2} = 95.455$	(kg)	Peso de la herramienta Xceed
$m_{vc} := 6.7 \cdot 2 = 13.4$	(kg)	Peso de 2 mordazas de cadena
$m_t := 7.185$	(kg)	Peso del tubo
$m_{otr} := 4$	(kg)	Peso de piezas de acoplamiento
$m_{total} := m_h + m_{vc} + m_t + m_{otr} = 120.04$	(kg)	Peso total
$F_1 := m_{total} \cdot 9.8 = 1.176 \times 10^3$	(N)	Fuerza 1

La segunda es la presión ejercida en la bandeja por todos los recipientes, válvulas y tubería.

$w_{fl} := 30$	(kg)	Peso del fluido 30 lts-densidad agua
$w_{ct} := 10$	(kg)	Peso 3 contenedores
$w_{val} := 6.8$	(kg)	Peso de válvulas
$w_{sns} := 3.18$	(kg)	Peso de sensores
$w_{cma} := 4.55$	(kg)	Peso de accesorios
$w_{total} := w_{fl} + w_{ct} + w_{val} + w_{sns} + w_{cma}$	(kg)	Peso de total
$w_{total} = 54.53$		
$Area_{total} := 0.6 \cdot 0.760 = 0.456$	(m^2)	Área de la bandeja
$F_p := w_{total} \cdot 9.8 = 534.394$	(N)	Fuerza en la bandeja
$P_{-1} := \frac{F_p}{Area_{total}} = 1.172 \times 10^3$	(Pa)	Presión a ejercer

La tercera fuerza actuante en la placa de piso del bastidor de herramientas, será la fuerza máxima del actuador lineal que ejercerá para provocar el giro de la herramienta (1400 N).

La última fuerza actuante se encuentra en el piso, el cual consta del peso de bombas, sujetador de bombas y aceite:

$w_{bw} := 50$	(kg)	Peso bomba Welch
$w_{be} := 38$	(kg)	Peso de bomba Enerpac
$w_{oil} := 23.82$	(kg)	Peso de aceite
$w_{sb} := 37$	(kg)	Peso de soporte
$w_{total} := w_{bw} + w_{be} + w_{oil} + w_{sb} = 148.82$	(kg)	Peso total
$F_4 := w_{total} \cdot 9.8 = 1.458 \times 10^3$	(N)	Fuerza 4

Para el análisis se ubicaron placas de las dimensiones del asiento de las garruchas propuestas en la sección 4.4.9. Se realizó el análisis como si estas se deslizaran para simular el movimiento de las llantas, escogiendo la restricción de superficie sin fricción a la placa que se deslizará contra el piso y a dos superficies sin fricción para simular el freno de dichas ruedas. Se observan las fuerzas aplicadas en la Ilustración 4.18.

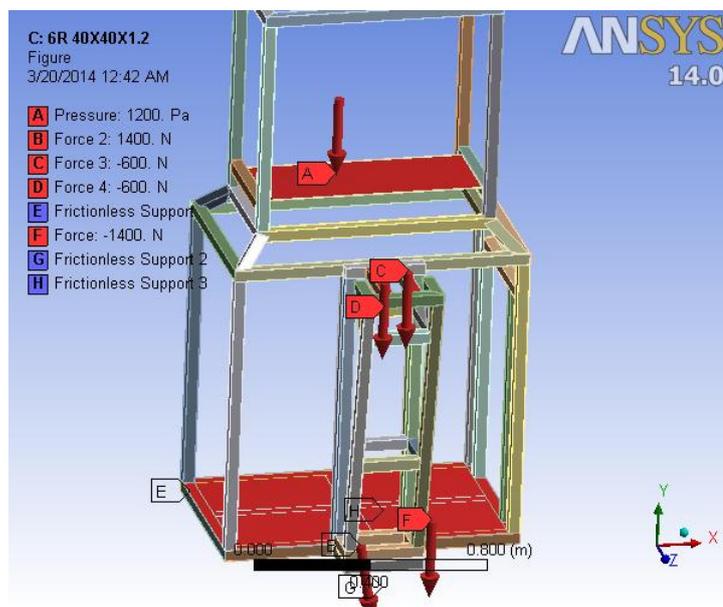


Ilustración 4.18 Fuerzas en bastidor principal.

4.4.3.2 Resultados

4.4.3.2.1 Deformación total

Una vez realizada la simulación se encuentra que la deformación máxima es 3 mm, ocurrida en la bandeja que soportará a los contenedores, válvulas, cañerías y otros. Para la aplicación la deformación obtenida es mucho menor que la permisible, por lo que el diseño estructural es viable.

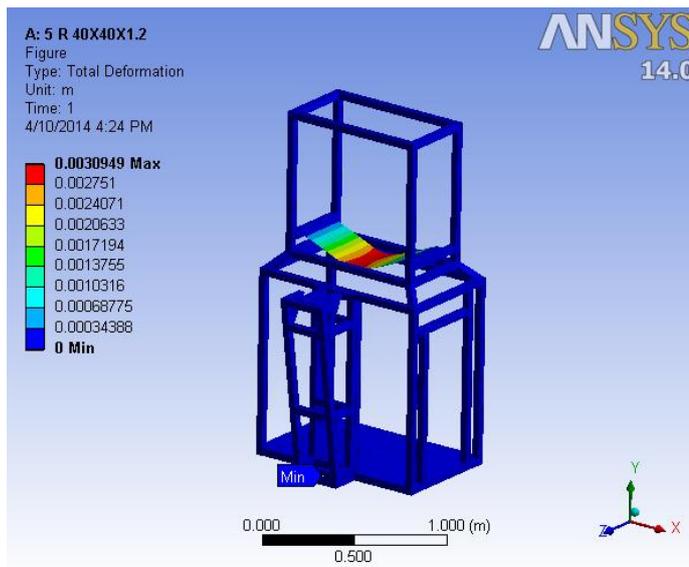


Ilustración 4.19 Deformación total en bastidor principal.

4.4.3.2.2 Esfuerzos equivalentes (Von Misses)

Como se observa en la Ilustración 4.20 el esfuerzo máximo equivalente presente es de 84 MPa aproximadamente, valor muy inferior al límite de fluencia del acero estructural (~250 MPa). Los elementos estructurales más importantes son los que soportarán los pivotes.

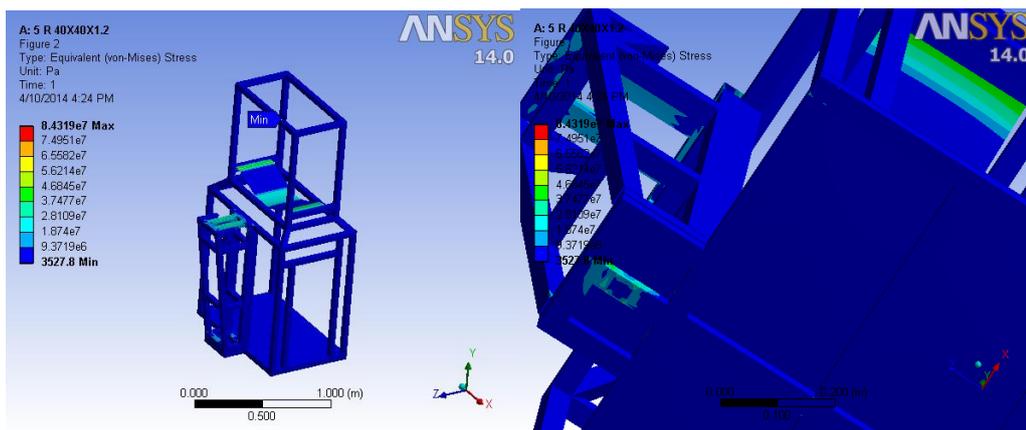


Ilustración 4.20 Esfuerzos equivalentes de Von Misses en bastidor principal.

4.4.3.2.3 Factor de seguridad

En la Ilustración 4.21 se observa que el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente 3, factor de seguridad apto para el tipo de aplicación. Se observa que los elementos críticos de análisis son, el tubo central que soporta el peso de las herramientas y lugares en las uniones con las llantas.

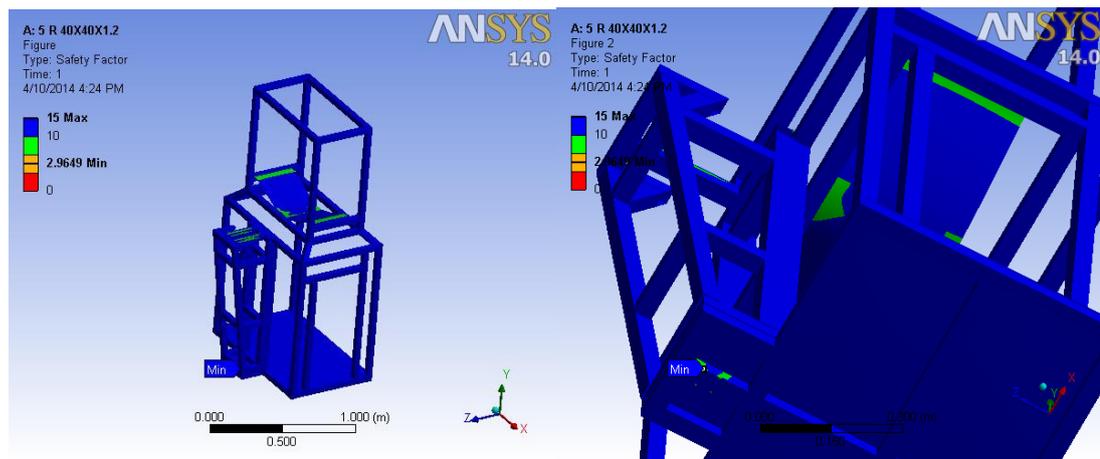


Ilustración 4.21 Factor de seguridad en bastidor principal.

4.4.4 BASTIDOR SECUNDARIO

El bastidor secundario cumple la función de evitar que los operarios crucen el área de giro de la EVL durante su operación, evita que cualquier fuga de aceite caiga al piso del taller pudiendo provocar accidentes, eleva al operador para que la distancia ergonómica de colocación de la herramienta se mantenga. El bastidor de herramientas deberá soportar el peso del operario y el de cualquier accesorio imprevisto que se coloque sobre él. Para evitar que cualquier operario ingrese a la plataforma del área de trabajo durante la operación de la máquina, se colocarán soportes esquineros los cuales una vez terminada la colocación de la herramienta el operario deberá cerrar el área de trabajo con el cable.

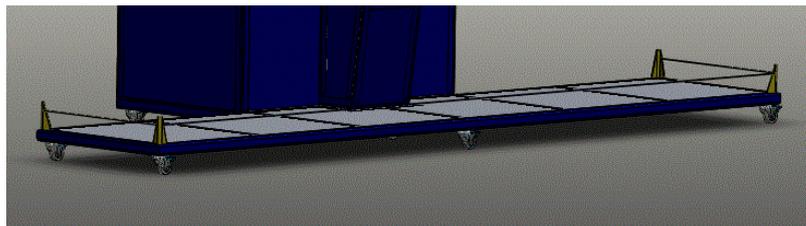


Ilustración 4.22 Sujetadores de cables de bastidor secundario.

4.4.4.1 Modelado

4.4.4.1.1 Propuesta estructural

El bastidor secundario tendrá una geometría rectangular de 620 x 3020 mm. El ancho se denomina por el espacio que tendrá el operador para colocar la herramienta y el largo por la longitud máxima entre los módulos a realizarse el procedimiento (IPTA 2730.5 mm). Con el objetivo que la plataforma limite el espacio de movimiento por la parte superior, el bastidor secundario tendrá una cavidad en la cual calzará exactamente el bastidor principal y el de herramientas.

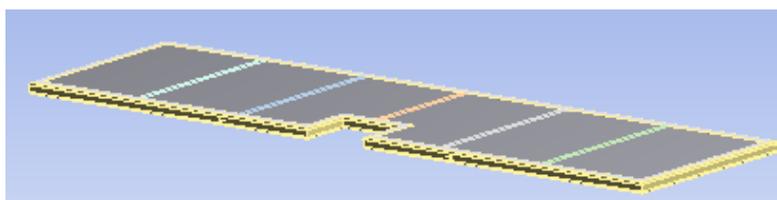


Ilustración 4.23 Modelado de bastidor secundario.

Se propone que el bastidor sea lo más liviano posible por lo que se hará de tubo de 20 x 20 x 2 mm disponible en el mercado y plancha corrugada de 2 mm de espesor.

4.4.4.1.2 Fuerzas

El bastidor secundario deberá soportar el peso de cualquier operador, (peso promedio de un operador ~60 Kg). Se modeló el bastidor mostrando los 5 puntos de apoyo de la misma manera que se simula el movimiento de las llantas para el bastidor principal, y una fuerza de 600 N.

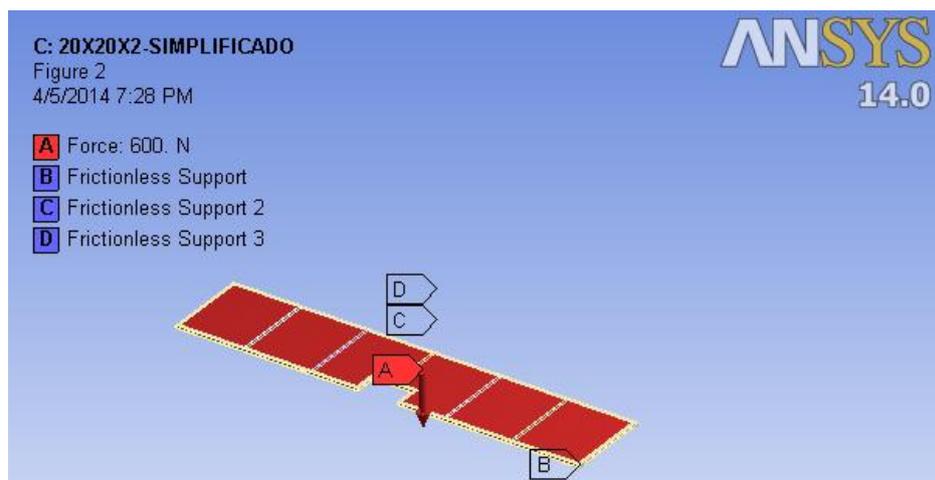


Ilustración 4.24 Fuerzas en bastidor secundario.

4.4.4.2 Resultados

4.4.4.2.1 Deformación total

Para el peso promedio de un operador la estructura se deformará 1.7 mm, que es insignificante para el proceso. Los lugares coloreados muestran una mayor deformación.

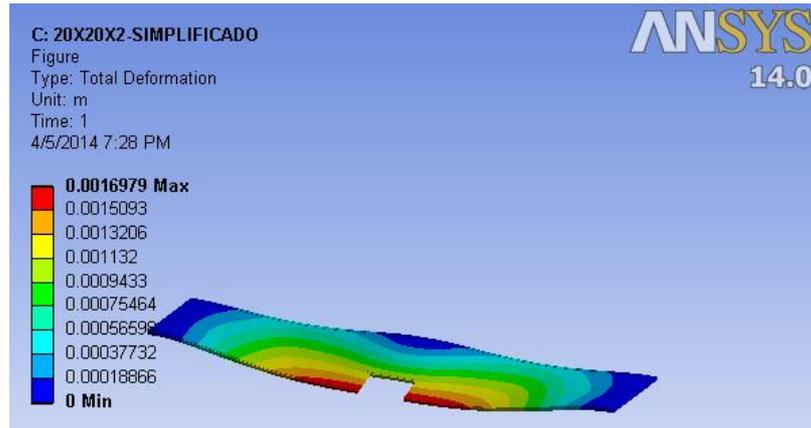


Ilustración 4.25 Deformación total de bastidor secundario.

4.4.4.2.2 Esfuerzos equivalentes (Von Misses)

Se observa en la Ilustración 4.22 que el mayor esfuerzo ocurrirá en el travesaño medio de la estructura, alcanzando alrededor de 91 MPa.

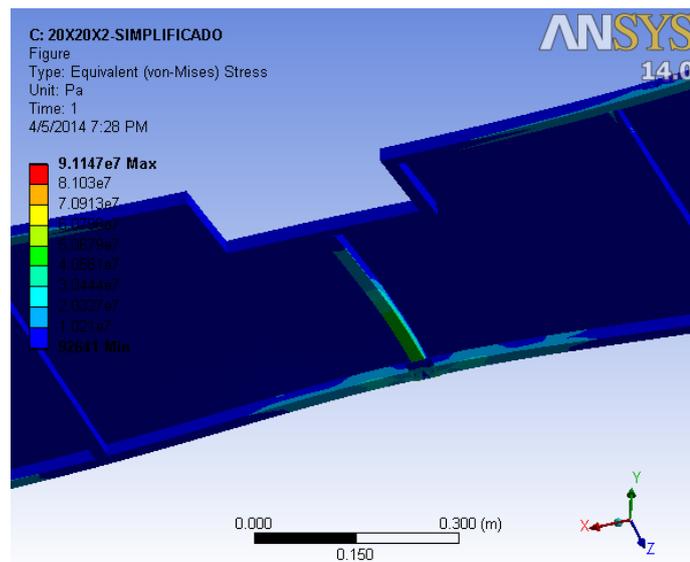


Ilustración 4.26 Esfuerzos equivalentes de bastidor secundario.

4.4.4.2.3 Factor de seguridad

El bastidor tendrá un mínimo de 2.74 como factor de seguridad, siendo apropiado para la aplicación. Condición dada para que más de dos operadores se suban a la plataforma por una u otra razón.

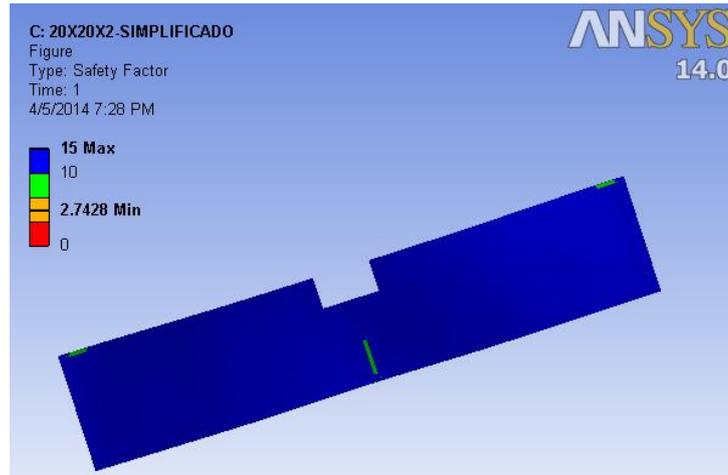


Ilustración 4.27 Factor de seguridad de bastidor secundario.

De acuerdo a lo establecido anteriormente diseño del bastidor secundario es apropiado para

4.4.5 SOPORTE DE BOMBAS

4.4.5.1 Modelado

Se sujetarán las dos bombas en un solo soporte, en la parte inferior la bomba de vacío (Welch 1402) y en la superior la bomba de llenado (Enerpac PUJ-1200B).

4.4.5.1.1 Propuesta estructural

Se propone tubo cuadrado de 20 x 20 x 1.2 como elemento estructural por ser el más pequeño y liviano en el mercado, y plancha de 2 mm de espesor. Las dimensiones del soporte de bombas se determinan por las dimensiones de las dos bombas a sujetarse. El soporte se insertará dentro de la EVL en el compartimento inferior.

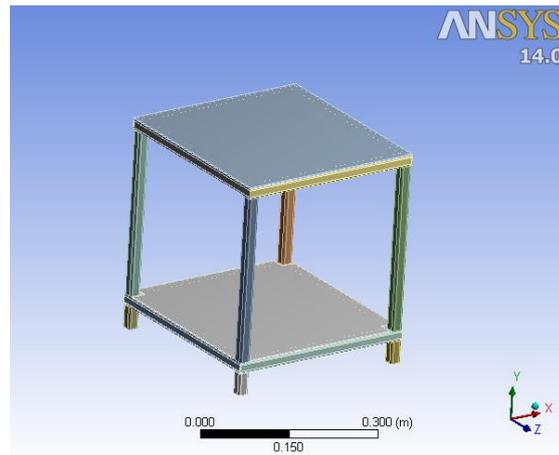


Ilustración 4.28 Modelado soporte de bombas.

