

**DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE
HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI (INSPECCIÓN EN LÍNEA) EN LA
EMPRESA ROSEN EUROPE B.V SUCURSAL COLOMBIA. MODALIDAD
PRÁCTICA EMPRESARIAL**

DIANA MILENA BUENAHORA LÓPEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2017

**DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE
HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI (INSPECCIÓN EN LÍNEA) EN LA
EMPRESA ROSEN EUROPE B.V SUCURSAL COLOMBIA. MODALIDAD
PRÁCTICA EMPRESARIAL**

DIANA MILENA BUENAHORA LÓPEZ

Trabajo de Grado para optar el título de Diseñador Industrial

Director

Javier Mauricio Martínez Gómez

Ph.D. en Sistemas de Producción y Diseño Industrial

Codirector

Miguel Enrique Higuera Marín

M.Sc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

Con amor para mis padres JAIRO e ISABEL, por su amor, confianza y constancia.

A mi hermanito Javier, por su amor y motivación.

A mi novio Andrés, por su amor y apoyo constante.

Agradecimiento especial a mi Director de proyecto, Javier Martínez por su guía y amistad durante este proceso.

A ROSEN Europe BV Sucursal Colombia, por su acompañamiento y confianza durante la realización práctica empresarial.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	26
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
1.1 OBJETIVOS	31
1.1.1 Objetivo general	31
1.1.2 Objetivos específicos	31
1.2 MARCO TEÓRICO	32
1.2.1 Herramientas instrumentadas ILI	32
1.2.2 Mantenimiento industrial	37
1.2.3 Herramientas aplicadas al diseño y optimización de puestos de trabajo	39
1.2.3.1 Método OWAS	43
1.2.3.2 Digitalización de imágenes software KINOVEA	47
1.2.3.3 Simulación ergonómica software JACK.	48
1.2.4 Consideraciones básicas para la creación del dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI	49
1.2.4.1 Posturas de trabajo	51
1.2.4.2 Manipulación de carga	52
1.2.4.3 Campo de visión	52
1.2.4.4 Controladores, indicadores y mandos	53
1.2.4.5 Antropometría	56
1.2.4.6 Altura de trabajo	57
1.3 METODOLOGÍA	58
2. CONOCIENDO A ROSEN	60
2.1 RAZÓN SOCIAL	60

2.2 UBICACIÓN	60
2.3 GENERALIDADES	60
2.4 MISIÓN	61
2.5 VISIÓN	62
2.6 PRODUCTOS Y SERVICIOS	62
2.7 RECURSO HUMANO	63
2.8 RECURSOS FÍSICOS	65
2.8.1 Infraestructura	65
2.9 CICLO DEL SERVICIO DE INSPECCIÓN	66
3. DIAGNOSTICO DE ROSEN	70
3.1 INFORMACIÓN CLAVE DE USUARIOS	71
3.2 INFORMACIÓN CLAVE DEL CONTEXTO	76
3.3 FACTORES DE RIESGO POSTURAL	83
3.3.1 Etapa 1: Valoración postural	87
3.3.1.2 Mantenimiento GYRO	88
3.3.1.2 Mantenimiento Baterías	97
3.3.1.3 Mantenimiento de Sensores	106
3.3.1.4 Mantenimiento de Copas	113
3.3.1.5 Mantenimiento de Cardan	123
3.3.1.6 Mantenimiento de Cepillos	130
3.3.1.7 Mantenimiento de Magnetos	139
3.3.1.8 Mantenimiento de Odómetro	148
3.3.1.9 Conclusiones finales, Etapa 1: Valoración Postural	157
3.3.2 Etapa 2: Simulación Ergonómica Virtual 3D	159
3.3.2.1 Mantenimiento de Gyro – Simulación Ergonómica	168
3.3.2.2 Mantenimiento de Baterías– Simulación Ergonómica	171
3.3.2.3 Mantenimiento de Sensores	174
3.3.2.4 Mantenimiento de Copas	177
3.3.2.5 Mantenimiento de Cardan	181

3.3.2.6 Mantenimiento de Cepillos	185
3.3.2.7 Mantenimiento de Magnetos	188
3.3.2.8 Mantenimiento de Odómetro	191
3.3.2.9 Conclusiones Finales, Etapa2: Simulación Ergonómica Virtual 3D	194
3.4 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL PRODUCTO	196
3.4.1 Tabla de necesidades	197
3.4.1 Requerimientos de Diseño	199
4. CREANDO CON ROSEN	204
4.1 ANÁLISIS COMPETITIVO	205
4.1.1 Frame	205
4.1.2 Bandeja de entrampe	206
4.1.2 Banco de mantenimiento actual	207
4.1.3 Conclusiones finales del análisis competitivo	209
4.2 DESARROLLO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	210
4.2.1 Subsistema A: Ajuste de altura de plano de trabajo	212
4.2.2 Subsistema B: Ajuste de diámetro y longitud de la herramienta ILLI	218
4.2.3 Selección de alternativas	223
4.3 DEFINICIÓN CONCEPTO DE DISEÑO	230
4.4 DISEÑO DE DETALLE	236
4.4.1 Evolución de la alternativa	237
4.4.2 Arquitectura de la Solución final	247
5. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE MSILIT PARA ROSEN	256
5.1 VALIDACIONES ERGONÓMICAS	256
5.1.1 Simulación Ergonómica Virtual 3D MSILIT	257
5.1.1.1 Mantenimiento de Gyro – Simulación Ergonómica MSILIT	257
5.1.1.2 Mantenimiento de Baterías – Simulación Ergonómica MSILIT	259
5.1.1.3 Mantenimiento de Sensores – Simulación Ergonómica MSILIT	261
5.1.1.4 Mantenimiento de Copas – Simulación Ergonómica MSILIT	263

5.1.1.5 Mantenimiento de Cardan – Simulación Ergonómica MSILIT	265
5.1.1.6 Mantenimiento de Cepillos – Simulación Ergonómica MSILIT	267
5.1.1.7 Mantenimiento de Magnetos – Simulación Ergonómica MSILIT	269
5.1.1.8 Mantenimiento de Odómetro – Simulación Ergonómica MSILIT	271
5.1.1.9 Conclusiones Simulación Ergonómica Virtual 3D MSILIT	272
5.1.2 Evaluación por satisfacción de criterios de diseño para MSILIT	275
5.1.2 Evaluación por satisfacción de necesidades para MSILIT	276
5.2 ANÁLISIS Y SIMULACIÓN CAE	277
5.2.1 Cálculos analíticos	277
5.2.1 Simulación CAE	293
5.2.1.1 Análisis CAE del sistema de apoyos	294
5.2.1.2 Análisis CAE del sistema de elevación	301
5.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y COSTOS DE FABRICACIÓN DE MSILIT	312
5.3.1 Ficha técnica MSILIT	313
5.3.2 Costos de fabricación	324
5.4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (LCA)	331
5.4.1 Resultados Análisis LCA SolidWorks	331
5.4.2 Conclusiones LCA	336
6. CONCLUSIONES	337
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	342
BIBLIOGRAFÍA	347
ANEXOS	349

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Secciones que componen la herramienta ILI. [10]	35
Ilustración 2 Trampa de envío [11]	36
Ilustración 3 Trampa de recepción [11]	36
Ilustración 4 Ejemplo aplicación método OWAS.	46
Ilustración 5 Ejemplo de resultado de aplicación método OWAS.	47
Ilustración 6. Interfaz KINOVEA.	47
Ilustración 7. Planos de cuerpo humano. [17]	50
Ilustración 8. Posturas de trabajo rangos permisibles.	51
Ilustración 9. Ángulos de visión recomendable	53
Ilustración 10. Alturas de trabajo.	57
Ilustración 11 Metodología proyectual.	59
Ilustración 12. Estructura organizacional de ROSEN Colombia	64
Ilustración 13 Infraestructura del Workshop de ROSEN Colombia. Tecnología y Maquinaria	65
Ilustración 14 Fases del servicio de inspección de ROSEN Colombia.	67
Ilustración 15. Flujograma del ciclo de inspección de ROSEN Colombia	69
Ilustración 16 Flujograma del proceso metodológico para el OE1.	70
Ilustración 17 Niveles educativos y rangos de edad del área de mantenimiento.	72
Ilustración 18 Mobiliario del área de mantenimiento.	73
Ilustración 19 Herramientas de frecuente uso e idumentaria de operarios	74
Ilustración 20 Proceso de mantenimiento, etapas 1-2	77
Ilustración 21 Proceso de mantenimiento, etapas 3-4.	78
Ilustración 22 Proceso de mantenimiento, etapa 5	79
Ilustración 23 Área de mantenimiento.	80
Ilustración 24 Dimensiones Banco de Mantenimiento actual.	80

Ilustración 25 Configuración dimensional de herramientas ILI.	81
Ilustración 26 Proceso de ubicación del PIG sobre el Banco de MTN actual.	82
Ilustración 27 Manipulaciones de la herramienta ILI sobre el banco de MTN actual.	83
Ilustración 28 Resultado selector de métodos ergonómicos.	84
Ilustración 29 Flujograma resultados de factores de riesgo postural.	85
Ilustración 30 Diagrama de presentación de resultados análisis cualitativo	88
Ilustración 31 Ubicación del e-box unit en el PIG.	89
Ilustración 32 Flujograma mantenimiento de GYRO.	90
Ilustración 33 Ubicación del Battery Segment en el PIG.	97
Ilustración 34 Flujograma mantenimiento de Baterías.	98
Ilustración 35 Sensores	107
Ilustración 36 Ubicación del MFL Unit en el PIG.	107
Ilustración 37 Flujograma mantenimiento de Sensores.	108
Ilustración 38 Ubicación de las Copas en el PIG.	114
Ilustración 39 Flujograma mantenimiento de Copas.	115
Ilustración 40 Cardan.	124
Ilustración 41 Ubicación de cardan en el PIG.	124
Ilustración 42 Flujograma mantenimiento de Cardan.	125
Ilustración 43 Cepillos.	131
Ilustración 44 Flujograma mantenimiento de Cepillos.	132
Ilustración 45 Flujograma mantenimiento de Magnetos.	140
Ilustración 46 Odómetro.	149
Ilustración 47 Ubicación del odómetro en el PIG.	149
Ilustración 48 Flujograma mantenimiento de Odómetro.	150
Ilustración 49 Balance de posturas categoría 4 para cada mantenimiento.	158
Ilustración 50 Flujograma Etapa 2: Simulación Ergonómica Virtual 3D.	160
Ilustración 51 Entorno virtual del área de mantenimiento escala 1:1.	161
Ilustración 52 Elementos del área de mantenimiento escala 1:1.	162
Ilustración 53 Modulo módulo “anthropometric scaling” del software Jack.	163

Ilustración 54 Esquema de resultados de Static Strength Prediction.	165
Ilustración 55 Esquema de resultados de Lower Back Analysis.	166
Ilustración 56 Diagrama de presentación de resultados Simulación Jack.	166
Ilustración 57 Diagrama de comparativo de posturas en entorno JACK Vs Virtual.	167
Ilustración 58 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN GYRO.	168
Ilustración 59 Resultado herramienta OWAS, MTN GYRO.	169
Ilustración 60 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN GYRO.	169
Ilustración 61 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN GYRO.	169
Ilustración 62 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Baterías.	171
Ilustración 63 Resultado herramienta OWAS, MTN Baterías.	172
Ilustración 64 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Baterías.	172
Ilustración 65 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Baterías.	173
Ilustración 66 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Sensores.	174
Ilustración 67 Resultado herramienta OWAS, MTN Sensores,	175
Ilustración 68 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Sensores.	175
Ilustración 69 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Sensores.	176
Ilustración 70 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Copas.	177
Ilustración 71 Resultado herramienta OWAS, MTN Copas,	178
Ilustración 72 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Copas.	178
Ilustración 73 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Copas.	179
Ilustración 74 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Cardan.	181
Ilustración 75 Resultado herramienta OWAS, MTN Cardan,	182
Ilustración 76 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Cardan.	182
Ilustración 77 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cardan.	183

Ilustración 78 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Cepillos.	185
Ilustración 79 Resultado herramienta OWAS, MTN Cepillos,	186
Ilustración 80 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Cepillos.	186
Ilustración 81 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cepillos.	186
Ilustración 82 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Magnetos.	188
Ilustración 83 Resultado herramienta OWAS, MTN Magnetos,	189
Ilustración 84 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Magnetos.	189
Ilustración 85 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Magnetos.	189
Ilustración 86 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Odómetro.	191
Ilustración 87 Resultado herramienta OWAS, MTN Odómetro,	192
Ilustración 88 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Odómetro.	192
Ilustración 89 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Odómetro.	192
Ilustración 90 Balance del riesgo de espalda baja para cada mantenimiento.	195
Ilustración 91 Balance de articulaciones en riesgo para cada mantenimiento.	196
Ilustración 92 Cuestionario de necesidades	198
Ilustración 93 Flujograma del proceso metodológico para el OE2..	204
Ilustración 94 Diagrama de estructuras funcionales para el desarrollo del producto.	211
Ilustración 95 Criterios para la evaluación cualitativa.	212
Ilustración 96 Esquemático de alternativas para sub-función A.	213
Ilustración 97 Esquemático de alternativas para sub-función B.	218
Ilustración 98 Diagrama de la metodología para la selección de alternativas.	225
Ilustración 99 Registro de evaluación de alternativas por sub-funciones.	225
Ilustración 100 Formato de encuesta para selección de alternativas.	226
Ilustración 101 Esquema de montaje de la estación de mantenimiento.	232
Ilustración 102 Detalles de componentes de la subestación de mantenimiento (modulo).	233

Ilustración 103 Vistas y ubicación de las subestaciones lo largo del riel.	234
Ilustración 104 Ubicación de los operarios respeto a la estación de mantenimiento.	235
Ilustración 105 Solución 1.	238
Ilustración 106 Carta de color marca ROSEN.	239
Ilustración 107 Solución 2.	240
Ilustración 108 Solución 3.	241
Ilustración 109 Solución 4.	242
Ilustración 110 Funcionamiento del Indicador de rotación	244
Ilustración 111 Solución 5	244
Ilustración 112 Solución Final	246
Ilustración 113 Subestación de mantenimiento con sus respectivos sistemas	249
Ilustración 114 Estacion de mantenimeinto sobre el riel	250
Ilustración 115 Sistema de apoyos	251
Ilustración 116 Sistema de rotación del plano de trabajo	251
Ilustración 117 Sistema estructural	252
Ilustración 118 Sistema hidráulico	252
Ilustración 119 Sistema de desplazamiento	253
Ilustración 120 Isologo del producto	254
Ilustración 121 Proporciones áureas de los componentes	254
Ilustración 122 Isologo en escala de grises y blanco y negro	255
Ilustración 123 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN GYRO.	257
Ilustración 124 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN GYRO.	257
Ilustración 125 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN GYRO.	258
Ilustración 126 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN GYRO.	258
Ilustración 127 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Baterías.	259
Ilustración 128 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Baterías.	259

Ilustración 129 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Baterías.	260
Ilustración 130 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Baterías.	260
Ilustración 131 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Sensores.	261
Ilustración 132 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Sensores.	261
Ilustración 133 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Sensores.	262
Ilustración 134 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Sensores.	262
Ilustración 135 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Copas.	263
Ilustración 136 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Copas.	263
Ilustración 137 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Copas.	264
Ilustración 138 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Copas.	264
Ilustración 139 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Cardan.	265
Ilustración 140 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Cardan.	265
Ilustración 141 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Cardan.	266
Ilustración 142 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cardan.	266
Ilustración 143 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Cepillos.	267
Ilustración 144 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Cepillos.	267
Ilustración 145 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Cepillos.	268
Ilustración 146 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cepillos.	268
Ilustración 147 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Magnetos.	269
Ilustración 148 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Magnetos.	269

Ilustración 149 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Magnetos.	270
Ilustración 150 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Magnetos.	270
Ilustración 151 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Odómetro.	271
Ilustración 152 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Odómetro.	271
Ilustración 153 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Odómetro.	272
Ilustración 154 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Odómetro.	272
Ilustración 155 Balance OWAS Actual Vs MSILIT.	273
Ilustración 156 Balance del riesgo de espalda baja Actual Vs MSILIT.	274
Ilustración 157 Balance de articulaciones en riesgo Actual Vs MSILIT.	274
Ilustración 158 Comparación de resultados puntuación perfecta vs puntuación MSILIT.	275
Ilustración 159 Posicionamiento de las barras según el ángulo de inclinación.	280
Ilustración 160. DCL de la estructura para calcular la fuerza mínima del cilindro.	281
Ilustración 161 Posición de piezas en función de los ángulos y longitudes variables.	282
Ilustración 162 Diagrama de cuerpo libre del sistema de soportes y sistema estructural.	284
Ilustración 163 Resultados de la Fuerza del cilindro en función del ángulo de inclinación mínimo.	289
Ilustración 164 Representación de las fuerzas que ejercen los soportes sobre el PIG14in.	290
Ilustración 165 Resultados de las fuerzas sobre los soportes.	292
Ilustración 166 Ensamble sistema de apoyos.	294
Ilustración 167 Conexiones y carga axial aplicadas al sistema de apoyos.	295
Ilustración 168 Discretizado basado en la curvatura y proximidad.	296

Ilustración 169 Conexiones y carga axial aplicadas al sistema de elevación.	302
Ilustración 170 Discretizado basado en la curvatura y proximidad para el sistema de elevación.	303
Ilustración 171 Primer estudio estático 3D vista frontal de los cambios del brazo donde se aplica la fuerza del cilindro hidráulico.	308
Ilustración 172 Ficha técnica MSILIT.	313
Ilustración 173 Especificaciones técnicas MSILIT.	314
Ilustración 174 Recomendaciones de mantenimiento de MSILIT.	315
Ilustración 175 Dimensiones de subestación máxima y mínima altura de MSILIT.	316
Ilustración 176 Etiquetas de seguridad MSILIT.	317
Ilustración 177 Especificaciones Sistema de elevación MSILIT.	318
Ilustración 178 Especificaciones sistema de movilización MSILIT.	319
Ilustración 179 Especificaciones Manija de agarre MSILIT.	320
Ilustración 180 Especificaciones sistema de apoyos MSILIT.	321
Ilustración 181 Especificaciones sistema de rotación plano de trabajo MSILIT.	322
Ilustración 182 Especificaciones sistema de almacenamiento MSILIT.	323
Ilustración 183 Factibilidad de fabricación.	324
Ilustración 184 Los tres componentes de mayor incidencia en las cuatros areas de impacto medio ambiental.	336
Ilustración 185 Ubicaciones de las cámaras	361
Ilustración 186 Visualización de la cámara.	361

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1 Comportamiento de la posición de las barras en función del ángulo θ .	287
Gráfica 2 Comportamiento de la fuerza del cilindro en función del ángulo θ .	288

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de los PIG según PPSA. [4]	34
Tabla 2 Software de simulación ergonómica.	42
Tabla 3 Esquema de codificación de las posturas observadas.	45
Tabla 4 Clasificación de categorías de riesgo de los "Códigos de postura".	46
Tabla 5 Categorías de Riesgo y Acciones correctivas	46
Tabla 6 Tamaños recomendados de caracteres correspondientes a diferentes distancias de lectura	54
Tabla 7 Tipos de controles.	55
Tabla 8 Medidas antropométricas de hombres colombianos.	57
Tabla 9 Clasificación de mantenimientos de las herramientas ILI según: tipo y mobiliario.	73
Tabla 10 Nivel de incomodidad para ejecutar los MTN para cada operario	75
Tabla 11 Nivel de incomodidad del personal para ejecutar los diferentes tipos de MTN.	75
Tabla 12 Convecciones para diagramas.	88
Tabla 13. Análisis cualitativo por fases, MTN de Gyro.	92
Tabla 14 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Gyro.	93
Tabla 15. Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Gyro.	94
Tabla 16 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Gyro.	95
Tabla 17 Análisis cualitativo por fases, MTN de Baterías.	100
Tabla 18 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Baterías.	102
Tabla 19 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Baterías.	103
Tabla 20 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Baterías.	105
Tabla 21 Análisis cualitativo por fases, MTN de Sensores.	109
Tabla 22 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Sensores.	110

Tabla 23. Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Sensores	111
Tabla 24 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Sensores.	112
Tabla 25. Análisis cualitativo por fases, MTN de Copas.	116
Tabla 26 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Copas.	118
Tabla 27 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Copas.	120
Tabla 28 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Copas.	122
Tabla 29 Análisis cualitativo por fases, MTN de Cardan.	126
Tabla 30 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Cardan.	127
Tabla 31 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Cardan	128
Tabla 32 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Cardan.	129
Tabla 33 Análisis cualitativo por fases, MTN de Cepillos.	133
Tabla 34 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Cepillos.	135
Tabla 35 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Cepillos.	137
Tabla 36 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Cepillos.	138
Tabla 37 Análisis cualitativo por fases, MTN de Magnetos	142
Tabla 38 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Magnetos.	144
Tabla 39 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Magnetos.	145
Tabla 40 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Magnetos.	147
Tabla 41 Análisis cualitativo por fases, MTN de Odómetro.	151
Tabla 42 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Odómetro.	153
Tabla 43 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Odómetro.	154
Tabla 44 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Odómetro.	156
Tabla 45 Mantenimientos y fases de mayor riesgo.	158
Tabla 46 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN GYRO.	168
Tabla 47 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Baterías.	172

Tabla 48 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Sensores.	175
Tabla 49 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Copas.	178
Tabla 50 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Cardan.	182
Tabla 51 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Cepillos.	185
Tabla 52 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Magnetos.	188
Tabla 53 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Odómetro.	191
Tabla 54 Porcentaje de importancia relativa para cada necesidad	199
Tabla 55 Especificaciones de requerimientos	200
Tabla 56 Análisis competitivo frame.	206
Tabla 57 Análisis competitivo de la bandeja de entrampe. r	207
Tabla 58 Análisis competitivo del banco de mantenimiento actual.	208
Tabla 59 Proveedores del banco mantenimiento actual.	209
Tabla 60 Alternativas Subsistema A1.	213
Tabla 61 Alternativas Subsistema A2.	215
Tabla 62 Alternativas Subsistema B	219
Tabla 63 Criterios de selección de alternativas	227
Tabla 64 Resultados selección de alternativas por subsistemas.	227
Tabla 65 Alternativas seleccionadas para Subsistema A.	228
Tabla 66 Alternativas seleccionadas para Subsistema A.	228
Tabla 67 Evaluación de satisfacción de criterios de diseño para MSILIT.	275
Tabla 68 Evaluación de satisfacción de necesidades.	277
Tabla 69 Datos de entrada para ecuaciones estáticas.	278
Tabla 70 Resultados de la posición de las barras AB en función del ángulo de inclinación.	286

Tabla 71 Resultados de la Fuerza del cilindro en función del ángulo de inclinación.	288
Tabla 72 Propiedades Mecánicas, materiales sistema de apoyos.	297
Tabla 73 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema (perfil de esfuerzos).	298
Tabla 74 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema (perfil de desplazamientos).	299
Tabla 75 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema (perfil del factor de seguridad).	299
Tabla 76 Fuerzas y momentos en el estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema.	300
Tabla 77 Propiedades Mecánicas, materiales sistema de elevación.	304
Tabla 78 Primer estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación (perfil de esfuerzos).	305
Tabla 79 Primer estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación máximo (perfil de desplazamientos).	306
Tabla 80 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación máximo (perfil del factor de seguridad).	306
Tabla 81 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación (perfil de esfuerzos).	309
Tabla 82 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación mínimo y máximo (perfil de desplazamientos).	310
Tabla 83 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación mínimo y máximo (perfil del factor de seguridad)..	311
Tabla 84 Costo de fabricación de una subestación (modulo).	326
Tabla 85 Informe <i>SolidWorks Sustainability</i> de subestación MSILIT.	333
Tabla 86 Informe de impacto ambiental de subestación MSILIT.	334
Tabla 87 Los componentes que más contribuyen a las cuatro áreas de impacto medioambiental.	335

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A FORMATOS DE INMERSIÓN EN EL CONTEXTO	350
ANEXO B: DATOS SIMULACIÓN ERGONÓMICA VIRTUAL	362
ANEXO C: PLANOS DE PIEZAS NORMALIZADAS	366
ANEXO D: CARTA DE CONSTANCIA DE PASANTÍA	371
ANEXO E: PLANOS TÉCNICOS MSILIT	373

RESUMEN

TÍTULO: DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI (INSPECCIÓN EN LÍNEA) EN LA EMPRESA ROSEN EUROPE B.V SUCURSAL COLOMBIA. MODALIDAD PRÁCTICA EMPRESARIAL*

AUTORES: DIANA MILENA BUENAHORA LOPEZ **

PALABRAS CLAVE: DIGITAL HUMAN MODELING, ERGONOMÍA, INGENIERÍA DE FABRICACIÓN, HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN 3D, HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI.

DESCRIPCION:

La metodología se desarrolla en tres etapas: Diagnóstico, creación y validación. La primera etapa, inicia con los antecedentes de inconformidad manifestados por los operarios del área de mantenimiento y los datos recolectados en la observación de campo de la misma área. Para que a través del método evaluación postural OWAS implementado en un escenario real y un escenario virtual, mediante la utilización del software de simulación ergonómica JACK. Se logrará evaluar las condiciones actuales del área de mantenimiento y establecer los requerimientos de diseño que permitieran la exploración de posibles soluciones de diseño.

Así pues, definidas las especificaciones iniciales requeridas, se inicia la segunda etapa de desarrollo. La cual se apoya en la metodología de diseño de enfoque sistemático donde se establecen las funciones que la estación de mantenimiento debe realizar para cumplir cada requerimiento, desarrollándose una serie de alternativas que fueron evaluadas y seleccionada la mejor alternativa de diseño conceptual y funcional por el método de criterios ponderados.

La tecnología de diseño 3D (CAD, CAE, CAM), permitió la fabricación final del prototipo virtual para la realización de la tercera etapa de diseño. Donde se validó el diseño respecto al factor humano, fabricación y ciclo de vida del producto. El factor humano fue validado a través de la simulación ergonómica virtual; obteniéndose que las mejoras realizadas en la propuesta final, corrigieron sustancialmente las operaciones y posturas incorrectas de los operarios. Por otro lado, el factor de fabricación fue validado a través de la simulación de elementos finitos, dando como resultado un factor de seguridad viable. Finalmente, el factor de ciclo de vida del producto es validado a través de una evaluación de sostenibilidad realizada con el software SOLIDWORKS, arrojando un resultado un impacto ambiental favorable para las etapas de fabricación, utilización y fin de vida útil de la propuesta final.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Javier Mauricio Martínez Gómez. Codirector: Jose Miguel Higuera Marín

ABSTRACT

TÍTULO: DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI (INSPECCIÓN EN LÍNEA) EN LA EMPRESA ROSEN EUROPE B.V SUCURSAL COLOMBIA. MODALIDAD PRÁCTICA EMPRESARIAL*

AUTORES: DIANA MILENA BUENAHORA LÓPEZ **

PALABRAS CLAVE: DIGITAL HUMAN MODELING, ERGONOMIC, MANUFACTURING ENGINEERING, 3D SIMULATION TOOLS, ILI TOOLS.

DESCRIPCION:

The methodology develops in three stages: I diagnose, creation and ratification. The first stage, it initiates with the precedents of dissent shown by the workers of the area of maintenance and the information gathered in the field observation of the same area. So that across the postural evaluation method OWAS implemented in a real stage and a virtual stage, by means of means of the use of the software of ergonomic simulation JACK. One will manage to evaluate the current conditions of the area of maintenance and establish the requests of design that are allowing the exploration of possible solutions of design.

So, the initial specifications required are defined, the second stage of development begins. Which is based on the systematic approach design methodology which establishes the functions that the maintenance station must perform to fulfill each requirement, developing a series of alternatives that were evaluated and selected the best alternative conceptual design and functional by the method Of weighted criteria.

The 3D design technology (CAD, CAE, CAM) allowed the final fabrication of the virtual prototype for the realization of the third design stage. Where the design was validated with respect to the human factor, manufacturing and product life cycle. The human factor was validated through virtual ergonomic simulation; Obtaining that the improvements made in the final proposal substantially corrected the operations and wrong postures of the operators. On the other hand, the factor of manufacture was validated through the simulation of finite elements, resulting in a viable safety factor. Finally, the life cycle factor of the product is validated through a sustainability assessment carried out with the SOLIDWORKS software, resulting in a favorable environmental impact for the stages of manufacture, use and end of life of the final proposal.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Javier Mauricio Martínez Gómez. Codirector: Jose Miguel Higuera Marín

INTRODUCCIÓN

La ergonomía se define como la ciencia del trabajo, que elimina las barreras que se oponen a un trabajo humano seguro, productivo y de calidad, mediante el adecuado ajuste entre productos, tareas y ambiente de trabajo [1].