4.4.5.1.2 Fuerzas

El soporte de bombas deberá soportar los pesos de las bombas, para la superficie superior 20 Kg (Peso aproximado bomba Enerpac PUJ-1200B), para la superficie inferior 58 Kg (Peso aproximado bomba Welch 1402). Para el modelado del soporte de bombas no se requiere simplificar la geometría. Se aplica una fuerza de 200 N y 580 N en las superficies correspondientes y se sujeta en las patas el soporte.

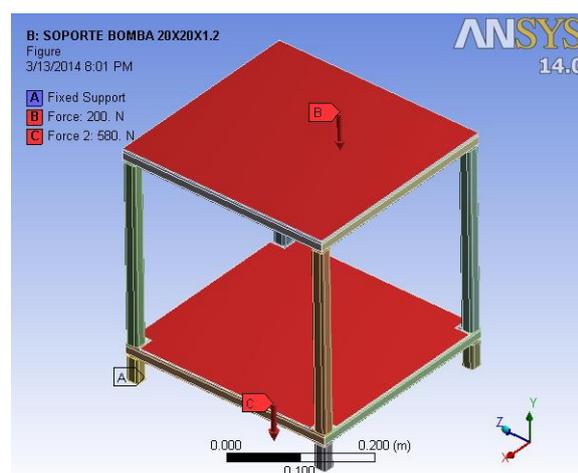


Ilustración 4.29 Fuerzas ejercidas en soporte de bombas.

4.4.5.2 Resultados

4.4.5.2.1 Deformación total

Con los pesos a los que será sometido el soporte, la deformación es muy pequeña e irrelevante para la aplicación (0.4 mm).

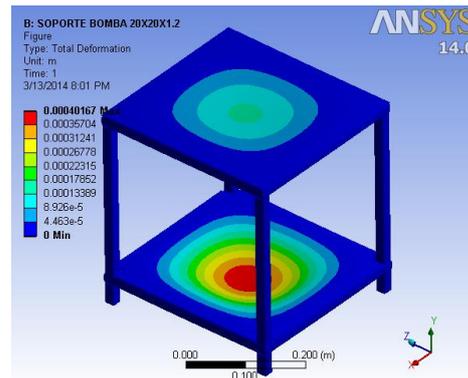


Ilustración 4.30 Deformación total en soporte de bombas.

4.4.5.2.2 Esfuerzos equivalentes de Von Mises

Se observa que el máximo esfuerzo al cual será sometido el soporte es de 63 MPa aproximadamente, muy inferior al límite de fluencia.

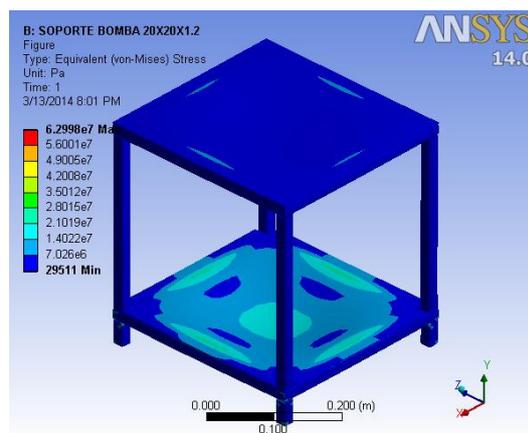


Ilustración 4.31 Esfuerzos equivalentes de Von Mises en soporte de bombas.

4.4.5.2.3 Factor de seguridad

La estructura tendrá un mínimo de 3.9 como factor de seguridad que se observa en las uniones de las patas inferiores con la bandeja inferior.

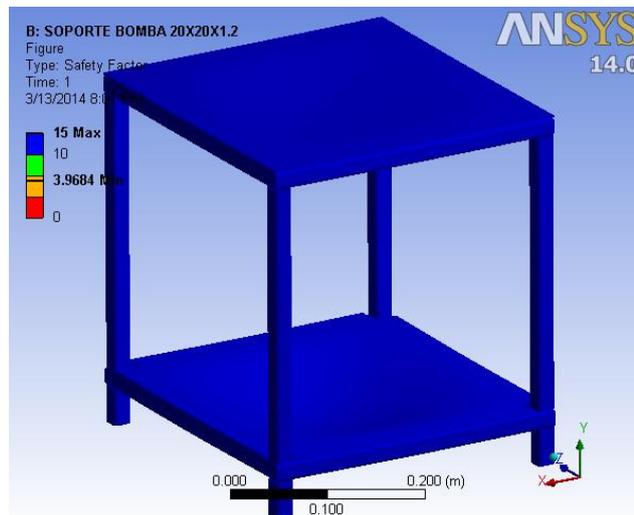


Ilustración 4.32 Factor de seguridad soporte de bombas.

La estructura funcionará bien bajo su condición estática previamente descrita.

4.4.6 TUBO PRINCIPAL

4.4.6.1 Dimensiones Geométricas

Para lograr el movimiento del mecanismo se propone un tubo de 75 x 75 x 3 mm. Las dimensiones geométricas fueron escogidas de modo que la superficie sea la máxima posible, por lo que el tubo cuadrado de 75 es el más común en el mercado nacional. El tubo deberá abarcar la distancia de 230 mm entre pivotes, condición para que el actuador lineal tenga un correcto funcionamiento. Deberá caber en su longitud las mordazas de cadena.

Después de determinar las fuerzas se encontró que el espesor de 3 mm es adecuado para la aplicación.

4.4.6.2 Cálculo de Viga

4.4.6.2.1 Fuerzas

El tubo será analizado como viga, como se muestra en la Ilustración 4.33. Se considera la condición más crítica cuando el actuador lineal tiene su fuerza máxima, es decir cuando el tubo se encuentra orientado con $\theta=45^\circ$.

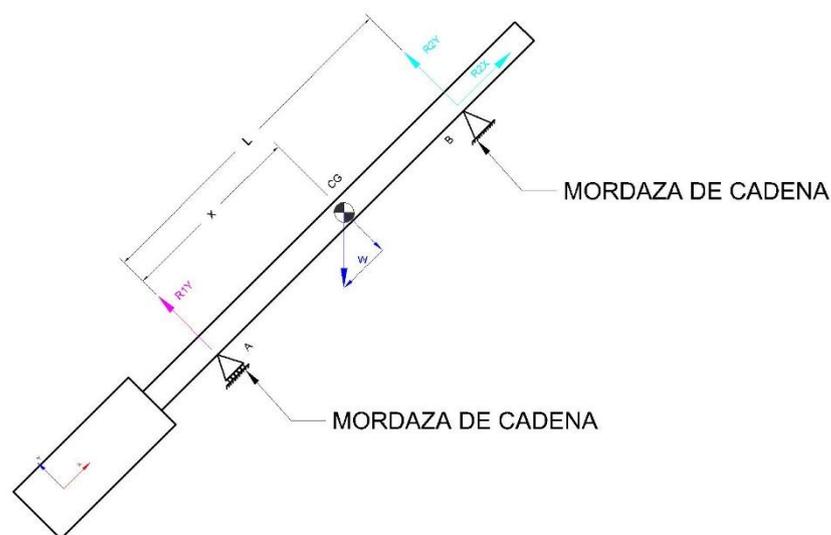


Ilustración 4.33 Principio de modelamiento, reacciones en el módulo.

Se calculan primero las reacciones en los apoyos, considerando que al encontrarse en la situación más crítica la cadena 1 actuará como un soporte de rodillos mientras que la cadena 2 evitará que el módulo se desplace. Se realiza el análisis estático correspondiente, mediante sumatoria de momentos y fuerzas. Se considera que el análisis del tubo será más crítico cuando la distancia x sea igual a la distancia L , ampliando el brazo de palanca.

$$x := 230 \cdot 2 \quad L := 230 \cdot 2$$

$$w := 1200 \quad \theta := 45 \frac{\pi}{180}$$

$$\sum_A M = 0$$

$$R_{2y}(L) - w \cos(\theta) \cdot x = 0$$

$$R_{2y} := w \cdot \cos(\theta) \cdot \frac{x}{L} = 848.528$$

$$\sum F = 0$$

–

$$R_{2x} := w \cdot \sin(\theta) = 848.528$$

$$R_{1y} := w \cdot \cos(\theta) - R_{2y} = 0$$

Al aplicar la fuerza máxima del actuador lineal se obtiene el siguiente diagrama de cuerpo libre, para el cual se aplicará en el software ANSYS.

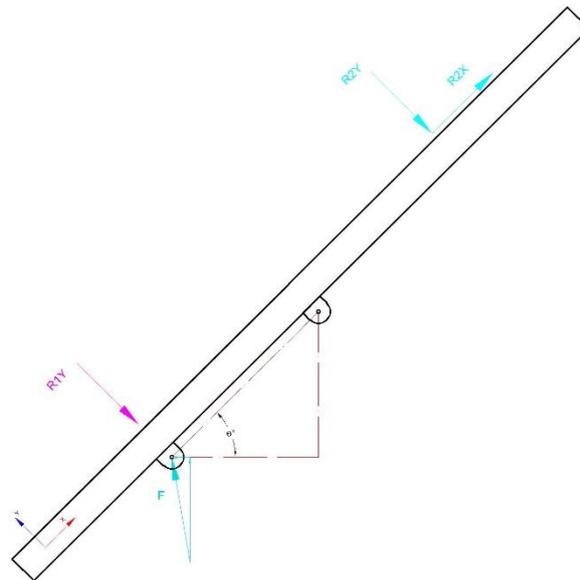


Ilustración 4.34 Fuerzas aplicadas al tubo.

Para el modelado, se realizó un análisis solo del tubo y del conjunto tubo-pin de sujeción. El análisis realizado solamente al tubo, no considera la rotación que este realizará, pero simula el posible atrancamiento que pueda suceder. El conjunto tubo-pin de sujeción simula la rotación del movimiento.

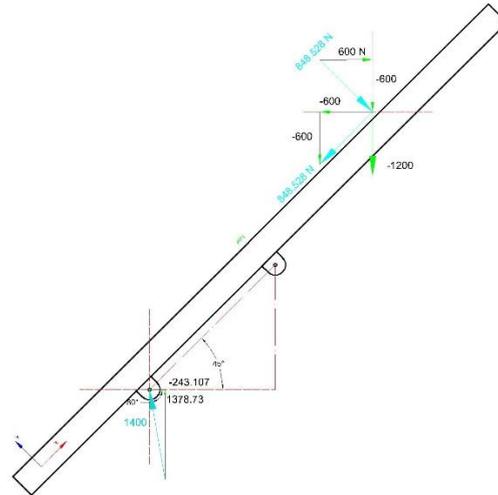


Ilustración 4.35 Descomposición de fuerzas para el modelado.

Se implementan las fuerzas como se muestra en la figura en el software predeterminado.

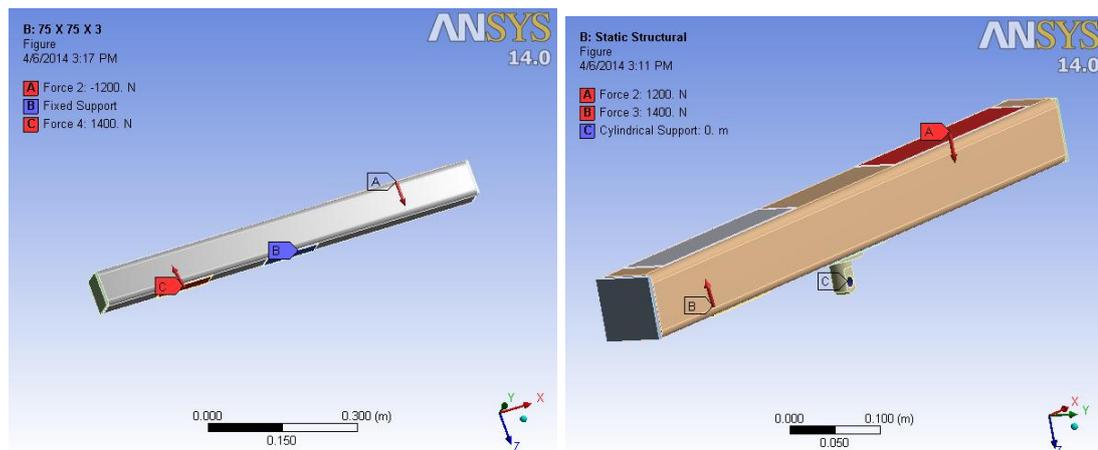


Ilustración 4.36 Fuerzas aplicadas en tubo (izq) solo tubo (der) tubo con pin de sujeción.

4.4.6.2.2 Esfuerzos

Al aplicar las fuerzas correspondientes se observa que los lugares de mayor concentración de esfuerzos para (a) son en los alrededores de la placa de roscar central y para (b) se encuentran en el Pin de sujeción.

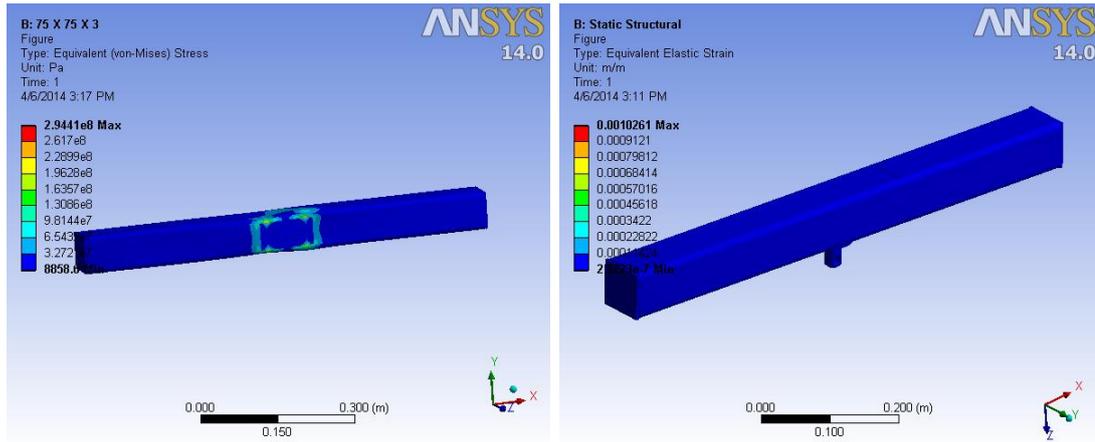


Ilustración 4.37 Esfuerzos equivalentes en tubo.

4.4.6.2.3 Factor de Seguridad

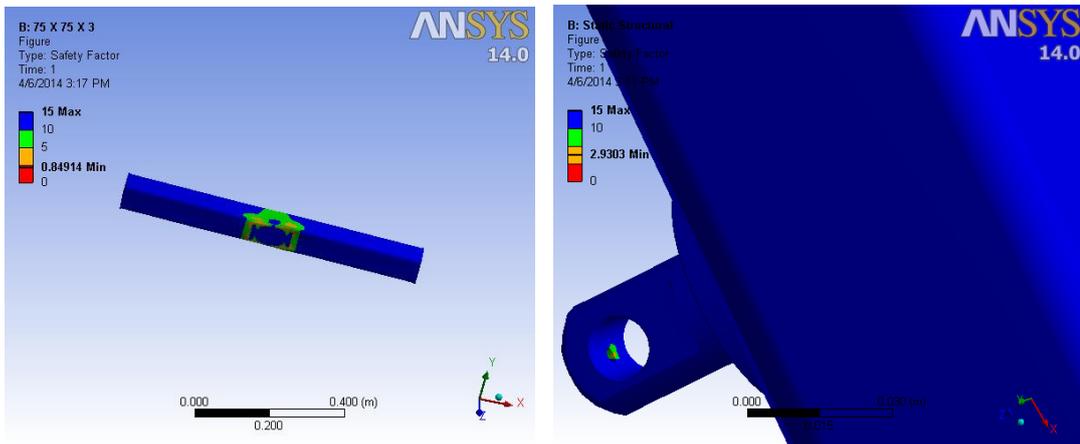


Ilustración 4.38 Factor de seguridad en tubo.

Se propone utilizar tubo de 3 mm de espesor debido a que se dé el supuesto caso de un atrancamiento, el tubo deberá soportar los esfuerzos y permanecer dentro de los límites de fluencia (FS 0.85), evitando que el módulo a realizarse el procedimiento caiga al piso.

4.4.7 PASADORES

Como parte del diseño mecánico se calcula el diámetro o factores de seguridad dependiendo el caso, para cada uno de los pasadores a utilizarse. En cada extremo se tendrán 2 soportes para cada pasador.

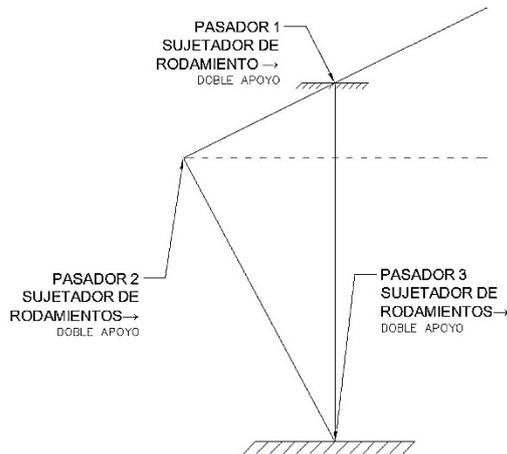


Ilustración 4.39 Esquema de ubicación de pasadores.

Se escogió el acero AISI 1018 por facilidad de soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con menores grados de carbono, así como disponibilidad en el mercado y su recomendación de uso en maquinaria. Debido al ambiente altamente húmedo al cual será expuesto el material, se propone recubrirlo con una capa delgada de pintura. El límite de fluencia para el acero seleccionado es de 220 MPa (DIPAC, 2014).

Ya que se buscaba estandarizar los componentes de la EVL, en este caso refiriéndonos a los pasadores, rodamientos y anillos de retención; se tomó como referencia el diámetro del orificio del vástago del actuador lineal (1/2 pulgada) para elegir las dimensiones de los dos pasadores restantes, es por eso el alto valor para el factor de seguridad en cada caso.

4.4.7.1 Pasador 1

De acuerdo al diseño propuesto, el conjunto de movimiento del pasador 1 estará acoplado como se muestra en la Ilustración 4.40. El pasador 1 acoplará al sujetador de rodamientos con el pin de sujeción.

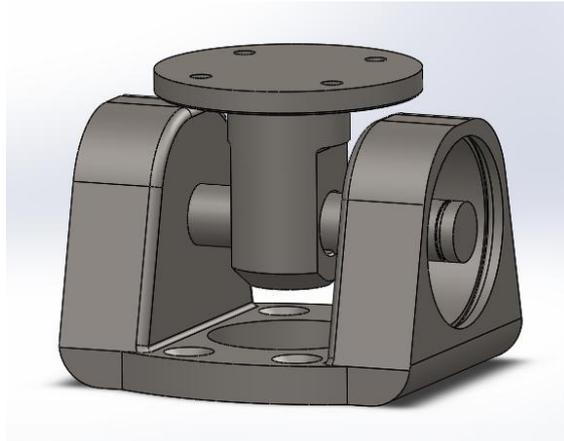


Ilustración 4.40 Conjunto de movimiento para pasador 1

4.4.7.1.1 Cálculos Generales

Para el pasador 1 se considera la fuerza máxima, diámetro propuesto, y ángulo crítico.

$$F_{act_max} := 1400 \quad (\text{N})$$

$$D := 25.4 \cdot \frac{1}{2} = 12.7 \quad (\text{mm})$$

$$\theta_1 := -45 \cdot \frac{\pi}{180} = -0.785 \quad (\text{rad})$$

$$\phi_1 := 10 \cdot \frac{\pi}{180} = 0.175 \quad (\text{rad})$$

$$\text{Area} := \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 126.677 \quad (\text{mm}^2)$$

Para el cálculo del pasador 1, se calculan las reacciones para determinar la fuerza de mayor magnitud.

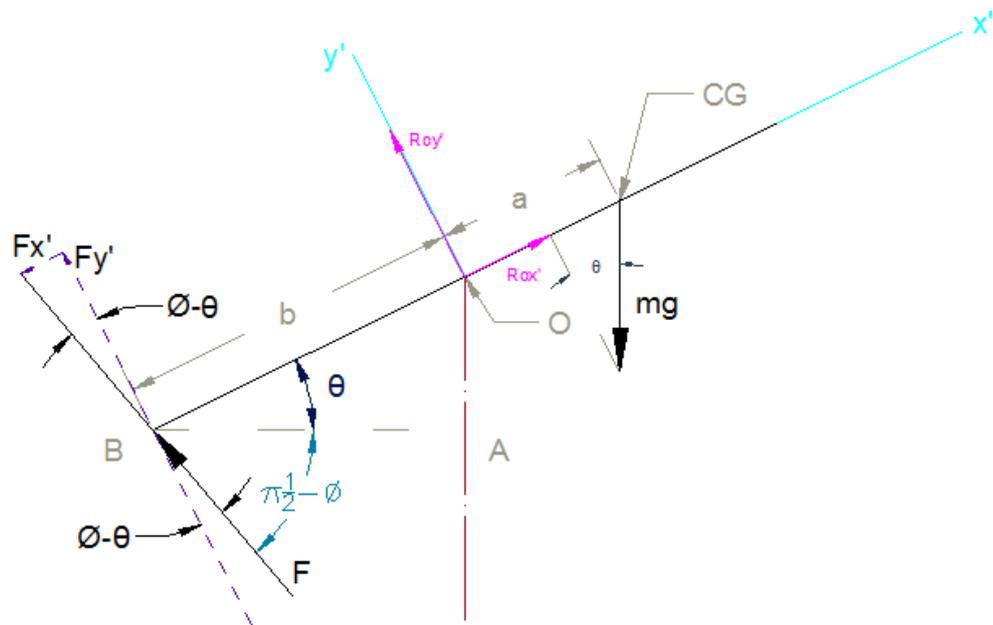


Ilustración 4.41 Diagrama de cuerpo libre del pasador 1.

$$R_{ox} := m_{total} \cdot g \sin(\theta_1) - F_{act_max} \cdot \sin(\theta_1 + \phi_1) = -28.828$$

$$R_{oy} := F_{act_max} \cdot \cos(\theta_1 + \phi_1) - m_{total} \cdot g \cdot \cos(\theta_1) = 314.978$$

$$R_{res} := \sqrt{R_{ox}^2 + R_{oy}^2} = 316.295$$

Se puede observar que la reacción es muy pequeña, por lo que se trata de encontrar la situación más crítica. Se considera las reacciones ejercidas en el pasador de acuerdo a la Ilustración 4.41 explicadas en el análisis de la pieza Tubo principal, al aplicar la máxima fuerza por el actuador lineal.

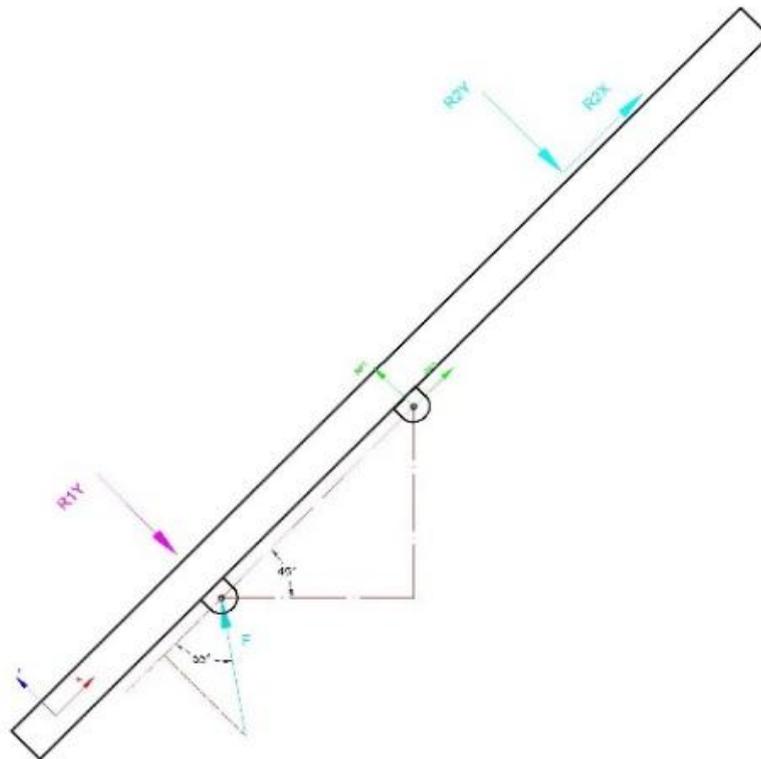


Ilustración 4.42 Reacciones en el pasador 1 ejercido por la aplicación de la fuerza máxima.

$$S_{y_a} := 220 \quad S_{sya} := 0.58 \cdot S_{y_a} = 127.6$$

$$\sum F = 0$$

–

$$R_1 := R_{2y} - F \cdot \sin(\theta_1) = -298.285$$

$$R_2 := R_{2x} - F \cdot \cos(\theta_1) = 45.521$$

$$R_{res} := \sqrt{R_1^2 + R_2^2} = 301.738$$

$$F_{p1} := \frac{R_{res}}{2}$$

$$\tau_{max} := \frac{F_{p1}}{Area} = 1.191$$

$$FS := \frac{S_{sya}}{\tau_{max}} = 107.139$$

Se considera además la situación crítica cuando el peso total del módulo más pesado se concentre totalmente en el pasador.

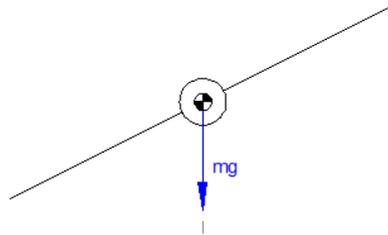


Ilustración 4.43 Diagrama de cuerpo libre del pasador 1.

$$F_{p1} := \frac{m_{total} \cdot g}{2}$$

$$\tau_{max} := \frac{F_{p1}}{Area} = 4.64:$$

$$FS := \frac{Ssya}{\tau_{max}} = 27.481$$

4.4.7.1.2 Diseño Geométrico



Ilustración 4.44 Geometría de pasador 1.

La geometría del pasador deberá tener una superficie plana para acoplar el prisionero del pin de sujeción con el pasador y transmitir todo el movimiento

hacia los rodamientos. El largo de la superficie plana deberá ser mayor que el prisionero a posarse, y menor que el ancho total del pin de sujeción.

Además deberá tener 2 ranuras para anillos externos como sujeción del pasador. Se propone dos ranuras en el pasador conforme a las medidas recomendadas por el fabricante, en el mercado se encuentra los anillos Arcon, para los cuales se propone el diseño. Los anillos seleccionados son 1400-50.

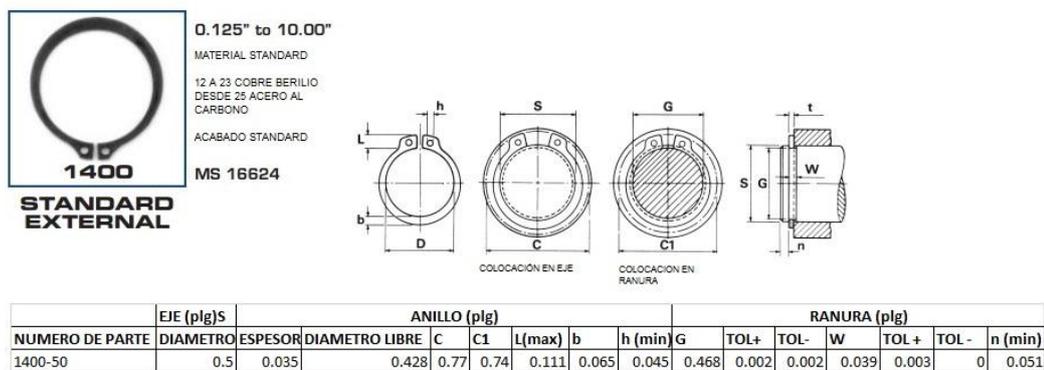


Ilustración 4.45 Anillo de retención (Corporation A. R., 2013)

4.4.7.2 Pasador 2

De acuerdo al diseño propuesto el conjunto de movimiento del pasador 2 estará acoplado como se muestra en la Ilustración 4.46.

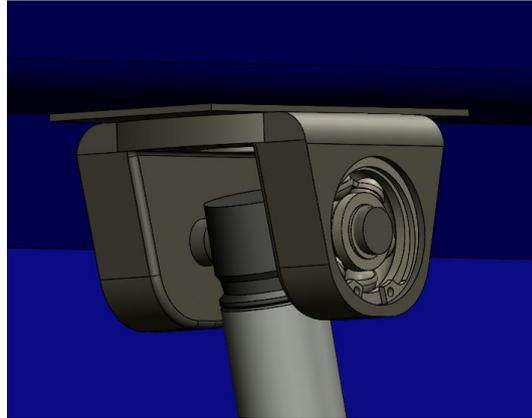


Ilustración 4.46 Conjunto de movimiento para pasador 2.

4.4.7.2.1 Cálculos Generales

Para el pasador 2, se considera la situación más crítica cuando el peso de la herramienta se concentra en el extremo más lejano.

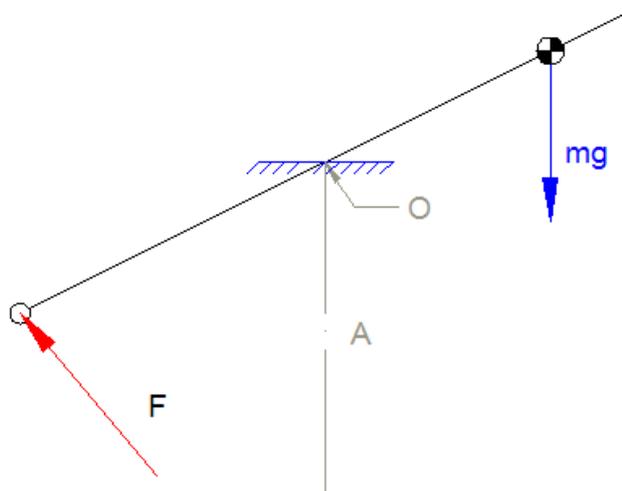


Ilustración 4.47 Diagrama de cuerpo libre del pasador 2.

$$F_{p2} := \frac{F_{act_max}}{2}$$

$$\tau_{max} := \frac{F_{p2}}{Area} = 5.526$$

$$FS_2 := \frac{S_{sya}}{\tau_{max}} = 23.091$$

4.4.7.2.2 Diseño Geométrico



Ilustración 4.48 Geometría de pasador 2.

El pasador 2 contará con dos ranuras propuestas en la sección 4.4.7.1.2. Debido a que el actuador lineal tiene un diámetro de 13 mm pero con el objetivo de estandarización se propone un pasador de $\frac{1}{2}$ plg con una sección de mayor diámetro de 13 mm para proporcionar que el pasador entre de manera ajustada al agujero del actuador lineal.

4.4.7.3 Pasador 3

De acuerdo al diseño propuesto el conjunto de movimiento del pasador 3 estará acoplado como se muestra en la Ilustración 4.49. El pasador 3 acopla el Kit Clevis de montaje del actuador lineal al sujetador de rodamientos. Debido a que el Kit Clevis es de acero estructural, se propone la unión de este al pasador por medio de puntos de soldadura para transferir el movimiento a los rodamientos.

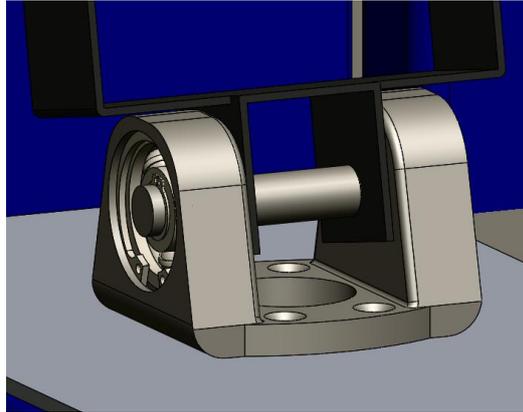


Ilustración 4.49 Conjunto de movimiento para pasador 3.

4.4.7.3.1 Cálculos Generales

Para el cálculo del tercer pasador, se toma en consideración que la fuerza aplicada por el actuador actuará en dirección del actuador lineal. Además se desprecia el peso del actuador debido a que es muy pequeño (6.8 kg, Ver Tabla 4.10).

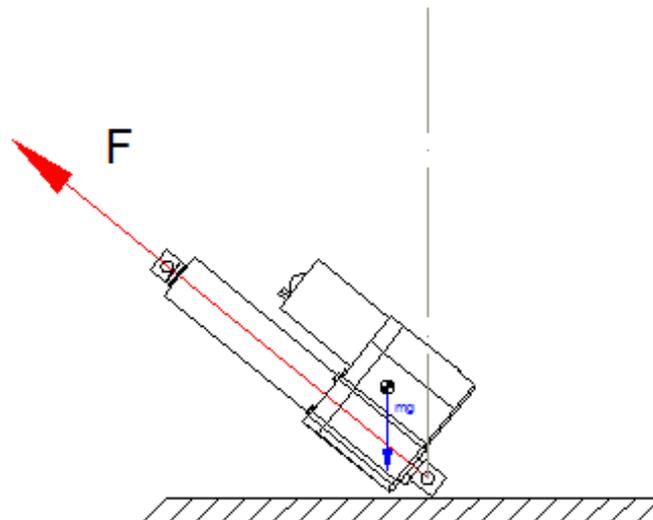


Ilustración 4.50 Diagrama de cuerpo libre del pasador 3.

$$F_{p3} := \frac{F_{act_max}}{2}$$

$$\tau_{max} := \frac{F_{p3}}{Area} = 5.526$$

$$FS_2 := \frac{S_{sya}}{\tau_{max}} = 23.091$$

4.4.7.3.2 Diseño Geométrico

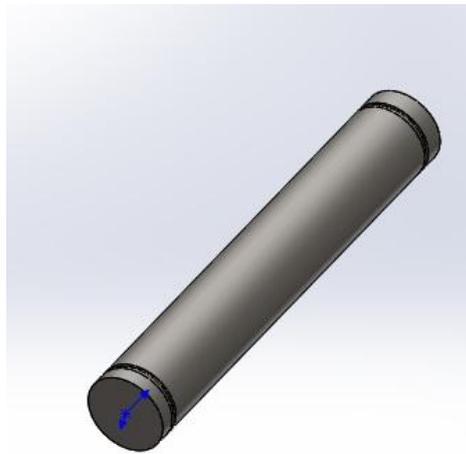


Ilustración 4.51 Geometría pasador 3

El tercer pasador tendrá una geometría lisa, con dos ranuras a los extremos como se analiza en la sección 4.4.7.1.2.

Todos los pasadores previamente descritos presentan factores de seguridad elevados, para el pasador 1, 2 y 3 los factores de seguridad son 27, 23,23 respectivamente. Se justifica el sobredimensionamiento debido a que el pasador deberá cumplir geoméricamente con el requisito de diámetro del actuador lineal y Kit del Clevis sujetador, además se escoge una geometría completa y no agujereada por facilidad de maquinado. El uso del material AISI 1018 es justificado debido a su disponibilidad y propiedades mecánicas que este posee.

4.4.8 PIEZAS DE ACOPLAMIENTO

En esta sección se detallarán los elementos que permitan acoplar todos los componentes de la EVL.

4.4.8.1 Alza

Por efectos de construcción y para evitar que la herramienta roce con los bordes del bastidor de herramientas, se instalará un alza que logrará un holgura de $\pm 5^\circ$ al giro de los módulos. Dicha alza estará sujeta al bastidor de herramientas, mediante 4 pernos. Estará sometida a todo el peso de la herramienta, mordazas de cadenas, peso de tubo y piezas, aproximándose a $F=1300$ N. Las medidas del alza se verán restringidas por la altura mínima que deberá tener la distancia (c) en la

Ilustración 4.6 para cumplir con el actuador lineal seleccionado. Para el ancho y largo de la pieza se propone una base cuadrada por facilidad de construcción de 120 x 120 mm de modo que la superficie superior contenga a la superficie mínima de la base del sujetador de rodamientos (Ver sección 4.4.6.4.2). Se propone un chaflán de 30 grados de 30 mm para obtener una mejor estética visual. Para quitarle peso a la pieza se propone un agujero de 35 mm de diámetro y 40 mm de profundidad, de modo que el peso reducirá en un 22%. Se propone que la pieza sea de fundición gris, y posteriormente mecanizada.

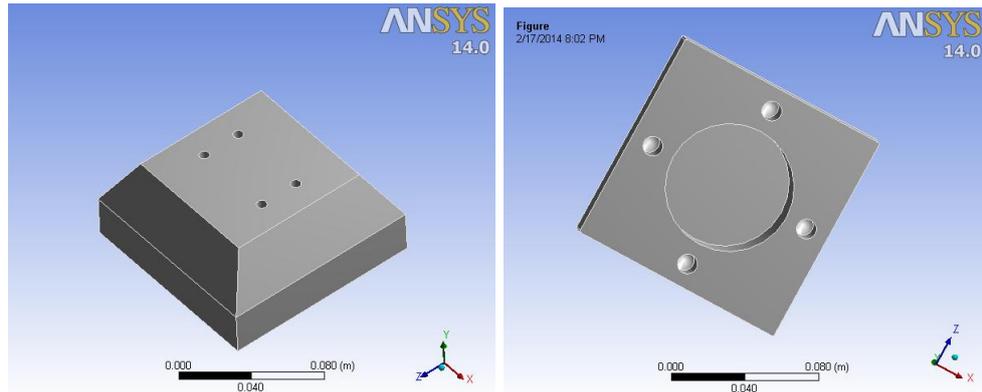


Ilustración 4.52 Modelado de alza.

Para el modelado se aplica 1300 N como fuerza en la superficie A, y se sujeta la pieza con soportes cilíndricos en la superficie inferior, además se simula la superficie en la que la pieza se va a asentar, como se muestra en la Ilustración 4.53. Obteniendo los siguientes resultados.

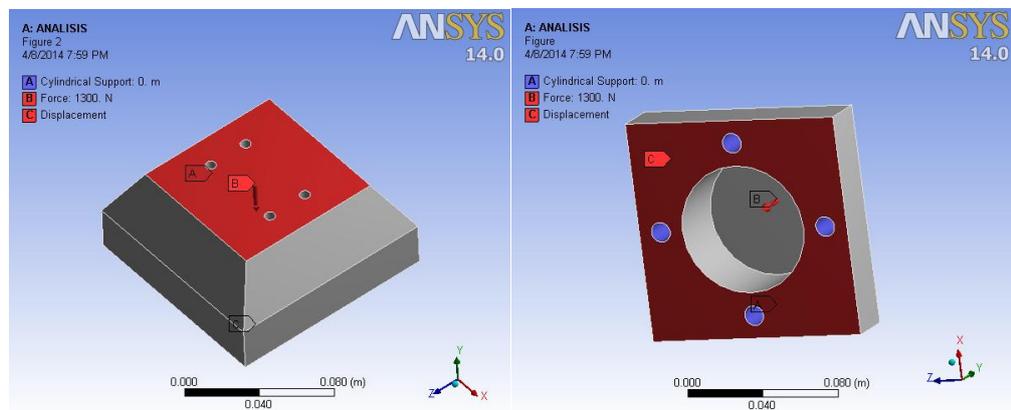


Ilustración 4.53 Fuerzas en alza.