Frente a este escenario ROSEN Europe B.V Sucursal Colombia (ROSEN); multinacional dedicada a la prestación del servicio de inspección de líneas transporte y líder en tecnología de herramientas instrumentadas ILI. Se convierte en prioridad diaria acondicionar y mantener las herramientas ILI en óptimas condiciones, para lograr ofrecer un servicio de calidad a sus clientes. Sabiendo que para lograr este objetivo requiere conocer no solo las necesidades de sus clientes sino también las de su equipo de trabajo.

Es por esto que a partir de manifestaciones de inconformidad de los operarios del área de mantenimiento sobre la necesidad de mejorar el acondicionamiento del puesto trabajo actual para la realización del mantenimiento de las herramientas ILI y los registros obtenidos del análisis observacional en dicha área. Se determinó la necesidad de intervención para ejecutar un análisis a mayor profundidad para la toma de acciones correctivas.

Así que través de procesos de investigación focalizados en el acercamiento hacia los usuarios (entendido como el sistema Human Centered Design) [2], el uso de metodologías de evaluación postural y la implementación de la simulación ergonómica virtual, se logra diagnosticar, evaluar y realizar las diferentes modificaciones ergonómicas, a través del diseño asistido por computador CAD. Mejorando las condiciones de trabajo en el área de mantenimiento de ROSEN, permitiendo que la relación entre el operario- la herramienta instrumentada ILI- el

puesto de trabajo, sea más cómoda respecto a la anterior; evitando la adopción de posturas que puedan generar traumas musculares y/o la manipulación de carga que sobre pase los umbrales permitidos.

Las modificaciones realizadas en puesto de mantenimiento de ROSEN, son el resultado de modelar virtualmente el puesto, aplicar la herramienta de simulación sobre el modelo creado, evaluar los resultados obtenidos en esta simulación y proponer mejoras que corrijan las operaciones incorrectas; optimizando, de esta manera, las condiciones de trabajo en el puesto, y ajustando las modificaciones a las características antropométricas de los operarios.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas de transporte de hidrocarburos desde los yacimientos hasta los puertos o plantas de refinación han evolucionado con el desarrollo tecnológico a través de los años. En Colombia algunas empresas han visto una oportunidad para posicionarse en este sector industrial con excelentes resultados, es el caso de Ecopetrol¹; organización que como parte de su operación necesita movilizar crudo desde el sitio de explotación hasta los puntos donde se realizan la refinación, procesamiento, exportación y uso. El traslado de hidrocarburos se realiza mediante un sistema transporte por tubería o transporte por ductos, el cual recibe el nombre según el producto transportado y a su vez define la normatividad necesaria para su construcción y funcionamiento². En el caso particular de la industria petrolífera, este tipo de transporte por tuberías adopta el nombre de oleoducto. Los oleoductos son un sistema de articulación mediante tubos de acero con diámetros internos que comúnmente oscilan entre los 30 y 120 centímetros y se constituyen como el medio más ágil, rentable y seguro de transportar hidrocarburos por largos tramos de distancia.

Paralelo a las empresas que transportan por ductos sus productos se ha desarrollado una industria de prestación de servicios tales como: inspección, monitoreo y verificación del estado de las tuberías y ductos. En particular, en el sector de inspección de tuberías se han desarrollado métodos para ofrecer un mejor

¹ El Ecopetrol se ha posicionado como empresa sólida ante los más grandes inversionistas institucionales quienes administran portafolios con montos significativos de recursos. Recuperado 24 de noviembre de 2013 de <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=148&conID=41907&pagID=131667>

² La empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL elaboró un conjunto de normas para tener en cuenta los aspectos geotécnicos en el diseño y construcción de oleoductos. Recuperado 24 de noviembre de 2013 de <http://www.erosion.com.co/geotecnia-petrolera/54-normas-de-ingenieria-de-oleoductos-ecopetrol.html>

servicio a sus clientes³, por ejemplo, las herramientas instrumentadas ILI que permiten la obtención de datos confiables sobre la integridad de las tuberías.

Desde 1974 se comenzó a trabajar con herramientas instrumentadas ILI o PIGS (marranos inteligentes)[3], las herramientas experimentadas fueron lo que en la actualidad se denomina herramientas con baja resolución, es decir, los resultados obtenidos eran evaluados mediante variables cualitativas ordinales como: “bajo, medio o severo” de cualquier característica que percibiera la herramienta en el interior de la tubería. Así que a través de los años estudios de empresas dedicadas a la inspección han invertido recursos tanto económicos como de capital humano para ofrecer resultados más precisos (cuantitativos y cualitativos) y proporcionarle a los ingenieros y/o personas interesadas un diagnóstico con soluciones eficaces y eficientes de acuerdo a sus necesidades[3].

Los PIGS[4] en la actualidad, son herramientas instrumentadas inteligentes de inspección en línea (ILI) que utilizan la tecnología MFL (Magnetic Flux Leakage) de flujo magnético axial de alta resolución para dar mayor exactitud en las mediciones[5]. Estas herramientas se encuentran provistas de complejos sensores, los cuales se adhieren a las paredes internas de las tuberías y las recorren a lo largo de las mismas detectando deformaciones y defectos, determinando el ancho, largo y su ubicación en el interior de la tubería. Estos sensores además recopilan la información obtenida del escaneo de la tubería en su base de datos y esta información es entregada a expertos para su posterior análisis.

³ El propósito principal de este servicio es ubicar problemáticas en la estructura física interior de las tuberías de drenaje, mediante la incursión de un sistema móvil computarizado para inspección de tuberías con cámara de circuito cerrado de TV. (CCTV), generando así un diagnóstico puntual que determinará grietas, cuarteaduras, fracturas, desprendimientos, apertura de juntas, infiltraciones, incursión de raíces, obstáculos no previstos, asentamientos, sedimentaciones, corrosión interna, fugas, objetos extraños, desfasamientos, columpios, pendientes, etc. dentro de la tubería. Recuperado 24 de noviembre de 2013 de <http://www.servidren.com/video-inspeccion-de-tuberias.html>

ROSEN, es una multinacional dedicada a la prestación de este servicio, cuenta con sucursal en Bogotá, Colombia desde el 2003, es líder en tecnología de herramientas instrumentadas ILI y en el desarrollo de una serie de protocolos para la inspección de tuberías, esta compañía ofrece su servicio a las industrias de petróleo y gas en el estricto cumplimiento de todas las leyes y reglamentos aplicables [6].

Para ROSEN se convierte en prioridad diaria acondicionar y mantener sus herramientas instrumentadas ILI para lograr ofrecer un servicio de calidad a sus clientes. Estas herramientas, después de culminar su labor de inspección de tuberías en campo, son alistadas para el transporte hacia las instalaciones de ROSEN, específicamente al área de mantenimiento en donde se realizaran los mantenimientos correctivos y ajustes necesarios para dejar la herramienta en óptimas condiciones para la siguiente tarea asignada.

Los recursos humanos y físicos actuales que se tienen para el desarrollo del mantenimiento y reparación de las herramientas instrumentadas ILI, han permitido hasta el momento ejecutar la tarea mencionada, sin embargo el personal encargado del área ha manifestado inconformidad debido a la necesidad de mejoras en el banco de mantenimiento actual. Esta inconformidad del personal radica en la falta de un banco de mantenimiento que se adapte a las actividades que realizan los operarios sobre este generando que el personal de área se valga de maniobras innecesarias para la realización de su labor que conduce a traumas musculoesqueléticos en los operarios e inseguridad en las herramientas instrumentadas ILI o PIG's, a las cuales se les ejecutan los mantenimientos correctivos.

Las principales desventajas del mobiliario industrial actual es el esfuerzo por carga estática y dinámica que el personal manipula debido a la falta de relación entre el banco de mantenimiento, la geometría cilíndrica y peso (200Kg-300Kg) de las herramientas instrumentadas ILI; causando que el operario adopte posturas críticas para la realización de las diferentes actividades de mantenimiento.

Con base en lo anterior se pretende generar un concepto a través de procesos de investigación focalizados en el acercamiento hacia los usuarios entendido como el sistema Human Centered Design [2], para mejorar las condiciones actuales. Es decir permitir que la relación entre el operario- la herramienta instrumentada ILI- mobiliario industrial, sea más cómoda y evite la adopción de posturas que puedan generar traumas musculoesqueléticos, manipulación de carga que sobre pase los umbrales permitidos, al igual que la disminución de manipulaciones peligrosas de la herramienta instrumentada ILI durante el desarrollo del proceso de mantenimiento y reparación que pueda afectar su integridad y/o la del personal del área.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, el proyecto, busca responder a la siguiente pregunta de diseño: ¿Cómo asegurar buenas condiciones de trabajo del Técnico-Operario en el proceso de mantenimiento y reparación de las herramientas instrumentadas ILI? Pregunta a la cual se dio respuesta mediante el desarrollo de esta investigación.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general Diseñar acondicionamiento del puesto de trabajo para el área de mantenimiento y reparación de las herramientas instrumentadas ILI (Inspección en línea) que mejore los procesos operativos actuales del personal, en cuanto a sus funciones y los tiempos de rendimiento de estas, en la empresa ROSEN Europe B.V Sucursal Colombia.

1.1.2 Objetivos específicos

O1. Analizar el proceso de mantenimiento y reparación actual de las herramientas instrumentadas ILI (inspección en línea), para identificar y clasificar las necesidades del usuario y establecer los requerimientos del producto.

O2. Diseñar el concepto mediante la selección de la(s) alternativa(s) que mejor cumpla(n) con los requisitos especificados.

O3. Realizar el desarrollo de prototipos virtuales mediante el uso de herramientas CAD, y simulaciones CAE para verificar errores a nivel de sistema.

O4. Validar el diseño mediante un análisis de conformidad de requerimientos de usuario y análisis ergonómico del puesto de trabajo.

O5. Realizar análisis LCA (Life Cycle Assessment) de la solución propuesta, para determinar el impacto ambiental y evaluación de la sostenibilidad de la solución propuesta.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Herramientas instrumentadas ILI Las Herramientas Instrumentadas ILI (inspección en línea) o nombradas comúnmente en países de habla hispana como “Marranos inteligentes” debido a su traducción directa de la palabra en inglés Smart PIG [7]. Son requeridas en la industria de transporte por tuberías de petróleo y gas, debido a su alta tecnología, la cual permite la realización mediante la técnica de ensayos no destructivos⁴, inspeccionar la integridad de las tuberías. Dando con esto apoyo en labores de limpieza, identificación y medición de defectos o discontinuidades que puedan presentar la tubería. Esto lo realizan viajando a lo

⁴ Los Ensayos no destructivos son un tipo de prueba practicada a un material que no altera de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los Ensayos No destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño a la muestra examinada. Dentro de los ensayos no destructivos podemos mencionar: radiografía, ultrasonido, inspección visual y tintas penetrantes.8. Techonologies, I. *ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*. 2010 [cited 2014 10 Agosto]; Available from: <http://www.indutecsa.com/index.php/productos/nodestructivos>.

largo de la tubería, impulsadas por el flujo del producto que es transportado por la tubería, evitando así paradas en la producción.

Según Pipeline Products and Services Association (PPSA); asociación de comercio internacional al servicio de la industria del PIGGIN. Fundada en 1990 por Jim Cordell, cuenta en la actualidad con un aproximado 100 miembros en más de 20 países y es financiada totalmente por sus asociados, su fin es impulsar la industria del PIGGIN, en cuanto a avances tecnológicos de productos, prestación del servicio y la gestión de un puente de comunicación entre la industria, usuarios u otros frentes vinculados indirectamente a esta industria. Esta asociación clasifica a los PIGS según su utilidad tales como (ver Tabla 1):

Tabla 1 Clasificación de los PIG según PPSA. [4]

CLASIFICACIÓN DE LOS PIG SEGÚN PPSA

PIG Utilitarios



Encargados en labores de limpieza, separación de producto o deshidratación y eliminación de residuos. Ya sean sustancias, depósitos sólidos o semisólidos en la superficie de la pared interna de la tubería.

PIG Geométricos



Encargadas de evidenciar y detectar los defectos a nivel geométrico que presente la tubería como: abolladuras, arrugas, ángulo de radio y cambio en la geometría base (cilíndrica).

Herramientas Instrumentadas ILI / Smart PIG



Los SMART PIG, son usados ampliamente para asegurar la integridad de las tuberías en las industrias de hidrocarburos, gases y sustancias químicas (ácidos).

Encargados de proporcionar y almacenar datos de la condición real de la tubería; datos que posteriormente son analizados por el ingeniero de campo o experto.

Algunos de los datos que recolecta la Herramienta ILI se encuentran:

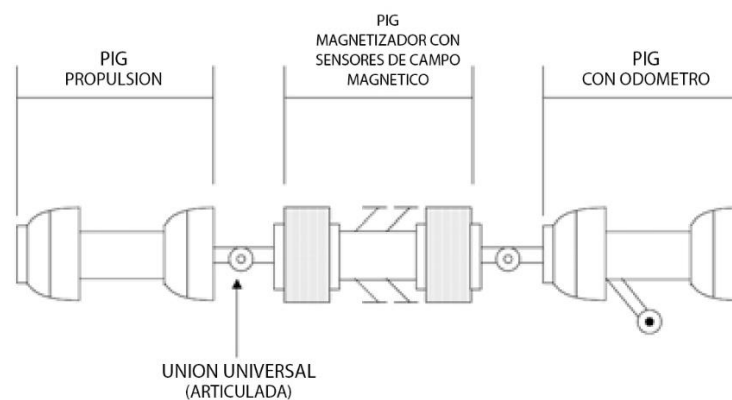
- Diámetro de la tubería y la geometría
- Seguimiento y medición de la curvatura
- Perfil del ducto
- Registro de la temperatura o la presión
- Detención de la pérdida de metal o corrosión.

Respecto a la configuración específicamente de la Herramienta Instrumentada ILI o Smart PIG objeto de estudio de esta investigación, su cuerpo generalmente es de

forma cilíndrica, compuestos por un eje metálico en el cual se fija la instrumentación mecánica y electrónica necesaria para su funcionamiento. Este cuerpo se divide en tres secciones individuales unidas mediante articulaciones universales denominadas cardán⁵, formando así una unidad autónoma (desde el lanzamiento hasta la recepción del mismo), y facilitando el paso del dispositivo por curvaturas agudas que pueda presentar la tubería, estas secciones están constituidas por:[7]

- ✓ *Una sección de propulsión, para crear una presión diferencial que permita que el producto transportado impulse la herramienta.*
- ✓ *Un magnetizador, para inducir un campo de flujo dentro de la pared del tubo, y sensores que son los transductores para la detección de dispersión de flujo magnético.*
- ✓ *Un conjunto de odómetro, para medir el avance de la herramienta a lo largo de la tubería*
- ✓ *Un registrador, para procesar las señales de sensores, odómetro, circuitos de orientación y almacenarlas en la cinta magnética, cintas audio digitales o chip de memoria.*
- ✓ *Un conjunto de baterías, para alimentar el magnetizador y el aparato registrador.*

Ilustración 1 Secciones que componen la herramienta ILI. [10]



⁵ El cardán es un componente mecánico, descrito por primera vez por Girolamo Cardano, que permite unir dos ejes no colineales. Su objetivo es transmitir el movimiento de rotación de un eje al otro a pesar de la no colinealidad.⁹ Los Cardanes, F.y.r.d.s.c. *Qué es un cardán?* 2014; Available from: http://www.loscardanes.com/index.cfm?section_ID=welcome.

Cabe aclarar que no siempre la herramienta ILI tendrá una configuración de tres cuerpos como se muestra en la Ilustración 1, el número de cuerpos, entre otras variantes; es modificado por el experto teniendo en cuenta las características de la línea o tubería a la cual se realizara la inspección, las variantes son: diámetro, espesor de paredes y radios de curvatura de la tubería, además se debe tener en cuenta el producto que transporta la misma y la distancia estimada que debe recorrer la herramienta ILI en el interior de la tubería para llevar a cabo la inspección.

Ilustración 2 Trampa de envío [11]

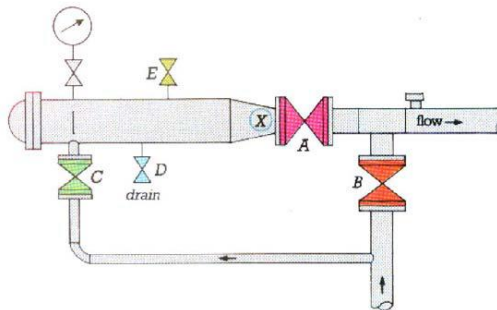
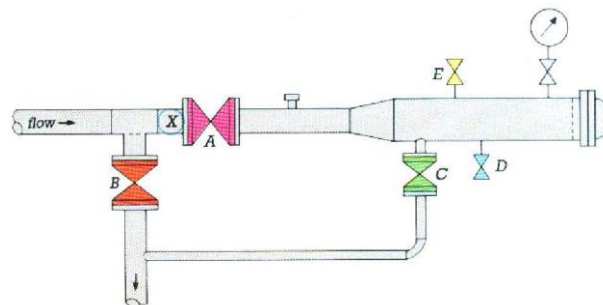


Ilustración 3 Trampa de recepción [11]



La inspección inicia cuando se efectúan una serie de arreglos en las válvulas de la tubería esto con el fin de conducir la herramienta ILI por el recorrido deseado [7]. Posterior a esto se ubica la herramienta ILI en el interior de la tubería, para esto el operario usa las trampas de envío y recepción (Ilustración 3). La principal función de estas trampas, es facilitar la inserción de la herramienta ILI en el interior de la tubería (trampa de envío) para dar inicio a la inspección y la extracción de la misma

al momento de finalizarla (trampa de recepción) de una manera fácil, rápida y sin interrumpir el servicio del producto transportado. [7].

1.2.2 Mantenimiento industrial El sector empresarial está buscando constantemente la optimización de sus recursos, el mantenimiento industrial se convierte en una de las opciones para el logro de este objetivo, ya que un adecuado plan de mantenimiento aumenta la vida útil de los recursos físicos de una empresa.

El mantenimiento industrial se define como el conjunto de operaciones encaminadas a la preservación de la maquinaria, equipo e instalaciones, y así evitar o minimizar las fallas, de tal manera que continúen prestando su servicio en óptimas condiciones. [12] Una adecuada planeación de mantenimiento, permitirá a la empresa mejoras sustanciales en la eficiencia, los costos, la calidad, confiabilidad del producto y/o servicio que ofrecen a sus clientes.

No obstante si se realiza una gestión inadecuada de este, se verán alterados los programas de producción, traducido en altas pérdidas en el flujo económico de la empresa que se verán representadas en rubros tales como:

- ✓ Mayor espacio utilizado.
- ✓ Mayor inversión inmovilizada.
- ✓ Problemas de calidad en el producto acumulado.
- ✓ Personal desmotivado.
- ✓ Mayor desperdicio de materiales.
- ✓ Mayores costos en las reparaciones.

Por esto la correcta gestión en el plan de mantenimiento, pasa a ser un sistema medular en el sostenimiento de la empresa, desarrollándose de forma paralela y complementaria al sistema de producción. Se considera que las organizaciones eficientes emplean una actividad de mantenimiento que se adapta a sus

necesidades, las características técnicas del equipamiento instalado y el nivel de riesgo de las posibles fallas para operarios, medio ambiente y la calidad de la producción. [12] La selección estratégica del protocolo de mantenimiento permitirá:

- ✓ Evitar, reducir y reparar las fallas sobre los bienes de la organización.
- ✓ Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- ✓ Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- ✓ Evitar accidentes.
- ✓ Evitar daños ambientales.
- ✓ Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- ✓ Conservar los bienes producidos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- ✓ Lograr un uso eficiente y racional de la energía.
- ✓ Mejorar las funciones y la vida útil de los bienes.

Para la realizar una selección adecuada de la estrategia de mantenimiento, se debe tener en cuenta la aplicación y beneficios que quiera lograr con la misma. Para facilitar esto se determina la clasificación según el enfoque del mantenimiento. [13]

- ✓ **Mantenimiento correctivo:** Focalizado en corregir los problemas o fallas en el momento que aparecen, efectuando una solución ágil que pone nuevamente en funcionamiento el equipo. Este tipo de mantenimiento aplica en paradas no programadas.
- ✓ **Mantenimiento predictivo:** Predice fallas en el equipo, generalmente, se hace uso de técnicas de ensayos no destructivos. Comúnmente se aplican a equipos o partes de la máquina que son muy costosas. Puede ser un complemento del mantenimiento preventivo.
- ✓ **Mantenimiento programado:** Es considerado por los fabricantes de las máquinas como el más recomendado ya que se basa en datos estadísticos en los cuales se informa sobre las características de las piezas del equipo y su detrimento en el tiempo.

- ✓ **Mantenimiento bajo condiciones:** Al establecer un sistema de mantenimiento preventivo se especifica los parámetros de las condiciones de operación o el contexto de la máquina, si se cambian dichas condiciones se debe implementar un mantenimiento bajo las nuevas condiciones para adecuar al equipo o máquina para su correcto funcionamiento.
- ✓ **Mantenimiento preventivo:** se anticipa a los fallas del equipo. Para la realización de este es necesario llevar un registro estadístico completo de las fallas más comunes presentadas, y así desarrollar el diseño de la estrategia de mantenimiento a ejecutar. En caso de no existir tales registros, la estrategia de mantenimiento debe comenzar con la recopilación de la información requerida.

En síntesis el mantenimiento industrial se focaliza en la preservación del equipo, maquinaria o sistemas operacionales que determinen la actividad económica ya sea de producción de bienes o servicio de la empresa; la aplicación de protocolos de mantenimiento sea de tipo correctivo, predictivo, programado o preventivo, evitara paradas inesperadas que se verán reflejada en pérdidas económicas y de capital humano considerables.

1.2.3 Herramientas aplicadas al diseño y optimización de puestos de trabajo

La ergonomía es una actividad multidisciplinaria aplicada a la ingeniería, utilizada para el diseño de estaciones de trabajo, herramientas, métodos de trabajo y ambiente, de tal forma que se ajusten a las capacidades y limitaciones de las personas [14].

A través de distintos métodos ergonómicos presentes en la actualidad se pueden realizar una medida adecuada de los factores de riesgo ergonómico, reduciendo con esto la incidencia de riesgos labores, la eliminación de las lesiones músculo-esqueléticas y de otras enfermedades profesionales, lo cual puede permitir la reducción del absentismo laboral y evitar la pérdida de productividad y competitividad. [1]

Una de las muchas clasificaciones existentes acerca de los métodos ergonómicos es aquella que les clasifica en métodos indirectos y métodos directos. Donde los métodos indirectos se basan en la observación y para su aplicación utilizan los datos obtenidos por el evaluador en campo, el cual se encarga de observar directamente los movimientos y acciones desarrolladas por el operario en la realización de su trabajo. Algunos de los métodos que se encuadran bajo esta clasificación son: RULA, OWAS, NIOSH, LEST, REBA, OCRA, entre otros.

Algunas de las ventajas de los métodos indirectos son:

- ✓ Intervención de bajo presupuesto
- ✓ No interrupción del trabajo
- ✓ Pueden aplicarlos personas sin conocimientos básicos
- ✓ Escasa cantidad de materiales utilizados

Estos métodos presentan como desventaja principal la falta de precisión y la gran variabilidad inter e intra observacional.

Por otro lado, los métodos directos son aquellos que precisan de diferentes aparatos y equipos electrónicos para la captura de datos que servirán para evaluar las posturas y movimientos que adoptan los trabajadores a la hora de realizar sus tareas, determinando de esta manera, el grado de riesgo al que están expuestos. Entre las técnicas más comunes que se incluyen en estos métodos se destacan: Electro-miografía, Electro-goniometría, Goniometría y Digitalización de imágenes.

Algunas de las ventajas de los métodos directos son:

- ✓ Precisión
- ✓ Exactitud
- ✓ Contenido Informativo

Como desventaja se podría destacar la gran cantidad de información que se recoge con estas técnicas, dificultando la interpretación de los mismos.

Estudios paralelos a los métodos ergonómicos mencionados antes, han venido desarrollando herramientas simulación ergonómica; tomando como referencia herramientas virtuales, utilizadas en procesos de fabricación y montaje, donde se diseña y valida el proceso de manera interactiva, facilitando una rápida adaptación a los posibles cambios del producto y favoreciendo la mejora continua del proceso. [15].

La simulación ergonómica se lleva a cabo en un “entorno ergonómico virtual” donde con Modelos humanos digitales (DMH) se interactúa y se ejecutan las distintas tareas propias del trabajo a evaluar y de esta forma corregir los errores de la actividad y/o replantear y proponer mejoras simultáneamente. Los primeros desarrollos de DMH datan de los años 60 y han sufrido un importante avance, fundamentalmente por las mejoras que han aportado su utilización y la resolución de las distintas limitaciones asociadas a los programas utilizados. Örtengren R. (Salvendy, 2012) clasifica los DMH en 2 grandes grupos: modelos cognitivos/actuación (CA DHM) y modelos físicos (F DHM). Los primeros permiten calcular fuerzas y momentos en las articulaciones y otras partes del cuerpo, durante la ejecución de la actividad. El segundo grupo simula la apariencia y movilidad humana mediante un maniquí visualización gráfica. Los principales software utilizados actualmente en la simulación ergonómica de procesos industriales son: JACK (SIEMENS) y DELMIA HUMAN (Dassault Sistemas), junto con 3D SSPP (Universidad de Michigan). [1].

Los análisis o evaluaciones ergonómicas, son realizados por los distintos softwares, basándose en diversos métodos indirectos (RULA, NIOSH, OWAS...). Para ello utilizan datos antropométricos, fuerzas y posturas del DMH a partir de la utilización de un algoritmo que limita los grados de libertad del mismo. En la Tabla 1 se muestra

un comparativo de los software comerciales de simulación ergonómica, donde se describen los beneficios que se obtienen con cada programa así como las aplicaciones que permite realizar y los diferentes módulos de los que consta el programa. Algunos de estos programas han sido desarrollados tanto por el IBV (Instituto Biomecánica de Valencia) y la Universidad De Michigan.

En concreto la utilización de estas herramientas de simulación ergonómica permite incluir el factor humano desde las primeras etapas de intervención asegurando con ello beneficios importantes para la empresa tales como:

- ✓ Asegurar el cumplimiento de importantes normas de seguridad y salud
- ✓ Reducir los tiempos en los diseños de montaje
- ✓ Mejorar la satisfacción de los trabajadores
- ✓ Optimizar los lugares y puestos de trabajo
- ✓ Incrementar la productividad.

Tabla 2 Software de simulación ergonómica.

Programas de diseño y simulación 3D	SAFEWORK	CATIA	DELMIA	DIVISION	RAMSIS in eM-HUMAN	JACK	3D SSPP
Beneficios:							
Incremento de la productividad	√	√	√	√	√	√	√
Reducción de tiempos de diseño	√	√	√		√	√	√
Reducción de costes	√	√	√	√	√	√	√
Mejora de la calidad de los productos	√	√	√	√	√	√	√
Módulos del programa:							
Editor medidas de maniquí	√	√	√	√	√	√	√
Análisis de posturas	√	√	√	√	√	√	√
Análisis de actividades:							
<i>RULA</i>	√	√	√			√	
<i>NIOSH 81/91</i>	√	√	√	√	√	√	√
<i>SNOOK & CIRIELLO 1991</i>	√	√	√				
<i>OWAS</i>					√	√	

Programas de diseño y simulación 3D	SAFEWORK	CATIA	DELMIA	DIVISION	RAMSIS in eM-HUMAN	JACK	3D SSPP
<i>BURANDT-SCHULTETUS</i>					√		
Análisis y simulación de tareas			√		√	√	√
Campo de visión	√	√	√	√	√	√	
Ropa	√					√	
Detección de la colisión	√	√	√	√	√	√	
Simulación en tiempo real (VR)	√	√	√	√	√	√	
Animaciones de las simulaciones y movimientos	√	√	√	√	√	√	
Aplicaciones:							
Diseño	√	√	√	√	√		√
Fabricación	√	√	√		√	√	√
Mantenimiento	√	√			√		√
Entrenamiento	√	√	√	√			
Interior del automóvil			√		√	√	
Entretenimiento						√	

Fuente: [16].