4.4.8.1.1 Deformación total

La deformación máxima 0.0004 mm, ocurrirá en la cara superior de la pieza. Dicha deformación no afecta en lo mínimo el movimiento predicho para el mecanismo de giro.

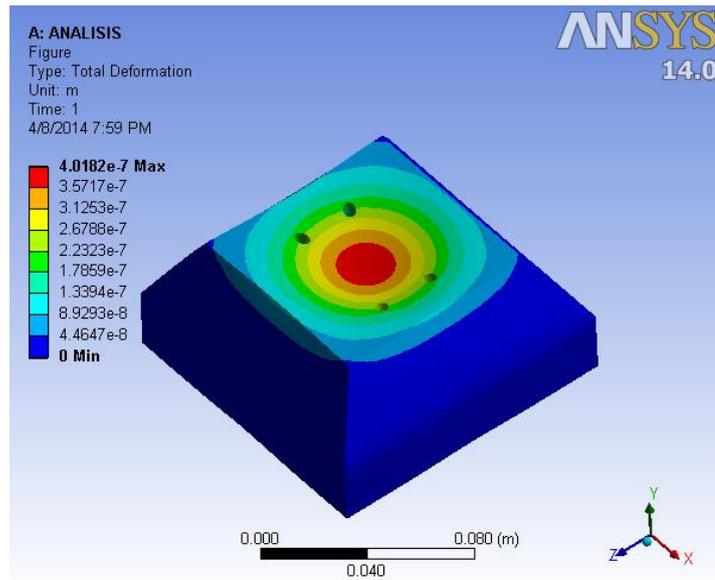


Ilustración 4.54 Deformación total en alza.

4.4.8.1.2 Esfuerzo equivalente de Von Mises

Al igual el esfuerzo equivalente máximo al cual será sometida la pieza es de 1.002 MPa. Comparamos con el esfuerzo último a la compresión para la fundición gris (280 MPa) (José, 1998).

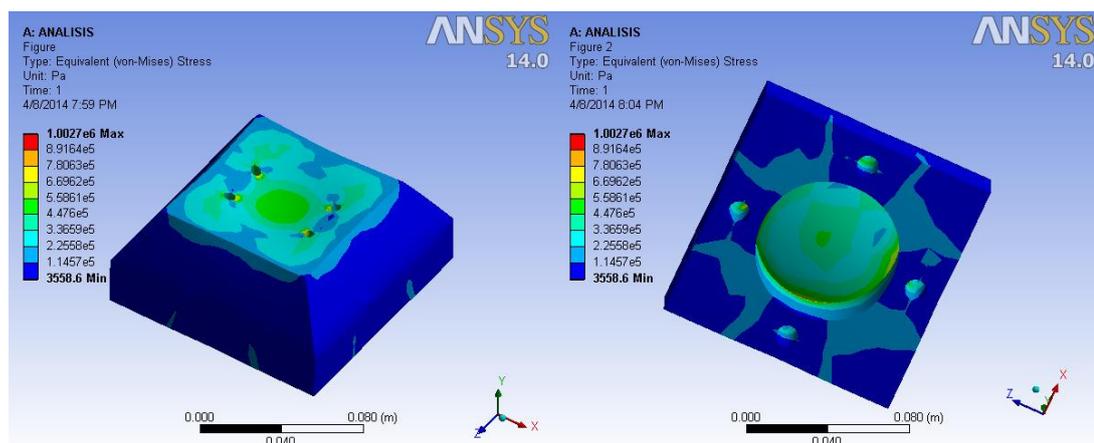


Ilustración 4.55 Esfuerzos Equivalentes de Von Mises en alza.

4.4.8.2 Pin de sujeción

Para el acoplamiento entre la estructura y el tubo se propone el pin modelado en la Ilustración 4.56 siguiente, la pieza estará sujeta por 4 pernos pasantes al tubo. Esta pieza deberá cumplir con el requisito de proporcionar un movimiento suave, continuo, y además deberá soportar el peso del tubo, herramienta y mordazas de cadena. Debido a que esta se acoplará al pasador sujeto por la pieza sujetador de rodamientos, a ambos lados, la propuesta de diseño consta en que los rodamientos sean los que rigen el movimiento. Se propone una pieza mecanizada que sujetará el pasador mediante un prisionero tipo Allen M3 de punta plana. El diseño de la pieza propuesta se encuentra en la siguiente Ilustración 4.56.

Al ir la pieza sujeta al pasador se considera que esta soportará todo el peso de 1300 N, descrito en la sección 4.2.1.2.2

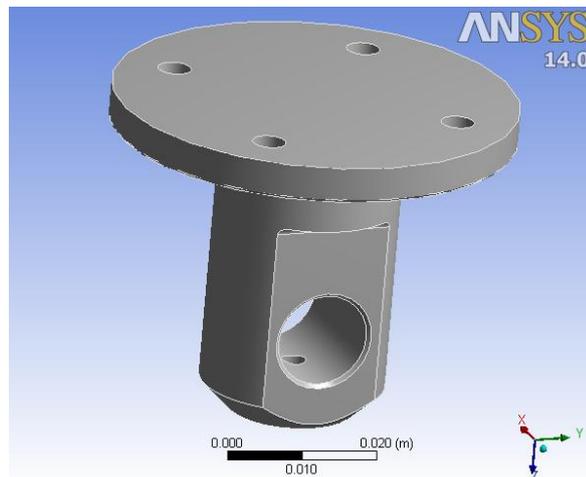


Ilustración 4.56 Modelado de pin de sujeción.

Además se considera la superficie A y B como sujetas por pernos y por el pasador respectivamente.

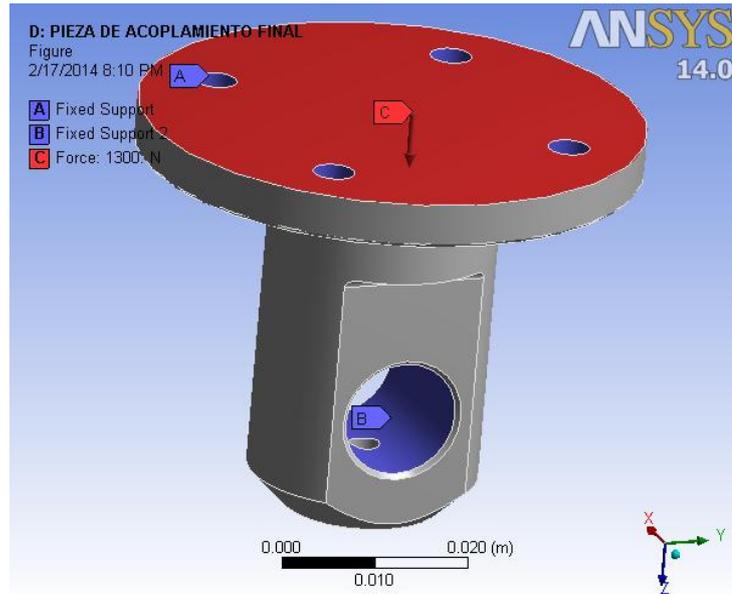


Ilustración 4.57 Fuerzas en pin de sujeción.

4.4.8.2.1 Deformación total

La deformación máxima de 0.00157 mm ocurrirá en la cara superior de la pieza. Dicha deformación no afecta en lo mínimo el movimiento predicho para el mecanismo de giro.

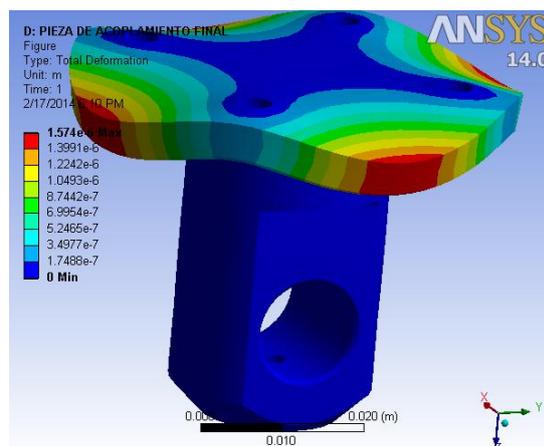


Ilustración 4.58 Deformación total en pin de sujeción.

4.4.8.2.2 Esfuerzo equivalente de Von Misses

El esfuerzo equivalente máximo al cual será sometida la pieza es de 1.95 MPa, valor muy inferior a la fluencia del acero.

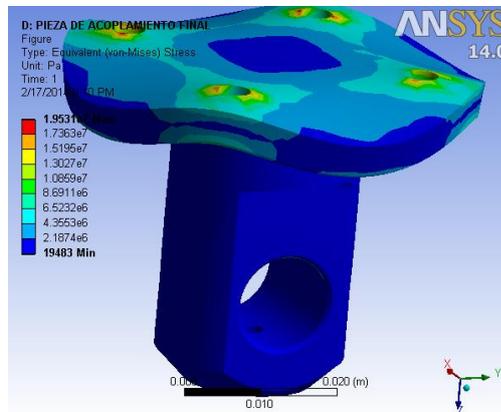


Ilustración 4.59 Esfuerzos equivalentes de Von Mises en pin de sujeción.

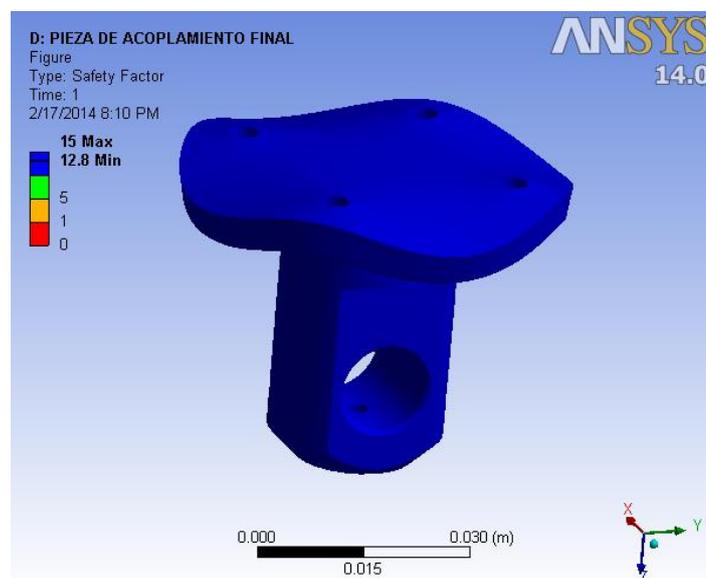


Ilustración 4.60 Esfuerzos equivalentes de Von Mises en pin de sujeción.

A pesar de tener en el modelado un factor de seguridad de 12 de la Ilustración 4.34 (b) en el análisis de la pieza Tubo principal, se encontró un

factor de seguridad de 3 para la pieza, de acuerdo al movimiento del mecanismo. Por lo que el diseño de la pieza es apta para su funcionamiento.

4.4.8.3 Placa de roscar

Para obtener la unión del pin de sujeción al tubo, se soldará una placa de roscar en la sección a sujetarse. La placa tendrá un espesor de 2 mm logrando que el espesor total entre tubo y placa sea de 5 mm, cumpliendo el mínimo espesor de la tuerca de un M5 (4mm).

El largo de la pieza será de dos veces el diámetro del pin de sujeción para cumplir una distribución simétrica. El ancho de la placa se ve restringido por el espacio liso del tubo de 75 x 75 mm con dimensión de 55 mm.

4.4.8.3.1 Placa de roscar lateral

Consta de 4 agujeros que sujetan a la pieza Sujetador de Rodamientos, en el extremo lateral.

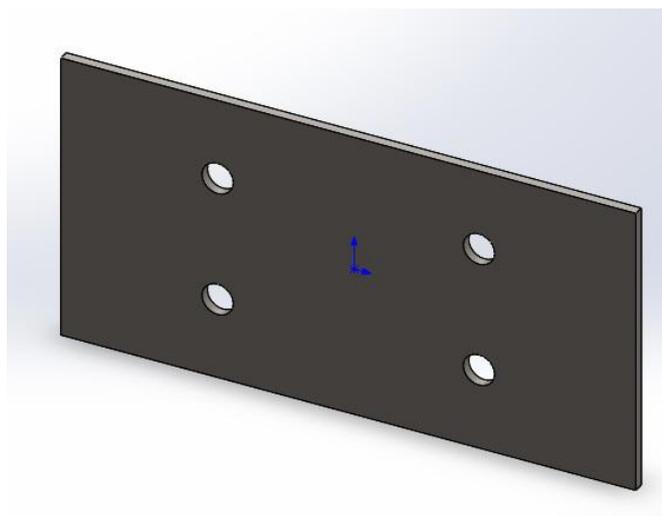


Ilustración 4.61 Placa de roscar.

4.4.8.3.2 Placa de roscar central

Consta de 4 agujeros en una circunferencia de 40 mm que sujetan a la pieza Pin de sujeción en el centro o pivote.

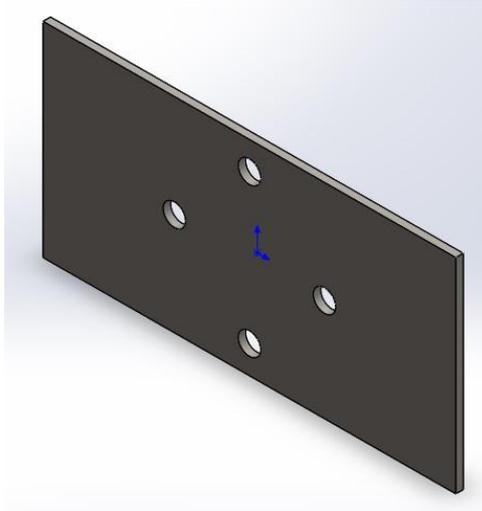


Ilustración 4.62 Placa de roscar central.

4.4.8.4 Sujetador de Rodamientos

4.4.8.4.1 Diseño

Se propone la construcción de tres piezas sujetadoras de rodamientos que servirán de pivotes para los pasadores 1, 2 y 3. La pieza mecanizada deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Construida de modo que las piezas que rotan en el pasador no choquen.
- Resistir el peso del tubo, mordazas de cadena y módulo a realizar el procedimiento, o la fuerza del actuador lineal para el pasador 3.
- Sujetar a los rodamientos de 1/2" disponibles en el mercado.

- Sujetada a la superficie fija de manera segura, sin que estas interfieran en movimiento.
- Fácil acceso para intercambiar los rodamientos y los pasadores de ser necesario.
- Las dimensiones de la base de la pieza debe calzar en el espacio disponible dentro del bastidor de herramientas.
- Deberá tener altura necesaria para que el Kit de montaje Clevis de Thomson no choque con el bastidor de herramientas.
- Deberá ser visualmente estética.
- Se propone la construcción de la pieza con Acero 1020, debido a su trabajo en un ambiente altamente corrosivo. Además la pieza deberá ser construida mediante suelda y posteriormente mecanizada.

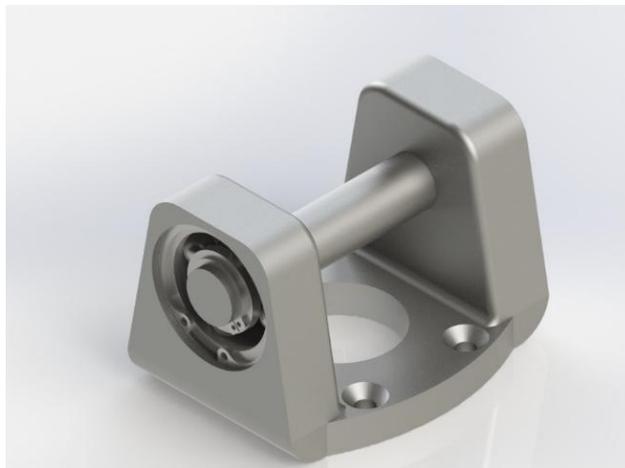


Ilustración 4.63 Propuesta de diseño para sujetador de Rodamientos.

4.4.8.4.2 Agujeros

La pieza tendrá 5 agujeros aparte de los 4 agujeros de sujeción. La pieza tendrá un agujero central para quitar la mayor parte de peso posible, con un diámetro de 34 mm el peso de la pieza se reducirá aproximadamente en 10%.

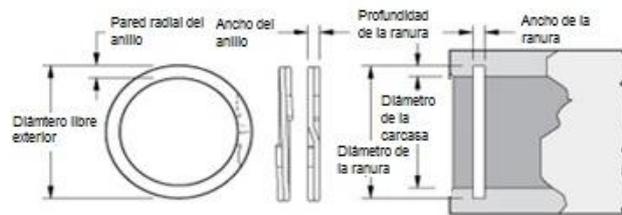
Los agujeros laterales tendrán las dimensiones del diámetro exterior del rodamiento más común en el mercado (40 mm). Por motivos de estética y con el objetivo que el rodamiento tenga una superficie de apoyo se propone una pared interna agujereada con el diámetro del pasador de 1/2".

La pieza tendrá 4 agujeros roscados M5, avellanados para evitar el contacto de las superficies con el objeto rotante posicionado en el pasador.

4.4.8.4.3 Sujeción

Para sujetador tanto el rodamiento como el pasador en su lugar se utilizarán anillos de retención. Para la sujeción de del rodamiento en el armazón principal se utilizará anillos DIN métricos, de 40 mm.

Para las ranuras, se seguirán las recomendadas DIN, como se observa en la Ilustración 4.64.



Numero de parte :	DNH-40
tipo de anillo :	Internal Ring
Diámetro exterior :	40.00
Diámetro de la ranura :	42.50 +0.25/-0.00
Ancho de la ranura (mm):	1.85 +0.14/-0.00
Diámetro exterior libre (mm):	42.93 +.51/-0.00
Ancho del anillo (mm):	1.69 +/-0.05
Pared radial del anillo(mm):	4.01 +/-0.10
Número de vueltas :	2
Cortante del anillo (N):	61498 (basado en el FS 3)
Fluencia de la ranura (N):	24368 (basado en el materia de la ranura como fluencia de N/mm ³ y factor de seguridad de 2)

Ilustración 4.64 Denominación de anillo de retención interior y ranura DIN para uso en las pieza Sujetador de Rodamientos (Company, 2014).

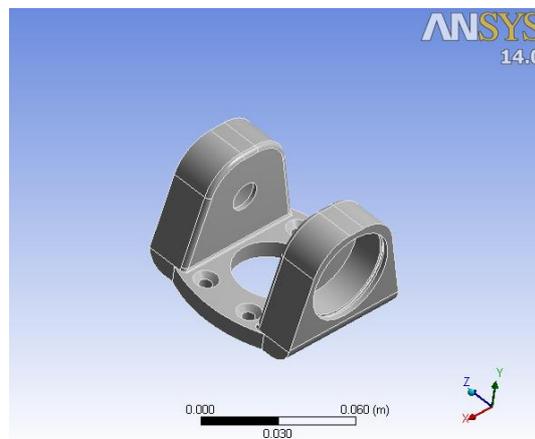


Ilustración 4.65 Modelado de la pieza sujetador de rodamientos.

4.4.8.4.4 Fuerzas

La situación crítica para la pieza es cuando esta sea sometida a la máxima fuerza del actuador lineal. Es decir a 1400 N, como existen dos soportes, el modelado se encuentra dividido en cada apoyo a 700 N donde existen los

rodamientos. Las superficies A como se muestra en la Ilustración 4.66, son las superficies fijas.

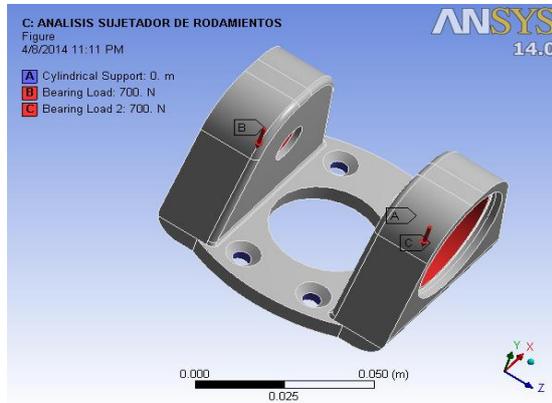


Ilustración 4.66 Fuerzas aplicadas a la pieza.