La presente investigación usó para su respectiva identificación y validación ergonómica los siguientes métodos. OWAS, digitalización de imágenes con el software Kinovea y simulación ergonómica con el software JACK de la empresa Siemens. Su aplicación y resultados están consignados en el capítulo 3 Diagnostico de ROSEN". A continuación se realiza una descripción de cada método.

1.2.3.1 Método OWAS El método OWAS (Ovako Working Analysis System) fue propuesto por los autores finlandeses Osmo Karhu, Pekka Kansu y Liikka Kuorinka en 1977 bajo el título "Correcting working postures in industry: A practical method for analysis." ("Corrección de las posturas de trabajo en la industria: un método práctico para el análisis") y publicado en la revista especializada "Applied Ergonomics".

El método OWAS, tal y como afirman sus autores, es un método sencillo y útil destinado al análisis ergonómico de la carga postural. Su aplicación, proporciona buenos resultados, tanto en la mejora de la comodidad de los puestos, como en el aumento de la calidad de la producción, consecuencia ésta última de las mejoras aplicadas [17].

El método OWAS basa sus resultados en la observación de las diferentes posturas adoptadas por el trabajador durante el desarrollo de la tarea, permitiendo identificar hasta 252 posiciones diferentes como resultado de las posibles combinaciones de la posición de la espalda (4 posiciones), brazos (3 posiciones), piernas (7 posiciones) y carga manipulada (3 intervalos).

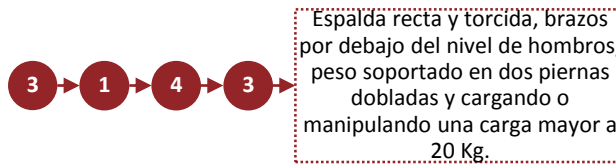
La primera parte del método, es la toma de datos es decir la observación postural del trabajador ejecutando las diferente tareas que debe ejecutar en su jornada laboral para esto se puede hacer de apoyo de fotografías o vídeos. De forma paralela a la observación se debe hacer la codificación de las diferentes posturas que adopta el trabajador. Para esto, el método indica que se debe hacer la codificación de la posición de espalda, extremidades superiores, extremidades inferiores y la carga manipulada asignando un valor para cada postura de la siguiente forma:

Tabla 3 Esquema de codificación de las posturas observadas.



La Ilustración 4, muestra un ejemplo de la codificación para una postura observada

Ilustración 4 Ejemplo aplicación método OWAS.



Luego de tener la codificación de la postura se debe definir la categoría de riesgo de la misma para ello se usa la Tabla 4, hasta el momento el método clasifica el riesgo en una escala de 1 a 4, donde 1 es sin riesgos sobre el sistema musculoesquelético y 4 riesgo crítico sobre el sistema musculoesquelético. Pero para dar mayor especificación sobre qué acciones tomar el método plantea la Tabla 5.

Tabla 4 Clasificación de categorías de riesgo de los "Códigos de postura".

	1 Carga			2 Carga			3 Carga			4 Carga			5 Carga			6 Carga			7 Carga		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Espalda																					
Brazos																					
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2
2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3
3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	2	3	4
4	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1
2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
4	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4

Fuente: [17]

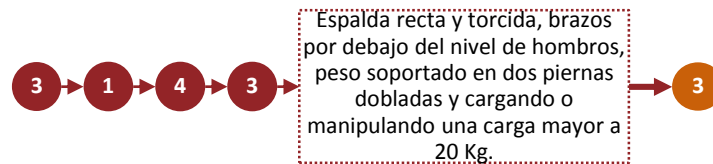
Tabla 5 Categorías de Riesgo y Acciones correctivas

Categoría de Riesgo	Efectos sobre el sistema musculoesquelético	Acción correctiva
1	Postura normal sin efectos dañinos en el sistema músculo-esquelético.	No requiere acción
2	Postura con posibilidad de causar daño al sistema músculo-esquelético.	Se requieren acciones correctivas en un futuro cercano.
3	Postura con efectos dañinos sobre el sistema músculo-esquelético.	Se requieren acciones correctivas lo antes posible.
4	La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético.	Se requiere tomar acciones correctivas inmediatamente.

Fuente: [17]

A continuación se muestra el resultado del ejemplo formulado en la Ilustración 4; donde indica que la postura evaluada esta riesgo categoría 3 y sugiere la toma de acciones lo antes posible para reducir los efectos dañinos sobre el sistema musculoesquelético.

Ilustración 5 Ejemplo de resultado de aplicación método OWAS.



1.2.3.2 Digitalización de imágenes software KINOVEA La digitalización de imágenes fijas o video grabaciones es usada para la toma de datos medibles tales como: distancias, ángulos velocidades, aceleraciones, tiempo, centro de masa, entre otros. Existen diversos software comerciales o libres que permiten facilitar esta labor. KINOVEA [18] es un software libre el cual cuenta con un digitalizador manual y automático que permite extraer propiedades cinemáticas a partir de archivos AVI estándar. Esta función es útil cuando los marcadores no se pueden colocar en el sujeto.

Ilustración 6. Interfaz KINOVEA.



Fuente:[18]

Los controles de vídeo de KINOVEA, posibilita centrarse en una acción específica y estudiar la estructura del movimiento fotograma a fotograma o a cámara lenta. El modo de pantalla dual permite comparar dos ejecuciones una al lado de la otra. Los

videos pueden ser sincronizados utilizando un evento común para la comparación del movimiento.

1.2.3.3 Simulación ergonómica software JACK. JACK es una herramienta de simulación ergonómica que permite la interacción con humanos virtuales (CA-DMH), siendo posible realizar distintas mediciones ergonómicas que pueden ayudar a los empleadores, los ergónomos y trabajadores a estimar e interpretar la carga física asociada con varios trabajos. Todo integrado en solo entorno virtual, reduciendo considerablemente el tiempo de toma de decisiones y cambios de diseño desde las primeras etapas de desarrollo y planeación del producto.

Jack y Process Simulate Human⁶ te permiten mejorar la seguridad, eficiencia y confort en tu ambiente de trabajo utilizando modelos digitales de humanos. Puedes analizar ambientes de trabajo con personas virtuales que se pueden escalar a coincidir con diferentes características de población. Puedes hacer pruebas de tus diseños y operaciones con una amplia variedad de factores humanos, incluyendo riesgo de lesión, tiempos, comodidad del usuario, accesibilidad, líneas de visión, gasto de energía, límites de fatiga y otros parámetros importantes. Las principales capacidades y beneficios del software JACK son [19]:

Capacidades

- ✓ Figuras humanas escalables precisas desde los puntos de vista antropomórficos y biomecánico
- ✓ Soporta análisis ergonómico de tu fuerza global de trabajo utilizando bases de datos de poblaciones específicas de cada país y escala antropométrica avanzada
- ✓ Paquete completo de herramientas de análisis ergonómico

⁶ Process Simulate Human, es el paquete adicional de evaluación de actividades mediante métodos de valoración postural los cuales fueron descritos en la Tabla 2.

- ✓ Algoritmos de postura avanzada que pueden también analizar cómo reacciona el cuerpo a la fuerza ejercida en una dirección específica
- ✓ Administra un amplio rango de escenarios de trabajo que incluyen trabajar en diferentes niveles de elevación, escaleras y rampas
- ✓ Métodos de simulación de posturas por industrias para simular rápidamente las condiciones de trabajo
- ✓ Ventanas de visión ocular y análisis del campo de visión
- ✓ Márgenes de accesibilidad para configurar con rapidez el lugar de trabajo
- ✓ Amplio soporte de captura de movimiento virtual real en hardware, incluyendo Microsoft Kinect® para Windows.

Beneficios

Mejorar el cumplimiento de normas con estándares ergonómicos durante las etapas de diseño de producto y planeación de manufactura

- ✓ Evitar costos de trabajo al descubrir antes problemas de desempeño y viabilidad
- ✓ Mejora en la comunicación de los problemas de ingeniería relacionados con la violación de seguridad en el trabajo
- ✓ Captura y Almacenamiento visual de las mejores prácticas para futuros programas
- ✓ Mejora de la seguridad y eficiencia del lugar de trabajo

1.2.4 Consideraciones básicas para la creación del dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI

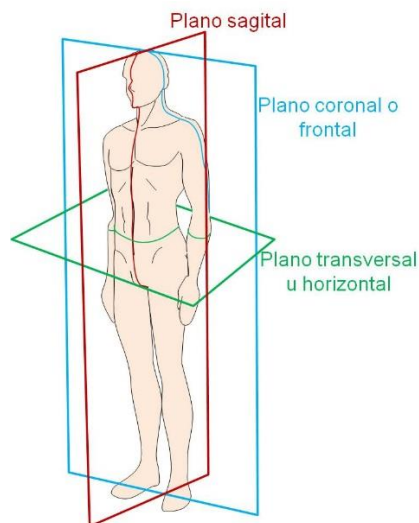
La aplicación de los principios ergonómicos en el diseño de mobiliario industrial, máquinas y herramientas, reduce el riesgo de manipulación manual de cargas, probabilidad de lesiones y accidentes laborales. Aspectos como posturas, movimientos, esfuerzos, niveles de ruido, vibraciones, iluminación, localización y dimensión de controles e indicadores, se deben tener presentes en el diseño de los elementos y entornos con

los cuales el trabajador va a interactuar, asegurando de esta manera condiciones laborales seguras.

Es por ello que las condiciones para el diseño del dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI desde el diseño industrial se sintetizará en un conjunto de factores, basados en el análisis detallado de los movimientos que se deben realizar para llevar a cabo las distintas tareas de mantenimiento, a través de la antropometría dinámica; la cual se ocupa de estudiar las medidas del cuerpo en movimiento y sus alcances en los diferentes planos de trabajo (transversal, sagital, frontal y diagonal) (Ver Ilustración 7). Para esto se consultaron las siguientes normas técnicas que establecieron los parámetros de diseño de la presente investigación:

- NTC 5649/2008. Mediciones básicas del cuerpo humano para diseño tecnológico.
- NTC 5655. Principios para el diseño ergonómico de sistemas de trabajo.
- Norma ISO 6385/2004. Principios ergonómicos para el diseño de sistemas
- Norma ISO 14738/2002. Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo asociados a máquinas.

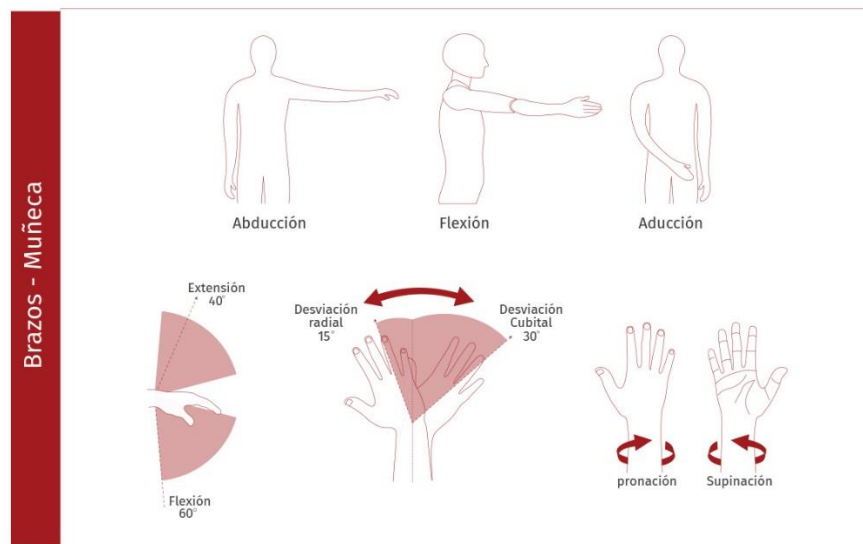
Ilustración 7. Planos de cuerpo humano. [17]



1.2.4.1 Posturas de trabajo Realizar continuamente movimientos de alguna parte del cuerpo hasta una posición que se encuentre fuera de los rangos permisibles (ver Ilustración 8) puede considerarse como una postura de trabajo forzosa a continuación se describen algunas de ellas que requiere intervención correctiva de inmediato:

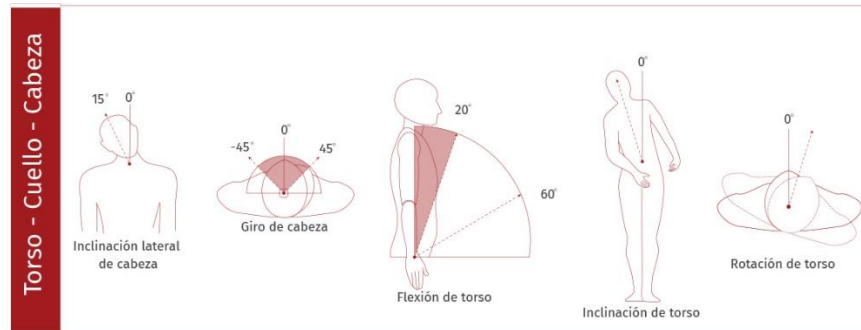
- ✓ Flexiones pronunciadas de cuello durante la operación con la máquina, o bien si hay torsión o inclinación lateral.
- ✓ Permanecer con el tronco flexionado o girado.
- ✓ Flexiones de brazos elevadas (necesidades de alcances).
- ✓ Movimientos repetitivos de miembro superior (brazos y muñecas principalmente).
- ✓ Si el trabajador permanece mucho tiempo de pie (postura estática de miembros inferiores), rodillas, cuclillas.
- ✓ Desviaciones, giros y flexiones pronunciadas de la muñeca.

Ilustración 8. Posturas de trabajo rangos permisibles.



Fuente: Modificado de [19]

Ilustración 8 Continuación

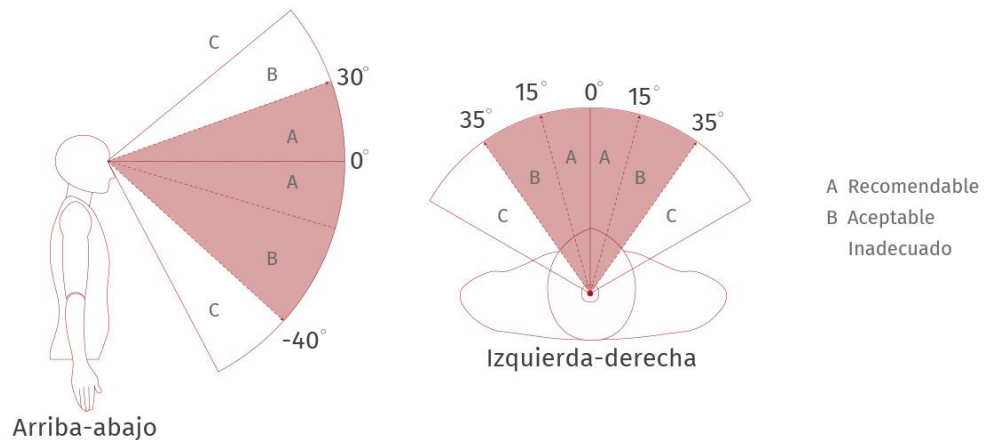


1.2.4.2 Manipulación de carga Al igual que el riesgo que representa las posturas de trabajo forzosas, la Manipulación Manual de Cargas (MMC) también representa un riesgo. Según la norma ISO 6385, la cual establece un límite máximo de 3 Kg. Alguna de las siguientes situaciones puede sugerir la existencia de riesgo por manipulación de cargas que requiere intervención correctiva de inmediato:

- ✓ Manipulación de cargas cuyo peso es mayor de 6 Kg.
- ✓ Manipulación de cargas cuyo peso es menor de 6 Kg y mayor de 3 Kg y además:
 - Manipulada por encima de los hombros o por debajo de las rodillas.
 - Alejados del cuerpo (necesidades de alcances).
 - Con el tronco muy girado.

1.2.4.3 Campo de visión Los ángulos de visión para controladores e indicadores recomendables se muestran en la Ilustración 9, donde las zonas A, son aquellas donde el campo visual es el óptimo para disposición de estos elementos.

Ilustración 9. Ángulos de visión recomendable



Fuente Modificada de: [19].

1.2.4.4 Controladores, indicadores y mandos

- ✓ La función de cada uno de los indicadores, controladores y mandos debe ser fácilmente distinguible, ya que la activación de un control equivocado puede dar lugar a un accidente. Mediante el uso de colores, tamaños, formas o etiquetas resulta sencillo distinguir unos controles de otros.
- ✓ La disposición de los controles se realizará siempre según la secuencia lógica de la operación.
- ✓ El espacio de separación entre controles debe ser suficiente para que no se produzca un accionamiento accidental.
- ✓ En algunos casos, si la activación de un control de forma accidental puede tener consecuencias graves, es necesario disponer de controles de activación a doble mano.

Tamaño mínimo de fuente: Este factor es determinante para la toma de decisiones de diseño ya que permitirá la identificación y correcta lectura de etiquetas y avisos de emergencia. Véase la Tabla 6 para más detalles. El tamaño de la fuente se especifica analizando la distancia de lectura con el fin de facilitar al usuario la percepción y comprensión.

Tabla 6 Tamaños recomendados de caracteres correspondientes a diferentes distancias de lectura

Altura del carácter vs. distancia de lectura			
Altura del carácter (in)	Distancia de lectura (in)	Angulo visual (minutos de arco)	Tamaño de fuente
Preferible (límite superior)			
0.102	16	22	Tamaño de fuente 7.5
0.154	24	22	Tamaño de fuente 11
0.230	36	22	Tamaño de fuente 16
0.768	120	22	Tamaño de fuente 55
1.152	180	22	Tamaño de fuente 72
Preferible (límite inferior)			
0.093	16	20	Tamaño de fuente 7
0.140	24	20	Tamaño de fuente 10
0.209	36	20	Tamaño de fuente 15
0.698	120	20	Tamaño de fuente 50
1.04	180	20	Tamaño de fuente 75
Adecuado (límite superior)			
0,084	16	18	Tamaño de fuente 6
0,126	24	18	Tamaño de fuente 9
0,188	36	18	Tamaño de fuente 13.5
0,628	120	18	Tamaño de fuente 45
0,942	180	18	Tamaño de fuente 68
Adecuado (límite inferior)			
0,074	16	16	Tamaño de fuente 5.5
0,112	24	16	Tamaño de fuente 8
0,168	36	16	Tamaño de fuente 12
0,558	120	16	Tamaño de fuente 40
0,838	180	16	Tamaño de fuente 60
Umbral mínimo			
0,056	16	12	Tamaño de fuente 4
0,084	24	12	Tamaño de fuente 6
0,126	36	12	Tamaño de fuente 9
0,419	120	12	Tamaño de fuente 30
0,628	180	12	Tamaño de fuente 45

Tomada de [20]

Tabla 7 Tipos de controles.

Tipo de Control	Rapidez	Precisión	Fuerza
Manivela pequeña Grande	Bueno Pobre	Pobre No adecuado	No adecuado Bueno
Volante	Pobre	Bueno	Utilizable
Botón	No utilizable	Regular	No utilizable
Palanca Horizontal Vertical (Perpendicular al cuerpo)	Buena	Pobre	Pobre
Vertical (Siguiendo al cuerpo)	Buena	Regular	Corta: Pobre Larga: Buena
Joystick	Regular Bueno	Regular Regular	Regular Pobre
Pedal	Bueno	Pobre	Bueno
Pulsador	Bueno	No utilizable	No utilizable
Interruptor Giratorio	Bueno	Bueno	No utilizable
Interruptor de palanca	Bueno	Bueno	Pobre

Fuente: Modificado de [19].

La Tabla 7, muestra los diferentes tipos de controles en función del esfuerzo exigido, aspecto importante para una correcta elección de los mismos.

Empuñaduras y pedales

Las empuñaduras y pedales de los equipos manuales deben estar diseñados para asegurar que el operador puede sostener y manejar el equipo correctamente.

Para las **empuñaduras** o mangos donde su función principal es la de optimizar la transmisión de fuerzas entre la mano y la máquina o herramienta. Se tiene en cuenta como mínimo el percentil 5 de mujer y como máximo el percentil 95 de un hombre, arrojando un rango de longitud para estos elementos entre los 100-125mm. En lo referente al diámetro recomendable, puede variar con la tarea y con el tamaño de la mano del operador. Así, para agarres de potencia se recomienda un diámetro

comprendido en el rango de 30-50mm. Para agarres de precisión el diámetro recomendado es el comprendido en el rango aceptable está entre 8-16mm.[19].

Para los **pedales** las dimensiones mínimas recomendadas [21] son:

- ✓ 90 mm de ancho y 80 mm de largo (para pedales de uso ocasional).
- ✓ 90 mm de ancho y 250 mm de largo (para pedales de uso continuo).
- ✓ Entre 50 y 80 mm de diámetro para pulsadores e interruptores de pie (mínimo 12 mm).

1.2.4.5 Antropometría Las medidas antropométricas poblacionales (población colombiana) que se consideraran para el diseño del dispositivo para el mantenimiento de herramientas instrumentadas ILI son la estatura, la altura de los ojos, la altura del hombro, la altura del codo a 90°, el alcance brazo frontal, el alcance brazo lateral, el alcance máximo vertical, el ancho de los codos y el espesor de la mano [22]. La población a la cual va dirigido el proyecto a los trabajadores del área de mantenimiento de la filial Colombia de ROSEN GROUP por consiguiente los datos antropométricos a tener en cuenta son de hombres colombianos. Para esto se consultó el manual Datos Antropométricos para el Diseño⁷ [23]

⁷ MARADEI, Fernanda y ESPINEL, Francisco y PEÑA, Astrid. Datos antropométricos para el diseño, Región Nororiental Colombiana 2008. 1 ed. Bucaramanga: División de Publicaciones UIS, 2009. p.21-52 23. Maradei, M., F. Espinel, and A. Peña, *Datos antropométricos para el diseño*. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2009.

Tabla 8 Medidas antropométricas de hombres colombianos.

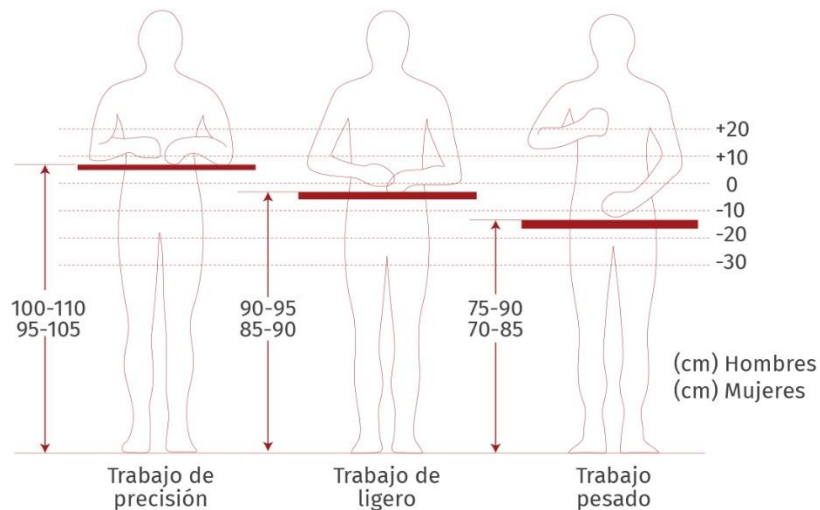


Posición de pie Hombres entre 15-31 años	PERCEPTILES MEDIDAS EN CM					
	P5	P25	P50	P75	P95	P99
Estatura	161,6	167,8	172,1	176,4	182,6	186,9
Altura de ojos	150,8	156,9	161,1	165,4	171,4	175,7
Altura de hombro	133,7	139,4	143,4	147,4	153,1	157,1
Altura de codo	102,2	107	110,3	113,7	118,5	121,9
Altura de codo a 90°	99,2	103,7	106,8	110	114,5	117,7
Alcance de brazo frontal	68,5	72,8	75,7	78,7	82,9	85,9
Alcance de brazo lateral	71,8	77,4	81,3	85,3	90,9	94,8
Alcance máximo vertical	200,8	210,2	216,7	223,2	232,6	239,2
Longitud codo-dedo medio	41,9	44,7	46,6	48,6	51,3	53,3
Ancho de codos	38,2	43	46,8	50,3	55,4	59
Espesor de la mono	2,4	2,7	2,9	3,1	3,5	3,7

Fuente:[23]

1.2.4.6 Altura de trabajo

Ilustración 10. Alturas de trabajo.



Fuente: Modificado de [19]

Las alturas de trabajo se determinan de acuerdo al tipo de trabajo a realizar ya sea pesado, ligero o precisión. Teniendo en cuenta que los trabajos que son realizados en el área de mantenimiento son de los tres tipos, se considera que el dispositivo

para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI debe permitir el ajuste de altura de trabajo entre los 75 a 110 cm.

1.3 METODOLOGÍA

El proyecto se desarrollara en cinco fases, las cuales se plantean estratégicamente para el cumplimiento de los objetivos específicos (OE); es así como en cada uno de estas, se especifican actividades a ejecutar para obtener resultados que servirán de retroalimentación para la continuidad de la metodología presentada. Teniendo en cuenta lo anterior se describe a manera de embozo general las fases establecidas de la metodología de acuerdo al cumplimiento de los objetivos específicos (OE): fase exploratoria (OE-I) expuesta en el capítulo 1 y 2, fase de definición (OE-I) contenida en el capítulo 3, fase creativa (OE-II), desarrollada en el capítulo 4, fase de ingeniería del producto (OE-III), y fase de verificación y validación (OE-IV; V), presentadas en el capítulo 5.

La metodología del presente proyecto grado, es adaptada de los siguientes modelos: Diseño Centrado en el Usuario, presentado en la publicación de la firma IDEO “HCD Human Centered Design Toolkit 2nd edition” [24] y Métodos de evaluación y herramientas aplicadas al diseño y optimización ergonómica de puestos de trabajo, presentado en la Conferencia Internacional de Ingeniería Industrial y Gestión de Ingeniería (IEEM) [16].

En la Ilustración se realiza una descripción de los resultados y los métodos utilizados en cada una de las fases de desarrollo del presente proyecto. Igualmente al inicio de cada capítulo del presente libro se realiza un diagrama de flujo a mayor profundidad de entradas y salidas de la metodología implementada.

Ilustración 11 Metodología proyectual.



2. CONOCIENDO A ROSEN

2.1 RAZÓN SOCIAL

ROSEN Europe B.V. Sucursal Colombia / Sociedad Extranjera

2.2 UBICACIÓN

ROSEN Europe B.V. Sucursal Colombia, está ubicado en el Centro Empresarial Metropolitano, Modulo 1 Bodega 10 Autopista Medellín Km3, Vía Siberia, Cota – Cundinamarca – Colombia.

2.3 GENERALIDADES

ROSEN Group, como compañía ofrece un portafolio de servicios y productos de tecnología robótica y electrónica para la inspección de tuberías de transporte de hidrocarburos las cuales se realizan para garantizar su integridad manteniendo su seguridad evitando daños al ambiente. Teniendo en cuenta la constante evolución y la alta demanda en éste campo de trabajo, se ve la necesidad de crear alianzas estratégicas con la industria de hidrocarburos, tales como: operadores de líneas, compañías del sector petrolero, operadores de tanques de almacenamiento, consultoras para Ingeniería en tuberías, entre otros.

En 1981 el Señor Hermann Rosen inicia una pequeña área de producción en Lingen, Alemania llamada *H. ROSEN Engineering GmbH* (o simplemente llamada *HRE* en el medio industrial donde inició), con un número reducido de herramientas

de baja resolución para la detección de fugas y transmisores para tuberías. Años después la empresa adquiere herramientas de tecnología avanzada, permitiéndole abarcar un espacio más significativo en el mercado, y para 1990 se consolida una oficina en Houston, Texas, Estados Unidos. Con este gran paso, *HRE* expande sus operaciones a más países estratégicos, lo que permitió que a mediados de la misma década se hayan inaugurado Centros Operativos en países como Malasia, México, Holanda, Argentina, Canadá, Australia, Suiza y Arabia Saudita.

Hacia el año 2000, *HRE* cambia su centro operativo principal de Lingen (Alemania) a Stans (Suiza) y de igual forma cambia su nombre original de H. ROSEN Engineering GmbH (*HRE*) para convertirse en un conglomerado de compañías que se le llama ROSEN Swiss AG (o internamente ROSEN Group), así se inicia una nueva etapa para los servicios y productos que ofrece la compañía y su penetración del mercado aumenta de manera considerable; seguido a esto ROSEN inicia operaciones en los Emiratos Árabes Unidos con oficina en Dubai, Ucrania, Rusia, Brasil, Argentina, Reino Unido y Colombia (llamado ROSEN Europe B.V. Sucursal Colombia), en 2003, ROSEN adquiere la compañía PHARS, la cual cambia de nombre en 2007 y se convierte en ROPLAST, encargada de la producción de elementos de poliuretano y polietileno, quien junto con las demás compañías operativas (OPCO) a nivel mundial forman ROSEN Group. En ese mismo año se abre un Centro de Investigación y Tecnología de ROSEN (llamado RTRC por sus siglas en inglés) en Bogotá, para luego dar paso en 2008 al inicio oficial de las operaciones en Colombia y convertirse en una de las Compañías Operativas (OPCO) de Sur América[25].

2.4 MISIÓN

Nuestro objetivo es ser el proveedor más competitivo a nivel mundial de una amplia gama de productos y servicios, especialmente para la continuidad de la integridad

de estructuras complejas de ingeniería como tuberías de gas y petróleo. La forma de ROSEN para garantizar la mejor calidad y mayor flexibilidad para generar los productos y servicios más competitivos en la industria actual y futura, se basa en 6 principios:

- ✓ **Mirar** al futuro e ir más allá que los requerimientos del mercado actual.
- ✓ **Realizar** investigación aplicada extensiva para el desarrollo
- ✓ **Manufacturar** equipos de diferentes métodos de diagnóstico, integridad de procedimientos, rehabilitaciones y aplicaciones especiales de integridad.
- ✓ **Suministrar** a la industria soluciones excepcionales de integridad con el último y más apropiado diagnóstico tecnológico.
- ✓ **Generar** productos industriales con ambición, mezclando elementos mecánicos, software y sensores de sistemas como soluciones a medida para las aplicaciones industriales más exigentes.
- ✓ **Trabajar** junto con los clientes para que ambas partes se vean beneficiadas.⁸

2.5 VISIÓN

“Con nuestro personal motivado queremos crear valor agregado para nuestros clientes con productos avanzados y soluciones de servicio integrados como el proveedor líder indiscutible, más confiable, competitivo y flexible.”

2.6 PRODUCTOS Y SERVICIOS

La filial de ROSEN en Colombia, se enfoca principalmente a la prestación del servicio de limpieza, identificación y medición de defectos o discontinuidades bajo

⁸ ROSEN Europe B.V. Sucursal Colombia, 2014

condiciones ambientales difíciles de líneas de tuberías y tanques de almacenamiento. A partir de la implementación de tecnologías de inspección innovadoras y fiables debido a las herramientas desarrolladas, fabricadas y operadas por ROSEN Group, le ha permitido ofrecer soluciones de inspección flexibles y personalizadas, convirtiéndolo en Colombia en uno de los más altos competidores del sector de inspección. Los servicios inspección que ofrecen son: medición de pérdidas de metal (MFL y UT), geométricas, medición de grietas entre otros.

En Colombia esta compañía ha experimentado una impresionante tasa de crecimiento de aproximadamente un 18% cada año. Dato que se apoya en la inspección de más de 8.000 kilómetros de tubería durante los últimos seis años y más de 30 tanques por año. Demostrando su alta calidad como prestadora de servicios de inspección[6].

2.7 RECURSO HUMANO

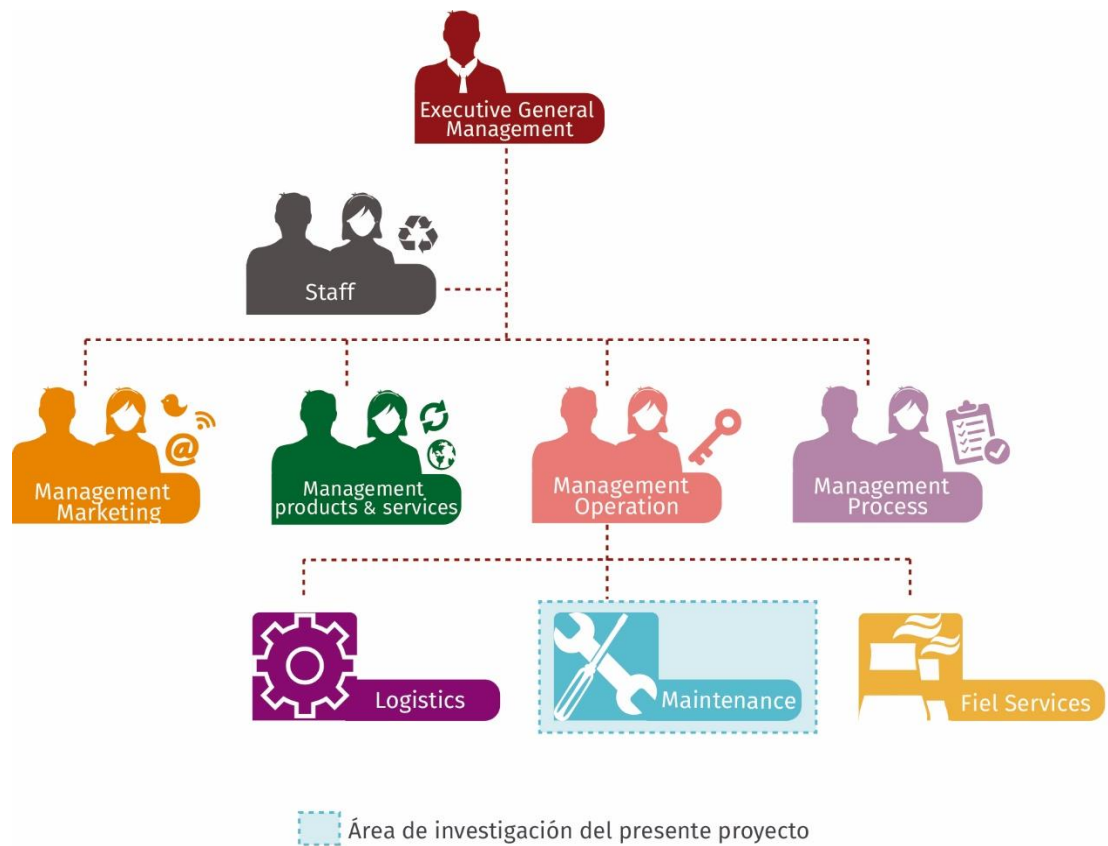
Los lineamientos corporativos (ROSEN Group) promueven el trabajo en equipo partiendo de la excelencia y el manejo adecuado de la información, siguiendo esta premisa ROSEN Colombia cuenta con una estructura organizacional donde el trabajo colaborativo se ve reflejado en el alto valor del producto final que es entregado a sus clientes.

En el diagrama que se muestra a continuación (ver Ilustración 12) constituye la estructura organizacional de los departamentos que conforman ROSEN Colombia, donde el recuadro verde representa a los encargados de los productos y servicios (clientes externos), es decir el **cómo y cuándo**, el recuadro rosado representan los encargados de los procesos operacionales (clientes internos) donde se incluye el área de logística, mantenimiento (*área de investigación del presente proyecto*) y

servicio de campo, es decir el **quién y cómo**. El recuadro naranja representa al área de mercadeo el cual se involucra con clientes internos y externos indistintamente.

Igualmente, se tienen los procesos identificados como procesos de apoyo en color lila; no menos importantes, el recuadro de gris hace referencia al proceso que se le denomina *Staff* (Personal), es decir, aquellas áreas operativas de la compañía que se involucran directamente con el recurso humano y sus interacciones, así como con clientes internos y externos [25].

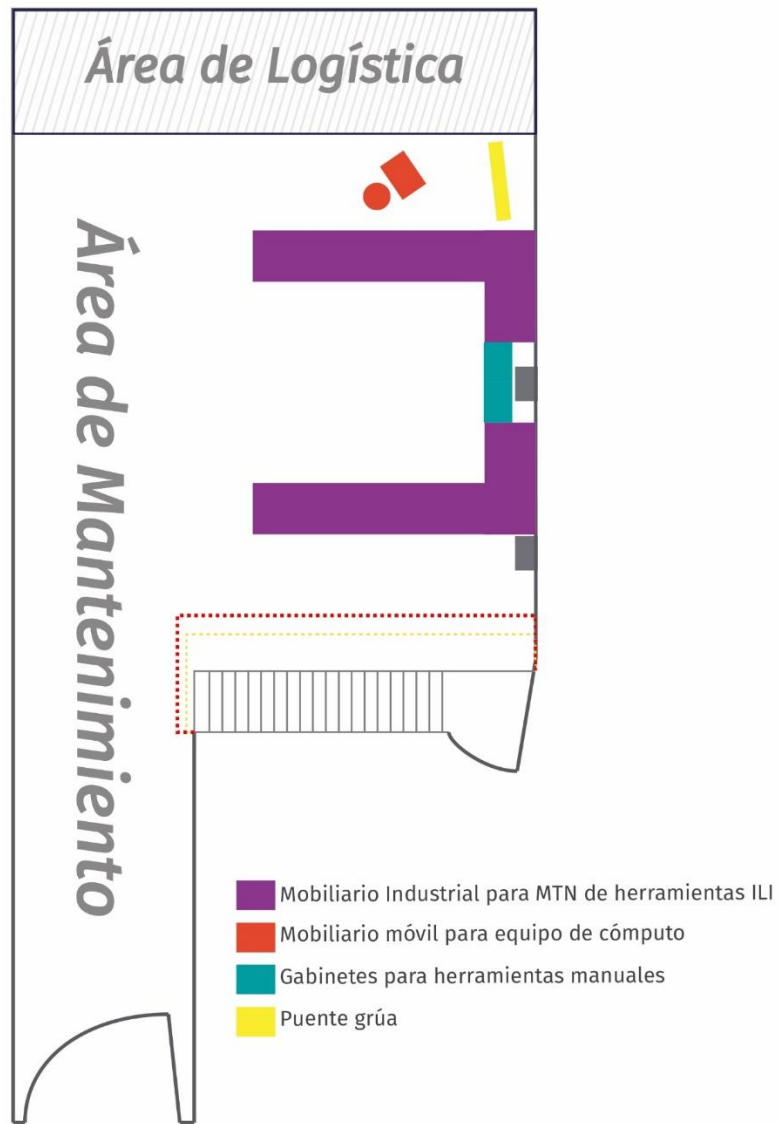
Ilustración 12. Estructura organizacional de ROSEN Colombia



2.8 RECURSOS FÍSICOS

2.8.1 Infraestructura A continuación se presenta el plano del workshop de ROSEN Colombia (ver Ilustración 13) donde se visualizan las áreas de logística y el área de mantenimiento, igualmente se identifica la distribución de los diferentes elementos del área de mantenimiento.

Ilustración 13 Infraestructura del Workshop de ROSEN Colombia. Tecnología y Maquinaria



Los procesos operativos y administrativos en ROSEN Colombia, se desarrollan con un nivel tecnológico alto. Contando con herramientas ILLI especialidades para la prestación de los diferentes servicios de inspección y el uso de softwares internos donde se gestionan las actividades operativas, administrativas y de la organización ROSEN Group.

En el área de mantenimiento concretamente, se cuenta con herramientas de mano básicas de un taller mecánico, tales como herramientas de corte (taladro, llave, fresa, roscado enhebrado, tijeras, alicates entre otras), herramientas para sujetar o atornillar (Llave ratchet, alicates, destornillador, tornillo de banco, remachado, sargento) y finalmente herramientas varias (Martillo, polipasto, puente grúa). Por otro lado esta misma área cuenta con un software desarrollado específicamente para el diagnóstico, monitoreo y gestión de las actividades que implican labores del área de mantenimiento.

2.9 CICLO DEL SERVICIO DE INSPECCIÓN

A continuación se presenta dos diagramas que describen y representa el ciclo del servicio de inspección de ROSEN Colombia.

El primer diagrama (Ver Ilustración 14) describe el proceso a partir de las diferentes fases y sus responsables. El segundo diagrama (ver Ilustración 15) corresponde al flujograma de entradas y salidas dividiendo el ciclo del servicio en tres etapas las cuales son: solicitud del servicio, planeación del servicio y ejecución del servicio; igualmente muestra las áreas responsables de cada una de la actividades.

Ilustración 14 Fases del servicio de inspección de ROSEN Colombia.





ÁREA
MANTENIMIENTO



Programa el MTN de la herramienta ILI de acuerdo a las fechas consolidadas. Cuando es finalizado el proceso de MTN, se realiza una revisión técnica la cual busca garantizar que la configuración actual de la herramienta ILI, coincide a la realizada en la fase 2. Si esto es OK, la herramienta ILI es enviada al área de logística de lo contrario se realizan los correctivos necesarios.

6

Fase



LOGÍSTICA



Gestiona el envío de la herramienta ILI a campo (lugar donde se prestara el servicio de inspección).

7

Fase



CAMPO



La herramienta ILI ejecuta el servicio de inspección, cuando es finalizado el servicio; el ingeniero de campo verifica el nivel de MTN de la herramienta ILI, mediante una inspección visual si este no es superior a nivel I, la herramienta ILI continua en campo y el MTN requerido es realizado por el ingeniero de campo. Si el mantenimiento es superior a nivel I, la herramienta ILI es enviada a ROSEN Colombia, y el envío es gestionado por logística.

8

Fase



LOGÍSTICA



Gestiona envío a ROSEN Colombia, limpieza de la herramienta ILI y realiza las mediciones de radioactividad (Test LCA y Mercurio), para verificar el nivel de contaminación de la herramienta ILI y aprobar la manipulación de la misma por el personal de mantenimiento. A continuación la herramienta ILI es enviada al área mantenimiento.

9

Fase



ÁREA
MANTENIMIENTO

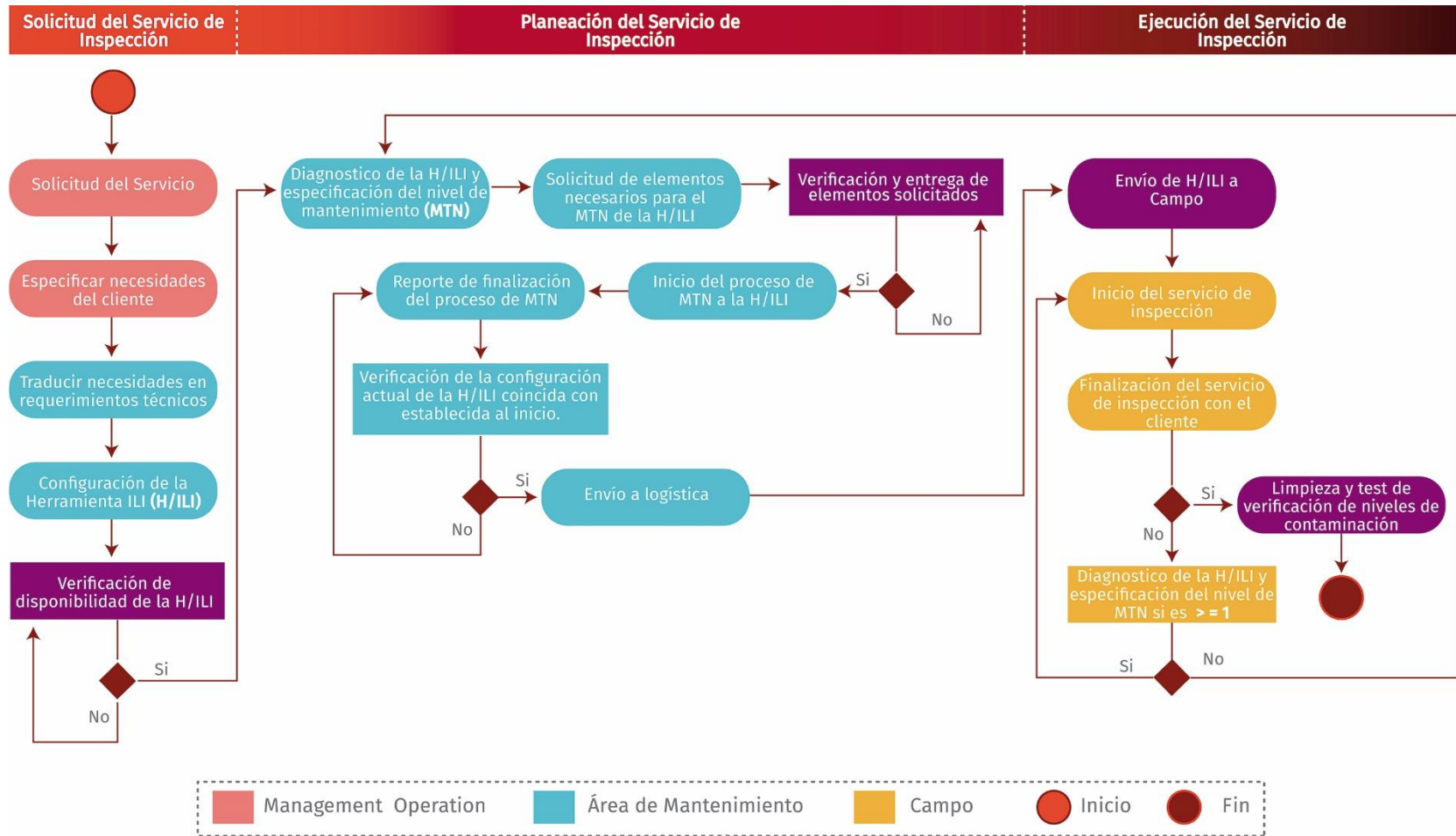


Si el servicio de inspección con el cliente actual no ha finalizado el ciclo del servicio se inicia desde la fase 2. En caso contrario el ciclo del servicio comienza nuevamente.

10

Fase

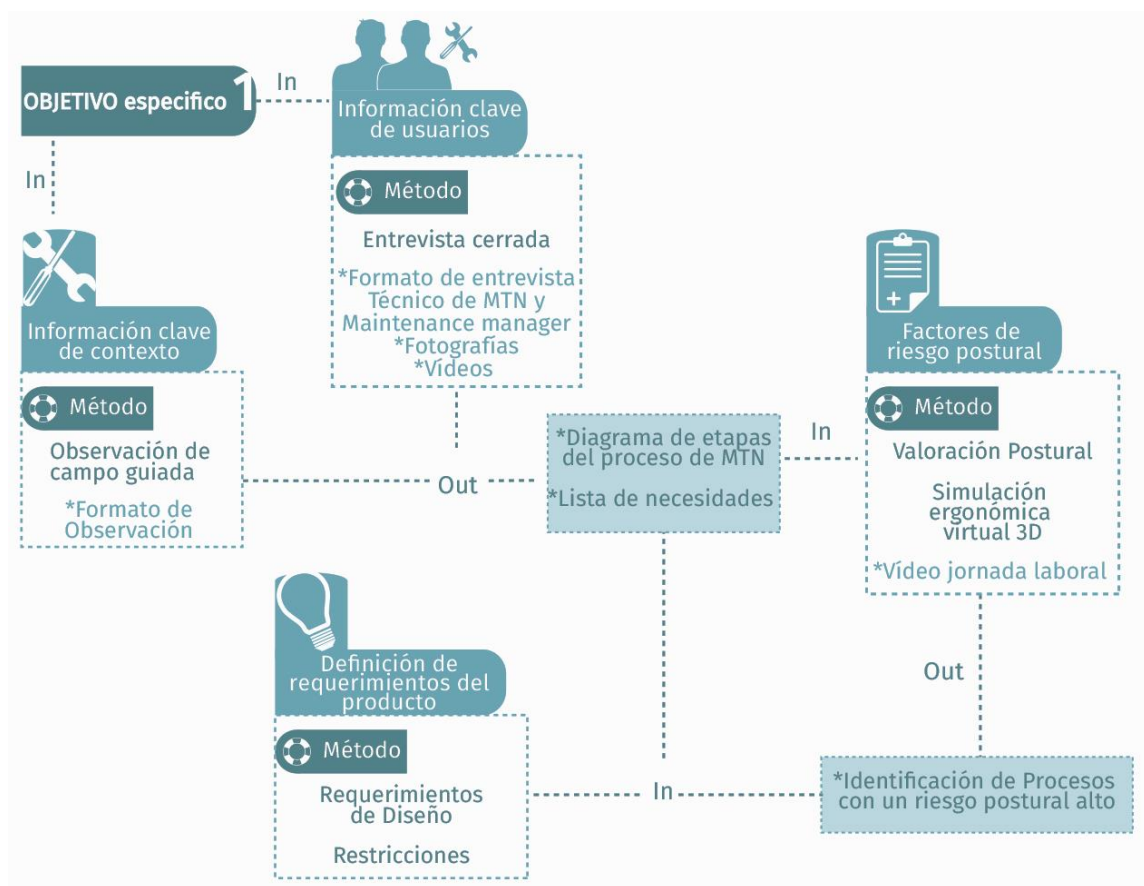
Ilustración 15. Flujograma del ciclo de inspección de ROSEN Colombia



3. DIAGNOSTICO DE ROSEN

El presente capítulo documenta el cumplimiento del primer objetivo específico: **OE1**. *Analizar el proceso de mantenimiento y reparación actual de las herramientas instrumentas ILI (inspección en línea), para identificar y clasificar las necesidades del usuario y establecer los requerimientos del producto.* En la Ilustración 16 se presenta un diagrama de entradas y salidas de la metodología usada para indagar, analizar y consolidar la información del diagnóstico del área de mantenimiento de ROSEN Colombia.

Ilustración 16 Flujograma del proceso metodológico para el OE1.



Conociendo de forma global como es el proceso de solicitud, planeación y ejecución del servicio de inspección en ROSEN Colombia descrito en el capítulo anterior.

La investigación a partir de este punto se centró en obtener la información necesaria para dar respuesta a la pregunta de diseño: *¿Cómo asegurar buenas condiciones de trabajo del Técnico-Operario en el proceso de mantenimiento y reparación de las herramientas instrumentadas ILI?*

Por consiguiente el estudio se focalizo en analizar a las personas, elementos y diferentes actividades que se desarrollan en el área de mantenimiento de ROSEN Colombia. La metodología para esta etapa de investigación es adaptada de los siguientes modelos:

- Diseño Centrado en el Usuario, presentado en la publicación de la firma IDEO “HCD Human Centered Design Toolkit 2nd edition” [24]
- Métodos de evaluación y herramientas aplicadas al diseño y optimización ergonómica de puestos de trabajo, presentado en la Conferencia Internacional de Ingeniería Industrial y Gestión de Ingeniería (IEEM) [16]

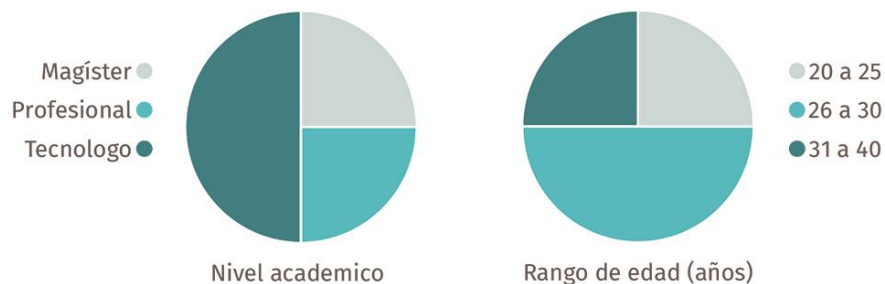
3.1 INFORMACIÓN CLAVE DE USUARIOS

Mediante la aplicación de métodos de aproximación individual (entrevista cerrada) y grupal (focus group) que tenían como objetivo:

- *Identificar las necesidades del personal del área, para que a partir de sus experiencias se establezcan los puntos críticos o susceptibles de mejoras en el desarrollo del proceso actual de mantenimiento de las herramientas ILI.*

Se crearon dos formatos de entrevista cerrada dirigido a cada uno de los perfiles del personal (Anexo A). Los resultados obtenidos indican que el área de mantenimiento se encuentra conformada por un total de cuatros personas que ocupan respectivamente los cargos de Maintenance Manager (1) y Técnico de MTN (3) donde el rango de edad y el nivel educativo se presenta en la Ilustración 17.

Ilustración 17 Niveles educativos y rangos de edad del área de mantenimiento.



Las actividades claves del personal según el perfil son:

- **Maintenance Manager:** Configuración y verificación de la herramienta ILI según las necesidades y especificaciones del cliente.
- **Técnico de MTN:** Diagnóstico y mantenimiento correctivo de la herramienta ILI.

Respecto a la jornada laboral para esta área son 8 horas/diarias (h/d) al igual que la mayoría de dependencias de la empresa; no obstante el personal manifestó que de acuerdo a la carga laboral en ocasiones se requiere hacer turnos de 24h con recesos de 1h cada 4h, para cumplir a tiempo los compromisos con sus clientes.

Los mantenimientos que son ejecutados a las herramientas ILI, se identifica once (11) ítems en total de los cuales ocho (8) se ejecutan en el banco de mantenimiento actual y los restantes son procesos electrónicos que se llevan a cabo mediante la conexión de la herramienta ILI a un operador computarizado y no conlleva una manipulación directa entre técnico de MTN y la herramienta ILI. Teniendo en cuenta que la presente investigación se centra en las actividades que requieran

manipulación directa con la herramienta ILI, se descarta los procesos que no son ejecutados en el banco de mantenimiento actual. La tabla 9, muestra los diferentes mantenimientos clasificados según su tipo (mecánico o electrónico) y mobiliario utilizado para su ejecución. La Ilustración 18, muestra los tipos de mobiliario presente en el área de mantenimiento.

Tabla 9 Clasificación de mantenimientos de las herramientas ILI según: tipo y mobiliario.

		MOBILIARIO PARA SU EJECUCIÓN	
		Banco de Mantenimiento Actual	Operador Computarizado
TIPO	Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> *MTN Copa *MTN Cardan *MTN Cepillos *MTN Magnetos *MTN Odómetro 	
	Electrónico	<ul style="list-style-type: none"> *MTN Gyro *MTN Baterías *MTN Sensores 	<ul style="list-style-type: none"> *Body to PIG *Dry Test *Prueba de Nitrógeno

Ilustración 18 Mobiliario del área de mantenimiento.



La ejecución de los diferentes tipos de mantenimiento y frecuencia hacen parte de las reservas de la empresa. Por tal motivo no se especificara los protocolos MTN,

arquitectura, ensambles y funciones específicas de cada una de las piezas de las herramientas instrumentadas ILI.

Las herramientas manuales usadas para la ejecución del proceso de MTN son: herramientas de montaje: destornilladores, llaves fijas (Allen, Bristol, acoples) y taladro inalámbrico; herramientas de golpe: martillo de goma; herramientas de medición: Calibrador, flexometro. Ver Ilustración. 19 La indumentaria usada por el operario es: botas de seguridad puntera de acero, overol, guantes de nitrilo y en algunas ocasiones cinturón lumbar para el levantamiento de carga. Ver Ilustración 19.

Ilustración 19 Herramientas de frecuente uso e indumentaria de operarios



En relación a la comodidad para ejecutar las actividades de MTN en el banco actual, el personal asegura que estas se dificultan debido a las manipulaciones (girar, trasladar, rotar) que deben hacer a la herramienta ILI, teniendo en cuenta la dimensión y peso de las mismas para llevar a cabo los diferentes tipos de

mantenimientos. Para tener un mejor panorama de cuáles son los procedimientos que presentan mayor incomodidad en su ejecución para el personal sobre el banco de mantenimiento actual, se realizó una encuesta preguntando por cada MTN en una escala de 1 a 5, siendo 1 más cómodo y 5 menos cómodo. La muestra el resultado del nivel de comodidad para cada mantenimiento para cada perfil operativo de mantenimiento.