4.4.8.4.5 Deformación total

Se observa que la pieza tiene abrirse hacia los lados, obteniendo una deformación máxima de 0.039 mm. La deformación no afectará el comportamiento del mecanismo de giro y no afectará en los cálculos predispuestos.

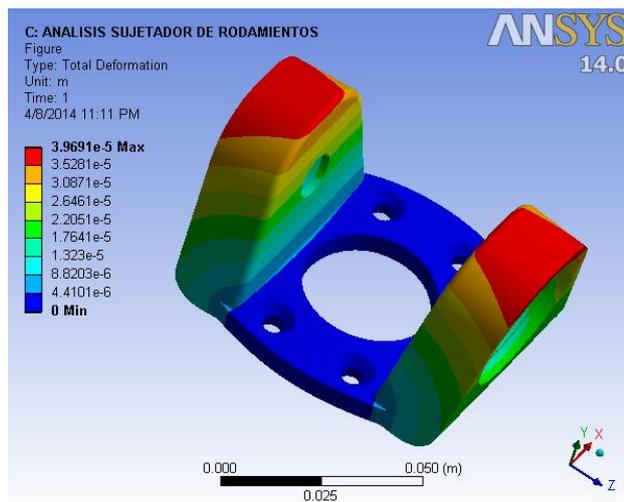


Ilustración 4.67 Deformación total en la pieza.

4.4.8.4.6 Esfuerzos Equivalentes

Los mayores esfuerzos se obtienen donde se ubicarán los tornillos, mostrando un máximo de aproximadamente 92 MPa, limite muy inferior a la de la fluencia del acero.

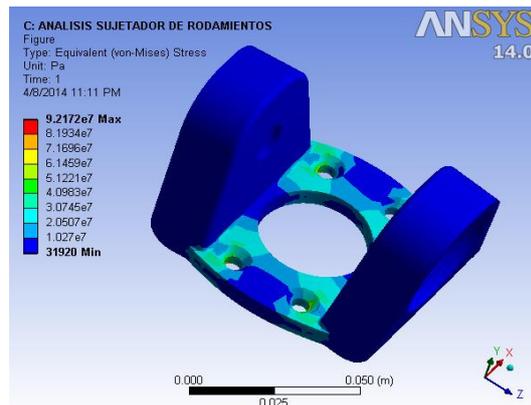


Ilustración 4.68 Esfuerzos equivalentes de Von Mises.

4.4.8.4.7 Factor de Seguridad

Se tiene un factor de seguridad mínimo de 2.7, suficiente para la aplicación necesaria. Los esfuerzos más prominentes se ven en los agujeros que sujetan al tubo.

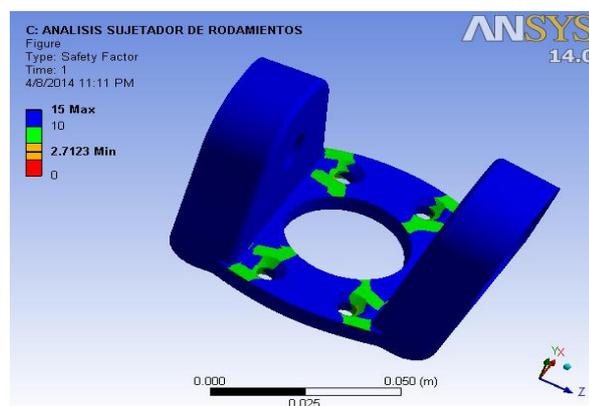


Ilustración 4.69 Factor de seguridad.

4.4.8.5 Rodamientos

La EVL necesitará rodamientos en los 3 puntos donde existirá rotación de los elementos, se usarán uno en cada extremo del pasador, acoplados a las piezas sujetadores de rodamientos de la sección 4.4.8.4.

El kit de montaje para el actuador lineal, posee un agujero de diámetro de $\frac{1}{2}$ plg, el cual define el diámetro del pasador 3; para el pasador 2, el diámetro del pasador se define por el diámetro del agujero superior del actuador lineal (13 mm), se propone un pasador con una sección de diámetro de 13 mm y otra de $\frac{1}{2}$ plg a los extremos de este para obtener el ajuste entre el pasador y el actuador; para el pasador 1 se usará el diámetro de $\frac{1}{2}$ plg para obtener una estandarización de los elementos. Se propone utilizar rodamientos de $\frac{1}{2}$ plg en los 3 puntos de rotación, y los mismos sujetadores de rodamientos en los 3 puntos. Se utilizarán rodamientos de bolas de una sola hilera, debido a las pequeñas dimensiones del ensamble y al tipo de carga a los que serán sometidos los pasadores (fuerzas radiales). Debido a que el mecanismo se encontrará en reposo gran parte de su funcionamiento, los rodamientos estarán sujetos a cargas estáticas o se someterán a movimientos lentos basados en la velocidad del actuador lineal (0.37 plg/s) (Ver Tabla 4.10).

Por disponibilidad del mercado, se elige los rodamientos de $\frac{1}{2}$ plg de la Serie 6203, disponibles en NTN y WJB.

A continuación se presenta los rodamientos posibles a seleccionarse y use define las medidas referenciales de cada ilustración en la Tabla 4.29.

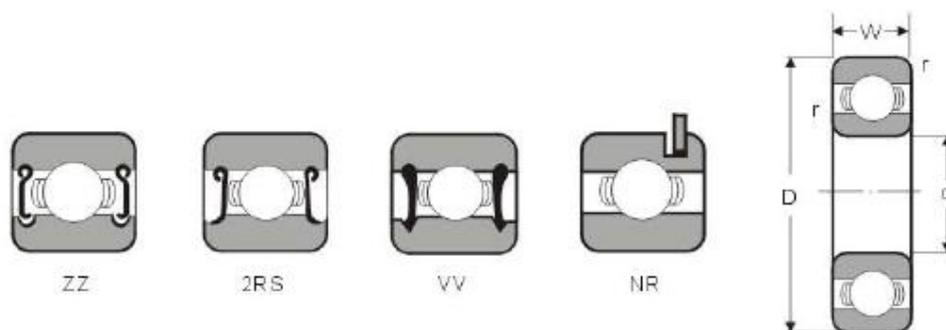


Ilustración 4.70 Esquema de medidas del rodamiento 6203-8 marca WJB (GROUP, 2011).



Ilustración 4.71 Esquema de medidas del rodamiento 6203/12.7 NTN (Corporation N. B., 2013).

Tabla 4.29 Parámetros del rodamiento ½ plg

		mm					lbs	
MARCA	SERIE	W	D	d	r	r ₁	C dinámico	C ₀ Estático
NTN	6203/12.7	12	40	12.7	0.6	0.5	2160	1030
WJB	6203-8	12	40	12.7	1	1	2160	1030

(NTNcorporation, 2007) (GROUP, 2011)

Debido a que la diferencia entre los dos rodamientos se basa solo en los radios internos, la geometría no interfiere en su selección. Se recomienda tanto los rodamientos NTN como los WJB de las series propuestas.

4.4.8.5.1 Cálculos

Comprobación de carga estática de chumaceras y rodamientos.

$$F_{p2} := 700 \quad F_{r2} := F_{p2} = 700$$

$$X_o := 1 \quad \text{Estatico}$$

$$Y_o := 0 \quad C_s := 1030 \quad (\text{N})$$

$$P_{or2} := F_{r2} = 700 \quad (\text{N})$$

$$FSb2 := \frac{C_s}{F_{r2}} = 1.471$$

Las chumaceras y rodamientos seleccionados, cumplirán con el requerimiento estático, teniendo factores de seguridad para el caso más crítico de 1.5 aproximadamente para los pasadores 1,2 y 3 respectivamente.

4.4.8.5.2 Selección

Para la aplicación se requieren rodamientos que tengan un extremo cerrado ya que este irá trabado con el anillo de sujeción y se recomienda que no ingrese ningún tipo de contaminación por un extremo. En WJB la opción a escoger es RS, 2RS, o recubierto por caucho reforzado a uno o ambos lados. En NTN, las opciones pueden ser LLU, o LLB, los cuales son igualmente de caucho, sujetos por contacto al anillo interior, o sin contacto respectivamente. En el mercado la opción más disponible es NTN 6203-8 2RS.

4.4.9 GARRUCHAS

Para la selección de las ruedas industriales se debe tomar en cuenta algunas características, para cualquier proveedor.

Se requerirá de un diámetro de rueda de 3 plg o 4 plg para facilitar el movimiento de la EVL, que será dirigida de forma manual por los operadores, se considera que el movimiento estará sometido a la velocidad de una persona caminando (4 a 6 km/h) (Antonio, 2014).

Se propone ruedas de poliuretano ya que el uso de ruedas rígidas hace que movimiento sea más fácil y no se requiere proteger el piso de hormigón.

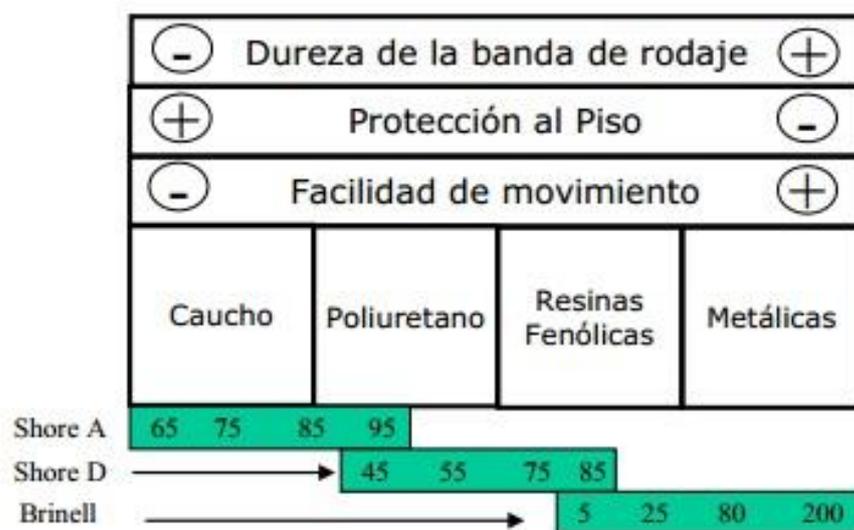


Ilustración 4.72 Esquema de Selección de Ruedas (Antonio, 2014).

Se usarán giratorias para facilitar el movimiento en todas las direcciones dentro del taller donde se colocará la EVL.

Debido a la funcionalidad de la EVL se tendrá que todas o mínimo 3 ruedas posean un freno.

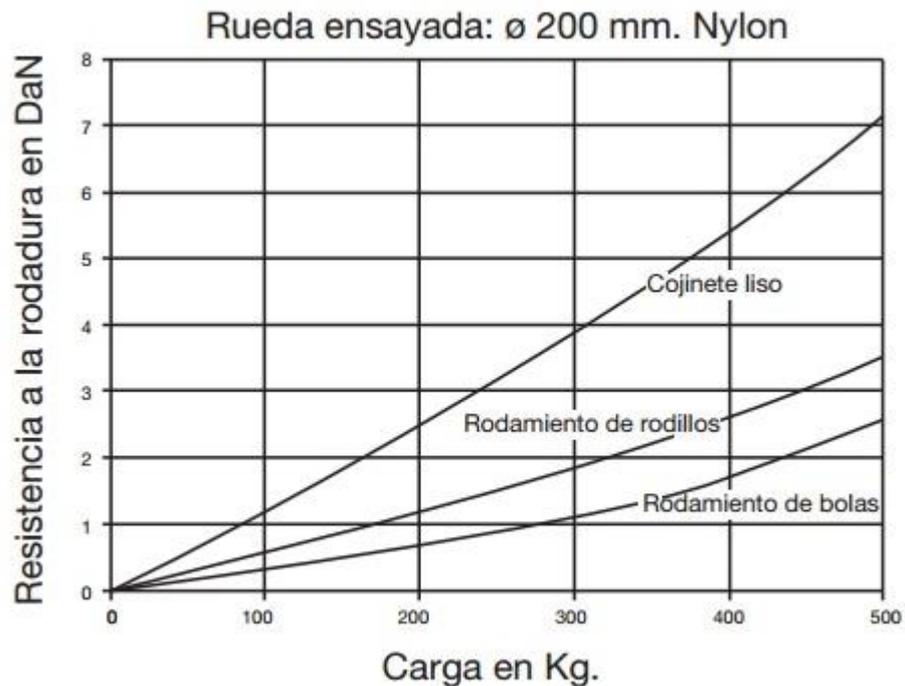


Ilustración 4.73 Gráfico de Selección de ruedas (Piera, 2010).

4.4.9.1 Disposición General

Se requerirá una configuración de ruedas para el bastidor principal y para el bastidor secundario. La disposición será escogida con el objetivo que los puntos de apoyo transfieran la carga directamente al piso y que balanceen simétricamente las cargas de toda la EVL.

4.4.9.1.1 Bastidor principal

Para el bastidor principal se propone la configuración de 5 ruedas, con 4 puntos de apoyo en las esquinas y uno que permita transferir la carga ejercida por el actuador lineal directamente al piso. Se propone subir 1 mm la rueda de la mitad de manera que al ocurrir la deformación la llanta media se asiente al piso. Mientras que cuando la máquina se desplace sin carga solo tenga los 4 apoyos.

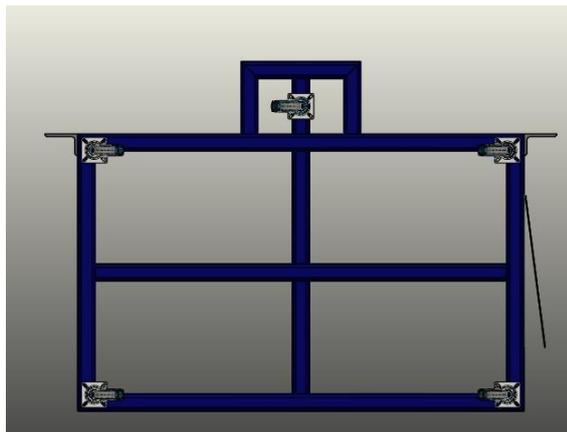


Ilustración 4.74 Disposición de ruedas de bastidor principal.

4.4.9.1.2 Bastidor secundario

Debido a la funcionalidad del bastidor secundario las ruedas podrán tener un diámetro menor al propuesto para la estación. Se propone una configuración de 5 ruedas.

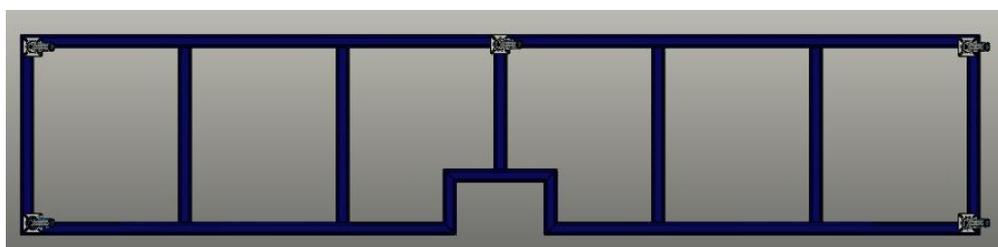


Ilustración 4.75 Disposición de ruedas de bastidor secundario.

4.4.9.2 CÁLCULOS

4.4.9.2.1 Cargas totales

Para el cálculo de las cargas a las que estarán sometidas cada una de las ruedas se considera el peso de todos los componentes de la EVL, y la carga de la herramienta a someterse, presentándose como sigue en las Tabla 4.29 y Tabla 4.30.

Tabla 4.30 Cargas totales en Bastidor Principal

ITEM	PESO Kg
Herramienta más pesada	95.455
Peso tubo	7.185
Peso mordazas	13.4
Peso piezas	4
Bastidor principal	35
Bastidor de herramientas	11
Toles	108
Sujetador de bombas	37
Recipientes	60
PLC, módulos, HMI	4.01
Bomba ENERPAC	20
Bomba WELCH	58
Solenoides + control manual	7.886
Sensores, transmisores y transductores	10
Electrónicos, rieles, tornillos	15
Tubería, mangueras, acoples	10
Actuador lineal	7
Peso humano	60
Oil pail	23.82
Segundo contenedor	2
TOTAL	588.756

Tabla 4.31 Cargas en bastidor secundario

ITEM	PESO Kg
Bastidor de piso	22.4
Chapa de piso	27
Sujetadores en ángulo	2
Peso operador	60
TOTAL	111.4

4.4.9.2.2 Carga por rueda

Debido a que las llantas soportarán todo el peso de la maquinaria y a que la EVL se verá sometida a varias cargas, se utilizará un factor de seguridad de 2. Se utilizará la configuración de 6 ruedas para mejor movilidad.

4.4.9.2.3 Selección

Para el bastidor principal y tomando la referencia a la Ilustración 4.74. La rueda disponible en el mercado que cumple con todos los requisitos especificados, es la garrucha giratoria IMSA-COLSON de 4 x 1 ½ plg.

$$F_s := 1.7$$

$$\text{Carga}_{\text{total}} := 588.756 \text{ Kgf}$$

$$n := 5$$

$$C_r := \frac{\text{Carga}_{\text{total}} \cdot F_s}{n} = 200.177 \text{ Kgf}$$

Se requerirá de ruedas que soporten alrededor de 200 Kg por rueda. Se debe considerar que la rueda que transmitirá la fuerza del actuador lineal al piso, resista la fuerza máxima del actuador lineal (~140 Kg).



Ilustración 4.76 Garruchas giratorias IMSA-COLSON (IMSA-COLSON, 2013)

Característica	Especificación
----------------	----------------

Dimensiones	4 x 1 ½ plg
Carga	200 Kg. C/u
Material	Poliuretano duro
Forma de giro	Buje de nylon, rin de polipropileno
Otros	Galvanizado con doble pista de esferas y grasera de lubricación.

(IMSA-COLSON, 2013)

Para el bastidor secundario, se requiere el uso de ruedas que soporten menos de 20 Kgf. Para el bastidor secundario el tamaño de las ruedas deberá ser el mismo de las del bastidor principal, para la obtención de la estandarización del proceso y elevar la altura que tenga el operador, de manera que se le facilite la colocación del módulo a realizar el proceso en el bastidor de herramientas.

Se propone que la disposición final de ruedas sea como se observa en la Ilustración 4.77.

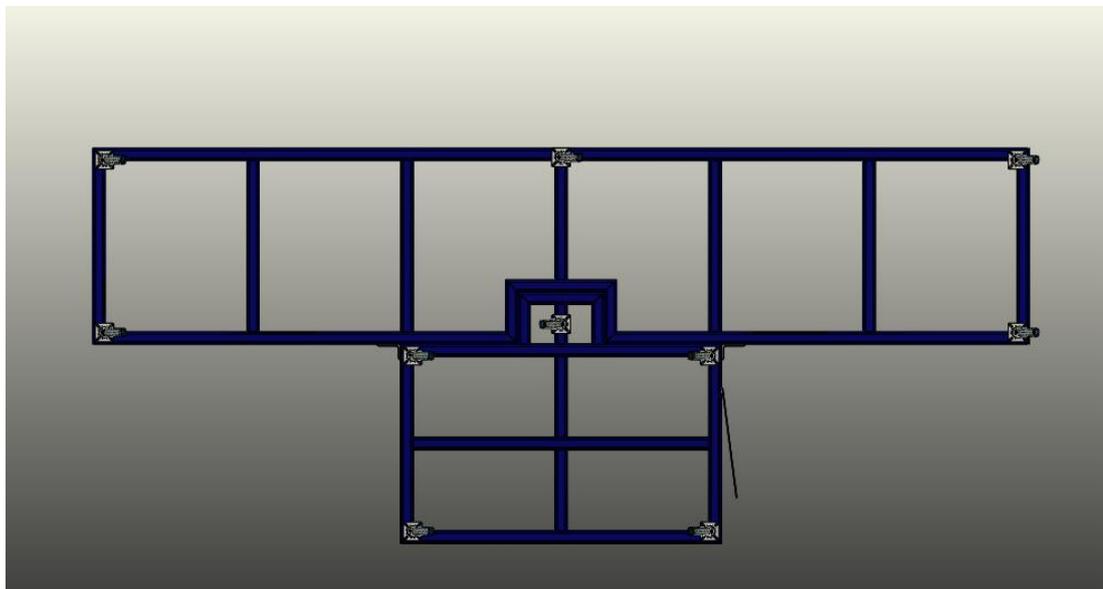


Ilustración 4.77 Disposición final de ruedas para EVL.