Tabla 10 Nivel de incomodidad para ejecutar los MTN para cada operario

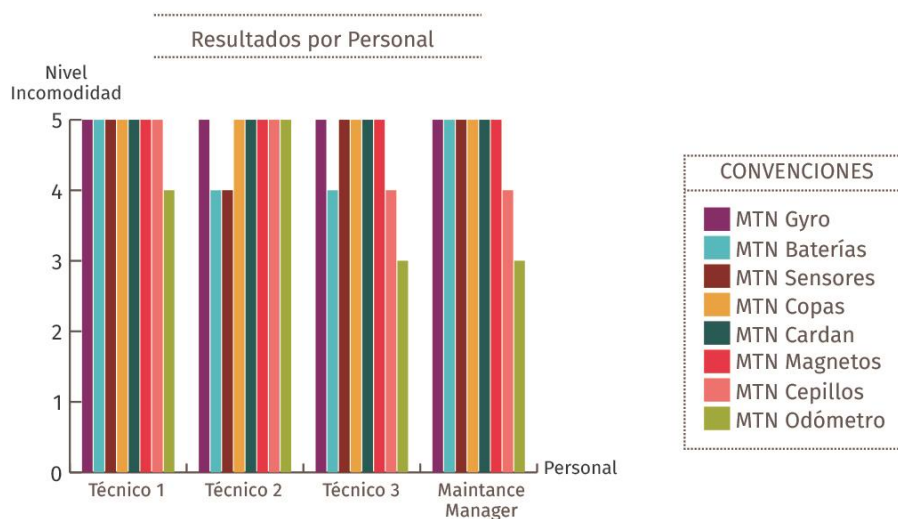
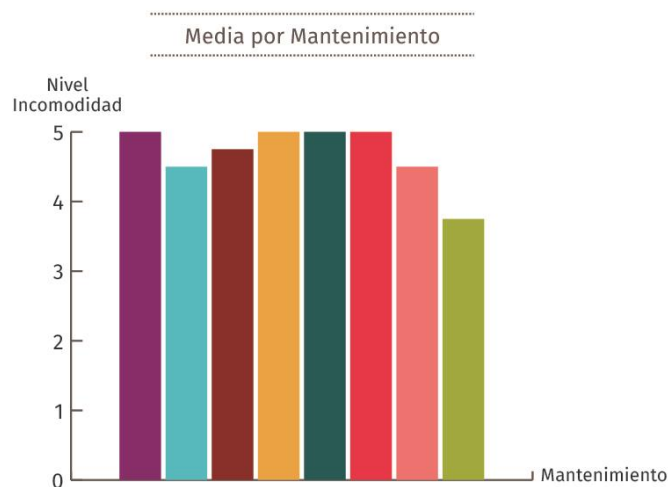


Tabla 11 Nivel de incomodidad del personal para ejecutar los diferentes tipos de MTN.



Como se puede evidenciar en la tabla 11 el 87% de los mantenimientos presentan nivel de incomodidad 5 en su ejecución sobre el banco de mantenimiento actual para los operarios. Este aspecto se profundiza en el aparte “factores de riesgo postural” y las necesidades expuestas por el personal en el aparte “definición de requerimientos del producto”. Ambos del presente capítulo.

3.2 INFORMACIÓN CLAVE DEL CONTEXTO

En este punto se realizó todo lo concerniente a la observación, identificación y análisis del proceso de mantenimiento de las herramientas instrumentadas ILI, mediante una observación de campo guiada que tuvo como objetivo general:

- *Identificar las diferentes etapas del proceso y tipos de mantenimiento realizados a las herramientas instrumentadas ILI en el puesto de trabajo actual.*

Para esto se realizó una introducción del proyecto a las personas del área de mantenimiento (técnico de mantenimiento (MTN), Maintenance manager) y paso seguido se procedió con la observación de campo siguiendo el formato de observación (Anexo A). Como resultado se obtuvo el diagrama del proceso que se lleva a cabo en el área de mantenimiento, el cual se muestra en la Ilustración 21 e Ilustración. 22. Donde se divide el proceso en 5 etapas, describiendo las distintas actividades de cada etapa y sus respectivos responsables.

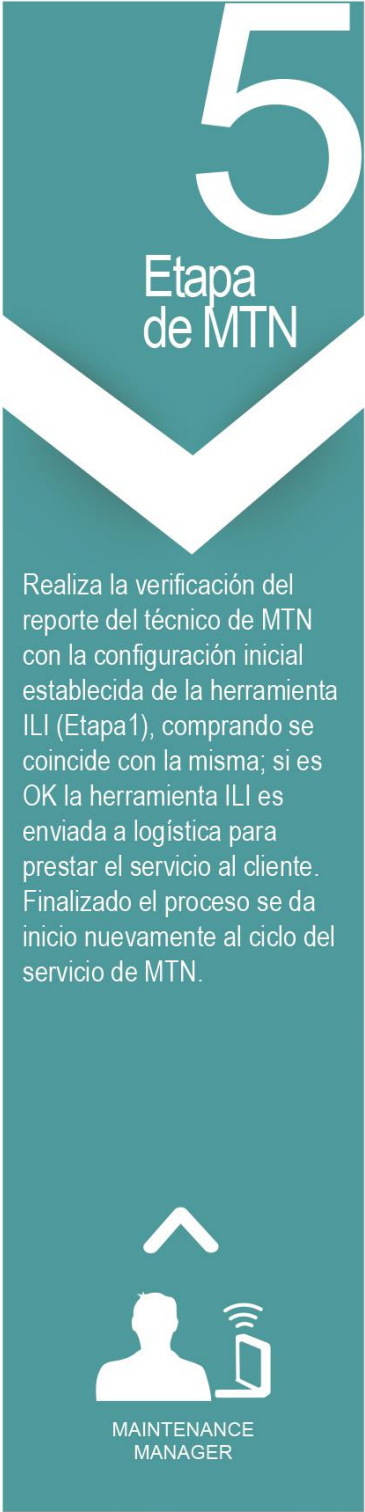
Ilustración 20 Proceso de mantenimiento, etapas 1-2



Ilustración 21 Proceso de mantenimiento, etapas 3-4.




Ilustración 22 Proceso de mantenimiento, etapa 5



5
Etapa
de MTN

Realiza la verificación del reporte del técnico de MTN con la configuración inicial establecida de la herramienta ILI (Etapa1), comprando se coincide con la misma; si es OK la herramienta ILI es enviada a logística para prestar el servicio al cliente. Finalizado el proceso se da inicio nuevamente al ciclo del servicio de MTN.



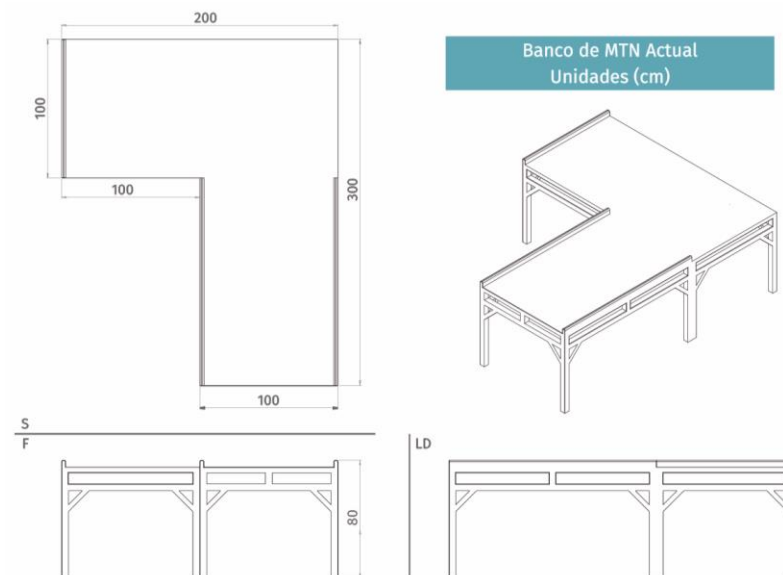
MAINTENANCE
MANAGER

El área de mantenimiento se encuentra continua al área de logística. Su zona tiene 41,8m² y en este espacio se ubican dos unidades del banco de mantenimiento actual (Ver Ilustración 23), entre otros elementos que fueron mencionados en el capítulo anterior (Ver Ilustración 13).

Ilustración 23 Área de mantenimiento.

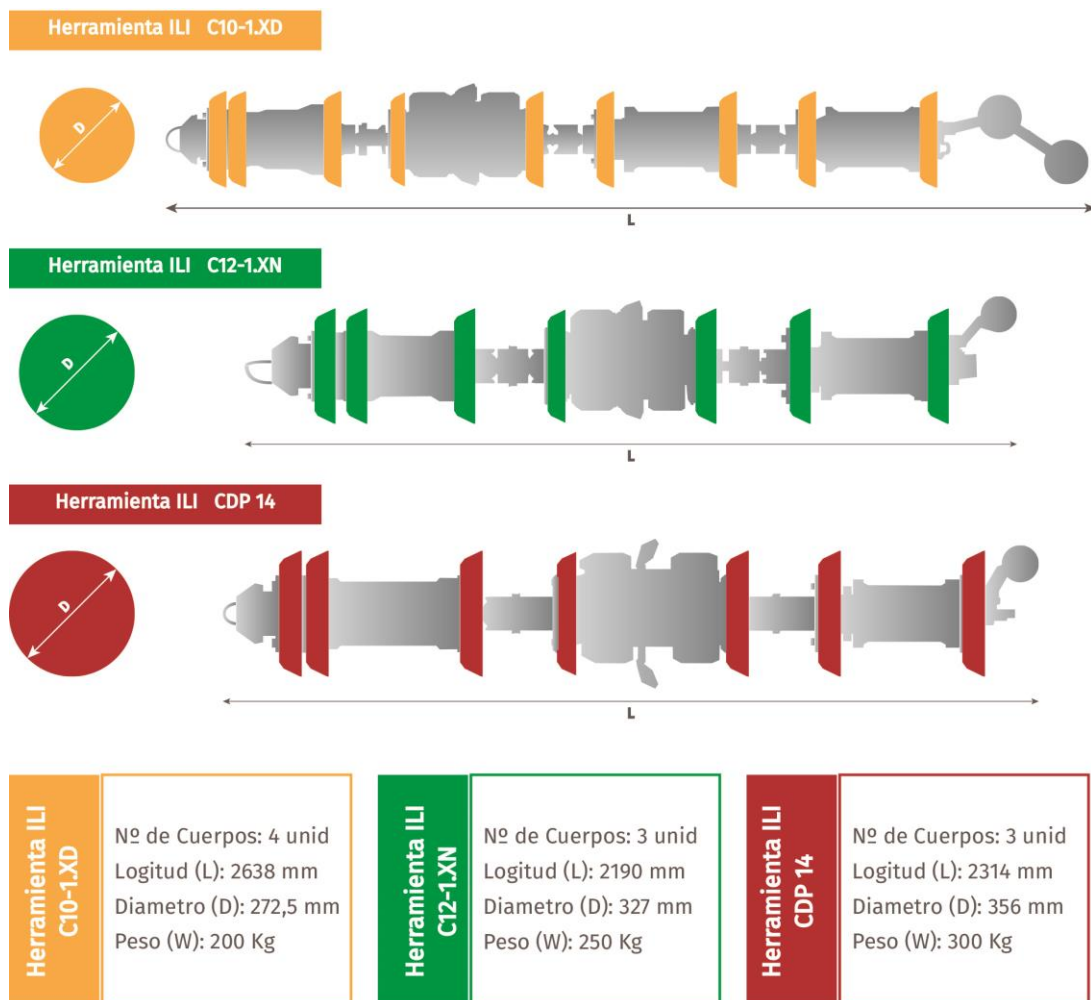


Ilustración 24 Dimensiones Banco de Mantenimiento actual.



El banco de MTN actual (Ilustración 24) está compuesto por una mesa de propósito general de configuración en “L”, fabricada en perfilería metálica con recubrimiento en pintura electrostática, con un área de trabajo de altura fija y cubierta por un polímero texturizado. Su función es de soporte como zona de trabajo activo para las herramientas ILI (C10-1.XD, C12-1.XN Y CDP14)⁹ (Ilustración 25) y trabajo pasivo para trabajar sobre este en otras actividades o como almacenaje de partes que se usaran en otras tareas.

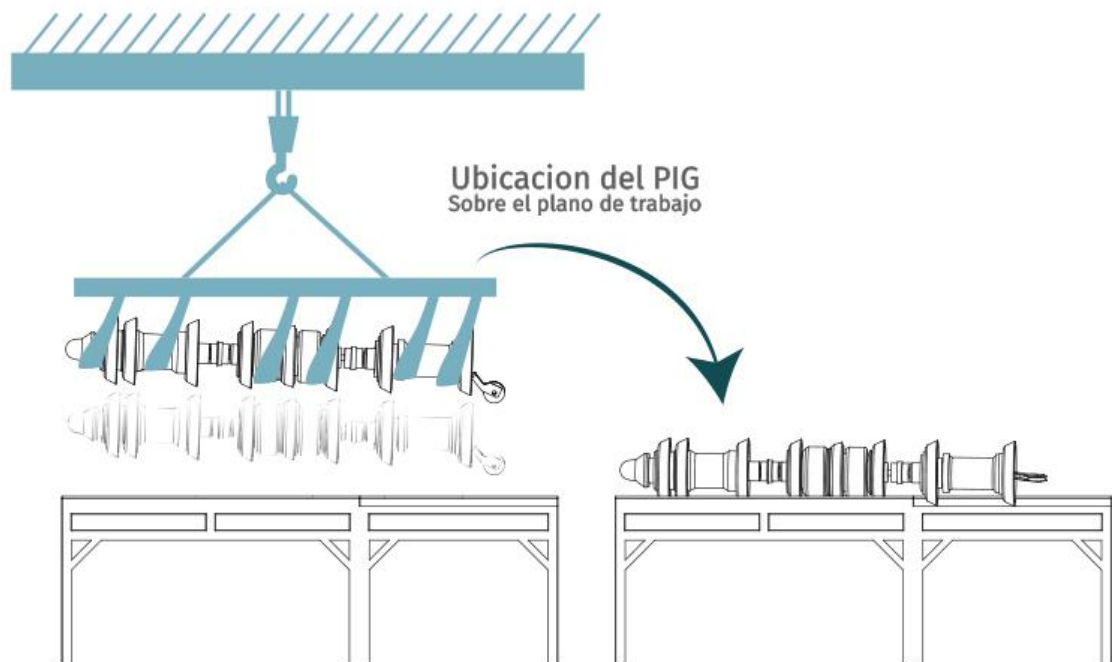
Ilustración 25 Configuración dimensional de herramientas ILI.



⁹ La nomenclatura de las herramientas ILI es establecida por ROSEN GROUP. 6. Rosen. *Rosen Empowered Technology*. Rosen 2003; Available from: <http://www.rosen-group.com/global.html>.

La ubicación de la herramienta ILI sobre el banco de MTN actual es un proceso que se lleva en conjunto entre el área de logística y el área de mantenimiento. El área de logística es la encargada del transporte hacia el área de mantenimiento de la herramienta ILI, mediante montacargas o puente grúa y el área de mantenimiento realiza la adecuación del espacio para la ubicación de la misma. Ver Ilustración 26

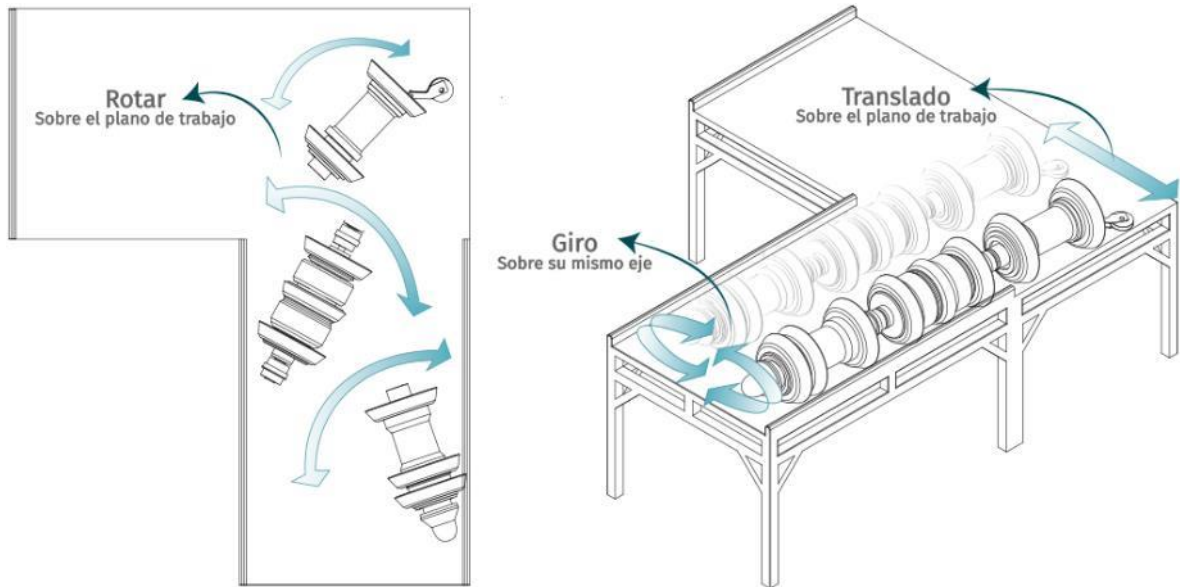
Ilustración 26 Proceso de ubicación del PIG sobre el Banco de MTN actual.



Luego de la ubicación de la herramienta ILI sobre el banco de MTN actual. Se da inicio al proceso de mantenimiento, para ello el operario debe manipular la herramienta ILI ejecutando una serie de maniobras que le permita acceder a las diferentes partes de esta. Estos movimientos contemplan giros sobre su mismo eje, rotación y traslado sobre el plano de trabajo. Ver Ilustración 27.

Estas manipulaciones son ejecutadas mediante la fuerza muscular del Técnico de MTN, el cual en algunas ocasiones debe solicitar apoyo a sus compañeros, ya que se dificulta la acción debido al peso y configuración de las herramientas ILI.

Ilustración 27 Manipulaciones de la herramienta ILI sobre el banco de MTN actual.



La ejecución de estas manipulaciones puede acarrear lesiones parciales o permanentes, debido al riesgo por el esfuerzo muscular que causa tensión sobre el sistema musculoesquelético [26]. Este aspecto se profundiza en el aparte “factores de riesgo postural” del presente capítulo.

3.3 FACTORES DE RIESGO POSTURAL

El estudio de los factores de riesgo postural tuvo como fin evaluar la exposición del operario a posturas del alto riesgo para determinar su frecuencia y duración. Esta información es posible obtenerla mediante la aplicación de métodos de evaluación ergonómica. Actualmente existen diversos métodos que permiten realizar un diagnóstico ergonómico, la selección de este depende de las características de la tarea y lo que se desea evaluar[27].

Para el caso particular de la presente investigación la selección del método ergonómico se realizó mediante la herramienta virtual del portal web ergonoautas.com. Esta herramienta permite obtener recomendaciones sobre los métodos de evaluación ergonómica a emplear según factores de riesgo presentes y otras características de la tarea [28]. Para este caso la herramienta sugirió el método OWAS (Ver Ilustración 28)

Ilustración 28 Resultado selector de métodos ergonómicos.

Lleve a cabo el análisis de la tarea empleando los siguientes métodos de evaluación:		
<i>Evaluación inicial de Riesgos:</i> Lista de comprobación ergonómica (LCE)		
<i>Factor de riesgo</i>	<i>Presente</i>	<i>Método Recomendado</i>
<i>Posturas inadecuadas</i>	Si	Método OWAS
<i>Manipulación de carga</i>	Si	Snook y Ciriello
<i>Movimientos repetitivos</i>	No	-----
<i>Aplicación de fuerzas</i>	No	-----
<i>Ambiente térmico inadecuado</i>	No	-----
<i>Penosidad de la tarea</i>	No	-----

Fuente: [17]

Para la aplicación del método OWAS, se procedió como primera medida a la documentación de los procesos de mantenimiento que son ejecutados sobre el banco de trabajo actual (ver tabla 9) para ello se realizó la grabación de vídeo de dos jornadas laborales siguiendo el protocolo de registro de vídeo (Ver anexo A).

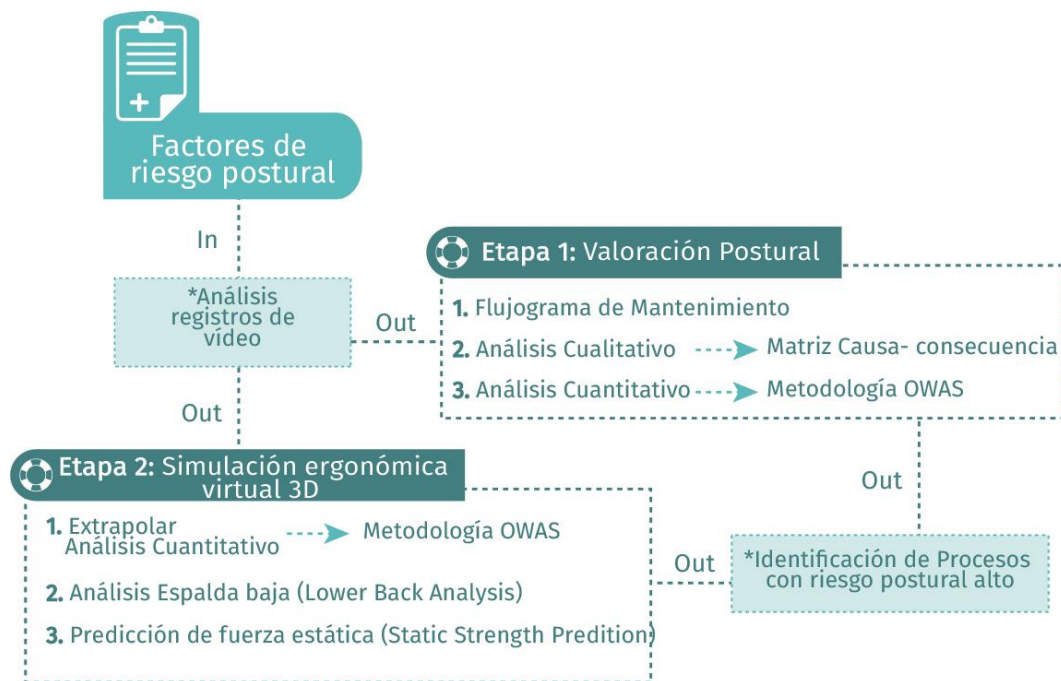
Teniendo en cuenta que los procesos de mantenimiento de las herramientas ILI son los mismos para todas, se considera realizar la observación y evaluación de riesgo postural de la ejecución del mantenimiento de una en este caso para la herramienta ILI C12-1.XN (ver Ilustración 25) debido a que esta corresponde al punto medio en cuanto a sus características dimensionales y físicas.

Para el análisis de los registros de vídeo se utilizó el software libre KINOVEA [18], el cual facilito la fragmentación de la grabación de vídeo en fotos fijas cada 8

segundos¹⁰ y la medición de ángulos posturales (tronco, extremidades superiores e inferiores). En el análisis de datos se evidencio que cada proceso de mantenimiento se divide en múltiples subprocesos; con base en esto se consideró realizar la evaluación postural para cada uno de los subprocesos que componen cada mantenimiento. Este concepto en la metodología OWAS es denominado como evaluación multi-fase.

Los resultados del estudio de factores de riesgo posturales para cada uno de los ocho “8” mantenimientos ejecutados sobre el banco de mantenimiento actual, están divididos en dos etapas; la primera denominada valoración postural y la segunda simulación ergonómica virtual 3D, como se muestra en la Ilustración 29.

Ilustración 29 Flujograma resultados de factores de riesgo postural.



¹⁰ El método OWAS considera que el periodo de observación debe ser intervalos iguales, sugiriendo un periodo entre 30 – 60 (segundos) cuando la observación es realizada en campo. Pero si la observación es realizada mediante el estudio de grabación de video, el criterio observación puede comprender un intervalo menor, ya que es posible adelantar, retroceder y pausar los registros a observar. Considerando esto es posible disminuir la probabilidad error ya que se evalúan mayor número de observaciones y así obtener un resultado de mayor fiabilidad.

Como se visualiza en el diagrama anterior la primera etapa “**Valoración Postural**”, constituyó el análisis de la situación actual del área de ROSEN, mediante del estudio observacional postural de las diferentes fases que compone cada mantenimiento y la aplicación del método OWAS, estudio que permitió cuantificar el nivel de riesgo presente en las fases de los mantenimientos ejecutados a las herramientas ILLI, a continuación se presenta una descripción de cada resultado que comprende esta etapa:

- **Flujograma de Mantenimiento:** Diagrama que indica el tiempo total de ejecución del mantenimiento y de cada fase que hace parte del mismo, también específica el número de personas involucradas y las herramientas utilizadas para realizar el mantenimiento.
- **Análisis Cualitativo (Matriz causa-consecuencia):** Resultado del estudio observacional de cada mantenimiento y sus respectivas fases. Para detectar la postura de mayor riesgo adoptada por operario, realizando su descripción, estableciendo las causas que suponen la adopción de la postura y las consecuencias esta para el operario.
- **Análisis Cuantitativo (Metodología OWAS):** Resultado de la aplicación del método OWAS para cada mantenimiento y sus respectivas fases.

Por otra parte la segunda etapa “**Simulación ergonómica virtual 3D**”, Constituyó la comprobación del análisis cuantitativo (Método OWAS) del estado actual del área de mantenimiento de ROSEN en un entorno virtual respecto a los resultados del mismo análisis realizado en un entorno real. Ya que el alcance del presente proyecto es diseño y desarrollo del prototipado virtual¹¹ de la propuesta final, Es por esta razón que las validaciones y comprobaciones ergonómicas de las mismas fueron

¹¹ El prototipado virtual es el diseño y generación de un producto con suficientes características claves que permitan su evaluación frente a los requerimientos. Virtual significa que el producto diseñado aún no está creado físicamente sin embargo se genera su representación visual para observación, análisis y manipulación; el objeto tiene aproximadamente el mismo comportamiento que el modelo físico excepto que este está disponible en un ambiente virtual generado en un computador.

realizadas en un entorno virtual, por consiguiente los resultados de la aplicación del método OWAS fueron comparados entorno real Vs entorno virtual, para comprobar la cercanía de los datos y determinar la fiabilidad de la evaluación ergonómica en un entorno virtual. La plataforma para ejecutar esta etapa fue el software JACK de Tecnomatix, a continuación se presenta una descripción de cada resultado que comprende esta etapa:

- **Extrapolar Análisis Cuantitativo (Metodología OWAS):** Este ítem tiene como objetivo principal la demostración de la fiabilidad de los datos obtenidos mediante la implementación del software JACK para la aplicación de la metodología OWAS en un entorno virtual, comparando sus resultados con los obtenidos en la aplicación de la metodología OWAS en un entorno real.
- **Análisis Espalda baja (Lower Back Analysis):** Resultado del comportamiento postural de la espalda baja (vértebras L4 – L5) del humano virtual (DHM), para cada fase de mayor riesgo presente en cada mantenimiento, obtenido de la Simulación ergonómica virtual 3D.
- **Predicción de fuerza estática (Static Strength Prediction):** Resultado del análisis del comportamiento postural de las articulaciones del DHM y el porcentaje poblacional capaz de realizar la tarea de acuerdo parámetros antropométricos establecidos, para cada fase de mayor riesgo presente en cada mantenimiento, obtenido de la Simulación ergonómica virtual 3D.

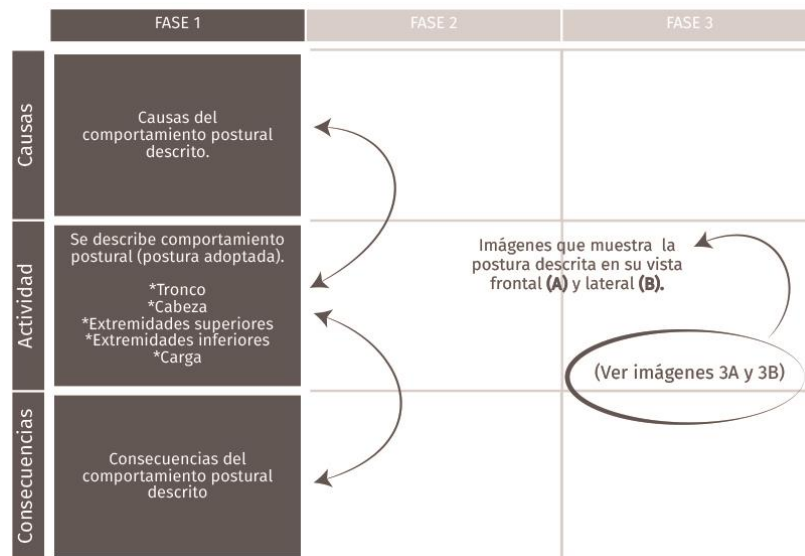
3.3.1 Etapa 1: Valoración postural A continuación son presentados los resultados de la etapa de valoración postural de los ocho mantenimientos ejecutados sobre el banco de trabajo actual en un entorno real. Para cada mantenimiento se realizó una descripción global del mismo, los detalles, especificaciones y componentes son omitidos en el presente documento por tratarse de propiedad intelectual y material de ROSEN GROUP.

Para la interpretación de los diferentes diagramas es conveniente tener en cuenta las convenciones a continuación presentadas.

Tabla 12 Convecciones para diagramas.

CONVENCIONES	
Color	Iconografía
■ Fase MTN Gyro	🕒 Tiempo de Ejecución
■ Fase MTN Baterías	👤 Personas Involucradas
■ Fase MTN Sensores	🔧 Herramientas Usadas
■ Fase MTN Copas	⚙️ Fases del Mantenimiento
■ Fase MTN Cardan	
■ Fase MTN Magnetos	
■ Fase MTN Cepillos	
■ Fase MTN Odómetro	
■ Fase NO Evaluada	

Ilustración 30 Diagrama de presentación de resultados análisis cualitativo



3.3.1.2 Mantenimiento GYRO Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo electrónico, consiste en la instalación de un dispositivo denominado “Gyro”, el cual permite medir la velocidad angular (rad/s) y mantenerla constante durante la inspección que la herramienta instrumentada ILI (PIG) realiza en el interior del ducto.

Para la realización del mantenimiento; el técnico debe acondicionar el interior del e-box unit¹² (Ilustración 31). Para así ubicar, instalar y acoplar el Gyro con los demás componentes electrónicos del PIG.

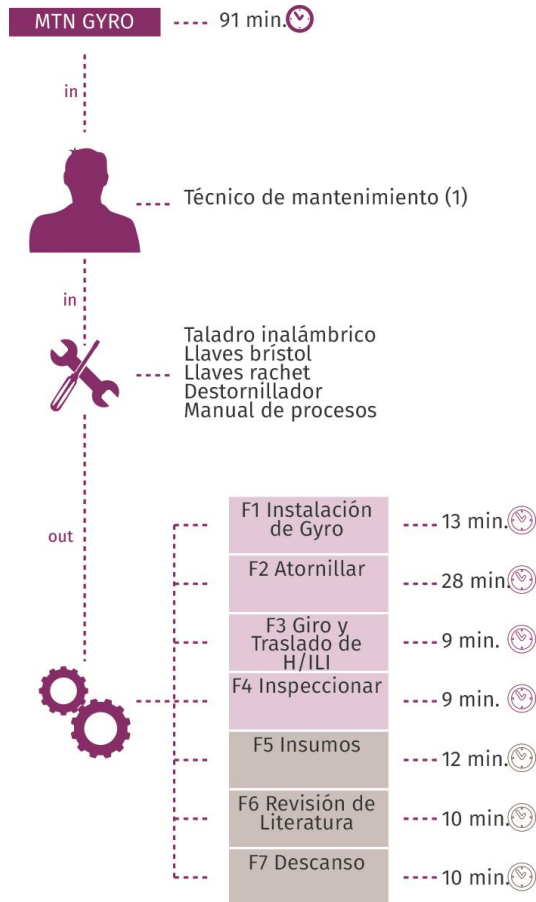
Ilustración 31 Ubicación del e-box unit en el PIG.



Las principales tareas que él técnico de mantenimiento debe realizar para instalar el Gyro en el interior del e-box unit, son entre otras; giro y traslado constante del PIG sobre la superficie de trabajo para tener el acceso deseado, aprensión y desaprensión de tornillería, búsqueda de insumos y finalmente conexión del Gyro a los diferentes componentes eléctricos del PIG. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de Gyro, si acarrearán el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 32.

¹² E-box unit, es un cuerpo de carcasa metálica el cual en su interior aloja componentes electrónicos como data bases, cables, baterías, entre otros elementos necesarios para el almacenamiento de datos y el correcto funcionamiento del PIG. 6. Rosen. *Rosen Empowered Technology*. Rosen 2003; Available from: <http://www.rosen-group.com/global.html>.

Ilustración 32 Flujoograma mantenimiento de GYRO.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de Gyro; se identificaron siete (7) fases las cuales fueron analizadas y se determinó que las fases (F) 5, 6 y 7; no representan riesgo postural para el técnico, por esta razón no se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente. No obstante la F5, si represento pérdida de tiempo en la realización del proceso de mantenimiento, debido a que el técnico debía desplazarse por el área del workshop para buscar en gabinetes o recipientes, los elementos necesarios para continuar satisfactoriamente el proceso de mantenimiento de Gyro; aspecto que se tuvo en cuenta para las decisiones que se tomaron en la fase creativa.

A continuación, se presenta los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 32; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

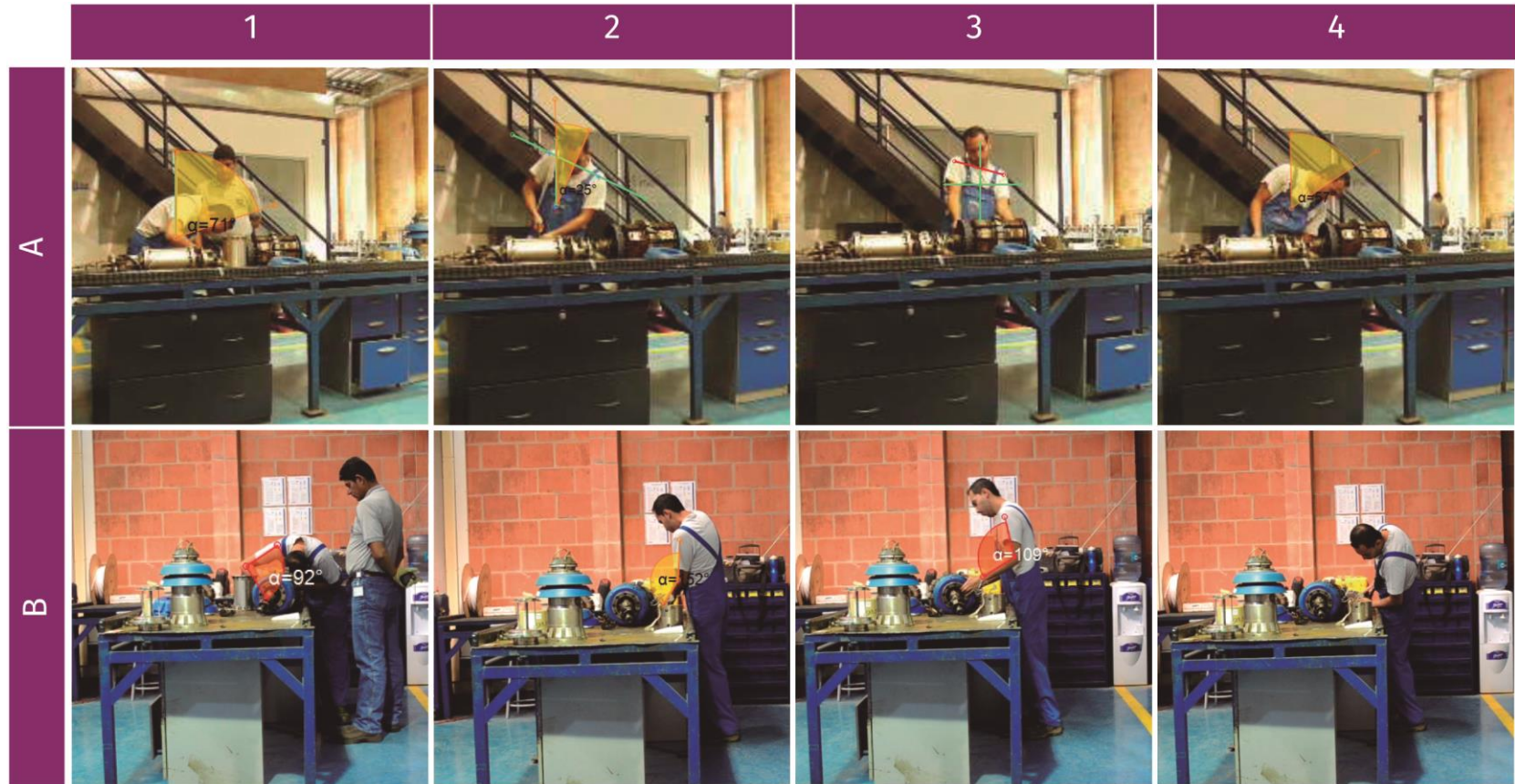
Análisis Cualitativo Mantenimiento de Gyro

Tabla 13. Análisis cualitativo por fases, MTN de Gyro. ¹³

	F1 Instalación de Gyro	F2 Atornillar	F3 Giro y Traslado de H/ILI	F4 Inspeccionar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad para la realización de la fuerza de aprensión sobre la llave bristol. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación lateral y rotación axial. *Cuello con inclinación lateral. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodilla flexionada. Brazo izquierdo en abducción. (Ver imágenes 1A y 1B, MTN de Gyro) 	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación lateral y rotación axial. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie con rodillas flexionadas. *Brazo izquierdo y derecho en abducción. (Ver imágenes 2A y 2B, MTN de Gyro) 	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación lateral. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodilla flexionada. * Brazos flexionados. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. (Ver imágenes 3A y 3B, MTN de Gyro) 	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación lateral y rotación axial. *Cuello con inclinación lateral. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazo izquierdo en abducción. (Ver imágenes 4A y 4B, MTN de Gyro)
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Manipulación insegura del H/ILI. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Trauma musculo esquelético (TME) en manguito rotador. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Manipulación insegura del H/ILI.

¹³ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila **actividad**, remítase a la **Tabla 14** y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

Tabla 14 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Gyro.

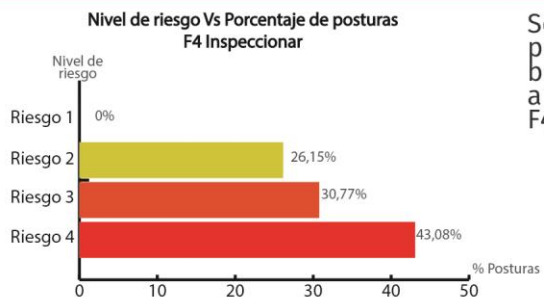


Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Gyro (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 15. Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Gyro.

F1 Instalación de Gyro	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F1 Instalación de Gyro</p> <p>Se realizaron 97 observaciones para la F1 de las cuales se identificaron 10 posturas diferentes; donde el 51% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F1 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">19,59 %</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	5	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	19,59 %			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	5	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	19,59 %																									
F2 Atornillar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F2 Atornillar</p> <p>Se realizaron 210 observaciones para la F2 de las cuales se identificaron 12 posturas diferentes; donde el 65% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F2 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodillas flexionadas</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">12,38%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	4	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	12,38%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	4	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	12,38%																									
F3 Giro y Traslado de H/ILI	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F3 Giro y Traslado de H/ILI</p> <p>Se realizaron 65 observaciones para la F3 de las cuales se identificaron 7 posturas diferentes; donde el 94% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la Fa es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>>=20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">26,15 %</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	3	1	5	3	Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>=20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	26,15 %			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	3	1	5	3																						
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>=20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	26,15 %																									

F4 Inspeccionar

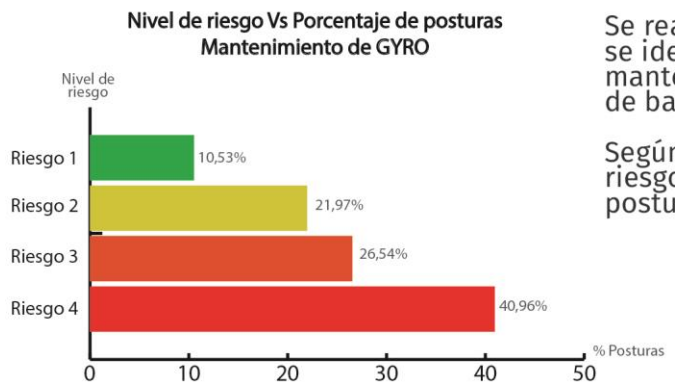


Se realizaron 65 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 10 posturas diferentes; donde el 74% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	5	2
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	<10Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	16,92%			

Tabla 16 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Gyro.

Resultado Análisis Cuantitativo MTN de Gyro (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)



Se realizaron 437 observaciones para el mantenimiento de Gyro de las cuales se identificaron 39 posturas diferentes durante todo el proceso de mantenimiento; se evidencio que el 67,5% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural.

Según el análisis realizado al material recolectado la fase que presenta mayor riesgo postural por su alta frecuencia es la F2 Atornillar, con la siguiente postura:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	4	2
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	Entre 10Kg y 20Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	12,38%			

Resultados de Análisis, MTN Gyro

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de Gyro se evidenció la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver Tabla 16); el 40,96% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo en cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver Tabla 13) realizado a la ejecución del proceso de mantenimiento del Gyro, permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico, las cuales son:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando.
- ✓ Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.12 Mantenimiento Baterías Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo electrónico, consiste en la instalación de la batería de litio¹⁴, la cual permite alimentar el sistema electrónico del PIG, prescindible para el funcionamiento de este.

Para su realización el técnico debe acondicionar el interior del Battery Segment¹⁵ (Ilustración 33). Para así poder realizar la conectividad requerida con el sistema electrónico y la correcta instalación de las baterías.

Ilustración 33 Ubicación del Battery Segment en el PIG.

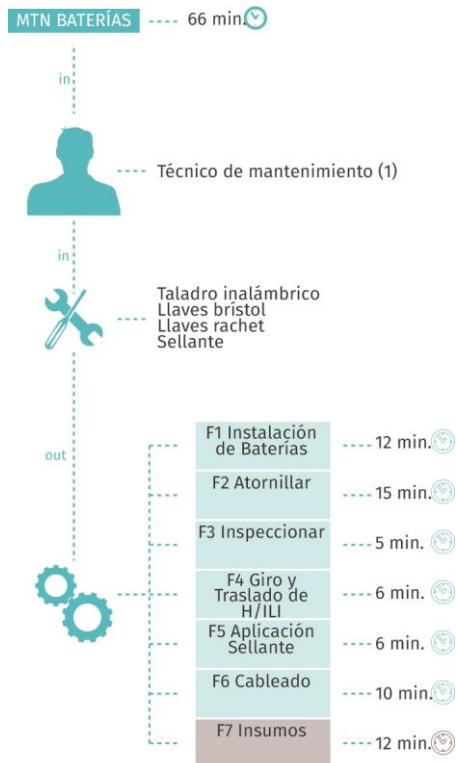


Las principales tareas que él técnico de mantenimiento realiza para la instalación de las baterías, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, conexión de cableado del sistema electrónico a la fuente de alimentación y finalmente instalación de baterías. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de Gyro, si acarrearán el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 34.

¹⁴ La capacidad de la Batería de Litio, varía según la distancia que recorrerá el PIG en el interior del ducto o tubería. Rosen (2003). "Rosen Empowered Technology." Rosen. from <http://www.rosengroup.com/global.html>.

¹⁵Battery Segment, es un cuerpo de carcasa metálica el cual en su interior aloja las baterías de litio.

Ilustración 34 Flujograma mantenimiento de Baterías.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de baterías; se identificaron siete (7) fases, las cuales fueron analizadas y se determinó que la fase (F) 7 no representa riesgo postural para el técnico, por esta razón no se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente. No obstante esta fase, si represento pérdida de tiempo en la realización del proceso de mantenimiento, debido a que el técnico debía desplazarse por el área del workshop para buscar en gabinetes o recipientes los elementos necesarios para continuar satisfactoriamente el proceso de mantenimiento de baterías; aspecto que se tuvo en cuenta para las decisiones que se tomaron en la fase creativa.

A continuación, se presentan los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 34; estos estudios se aplicaron a partir de la

implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

Análisis Cualitativo Mantenimiento de Baterías

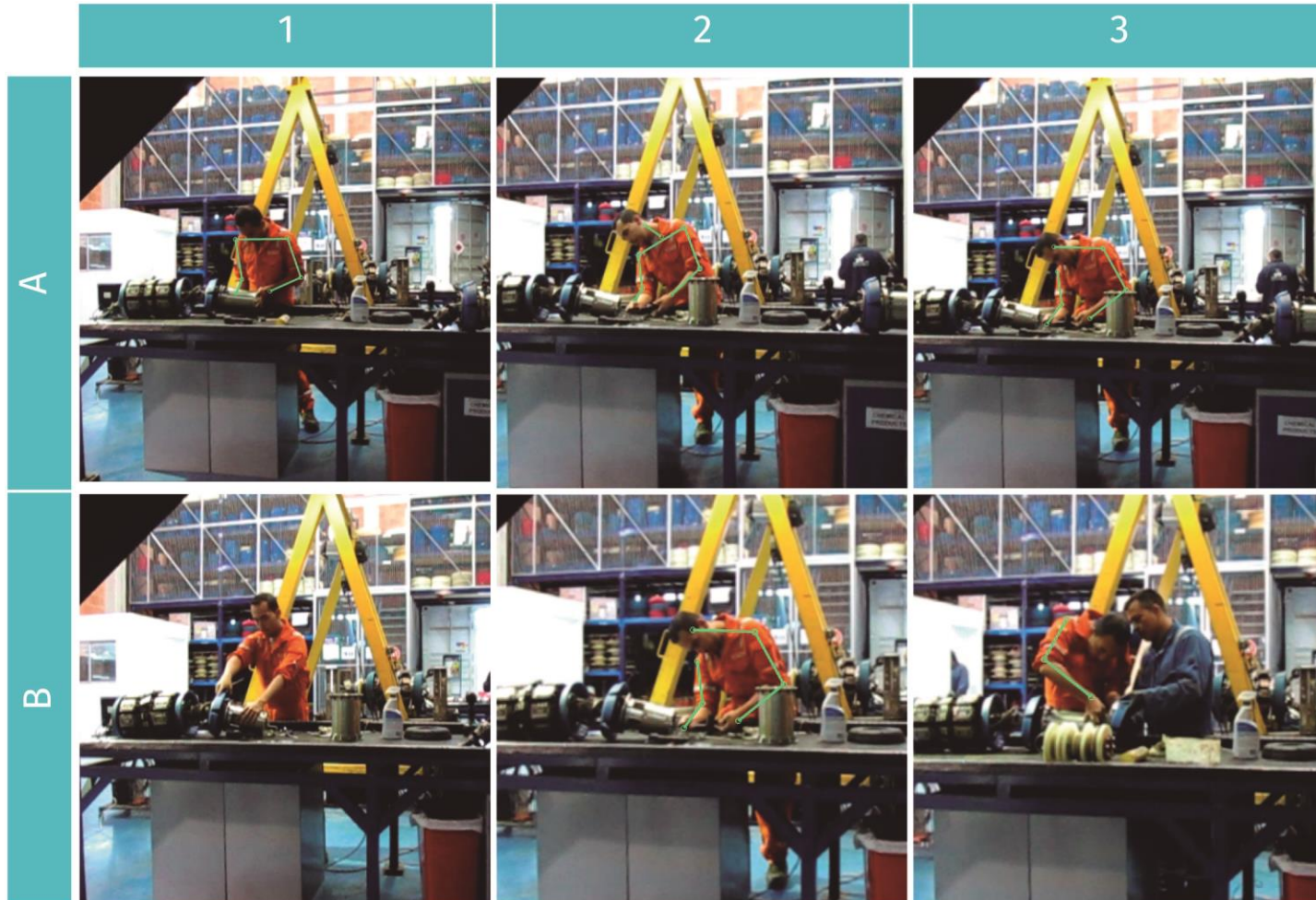
Tabla 17 Análisis cualitativo por fases, MTN de Baterías. ¹⁶

	F1 Instalación de Baterías	F2 Atornillar	F3 Inspeccionar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Dificultad para la realización de fuerza de aprensión sobre herramienta manual. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazo izquierdo en abducción. <p style="text-align: center;">(Ver imagen 1A , MTN de Baterías)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación lateral y rotación axial. *Cuello con inclinación lateral y rotación. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazo izquierdo y derecho en abducción. <p style="text-align: center;">(Ver imagen 2A, MTN de Baterías)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación axial. *Cuello con inclinación lateral. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodillas flexionadas. *Brazo izquierdo soporta peso corporal. <p style="text-align: center;">(Ver imagen 3A, MTN de Baterías)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Dolencia en extremidades inferiores. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Ausentismo laboral. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Interrupción de circulación. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Manipulación insegura del H/ILI.

¹⁶ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila **actividad** de la **Tabla 17**, remítase a la **Tabla 18** y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

	F4 Giro y Traslado de H/ILI	F5 Aplicación Sellante	F6 Cableado
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodilla recta. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. <p style="text-align: center;">(Ver imagen 1B, MTN de Baterías)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación y rotación axial. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodillas flexionadas. *Brazos flexionados. <p style="text-align: center;">(Ver imagen 2B, MTN de Baterías)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación y rotación axial. *Cabeza flexionada hacia adelante. *De pie sobre rodillas flexionadas. *Brazos flexionados. <p style="text-align: center;">(Ver imagen 3B, MTN de Baterías)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Trauma musculo esquelético (TME) en manguito rotador. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Manipulación insegura del H/ILI. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

Tabla 18 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Baterías.

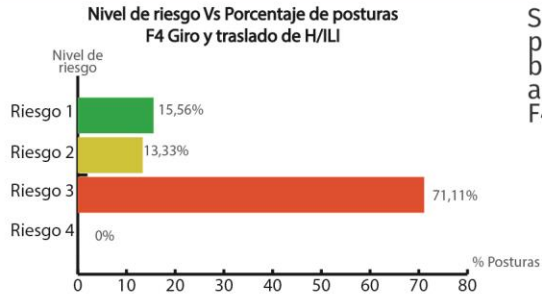


Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Baterías (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 19 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Baterías.

F1 Instalación de Baterías	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F1 Instalación de Baterías</p> <p>Se realizaron 85 observaciones para la F1 de las cuales se identificaron 10 posturas diferentes; donde el 15,29% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F1 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre pierna recta</td> <td>>=20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">15,29 %</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	2	1	3	3	Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre pierna recta	>=20Kg	Riesgo	3				Frecuencia	15,29 %			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	2	1	3	3																						
Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre pierna recta	>=20Kg																						
Riesgo	3																									
Frecuencia	15,29 %																									
F2 Atornillar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F2 Atornillar</p> <p>Se realizaron 110 observaciones para la F2 de las cuales se identificaron 13 posturas diferentes; donde el 25,46% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F2 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">10%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	5	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	10%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	5	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	10%																									
F3 Inspeccionar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F3 Inspeccionar</p> <p>Se realizaron 35 observaciones para la F3 de las cuales se identificaron 4 posturas diferentes; donde el 82,85% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la Fa es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodillas flexionadas</td> <td><10Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">37,14%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	4	1	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg	Riesgo	4				Frecuencia	37,14%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	4	1																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	37,14%																									

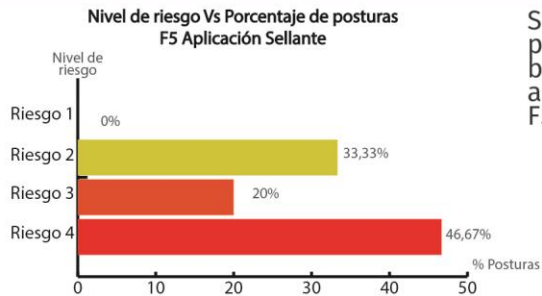
F4 Giro y Traslado de H/ILI



Se realizaron 45 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 6 posturas diferentes; donde el 71,11% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	2	1	3	2
Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre pierna recta	>=20Kg
Riesgo	3			
Frecuencia	31,11%			

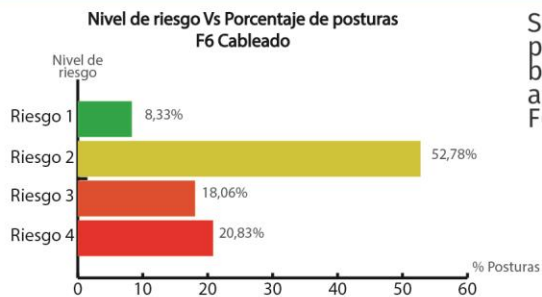
F5 Aplicación Sellante



Se realizaron 45 observaciones para la F5 de las cuales se identificaron 5 posturas diferentes; donde el 66,67% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F5 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	4	1
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	46,67 %			

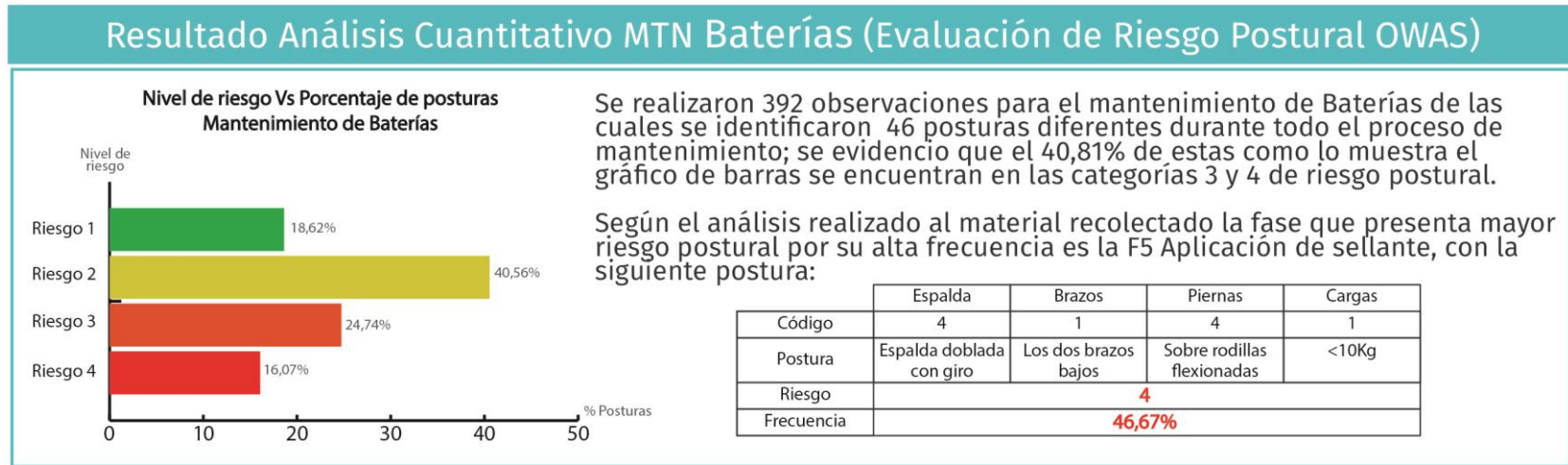
F6 Cableado



Se realizaron 72 observaciones para la F6 de las cuales se identificaron 8 posturas diferentes; donde el 38,89% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F6 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	4	1
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	12,5%			

Tabla 20 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Baterías.



Resultados de Análisis, MTN Baterías

Durante la revisión de las fases presentes en el mantenimiento de baterías, se evidenció en el resultado del análisis cuantitativo (ver tabla 20); que el 16,07% de posturas presentes en este mantenimiento se encuentran en categoría 4. Aunque este porcentaje no es representativamente alto, si se hizo una revisión para identificar las fases que presentaban el mayor riesgo postural y que causales hacían que la incidencia del riesgo aumentara.

Se encontró que las fases 3 y 5 presentaban la mayor frecuencia de posturas en categoría 4 con el 37,14% y el 46,67% respectivamente, lo cual indica el método (OWAS); que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo en cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver tabla 17) realizados a la ejecución del proceso mantenimiento de baterías permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico, las cuales son:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente, y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.1.3 Mantenimiento de Sensores Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo electrónico, consiste en la instalación de sensores (ver Ilustración 35) que

permiten detectar la variación del flujo magnético proveniente de un defecto presente en la tubería durante el recorrido que realiza el PIG al interior del ducto. Para la ejecución del mantenimiento el técnico debe acondicionar el MFL Unit¹⁷ (ver Ilustración 36), para así poder realizar las medidas correctivas para los sensores que lo requieran.

Ilustración 35 Sensores



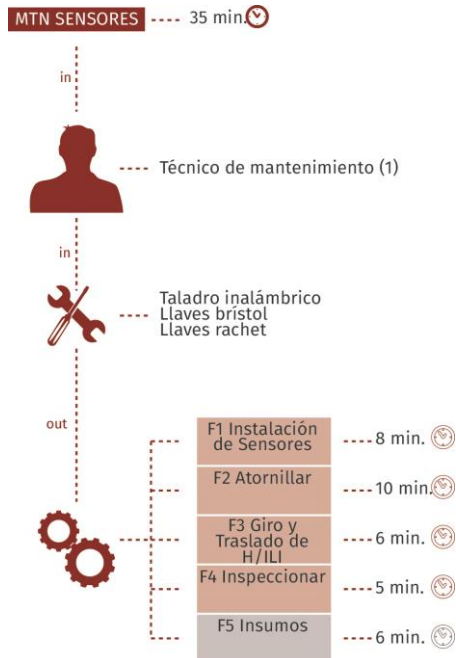
Ilustración 36 Ubicación del MFL Unit en el PIG.



Las principales tareas que él técnico realiza para el mantenimiento de sensores, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, instalación de sensores y giro constante del MFL Unit para poder tener el acceso y visibilidad necesario para ejecutar satisfactoriamente el manteniendo. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de sensores, si acarrear el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 37.