4.4.10 SOPORTE DE ACCESORIOS

4.4.10.1 Diseño

Se requiere de un soporte que distribuya las válvulas de preferencia que separe los tipos de líneas, ya sea aceite o aire. Deberá acoplarse a la estructura interna, y posicionarse lo más cerca posible del PLC, recipientes y filtros. Deberá facilitar el acceso a mangueras y tuberías para su fácil colocación, montaje o desmontaje.

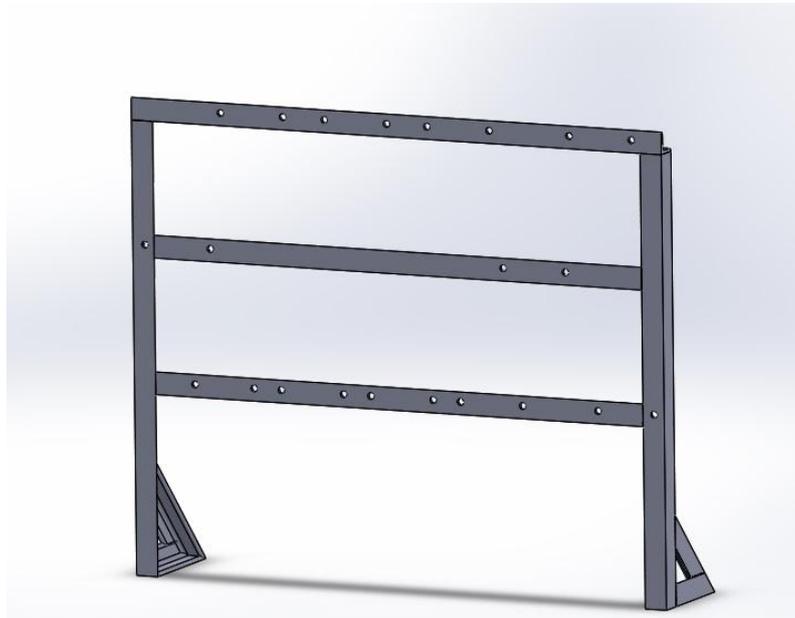


Ilustración 4.78 Modelado de soporte de válvulas.

Se propone la construcción de una estructura de ángulo de 20 x 20 x 2, por ser el más pequeño disponible en el mercado.

La estructura no requiere de un diseño estructural elaborado, debido a que soportan pesos que no afectarán el desempeño de esta (~11 Kg).

Tabla 4.33 Pesos en soporte de válvulas

ITEM	PESO ITEM (Kg)	NÚMERO	PESO TOTAL (Kg)
Válvulas	0.56	11	6.16
Tubería/manguera	5	1	5
PESO TOTAL			11.16

Todas las piezas se encuentran detalladas en el Anexo 9.1, donde sus medidas u otras especificaciones de montaje, o construcción estarán planteadas.

5 SIMULACIÓN Y MODELADO

5.1 DETERMINACIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA LA SIMULACIÓN

Después de analizar los procesos de vaciado y llenado (Diagramas de flujo de las secciones 2.3 y 3.1) de todos los módulos, se determina que el módulo a usarse en la simulación será el módulo MTA, de la herramienta TeleScope por las siguientes razones:

- Requiere más intervención humana que los demás módulos.
- Es junto al módulo MMA el que mayor ángulo de giro requiere.
- Tiene el mayor volumen y presión de presurización entre todos los módulos.

Como constancia de que todos los procesos previamente expuestos, se han simulado de forma correcta, se realizó un video mediante el Software CAMSTASIA Studio, versión TRIAL. En el video se explica cada paso del proceso.

5.2 MODELADO DE LA ESTACIÓN

Al concluir los capítulos de diseño conceptual y de detalle, se generaron los planos del Anexo 9.1.1, que nos permiten observar la estación modelada en tres dimensiones.

El bastidor de la EVL consta de 3 partes, el bastidor principal, el bastidor de herramientas y bastidor base; el bastidor de herramientas irá unido

mediante soldadura al bastidor principal formando así una sola estructura, y el bastidor base irá unido a la estructura obtenida de la unión anterior mediante una junta empernada a cada lado como se observa en la vista explotada de los planos de construcción y ensamblaje del Anexo 9.1.1.

Todos los elementos de la EVL estarán ubicados en el interior de la misma, en espacios especificados en la vista explotada de los planos de construcción y ensamblaje del Anexo 9.1.1. Estos estarán separados según el tipo de elemento, así el PLC, módulos de expansión, relés y demás elementos eléctricos estarán ubicados en rieles normalizadas DIN fijadas al bastidor principal de la EVL; las bombas tanto de vacío como de llenado estarán en una sub estructura ubicada en la base del bastidor principal de la EVL; los componentes mecánicos de la EVL, tales como rodamientos, pines, pasadores, anillos de fijación, sistemas de sujeción, y demás componentes deberán ensamblarse como se diagrama en la vista explotada de los planos de construcción y ensamblaje del Anexo 9.1.1.

Una vez instalados todos los componentes tanto eléctricos como hidráulicos, estos deberán ser conectados según se indica en el diagrama hidráulico y eléctrico de los Anexos 9.2 y 9.3 respectivamente.

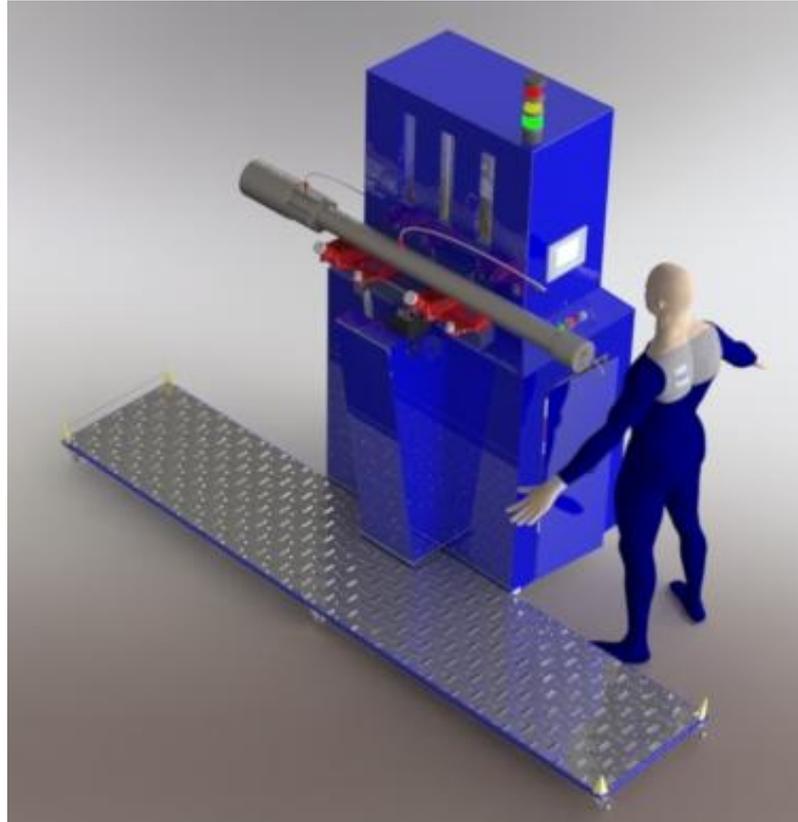


Ilustración 5.1 Modelado de la estación, isometría vista frontal.

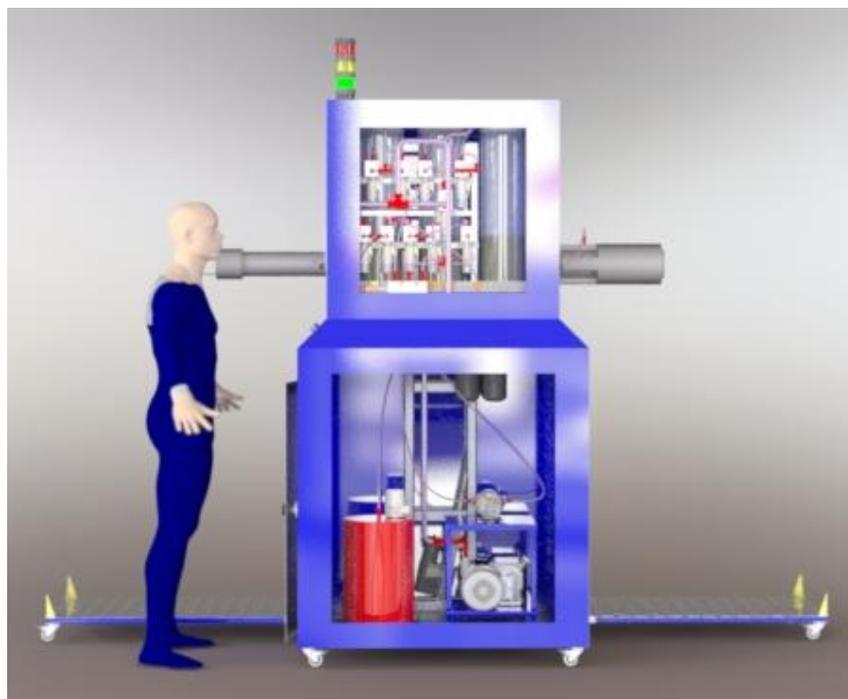


Ilustración 5.2 Modelado de la estación, vista trasera.

5.2.1 LISTA DE MATERIALES

En base a los componentes seleccionados en los capítulos de diseño conceptual y de detalle se elaboró la lista de materiales a contenida en la Tabla 5.1y Tabla 5.2.

Tabla 5.1 Lista de materiales y componentes, parte 1

# ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE
1	1	CPU PLC	SIEMENS
2	1	Touch panel PLC	SIEMENS
3	1	Módulo expansión PLC	SIEMENS
4	2	Módulo expansión PLC	SIEMENS
6,7,8	8	Relés para riel DIN 24V (requiere 5A, real 10A)	SIEMENS
6,7,8	8	Base riel DIN para relé auxiliar 3 conmutadores a	SIEMENS
7B	2	RELÉ PARA RIEL DIN 24V (requiere 15A, real 20A)	SIEMENS
9	1	Fuente 110VAC a 12VDC	N/R
10	1	Fuente 110VAC a 24VDC	SCHNEIDER
11	1	Bomba hidráulica	ENERPAC
12	1	Bomba vacío	WELCH
13	1	Filtro aceite para montaje en línea doble salida	N/R
14	12	Solenoides	SUN HYDRAULICS
15	1	Solenoides	SUN HYDRAULICS
15	1	Control manual	SUN HYDRAULICS
16	10	Conectores múltiples	SUN HYDRAULICS
17	2	Conectores múltiples	SUN HYDRAULICS
18	1	Conector múltiple	SUN HYDRAULICS
19A	1	Transductor presión	OMEGA
20	2	Transmisor presión vacío	PROSENSE
21	3	Transmisor nivel	OMEGA
22	1	Interruptor nivel	OMEGA
23	1	Actuador lineal	THOMSON
24	1	Kit montaje tipo clevis	THOMSON
25	2	Mordazas de banco con cadena	RIDGID-IRIMO
26A	1	Baliza - conjunto 3 colores - 110 VAC	CAMSCO
32	1	Selector dos posiciones metálico	N/R
33	1	Pulsador con roseta verde metálica NO	SIEMENS
34	1	Pulsador emergencia metálico	SIEMENS
36	3	Metros de riel DIN para PLC y accesorios	N/R
38	2	Libretines marcadores mixto A-Z 0-9	N/R
39	20	Fusibles para riel DIN	N/R
40	5	Fusible para riel DIN	N/R
42	16	Base portafusible para riel DIN	N/R
43	6	Rodamientos de bola	N/R
44	1	Switch térmico	N/R

Tabla 5.2 Lista de materiales y componentes, parte 2

# ITEM	MODELO	CÓDIGO PEDIDO
1	1215C AC/DC/Relay	6ES 7215-1BG31-0XB0
2	HMI KTP600 BASIC COLOR PN	6AV 6647-0AD11-3AX0
3	SM 1231	6ES 7231-4HF32-0XB0
4	SM 1222	6ES 7222-1HF32-0XB0
6,7,8	LZS/LZX RELÉS INDUSTRIALES MINIATURA	LZX:PT370024
6,7,8	LZS/LZX RELÉS INDUSTRIALES MINIATURA	LZS:PT78730
7B	3RF2 RELÉS DE ESTADO SÓLIDO	3RF2020-1AA2
9	100VA	N/R
10	20A	N/R
11	PUJ-1200B	PUJ-1200B
12	1402	WELCH 1402B-01
13	1/4" NPT EN AMBOS EXTREMOS	N/R
14	DLDA-DCN-724	DLDA-XCN-724 + D CONTROL
15	DNDYS-XN-724	DNDYS-XN-724+ D CONTROL
15	991-227	N/R
16	U9H 1/4"NPT PARA CAVIDAD T-13A	U9H 1/4"NPT
17	A3D 3/4"NPT PARA CAVIDAD T-13A	A3D 3/4"NPT
18	MPA 1/4"NPT PARA CAVIDAD T-61A	MPA 1/4"NPT
19A	CUSTOM TRANSDUCER	MMA050V10P4
20	PTD25-10-VH + 4 PIN M12 CONECTOR	PTD25-10-VH
21	LVU32	LVU32
22	LV-120	LV-120
23	ELECTRAK PPA-DC + POTENTIOMETER	PPA24-58B65-24NPOX
24	ADAPTABLE PARA PPA-DC	7827320
25	BC510	20205 BC510
26A	LTA-205	N/R
32	3SB36	3SB3602-2KA11
33	3SB36	3SB3602-0AA41
34	3SB36	3SB3603-1CA21
36	NORMALIZADA DIN	N/R
38	PARA 100 CABLES - 18 AWG	N/R
39	1A	N/R
40	16A	N/R
42	115 VAC - 0.4 kW	N/R
43	1/2" DI - 7MM ESPESOR	N/R
44	40A	N/R

Además de los materiales detallados en las tablas anteriores, serán necesarios cables de calibres AWG 18, 14 y 10 como se especifica en la sección 4.1.3.3, y varias mangueras y acoples especificados en las secciones 4.3.2 y 4.3.3 respectivamente.

5.3 SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN

La simulación se realizó mediante el uso de dos software especializados funcionando en conjunto, TIA Portal STEP 7 V12 y SPS SIMU Micro 4.0. Para visualizar la simulación ambos programas deben estar activos en el computador, conectados vía Ethernet al PLC. Además, mediante el programa TIA Portal se debe cambiar la configuración de imagen de memoria de proceso del PLC, de MP cíclica a ninguna.

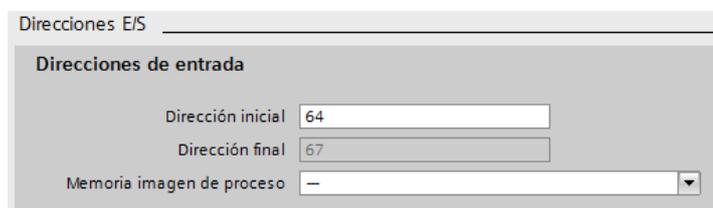


Ilustración 5.3 Configuración de entradas del PLC.

En TIA Portal STEP 7 V12 se simularon todos los procesos (vacío, circulación de aceite, presurización y llenado de los recipientes) conjuntamente con todos los actuadores (válvulas, actuador lineal, bombas, sirena y luces indicadoras) así como el estado de los recipientes y del reservorio principal. En la imagen siguiente se muestra la pantalla de la simulación, en la que el módulo y niveles de aceite se moverán para cada proceso; las válvulas, bombas, luces indicadoras y sirena parpadearán cuando se enciendan, bajo el módulo se indicará cuando por acción del actuador y relé esté girando en sentido horario o anti horario y las líneas (hidráulicas, de vacío o de ambiente) se pintarán de distinto color cuando tengan algún fluido en circulación.

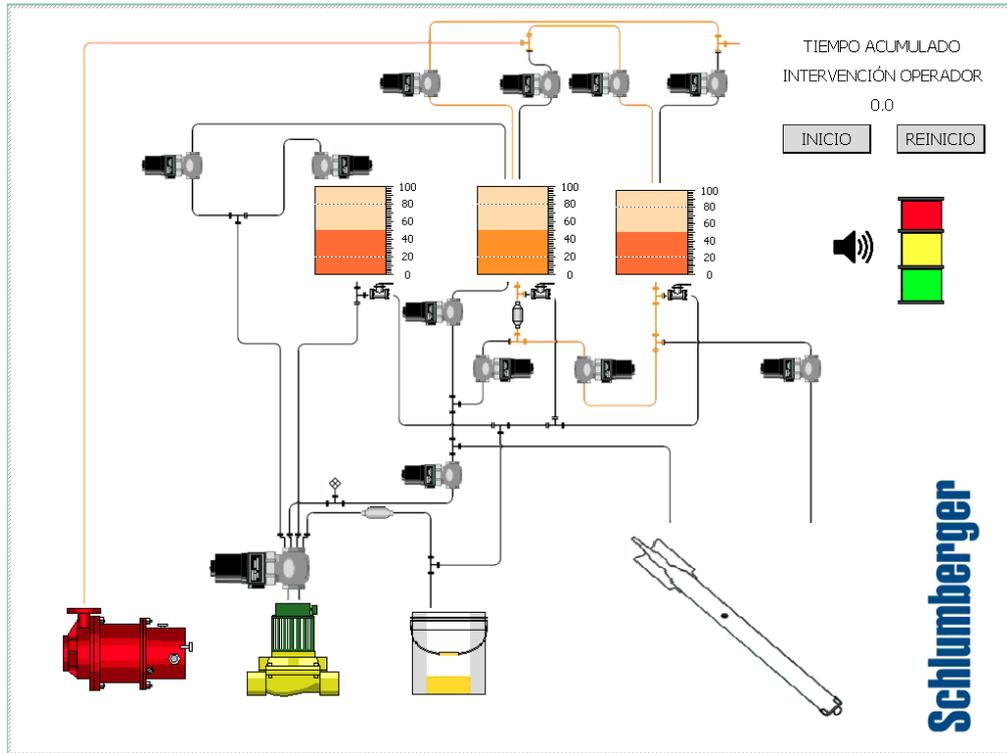


Ilustración 5.4 Pantalla de la simulación realizada en TIA PORTAL V12.

Además en este mismo software se usó la programación del HMI para indicar el procedimiento que debe realizar el operador al someter un módulo al proceso de vaciado y llenado, a continuación se presenta las tres imágenes en las que se indica al operador los pasos a seguir para el proceso de llenado y vaciado del módulo MTA (Módulo determinado para la simulación.). Durante la aparición de estas pantallas, se requerirá la intervención del operador, tiempo acumulado de 18 minutos (Ver Anexo 9.5.6).

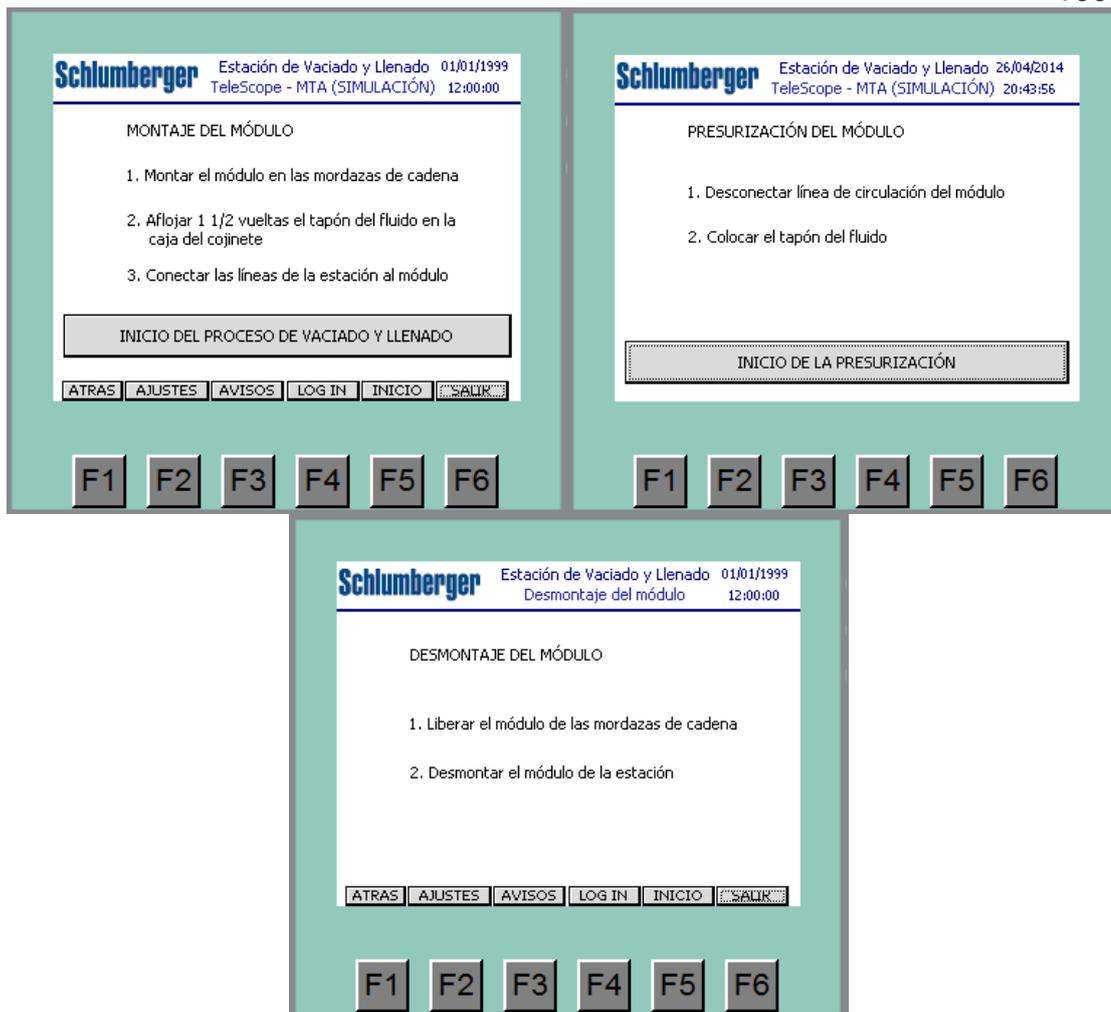


Ilustración 5.5 Imágenes del panel del operador (HMI) que indican la secuencia para el módulo de simulación.

En SPS SIMU Micro 4.0 se simularon todas las entradas digitales y analógicas, en reemplazo de la presencia física de botones, perillas, sensores, transmisores y transductores; además se ubicó una tabla de estado de las entradas y salidas en la que se denota con el número "0" una entrada o salida apagada y con el número "1" una entrada o salida prendida. En la imagen siguiente se indica la simulación realizada, las entradas digitales se simularon con una perilla y botones y las entradas analógicas con un control tipo barra.



Ilustración 5.6 Pantalla de la simulación realizada en SPS-VISU

Para que puedan funcionar en conjunto los dos programas, se modificó ligeramente el programa principal tanto del PLC como del HMI, de las formas especificadas a continuación:

- Se añadió un nuevo interfaz HMI (TP 1500 Color PN) para visualizar la simulación.
- Se añadió la opción de elegir el módulo MTA (SIMULACIÓN), que consta de todos los procesos que requiere llevar a cabo el módulo MTA pero con una disminución de la duración de los procesos de circulación de aceite y vacío inicial a 1 minuto.
- Se añadió marcas que indiquen el funcionamiento de cada proceso (vacío, circulación de aceite, presurización y llenado de los recipientes).
- Se acoplaron las características estáticas de todos los sensores, transmisores, transductores y potenciómetro para que sean compatibles con la salida del simulador de SPS VISU.

- Se cambió el método de adquisición de datos de las entradas del PLC y los módulos, para que éstas sean leídas desde SPS-VISU.
- Se añadió una función especial para cuantificar el tiempo de intervención del operador.

5.4 COMPROBACIÓN DE RESULTADOS

La simulación muestra claramente los procesos llevándose a cabo correctamente así como la limitación de la intervención del técnico, factor incluyente para comprar los resultados del presente proyecto. Además se indica la secuencia de operación a realizarse por parte del operador al someter uno de los módulos al proceso de vaciado y llenado mediante las imágenes del panel de operador (HMI) “Montaje del módulo”, “Presurización del módulo” y “Desmontaje del módulo” (Ver Ilustración 5.5).

En la pantalla de simulación de TIA PORTAL, en la esquina superior derecha se encuentra un cronómetro para contabilizar el tiempo total de la intervención del técnico, las simulaciones realizadas en base al reporte técnico del Anexo 9.5.6 mostraron un tiempo total promedio de 18 minutos. Abajo del tiempo acumulado se encuentran dos botones, el botón izquierdo sirve para iniciar y parar el cronómetro y el botón derecho para reiniciar el cronómetro.

TIEMPO ACUMULADO
INTERVENCIÓN OPERADOR
0.0

Ilustración 5.7 Sección de la pantalla de la simulación para contabilizar el tiempo de intervención del operador en la estación.

Ya que el tiempo de intervención del operador en las estaciones de vaciado y llenado actuales es de mínimo 150 minutos (Valor tomado de la sección 1.2), y que el tiempo promedio de intervención con la estación diseñada es de 18 minutos (tiempo invertido en el montaje del módulo, iniciación del proceso y desmontaje del módulo); se ha reducido la intervención del operador al 12%, y por lo tanto se ha alcanzado los resultados esperados.

6 EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA

En el presente capítulo se procederá a determinar los costos incurridos en la fabricación de la EVL, así como los ahorros programados asociados al ponerse en uso. Una vez determinados los dos parámetros (costos y ahorros) se hará una comparación que nos permita apreciar la relación costo beneficio así como la recuperación de la inversión realizada en el diseño y construcción de la EVL.

6.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1.1 EVALUACIÓN DE COSTOS

En esta sección se determinarán todos los costos asociados al diseño y construcción de la EVL. Para la definición de los valores de cada elemento se realizaron cotizaciones de proveedores locales e internacionales, además para definir el valor de la construcción del bastidor y elementos se cotizó con la empresa METALARCO la construcción en base a los planos de construcción y ensamblaje del Anexo 9.1.1.

6.1.1.1 COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS

Siendo los costos de materiales directos, todos los costos de materiales incurridos en la producción de la EVL, se desarrollan la Tabla 6.1. Para los ítems que no se detalla ninguna nota verificar la descripción completa en las tablas de la sección 5.2.1.

Tabla 6.1 Costos de materiales directos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Bastidor EVL y elementos varios (Ver planos de construcción del Anexo 9.1.1.)	1	6281.70	6281.70
CPU PLC	1	1131.20	1131.20
Touch panel PLC	1	1391.04	1391.04
Módulo expansión PLC	1	726.88	726.88
Módulo expansión PLC	2	209.44	418.88
Relés para riel DIN 24V	8	5.86	46.89
Base riel DIN para relé auxiliar	8	3.72	29.79
Relé para riel DIN 24V	2	11.47	22.95
Fuente 110vac a 12VDC	1	69.71	69.71
Fuente 110vac a 24VDC	1	665.66	665.66
Bomba hidráulica	1	3124.74	3124.74
Bomba vacío	1	2825.65	2825.65
Filtro aceite con base doble salida	1	159.26	159.26
Recipientes aluminio-polietileno	3	1451.54	4354.61
Solenoides	12	191.02	2292.19
Solenoides	1	393.65	393.65
Control manual	1	149.76	149.76
Conectores múltiples	10	44.02	440.16
Conectores múltiples	2	77.30	154.60
Conector múltiple	1	166.67	166.67
Transductor presión	1	901.60	901.60
Transmisor presión vacío	2	274.40	548.80
Transmisor nivel	3	619.36	1858.08
Interruptor nivel	1	658.56	658.56
Actuador lineal	1	1805.99	1805.99
Kit montaje tipo clevis	1	544.69	544.69
Mordazas de banco con cadena	2	176.96	353.92
Baliza - 3 colores - 110 VAC	1	0.00	0.00
Selector dos posiciones metálico	1	11.86	11.86
Pulsador roseta verde metálica NO	1	10.12	10.12
Pulsador emergencia metálico	1	33.04	33.04
Metros riel DIN	3	3.26	9.77
Libretines marcadores mixto a-z 0-9	2	9.25	18.50
Fusibles para riel DIN	20	0.51	10.19
Fusible para riel DIN	5	0.51	2.55
Base portafusible para riel DIN	16	3.53	56.45
Rodamientos de bola	6	18	108
Switch térmico	1	21	21
Mangueras (Ver descripción detallada en la Tabla 4.26.)	1	568	568
Accesorios hidráulicos (Ver descripción detallada en la Tabla 4.28.)	1	492	492
Metros cable AWG 10	50	0.6	30
Metros cable AWG 14	25	0.8	20
Metros cable AWG 18	10	1	10
Galones aceite Shell OIL 560 Aero Shell	15	38.4	576
TOTAL			35002.56

6.1.1.2 COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA

Siendo los costos de mano de obra directa, los costos de las operaciones de los procesos de manufactura relacionados directamente a los materiales que comprenden la EVL, se los aplicó al caso actual y debido a que la fabricación de todos los componentes se encargó a distintas empresas, estos costos serán omitidos al haberse incluido en los costos de materiales directos.

6.1.1.3 COSTO INDIRECTO DE PRODUCCIÓN

Siendo los costos indirectos de producción, los costos que no pueden ser rápidamente asociados con la EVL tales como materiales indirectos (energía para las máquinas, lubricantes y combustibles, herramientas, y utillajes, suministros y repuestos, entre otros), mano de obra indirecta (gerente de producción, asistentes administrativos, supervisores, personal técnico, mecánicos, entre otros) y gastos indirectos de fabricación (depreciación de la maquinaria, servicios básicos, rentas por arrendamiento, impuestos, seguros, entre otros) (Díaz, 2014). Se procede a analizar el caso con la EVL y dado que la estación no se comercializará, y que la construcción de sus componentes se encargó a distintas empresas (costos especificados en las secciones anteriores) se omitirán los costos indirectos de producción para la presente evaluación económica financiera.

Así entonces se determina el costo total del diseño y construcción de la EVL, siendo este de 35002.56\$.

6.1.2 EVALUACIÓN DE AHORROS PROYECTADOS.

El ahorro más evidente al automatizar el proceso de vaciado y llenado es el relacionado con la limitación de la intervención humana, y puesto que el uso de la EVL no representa mayor gasto que el uso de las estaciones actuales (consumo energético no significativo) el ahorro es neto.

El proceso manual requería la presencia del técnico durante un mínimo de 150 minutos; al automatizar el proceso el técnico en promedio deberá intervenir durante un total de 18 minutos (Ver Reporte Técnico del Anexo 9.5.6), lo que quiere decir que se ha disminuido la intervención del técnico al 12%. Tomando en cuenta que el costo semanal por concepto de la intervención del técnico en el proceso de vaciado y llenado es de 1125\$ (Tomado de la Sección 1.2), por mes este valor asciende a aproximadamente 4500\$; por lo que al disminuir al 12% la intervención del técnico el costo mensual disminuye 3960\$, este sería el ahorro mensual al usarse la EVL en el proceso de vaciado y llenado de los módulos de las distintas herramientas. En el gráfico siguiente se diagrama esta diferencia de costos para cada semana, mes y año.

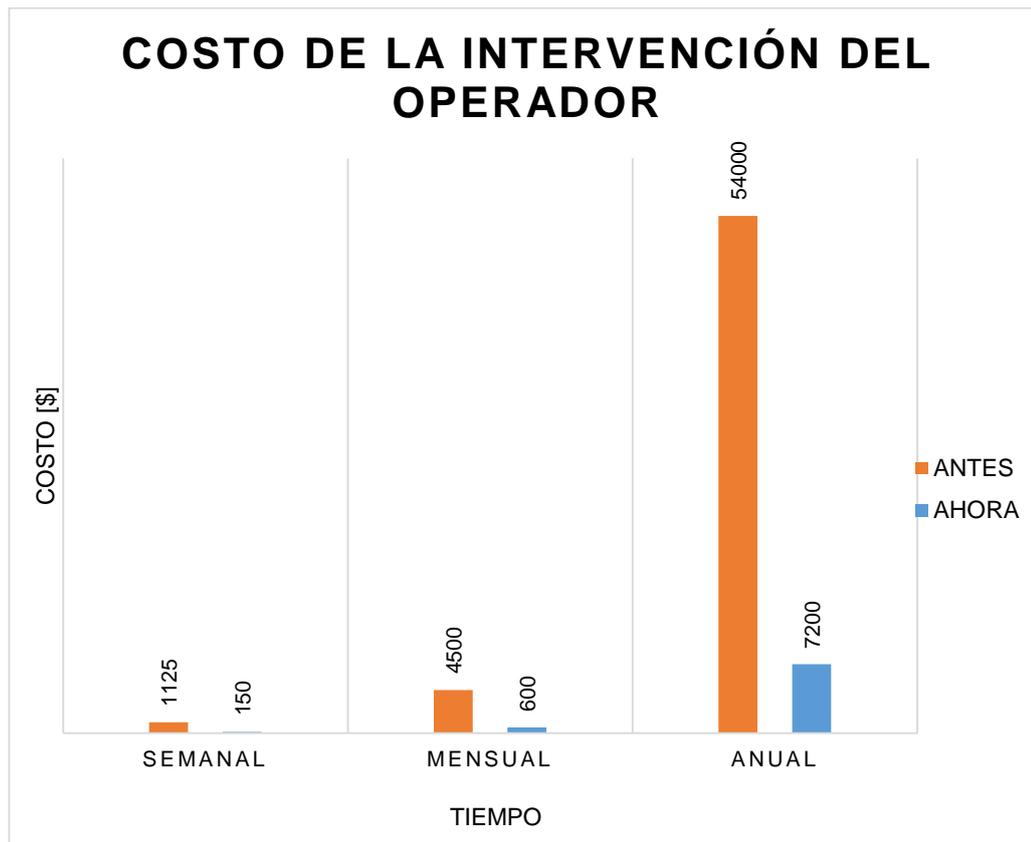


Ilustración 6.1 Comparación del costo de la intervención del operador semanal, mensual y anual.

6.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

Además del gráfico de los costos de intervención, se presenta el gráfico del periodo de repago, gráfico que permite observar el tiempo en el que se recuperará la inversión realizada en el diseño y construcción de la EVL (Valor tomado de la Sección 6.1). Para definir este periodo se utilizan índices de desempeño como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) y relación beneficio costo (R B/C), que son:

- Valor Actual Neto (VAN). Es la cantidad de dinero que sería necesario invertir actualmente a una tasa determinada, durante un periodo específico para obtener la cantidad futura. (Torres, 2013)
- Tasa Interna de Retorno (TIR). Es la tasa de descuento que equipara el valor actual de las entradas de efectivo con la inversión inicial del proyecto. (Torres, 2013)
- Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). Es la tasa mínima que se le exigirá a un proyecto para cubrir todo gasto del mismo. Es el resultado de sumar la inflación, riesgo país y tasa pasiva. (Torres, 2013)
- Relación beneficio costo (R B/C). Es la relación entre los beneficios actualizados acumulados y la inversión inicial, para comprobar la rentabilidad de un proyecto esta relación debe ser mayor a 1. (Torres, 2013)

Para realizar los cálculos pertinentes fue necesario definir los siguientes parámetros:

- Inflación: 3.2% (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014)
- Riesgo país: 6.29% (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014)
- Tasa pasiva: 4.53% (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014)
- Periodo de análisis: 18 meses (Alonso, 2013)

Tomando en cuenta que el costo total de la EVL se desembolsará totalmente al implementarse, y que mensualmente se prevé un ahorro de 3960\$ (Valor tomado de la Sección 6.1.2), se calculó la tasa mínima aceptable

de rendimiento (TMAR=14.02% anual, TMAR=1.17% mensual) y con ella la siguiente tabla de flujo de fondos.

Tabla 6.2 Flujo de fondos

MES	AHORRO	EGRESOS	FLUJO DE FONDOS	FLUJO DE FONDOS ACTUALIZADOS	FLUJO DE FONDOS ACUMULADO
0	0	35002.56	-35002.56	0	0
1	3960	0	3960	3914.27	3914.27
2	3960	0	3960	3869.06	7783.33
3	3960	0	3960	3824.38	11607.72
4	3960	0	3960	3780.22	15387.93
5	3960	0	3960	3736.56	19124.50
6	3960	0	3960	3693.41	22817.91
7	3960	0	3960	3650.76	26468.66
8	3960	0	3960	3608.60	30077.26
9	3960	0	3960	3566.92	33644.19
10	3960	0	3960	3525.73	37169.92
11	3960	0	3960	3485.01	40654.93
12	3960	0	3960	3444.77	44099.70
13	3960	0	3960	3404.99	47504.69
14	3960	0	3960	3365.66	50870.35
15	3960	0	3960	3326.80	54197.15
16	3960	0	3960	3288.38	57485.53
17	3960	0	3960	3250.40	60735.93
18	3960	0	3960	3212.86	63948.79

En base a la Tabla 6.2, y con software especializado (Microsoft Excel, funciones financieras) se obtuvieron los siguientes índices de desempeño:

- TIR: 9%
- VAN: 28946.23\$
- R B/C: 1.83\$
- PERIDO DE REPAGO: 10 meses

Estos índices sugieren que la implementación de la EVL es viable, puesto que por cada dólar invertido se ahorrarán 0.83\$ (R C/B=1.83\$), y la inversión inicial se recupera 10 meses después de implementarse la estación.