¹⁷ Magnetic Flux Leakage Unit (MFL Unit) es un cuerpo de carcasa metálica el cual en su interior aloja componentes electrónicos como data bases, cables, baterías, entre otros elementos necesarios para el almacenamiento de datos y el correcto funcionamiento del PIG.

Ilustración 37 Flujograma mantenimiento de Sensores.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de sensores se identificaron cinco (5) fases, las cuales fueron analizadas y se determinó que la fase (F) 5 no representa riesgo postural para el técnico; por esta razón no se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente. No obstante, esta fase si represento pérdida de tiempo en la realización del proceso de mantenimiento, debido a que el técnico debía desplazarse por el área del workshop para buscar en gabinetes o recipientes los elementos necesarios para continuar satisfactoriamente el proceso de mantenimiento de sensores; aspecto que se tuvo en cuenta para las decisiones que se tomaron en la fase creativa.

A continuación se presentan los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 37; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

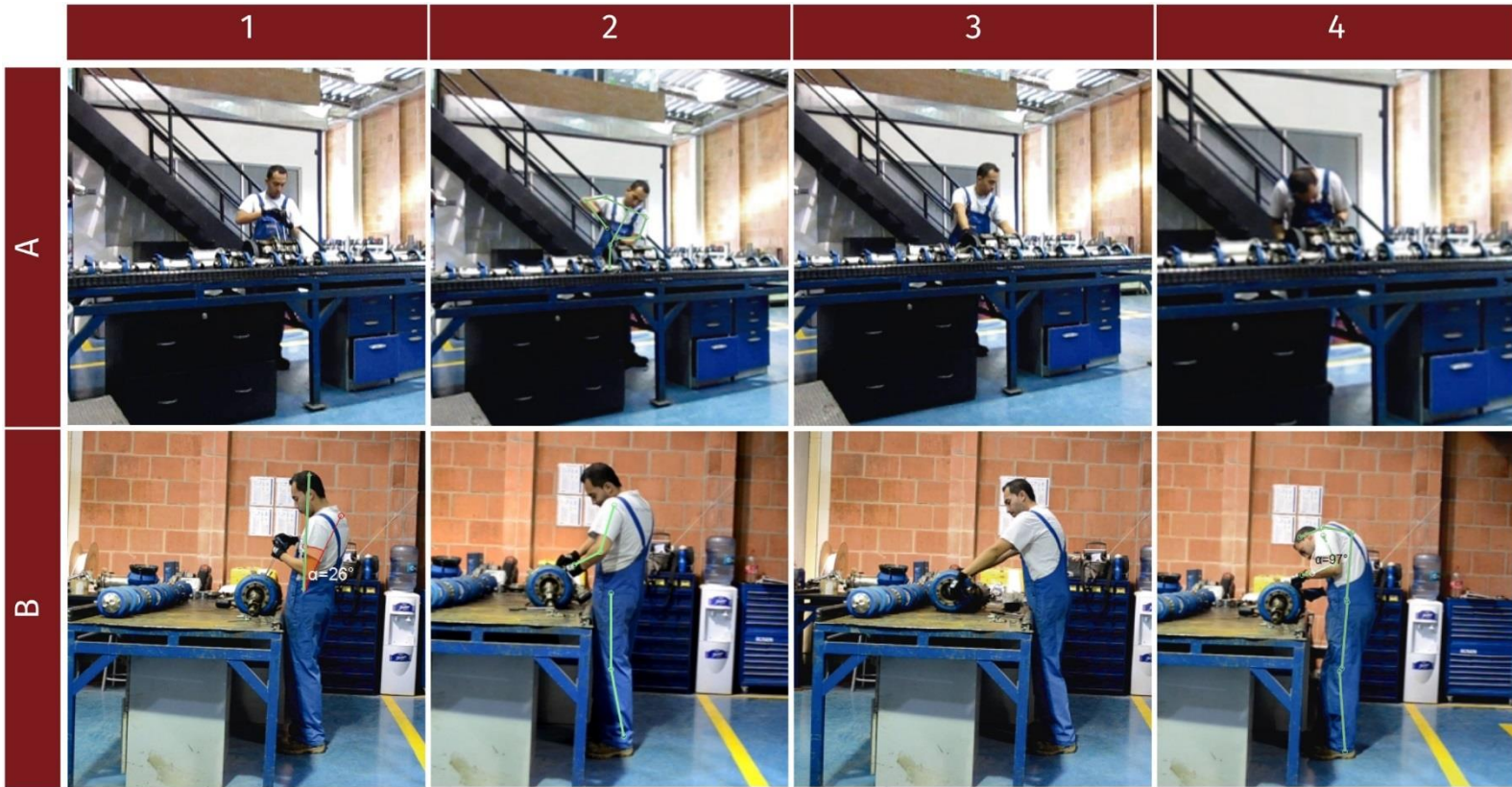
Análisis Cualitativo Mantenimiento de Sensores

Tabla 21 Análisis cualitativo por fases, MTN de Sensores. ¹⁸

	F1 Instalación de Sensores	F2 Atornillar	F3 Giro y Traslado de H/ILI	F4 Inspeccionar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad para la realización de fuerza de aprensión sobre herramienta manual. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado hacia atrás. *Cabeza inclinada hacia delante. *De pierna recta. *Brazos flexionados <p>(Ver imágenes 1A y 1B, MTN de Sensores)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 2A y 2B, MTN de Sensores)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodillas flexionadas. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. <p>(Ver imágenes 3A y 3B, MTN de Sensores)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinación lateral y rotación axial. *Cabeza inclinada y rotada. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 4A y 4B, MTN de Sensores)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Trauma musculo esquelético (TME) en manguito rotador. *Ausentismo laboral. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

¹⁸ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila **actividad** de la **tabla 21**, remítase a la **tabla 22** y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

Tabla 22 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Sensores.



Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Sensores (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 23. Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Sensores

F1 Instalación de Sensores	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F1 Instalación de Sensores</p> <p>Se realizaron 60 observaciones para la F1 de las cuales se identificaron 4 posturas diferentes; donde el 0% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F1 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre pierna recta</td> <td><10Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">31,67%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	2	1	3	1	Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre pierna recta	<10Kg	Riesgo	2				Frecuencia	31,67%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	2	1	3	1																						
Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre pierna recta	<10Kg																						
Riesgo	2																									
Frecuencia	31,67%																									
F2 Atornillar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F2 Atornillar</p> <p>Se realizaron 73 observaciones para la F2 de las cuales se identificaron 4 posturas diferentes; donde el 52% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F2 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">30,67%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	5	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	30,67%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	5	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	30,67%																									
F3 Giro y Traslado de H/ILI	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F3 Giro y traslado de H/ILI</p> <p>Se realizaron 45 observaciones para la F3 de las cuales se identificaron 5 posturas diferentes; donde el 100% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la Fa es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodillas flexionadas</td> <td>>=20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">31,11%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	4	3	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	>=20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	31,11%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	4	3																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	>=20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	31,11%																									

F4 Inspeccionar

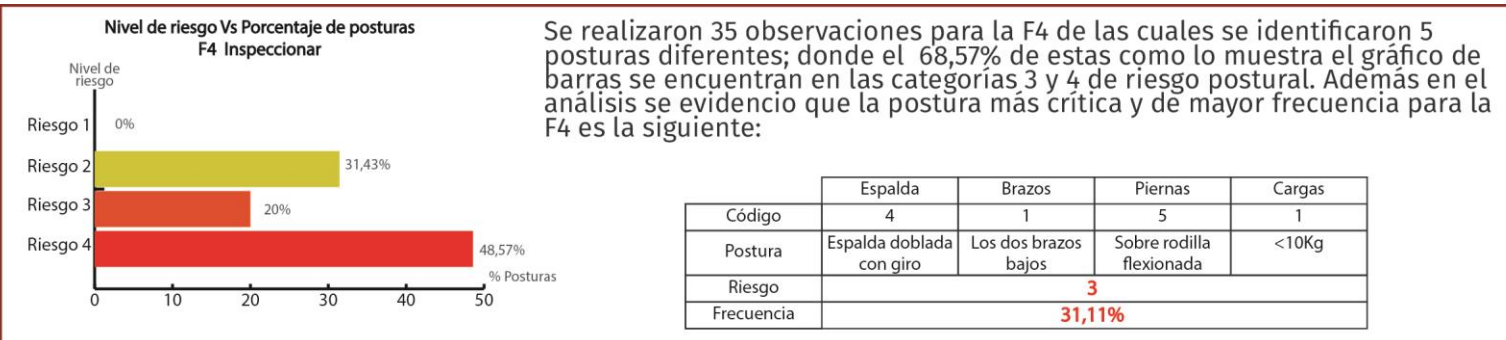
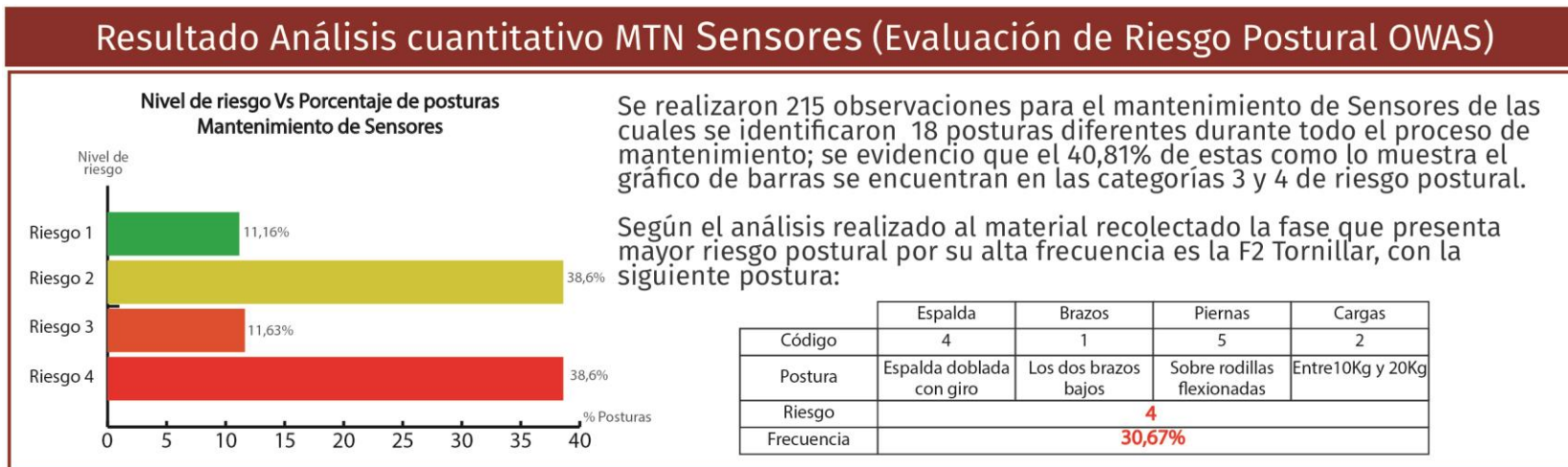


Tabla 24 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Sensores.



Resultados de Análisis, MTN Sensores

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de sensores, se evidenció la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según en el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver tabla 24) el 38,6% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver tabla 22) realizado a la ejecución del proceso mantenimiento de sensores, permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico las cuales son:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de visibilidad de la actividad que está ejecutando.
- ✓ Distancia entre el PIG y el operario mayor al alcance máximo permisible
- ✓ Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.14 Mantenimiento de Copas Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo mecánico, consiste en la instalación de copas en cada uno de los cuerpos de la herramienta instrumentada ILI (PIG) (ver Ilustración 38), las cuales tienen la función

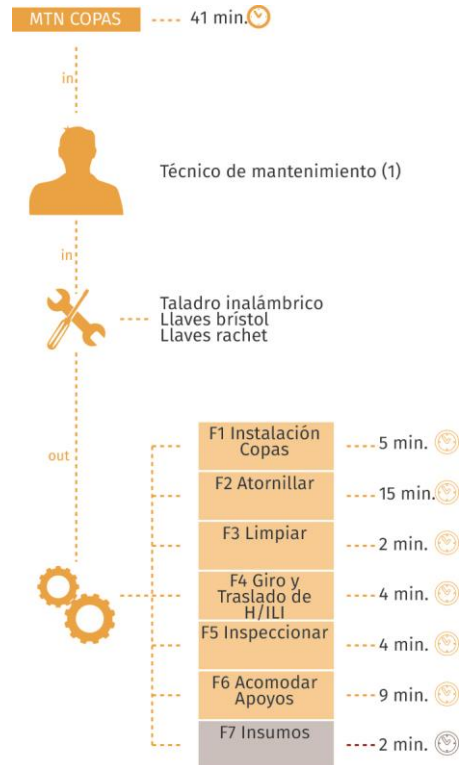
de hacer una especie de sello hermético en el interior del ducto para generar la presión necesaria para el desplazamiento del PIG y mantenerlo centrado en el interior del ducto o tubería.

Ilustración 38 Ubicación de las Copas en el PIG.



Las principales tareas que él técnico de mantenimiento debe realizar para el mantenimiento de copas, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, acomodación de apoyos, giro y traslado constante del PIG sobre la superficie de trabajo para tener el acceso deseado y finalmente instalación de copas. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de copas, si acarrear el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 39.

Ilustración 39 Flujograma mantenimiento de Copas.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de copas se identificó una similitud alta en las posturas que adoptaba el operario en la realización de dicho mantenimiento para cada uno de los cuerpos del PIG; por esta razón, se determinó realizar la evaluación postural solo en el cuerpo MFL Unit (ver Ilustración 36), el cual presento mayor frecuencia de posturas de alto riesgo y por ende de mayor incomodidad para el operario. Durante el análisis correspondiente se identificaron siete (7) fases, las cuales fueron analizadas y se estableció que la fase (F) 7 no representa riesgo postural para el técnico y su tiempo de ejecución no es representativo.

A continuación, se presentan los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 39; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

Análisis Cualitativo Mantenimiento de Copas

Tabla 25. Análisis cualitativo por fases, MTN de Copas. ¹⁹

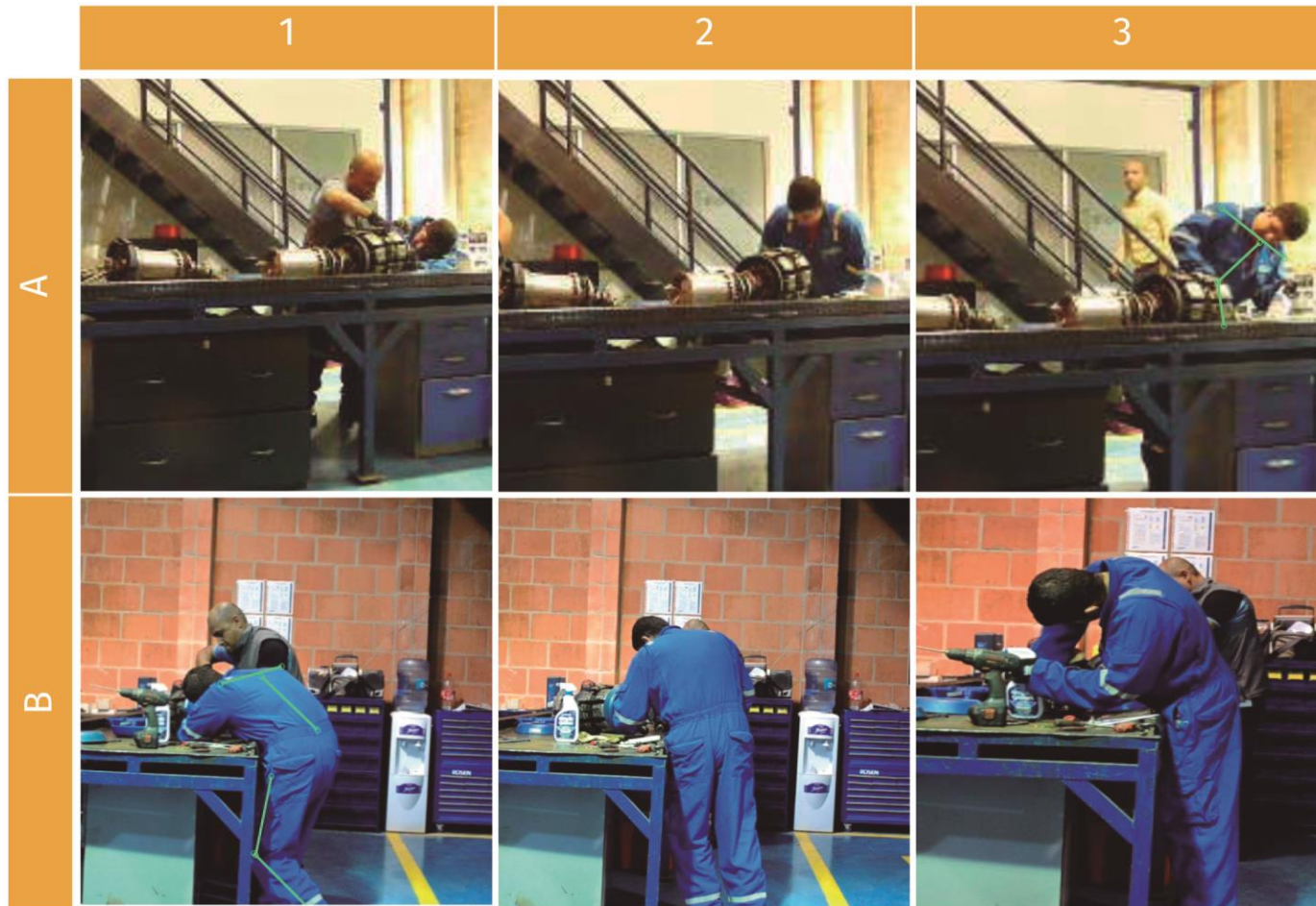
	F1 Instalación de Copas	F2 Atornillar	F3 Limpiar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando. *Dificultad para la realización de fuerza de aprensión sobre herramienta manual. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 1A y 1B, MTN de Copas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 2A y 2B, MTN de Copas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 3A y 3B, MTN de Copas)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio Visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Trauma musculoesquelético (TME) en manguito rotador. *Ausentismo laboral. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

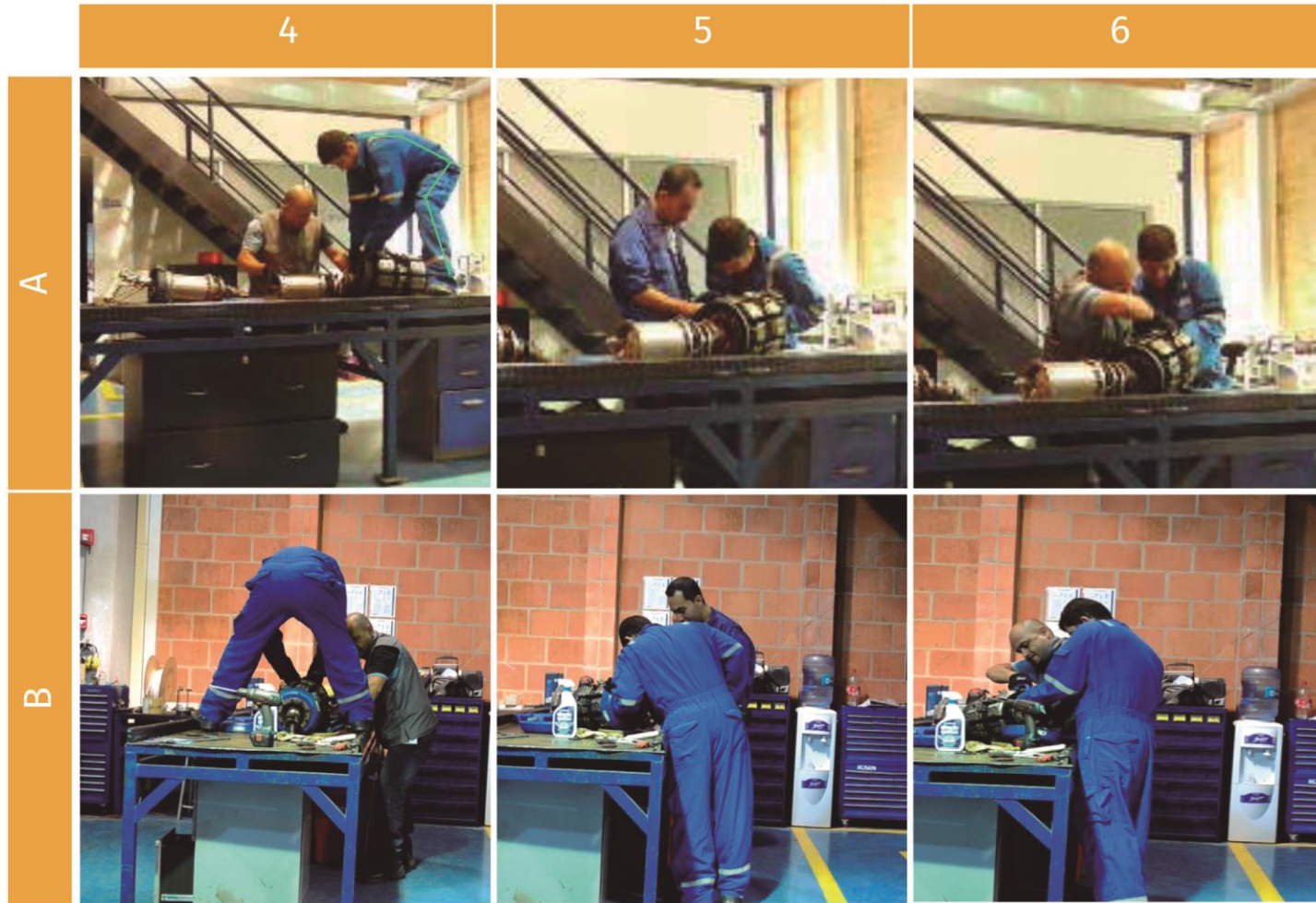
¹⁹ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila actividad de la **tabla 25**

, remítase a la tabla 26 y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

	F4 Giro y Traslado de H/ILI	F5 Inspeccionar	F6 Acomodar Apoyos
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visibilidad de tarea que se está ejecutando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco flexionado. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodillas flexionadas. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. <p>(Ver imágenes 4A y 4B, MTN de Copas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinación lateral y rotación axial. *Cabeza inclinada y rotada. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 5A y 5B, MTN de Copas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 6A y 6B, MTN de Copas)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Accidente por caídas o resbalones. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Maltrato de H/ILI por manipulación insegura y aumento de costos de mantenimiento. *Ausentismo laboral

Tabla 26 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Copas.



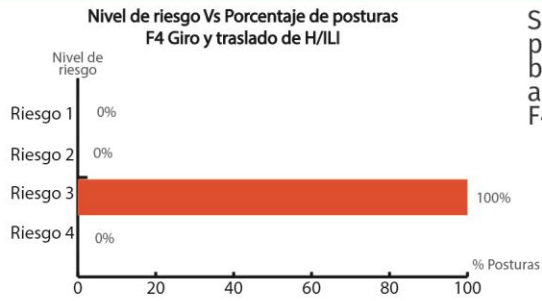


Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Copas (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 27 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Copas.

F1 Instalación de Baterías	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F1 Instalación de Copas</p> <p>Se realizaron 35 observaciones para la F1 de las cuales se identificaron 6 posturas diferentes; donde el 100% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F1 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">25,71%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	5	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	25,71%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	5	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	25,71%																									
F2 Atornillar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F2 Atornillar</p> <p>Se realizaron 86 observaciones para la F2 de las cuales se identificaron 10 posturas diferentes; donde el 69,77% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F2 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">18,6%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	5	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	18,6%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	5	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	18,6%																									
F3 Limpiar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F3 Limpiar</p> <p>Se realizaron 15 observaciones para la F3 de las cuales se identificaron 4 posturas diferentes; donde el 66,67% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la Fa es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodillas flexionadas</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">40%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	4	1	4	2	Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	40%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	4	1	4	2																						
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	40%																									

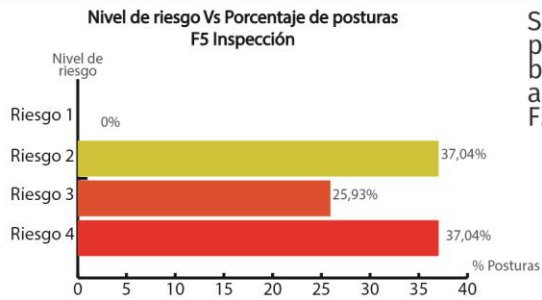
F4 Giro y Traslado de H/ILI



Se realizaron 23 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 4 posturas diferentes; donde el 100% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	2	1	4	3
Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	>=20Kg
Riesgo	3			
Frecuencia	43,48%			

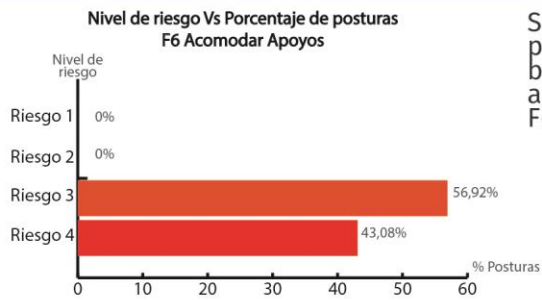
F5 Inspeccionar



Se realizaron 27 observaciones para la F5 de las cuales se identificaron 4 posturas diferentes; donde el 62,97% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F5 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	5	1
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	<10Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	37,04 %			

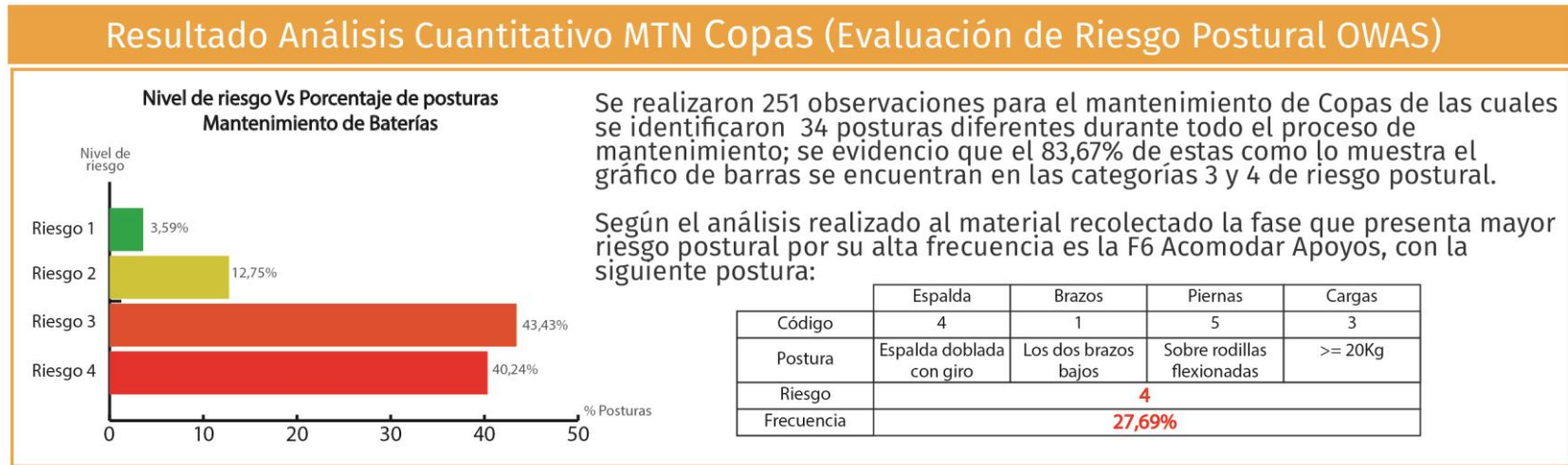
F6 Acomodar Apoyos



Se realizaron 65 observaciones para la F6 de las cuales se identificaron 8 posturas diferentes; donde el 100% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F6 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	5	3
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>= 20Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	27,69%			

Tabla 28 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Copas.



Resultados de Análisis, MTN Copas

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de copas se evidencio la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver tabla 28) el 40,24% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo en cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver tabla 26) realizado a la ejecución del proceso mantenimiento de copas, permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico las cuales son:

Altura inadecuada del plano de trabajo.

Dificultad de acceso a la cara inferior de PIG.

Distancia entre el PIG y el operario mayor al alcance máximo permisible

Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.1.5 Mantenimiento de Cardan Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo mecánico; consiste en la instalación de una articulación mecánica de seis grados de libertad denominado cardan, el cual permite unir los cuerpos de la herramienta instrumentada ILI (PIG) (ver Ilustración 40), haciendo que esta se adapte a las diferentes curvaturas de la línea (tubería) a inspeccionar.