En el siguiente gráfico se puede apreciar el periodo de repago de la EVL

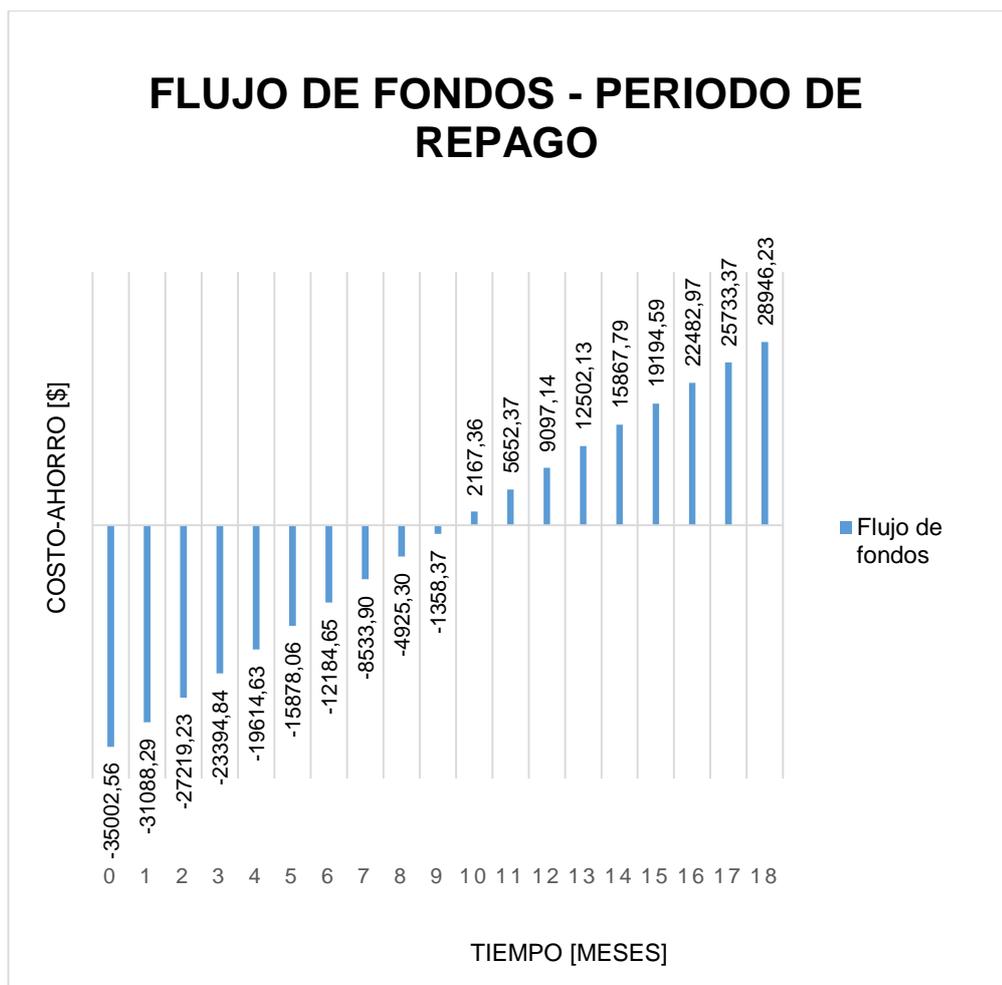


Ilustración 6.2 Flujo de fondos - Periodo de repago, costo del diseño y construcción de la EVL y ahorro efectuado al ponerla en funcionamiento.

Se observa entonces que la inversión realizada se recupera antes del décimo mes de uso, es decir que el periodo de repago es de 10 meses; a partir del décimo primer mes el valor representará un ahorro para Schlumberger.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. Mediante la simulación con software especializado funcionando en conjunto se visualiza un procedimiento automático de vaciado y llenado en la estación diseñada limitando la intervención del operador al montaje del módulo, iniciación del proceso, y posterior desmontaje del módulo, dicha limitación reduce al 12% (18 minutos) la intervención del operador.
2. La estación diseñada presurizará el módulo MMA de la herramienta TeleScope a 30 ± 5 psi llenando su reservorio con 360 cc, el módulo MTA de la misma herramienta alcanzará 40 ± 5 psi con 860 cc; el módulo IPTA de la herramienta ImPulse se presurizará a 22 ± 2 psi con 360 cc; y los dos módulos CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 de la herramienta Xceed alcanzarán 16 ± 2 psi con 700 cc.
3. Con una inversión total de 35002.56\$ se puede implementar la estación que automatice el proceso de vaciado y llenado, que una vez puesta en funcionamiento tiene un periodo de repago de 10 meses.
4. La estación fue diseñada tomando en cuenta todos los requerimientos tanto funcionales así como de ensamblaje y construcción, de tal manera que se garantice su correcto funcionamiento una vez que sea implementada.

5. La aplicación de software especializado como AutoCad, SolidWorks, ANSYS, MathCad, TIA Portal, SPS-VISU y Microsoft Excel; contribuyeron y facilitaron el diseño y simulación de la estación de vaciado y llenado.

6. En el presente proyecto se aplicaron conceptos y principios de la Ingeniería Mecánica, específicamente de las áreas de Procesos de Manufactura, Mecánica de Fluidos, Soldadura, Diseño de Elementos, Sistemas Hidráulicos y Neumáticos, Instrumentación Industrial Mecánica y Automatización Industrial Mecánica; aplicación que ahora nos permite obtener el título de grado que nos acredita como Ingenieros Mecánicos.

7.2 RECOMENDACIONES

- Probar el funcionamiento de la estación en condiciones reales una vez que esté implementada.
- Seguir los planos de construcción y ensamblaje paso a paso al momento de implementar la estación y tener especial precaución con los diagramas hidráulico y eléctrico usando los componentes correctos tal y como se indica.
- Realizar pruebas de funcionamiento para considerar la posibilidad de disminuir los tiempos de vacío y circulación de aceite, debido a que se aumentó el caudal de aspiración de la bomba de vacío y los volúmenes de los recipientes. Los tiempos se podrán cambiar dentro del programa pudiendo disminuir el tiempo total del procedimiento.
- Implementar un sistema de adquisición y registro de datos para que se pueda analizar los parámetros de presurización (presión final y volumen de presurización) para cada módulo de las distintas herramientas en un lapso de tiempo; en base a estos parámetros podría determinarse el estado general de cada módulo.
- Gestionar o recomendar a los estudiantes cursos y seminarios para manejo de software de ingeniería.

- Diversificar la carrera de Ingeniería Mecánica en los años finales de estudios a fin de que se especialice a los estudiantes en una de las tantas áreas que comprenden las Ciencias de la Energía y Mecánica.
- Desarrollar una metodología en las que se enfrenten a los estudiantes a problemas profesionales y técnicos, y en base a guías de enseñanza puedan darse solución a los mismos.

8 REFERENCIAS

- AD, G. 1. (2010). *Vaccum Fill Procedure PowerDrive Xceed, 6.75 & 9.00 CRS*. Schlumberger Confidential.
- Alonso, J. (8 de Diciembre de 2013). Análisis Financiero EVL. (C. Estévez, Entrevistador)
- Antonio, F. (3 de Marzo de 2014). *Ing. Fernandez Antonio*. Obtenido de <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos%5C017.pdf>
- AUTOMATIONDIRECT. (31 de Agosto de 2013). *AutomationDirect Inc*. Obtenido de http://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Sensors_-z-_Encoders/Pressure_Sensors/Pressure_Transmitters/Ceramic_Sensing_Element_-_M12_Cable_Connection/PTD25-20-VH
- Clayton, P. (2001). *Fundamentals of Electric Circuit Analysis*. John Wiley & Sons.
- Company, S. S. (2014). *Smalley Steel Ring Company*. Obtenido de Smalley Steel Ring Company: http://www.smalley.com/retaining_rings/about_retaining_rings.asp
- Corporation, A. R. (2013). *Arcon Catalog*. Arcon Ring and Speciality Corporation.
- Corporation, N. B. (2013). *NTN americas*. Obtenido de <http://www.ntnamericas.com/en/products/bearing-search/bearing-search-results/datasheet?pid=70718&cid=BBRNS&ctc=B>

DC Actuators. (29 de Agosto de 2013). *DC Actuators*. Obtenido de <http://www.dcactuators.com/?gclid=CKztv5Pmo7kCFcdr7AodJGQAfA>

Diaz, J. (17 de Febrero de 2014). Costos industriales para la toma de decisiones. Quito, Pichincha, Ecuador.

DIPAC. (2 de Febrero de 2014). *Dipac Manta*. Obtenido de http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3701

Edwards. (5 de Agosto de 2013). *Edwards Vacuum*. Obtenido de http://www.edwardsvacuum.com/Products/76950/overview/Product_Details.aspx

Ekos. (4 de Agosto de 2013). *Ekos Negocios*. Obtenido de <http://ekosnegocios.com/empleadores/empresas.aspx?idE=29>

Enerpac. (5 de Agosto de 2013). *Enerpac*. Obtenido de <http://www.enerpac.com/en/industrial-tools/hydraulic-pumps-and-valves/hydraulic-manual-pumps/p-series-hydraulic-low-pressure-hand-pumps>

Enerpac. (6 de Agosto de 2013). *Enerpac Data Sheet Center*. Obtenido de <http://www.enerpac.com/en/industrial-tools/hydraulic-pumps-and-valves/electric-hydraulic-pumps/pu-series-hydraulic-economy-electric-pumps>

Garc, E. R. (s.f.).

García, R. (2003). Newton. Vida, pensamiento y obra. Barcelona: APUD.

Giles, R. V. (2008). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. México: McGRAW-HILL.

GRAINGER. (31 de Agosto de 2013). *Grainger Automation*. Obtenido de <http://www.grainger.com/Grainger/IFM-Pressure-Transmitter-35T575?Pid=search>

GROUP, W. (2011). *WJB BEARINGS*. Obtenido de <http://www.wjbbearing.com/>

IMSA-COLSON. (2013). Obtenido de <http://www.imsa-colson.com/es/ruedas.html>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (8 de Abril de 2014). *Ecuador en cifras*. Obtenido de www.ecuadorencifras.gob.ec

IOCP. (4 de Agosto de 2013). *Integrated Ocean Drilling Program*. Obtenido de http://iodp.ldeo.columbia.edu/TOOLS_LABS/LWD/lwd_ecoscope.html

José, A. (1998). *Fundiciones*. Madrid: CIE Inversiones Dossat.

M.Stucker. (s.f.). *T&A IPTA-AE, IMPulse Power & Telemetry*. Anadrill / Schlumberger.

M.Toro. (10 de Noviembre de 2007). T & A. *MTA-XX, PowerPulse Turbine Assembly*. Schlumberger- Sugar Land Product Center (SPC).

MKS. (31 de Agosto de 2013). *MKS Instrumentation*. Obtenido de <http://www.mksinst.com/product/product.aspx?ProductID=445>

NTNcorporation. (2007). *Bearing Units. CAT.NO.2400-IX/E*. NTN.

OMEGA. (13 de Septiembre de 2013). *Omega Measurement & Control*.

Obtenido de <http://www.omega.com/subsection/ultrasonic-level-transmitters.html>

OMEGA. (14 de Agosto de 2013). *Omega Measurements & Control*. Obtenido

de <http://www.omega.com/pptst/LV120.html>

OMEGA. (9 de Marzo de 2014). *OMEGA*. Obtenido de

http://www.omega.com/pxconfig/cfg_final.html?PRESSURETYPE=A&RANGE_UNITS=050_P&UNITS=P&OUTPUT=V10&ACCURACY=4&FITTING=C&TERMINATION=0&TEMP_COMPEN=T3&THERM_ACC=A5&OPTIONS=CE&Next.x=38&Next.y=23&Next=Next

PANDUCTION. (31 de Agosto de 2013). *Panduction Measurement & Control*.

Obtenido de <http://www.panduction.com/guides/pressXducers.html>

Patrick, A. (2 de Febrero de 2013). *TeleScope/PowerPulse course*. Middle

East and Asia.

Piera, L. (2010). *Catálogo Gayner SA*. Obtenido de

http://www.rodaunion.com/descargas/catalogos/pdf/ruedas_y_manutencion/Catalogo_ruedas_GAYNER_2010.pdf

Power Stream. (6 de Febrero de 2014). *PowerStream*. Obtenido de

http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm

ProSense. (1 de Septiembre de 2013). *Automation Direct*. Obtenido de

http://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Sensors_-_z_-_Encoders/Pressure_Sensors/Pressure_Transmitters/Ceramic_Sensing_Element_-_M12_Cable_Connection/PTD25-10-VH

REMSACR. (16 de Octubre de 2013). *REMSACR ONLINE SHOPPING*.

Obtenido de

<http://www.remsacr.com/pdf/herramientamanual/irimo/Herram%20para%20tubo%20cap6.pdf>

RIDGID. (16 de Octubre de 2013). *RIDGID*. Obtenido de

<https://www.ridgid.com/us/en/bench-chain-vises>

S.Hearn. (1994). T & A MMA-BB Modulator Assembly. S-288216.

Schlumberger-Sugar Land Product Center (SPC).

Schlumberger. (4 de Agosto de 2013). *Schlumberger TeleScope*. Obtenido de

http://slb.com/services/drilling/mwd_lwd/mwd/telescope.aspx

Schlumberger. (4 de Agosto de 2013). *SLB*. Obtenido de www.slb.com

Schlumberger ImPulse. (4 de Agosto de 2013). *SLB*. Obtenido de

http://slb.com/services/drilling/mwd_lwd/mwd/impulse.aspx

Schlumberger TeleScope. (4 de Agosto de 2013). *SLB*. Obtenido de

http://slb.com/services/drilling/mwd_lwd/mwd/telescope.aspx

Schlumberger Xceed. (4 de Agosto de 2013). *SLB*. Obtenido de

http://slb.com/services/drilling/directional_drilling/powerdrive_family/powerdrive_xceed.aspx

Shell. (19 de Julio de 2013). *Shell*. Obtenido de

<http://www.shell.com.am/en/shell/products/aviation/engine-oils/aeroshell-turbine-oil>

SIEMENS. (27 de Noviembre de 2013). *SIEMENS AUTOMATION*. Obtenido de http://www.automation.siemens.com/ce-static/cme/index_en.html

SIEMENS. (24 de Julio de 2013). *SIEMENS AUTOMATION*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/ww/catalog/products/10035660>

SIEMENS. (31 de Agosto de 2013). *SIEMENS AUTOMATION*. Obtenido de http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/pi/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20sheet%20SITRANS%20P200,P210,P220/sitransp_p200_p210_p220_en.pdf

SIEMENS. (2 de Diciembre de 2013). *SIEMENS AUTOMATION*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=LZS%3aRT4A4L24>

SIEMENS. (2 de Diciembre de 2013). *SIEMENS AUTOMATION*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3RH1122-1BB40>

SIEMENS. (20 de Noviembre de 2013). *Siemens HMI*. Obtenido de <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/operator-interfaces/basic-panel/simatic-hmi-ktp600-basic-color/pages/default.aspx>

SIEMENS. (31 de Agosto de 2013). *SIEMENS S7-200 ANALOG MODULES*. Obtenido de <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic->

controller/en/simatic-s7-controller/s7-200/signal-modules/analog-modules/Pages/Default.aspx

SIEMENS. (29 de Septiembre de 2013). *SIEMENS S7-200 DIGITAL MODULES*. Obtenido de <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-200/signal-modules/signal-modules/Pages/Default.aspx#Design%20and%20functions>

SIEMENS. (9 de Marzo de 2014). *SIEMENS AUTOMATION EB*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7231-4HF32-0XB0>

SIEMENS. (03 de Marzo de 2014). *SIEMENS AUTOMATION EB*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7222-1BH32-0XB0>

SIEMENS. (9 de Marzo de 2014). *SIEMENS AUTOMATION EB*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7215-1BG31-0XB0>

SIEMENS. (4 de Abril de 2014). *SIEMENS AUTOMATION EB*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7222-1HF32-0XB0>

SIEMENS. (0 de Marzo de 2014). *SIEMENS AUTOMATION SIMATIC S7*. Obtenido de http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/simatic_st70_chap03_english_2013.pdf

SIEMENS. (09 de Marzo de 2014). *SIEMENS SIMATIC S7-200*. Obtenido de http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/simatic_st70_chap03_english_2013.pdf

Streeter, V. L. (1988). *Mecánica de los Fluidos* (Octava ed.). México: McGRAW-HILL.

SUMELEC. (20 de Enero de 2014). *SUMELEC CATÁLOGO CAMSCO*. Obtenido de <http://www.sumelec.net/descargas/indice%20por%20productos/32.pdf>

Sun Hydraulics. (29 de Agosto de 2013). *SUN HYDRAULICS 770-712*. Obtenido de http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Parts.aspx?ModelCode=770-712&CatModelID=&lang_id=1

Sun Hydraulics. (29 de Agosto de 2013). *SUN HYDRAULICS 770-724*. Obtenido de http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Parts.aspx?ModelCode=770-724&CatModelID=&lang_id=1

Sun Hydraulics. (15 de Agosto de 2013). *SUN HYDRAULICS MANIFOLD MPA*. Obtenido de http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Manifold.aspx?ModelCode=MPA&CatModelID=7585&lang_id=1

Sun Hydraulics. (15 de Septiembre de 2013). *SUN HYDRAULICS MANIFOLD T-13A*. Obtenido de

http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Manifold.aspx?ModelCode=U9H&CatModelID=29622&lang_id=1

Sun Hydraulics. (7 de Agosto de 2013). *SUNHYDRAULICS DAAA*. Obtenido de

[http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?ModelCode=DA
AA&CatModelID=109&Lang_ID=1](http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?ModelCode=DA
AA&CatModelID=109&Lang_ID=1)

Sun Hydraulics. (8 de Agosto de 2013). *SUNHYDRAULICS DAAL*. Obtenido de

[http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?ModelCode=DA
AL&lang_id=1&CatModelID=9393](http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?ModelCode=DA
AL&lang_id=1&CatModelID=9393)

Sun Hydraulics. (7 de Agosto de 2013). *SUNHYDRAULICS DLDA*. Obtenido de

[http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?ModelCode=DL
DA&lang_id=1&CatModelID=147](http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?ModelCode=DL
DA&lang_id=1&CatModelID=147)

Sun Hydraulics. (9 de Septiembre de 2013). *SUNHYDRAULICS DNDYS*. Obtenido de

[http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?lang_id=1&Mod
elCode=DNDYS&CatModelID=10535](http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Cartridge.aspx?lang_id=1&Mod
elCode=DNDYS&CatModelID=10535)

Thomson. (14 de Septiembre de 2013). *Thomson Linear*. Obtenido de

[http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/actuators/lin
ear_actuators.php](http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/actuators/lin
ear_actuators.php)

Torres, W. (3 de Junio de 2013). *Diseño y Evaluación de Proyectos*. Quito, Pichincha, Ecuador.

TRANSDUCERS. (31 de Agosto de 2013). *Transducers Direct*. Obtenido de [http://www.transducersdirect.com/HeleoCart/ProductCategory/Vacuum+Pressure+Transducers\(107\).aspx](http://www.transducersdirect.com/HeleoCart/ProductCategory/Vacuum+Pressure+Transducers(107).aspx)

WelchVaccum. (19 de Julio de 2013). *Welch*. Obtenido de http://www.welchvacuum.com/products/welch/welch_vacuum_products/laboratory/belt-drive_high/small.jsp

9 ANEXOS

9.1 ANEXO A - PLANOS

9.1.1 ANEXO A1 - PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

9.1.2 ANEXO A2 - PLANOS DE LOS RECIPIENTES

9.1.3 ANEXO A3 - ESQUEMAS DE LOS MÓDULOS

9.2 ANEXO B - DIAGRAMA HIDRÁULICO

9.3 ANEXO C - DIAGRAMA ELÉCTRICO

9.4 ANEXO D – PROGRAMA PARA EL PLC Y MÓDULOS DE AMPLIACIÓN Y SOFTWARE PARA EL HMI

Revisar el adjunto del disco compacto (CD)

9.5 ANEXO E - REPORTES TÉCNICOS

9.5.1 ANEXO E1 - DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE CICLOS PARA MÓDULO IPTA

**9.5.2 ANEXO E2 - GENERACIÓN DE VORTICES Y MEJORAMIENTO
EFICIENCIA EN EXTRACCIÓN DE BURBUJAS**

9.5.3 ANEXO E3 - CAUDAL DE CIRCULACIÓN, VOLUMEN MÍNIMO PARA CIRCULACIÓN

9.5.4 ANEXO E4 - DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DEL ACTUADOR LINEAL

**9.5.5 ANEXO E5 - DETERMINACIÓN DE LONGITUD MÁXIMA DE
AGARRE PARA LOS MÓDULOS Y SU CENTRO DE GRAVEDAD**

9.5.6 ANEXO E6 – DETERMINACIÓN DEL TIEMPO PROMEDIO DE INTERVENCIÓN DEL TÉCNICO EN LA EVL

9.5.7 ANEXO E7 – DETERMINACIÓN DE PRESIÓN DE VERIFICACIÓN DE VACÍO.

**9.6 ANEXO F - MANUAL DE FUNCIONAMIENTO,
MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN**

9.7 ANEXO G - CATÁLOGOS