Ilustración 40 Cardan.

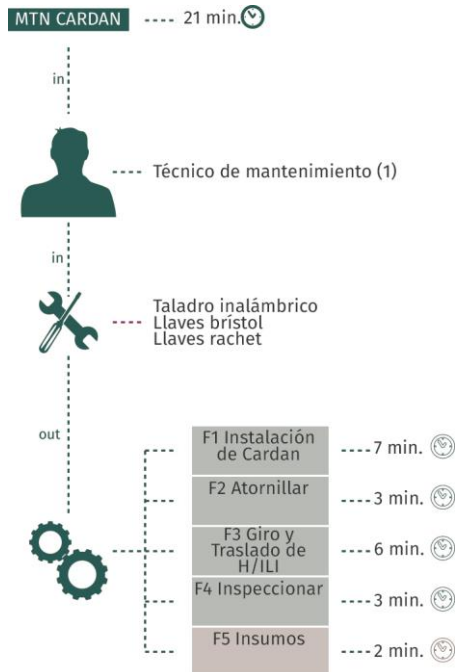


Ilustración 41 Ubicación de cardan en el PIG.



Las principales tareas que él técnico de mantenimiento debe realizar para el mantenimiento del cardan, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, giro y traslado constante del PIG sobre la superficie de trabajo para tener el acceso deseado y finalmente instalación de cardan. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de copas, si acarrear el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 42.

Ilustración 42 Flujograma mantenimiento de Cardan.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de cardan se identificó una similitud alta en las posturas que adoptaba el operario en la realización de dicho mantenimiento, por tanto se realiza el estudio para el caso de un solo cardan; identificando cinco (5) fases, las cuales fueron analizadas y se estableció que la fase (F) 5 no representa riesgo postural para el técnico y su tiempo de ejecución no es representativo.

A continuación, se presenta los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 39; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

Análisis Cualitativo Mantenimiento de Cardan

Tabla 29 Análisis cualitativo por fases, MTN de Cardan. ²⁰

	F1 Instalación de Cardan	F2 Atornillar	F3 Giro y Traslado de H/ILI	F4 Inspeccionar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Manipulación de Carga entre 100Kg a 300Kg 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Dificultad para la realización de fuerza de aprensión sobre herramienta manual. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visibilidad de tarea que se está ejecutando.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado. *Cabeza inclinada. *Arrodillado. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. <p>(Ver imágenes 1A, MTN de Cardan)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 2A, MTN de Cardan)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco flexionado. *Cabeza inclinada. *Arrodillado. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. <p>(Ver imágenes 3A, MTN de Cardan)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinación lateral y rotación axial. *Cabeza inclinada y rotada. *Brazos en abducción. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 4A, MTN de Cardan)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media y baja. *Accidente por caídas o resbalones. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Trauma musculo esquelético (TME) en manguito rotador. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Accidente por caídas o resbalones. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

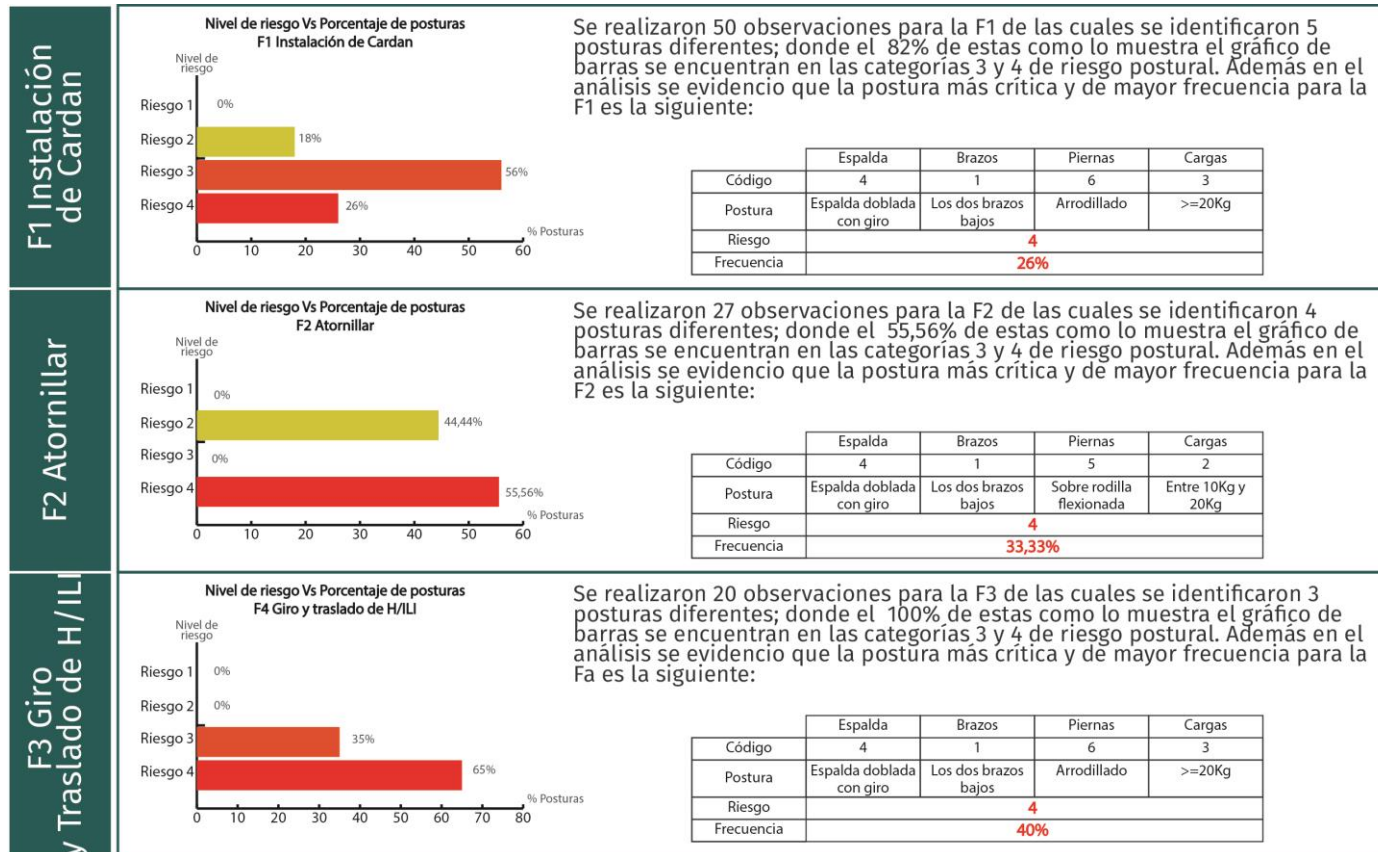
²⁰ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila actividad de la tabla 29, remítase a la tabla 30 y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

Tabla 30 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Cardan.



Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Cardan (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 31 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Cardan



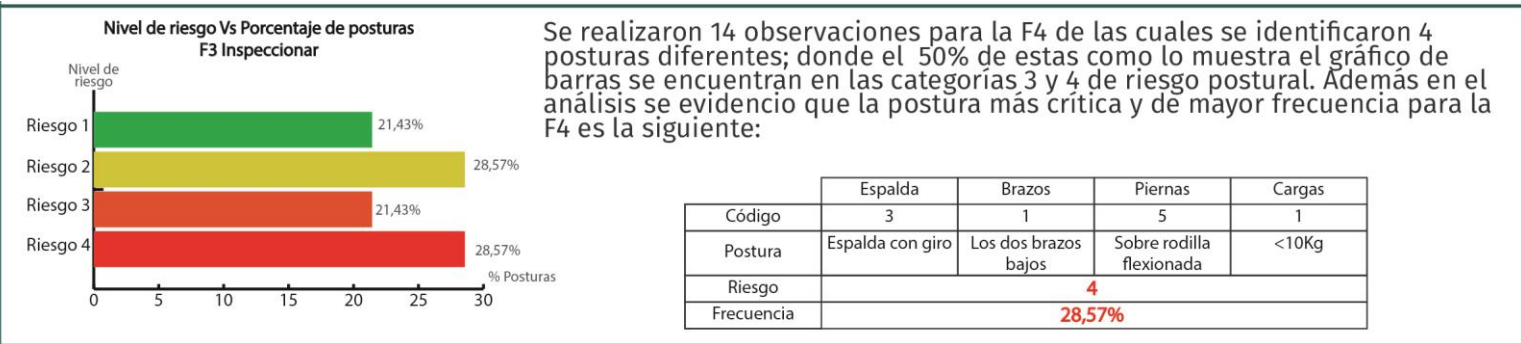
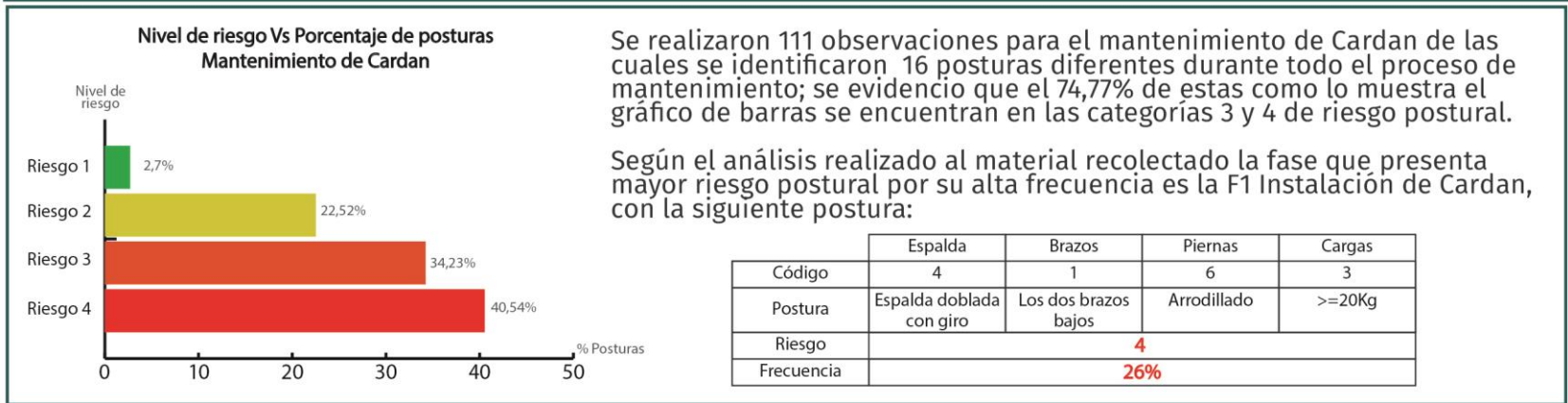


Tabla 32 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Cardan.

Resultado Análisis cuantitativo MTN Cardan (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)



Resultados de Análisis, MTN Cardan

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de cardan se evidenció la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver Tabla 32) el 40,54% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver Tabla 29) realizado a la ejecución del proceso mantenimiento del cardan permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico las cuales son:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de acceso a la cara inferior de PIG.
- ✓ Manipulación de carga de 100Kg a 300Kg
- ✓ Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.1.6 Mantenimiento de Cepillos Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo mecánico, consiste en la instalación de cepillos (ver Ilustración 43) los cuales tienen dos funciones; la primera es proteger los magnetos permanentes y la segunda, cerrar el circuito magnético, es decir, permiten que el flujo magnético viaje

a través de la pared del tubo ya que están ubicados entre los imanes permanentes y el tubo.

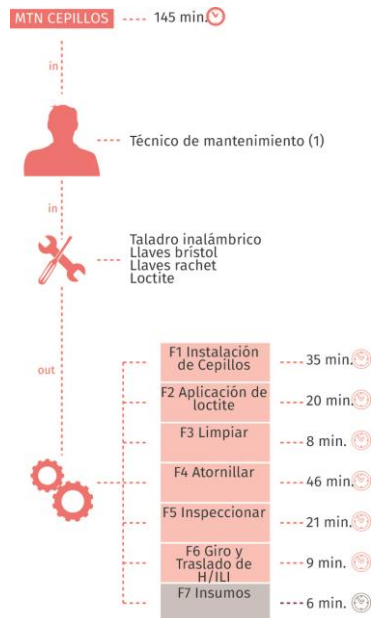
Para la ejecución del mantenimiento el técnico debe acondicionar el MFL Unit (ver Ilustración 36), que es el cuerpo donde se ubican los cepillos para poder realizar las respectivas acciones correctivas.

Ilustración 43 Cepillos.



Las principales tareas que él técnico realiza para el mantenimiento de cepillos, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, giro constante del MFL Unit para poder tener el acceso y visibilidad, inspeccionar, aplicación de loctite y finalmente instalación de cepillos. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de sensores, si acarrear el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración44.

Ilustración 44 Flujograma mantenimiento de Cepillos.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de cepillos; se identificaron siete (7) fases las cuales fueron analizadas y se determinó que la fase (F) 7 no representa riesgo postural para el técnico, por esta razón no se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente. No obstante esta fase, si represento pérdida de tiempo en la realización del proceso de mantenimiento, debido a que el técnico debía desplazarse por el área del workshop para buscar en gabinetes o recipientes los elementos necesarios para continuar satisfactoriamente el proceso de mantenimiento de sensores; aspecto que se tuvo en cuenta para las decisiones que se tomaron en la fase creativa.

A continuación, se presenta los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 44; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

Análisis Cualitativo Mantenimiento de Cepillos

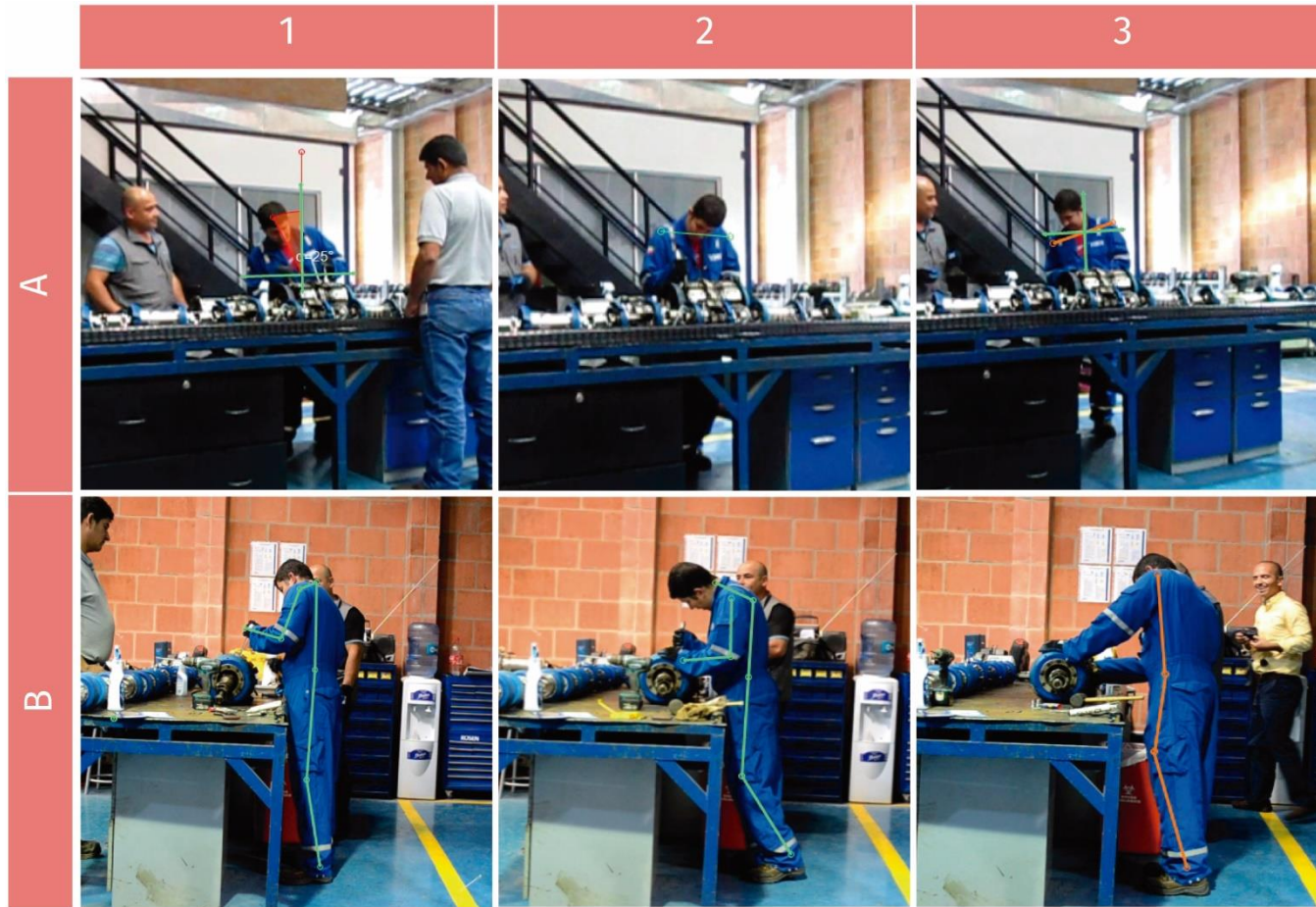
Tabla 33 Análisis cualitativo por fases, MTN de Cepillos. ²¹

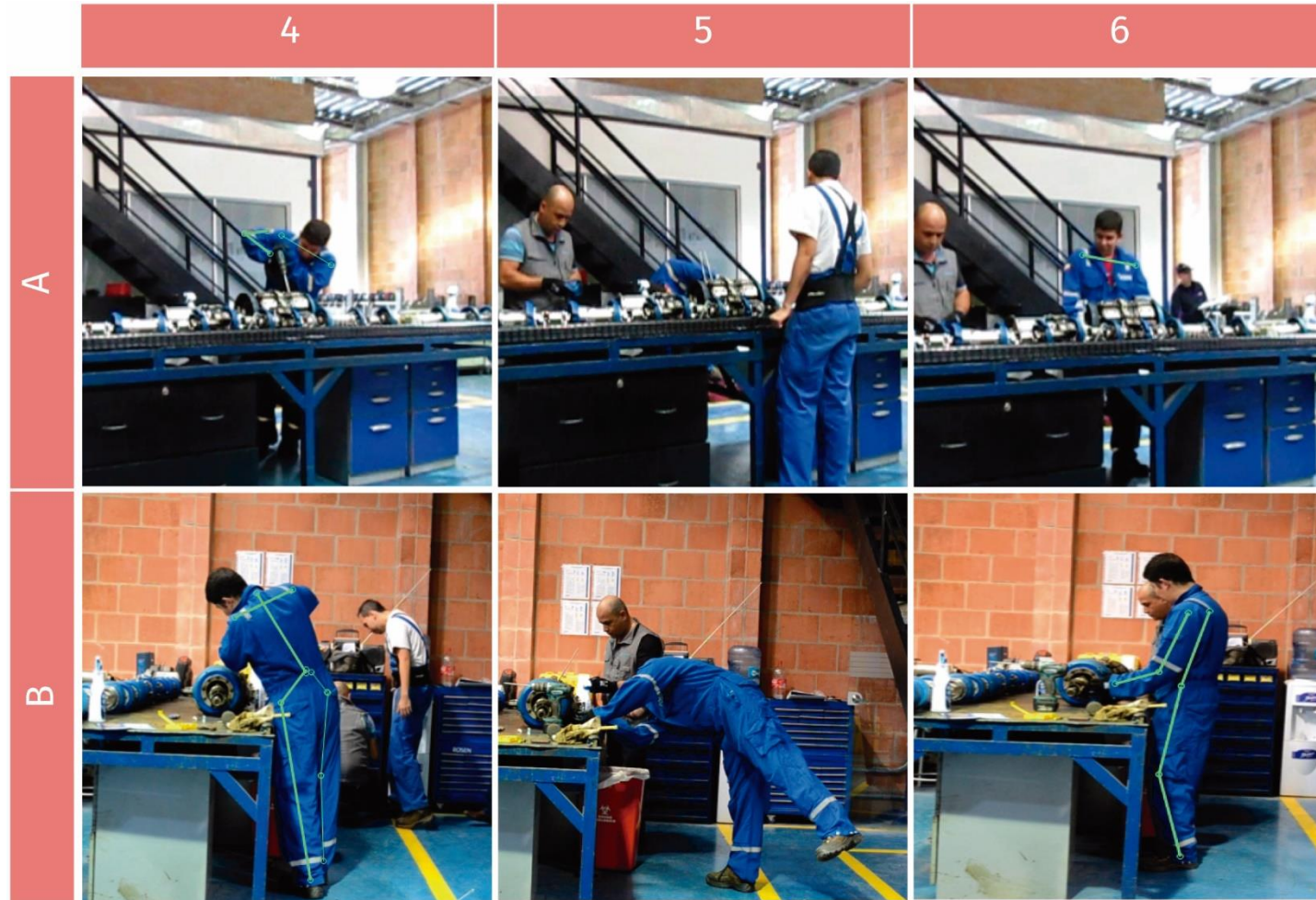
	F1 Instalación de Cepillos	F2 Aplicación de Loctite	F3 Limpiar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación. *Cabeza inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 1A y 1B, MTN de Cepillos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinado hacia delante. *Cabeza inclinado hacia delante. *De pie sobre rodillas flexionadas. <p>(Ver imágenes 2A y 2B, MTN de Cepillos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación. *Cabeza con rotación. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 3A y 3B, MTN de Cepillos)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia lumbar espalda media. *Dolencia en cuello. *Cansancio Visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia en cuello. *Cansancio Visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio Visual. *Ausentismo laboral.

²¹ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila actividad de la tabla 33, remítase a la tabla 34 y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

	F4 Atornillar	F5 Inspeccionar	F6 Giro y Traslado de H/ILI
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Dificultad para la realización de fuerza de presión y control sobre la herramienta eléctrica manual. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visibilidad de tarea que se está ejecutando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación. *Cabeza inclinada hacia delante. *De pie sobre rodilla flexionada. *Codo derecho a nivel de hombro. <p>(Ver imágenes 4A y 4B, MTN de Cepillos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación hacia delante. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 5A y 5B, MTN de Cepillos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco flexionado hacia atrás. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodilla flexionada. *Fuerza de levantamiento de carga externa. <p>(Ver imágenes 6A y 6B, MTN de Cepillos)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Trauma musculoesquelético (TME) en manguito rotador. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

Tabla 34 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Cepillos.



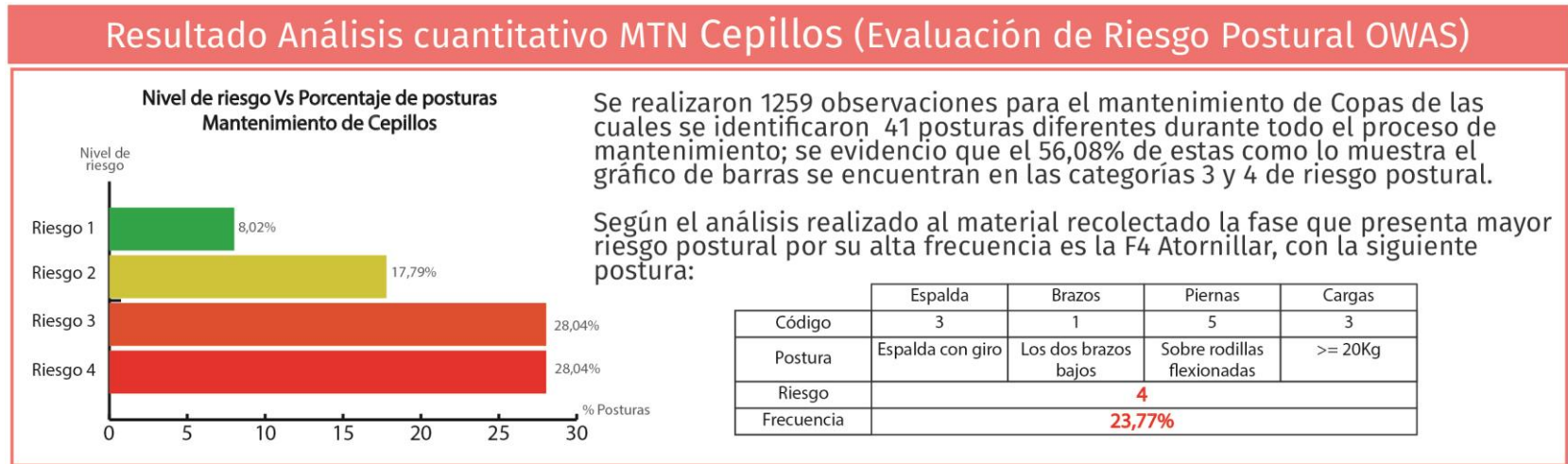


Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Cepillos (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 35 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Cepillos.

F1 Instalación de Cepillos	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F1 Instalación de Cepillos</p> <p>Se realizaron 258 observaciones para la F1 de las cuales se identificaron 11 posturas diferentes; donde el 35,66% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F1 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">5,04%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	3	1	5	2	Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	5,04%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	3	1	5	2																						
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	5,04%																									
F2 Aplicación de Loctite	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F2 Aplicación Loctite</p> <p>Se realizaron 148 observaciones para la F2 de las cuales se identificaron 6 posturas diferentes; donde el 37,84% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F2 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda doblada</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodillas flexionadas</td> <td><10Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">27,7%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	2	1	4	1	Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg	Riesgo	3				Frecuencia	27,7%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	2	1	4	1																						
Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg																						
Riesgo	3																									
Frecuencia	27,7%																									
F3 Limpiar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F3 Limpiar</p> <p>Se realizaron 55 observaciones para la F3 de las cuales se identificaron 2 posturas diferentes; donde el 70.91% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la Fa es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">49,09%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	3	1	5	2	Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	49,09%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	3	1	5	2																						
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	49,09%																									

Tabla 36 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Cepillos.



Resultados de Análisis, MTN Cepillos

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de cepillos se evidenció la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver tabla 36) el 28,04% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo en cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver tabla 34) realizado a la ejecución del proceso mantenimiento de cepillos permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico, las cuales son:

Altura inadecuada del plano de trabajo.

Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

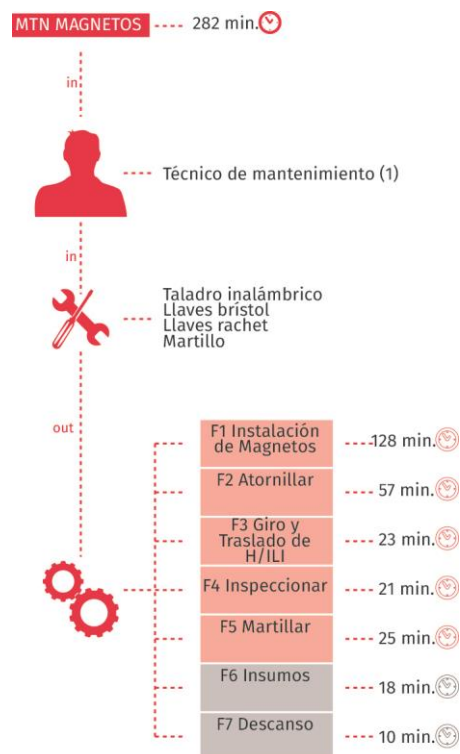
Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.1.7 Mantenimiento de Magnetos Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo mecánico, consiste en la instalación de magnetos permanentes, los cuales tienen como función producir un flujo magnético constante en el material base de la tubería.

Para la ejecución del mantenimiento el técnico debe acondicionar el MFL Unit (ver Ilustración 36) realizar la desmontaje de los cepillos, piezas que se encuentran ubicadas sobre los magnetos permanentes para así poder tener acceso a estos y tomar las acciones correctivas que se requiera.

Las principales tareas que él técnico realiza para el mantenimiento de magnetos, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, martillar, giro constante del MFL Unit y finalmente instalación de magnetos permanentes. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de sensores, si acarrear el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 45.

Ilustración 45 Flujograma mantenimiento de Magnetos.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de Gyro; se identificaron siete (7) fases las cuales fueron analizadas y se determinó que las fases (F) 5 y 6 no representan riesgo postural

para el técnico, por esta razón no se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente. No obstante la F6, si represento pérdida de tiempo en la realización del proceso de mantenimiento, debido a que el técnico debía desplazarse por el área del workshop para buscar en gabinetes o recipientes los elementos necesarios para continuar satisfactoriamente el proceso de mantenimiento de magnetos; aspecto se tuvo en cuenta para las decisiones que se tomaron en la fase creativa.

A continuación, se presenta los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 45; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

Análisis Cualitativo Mantenimiento de Magnetos

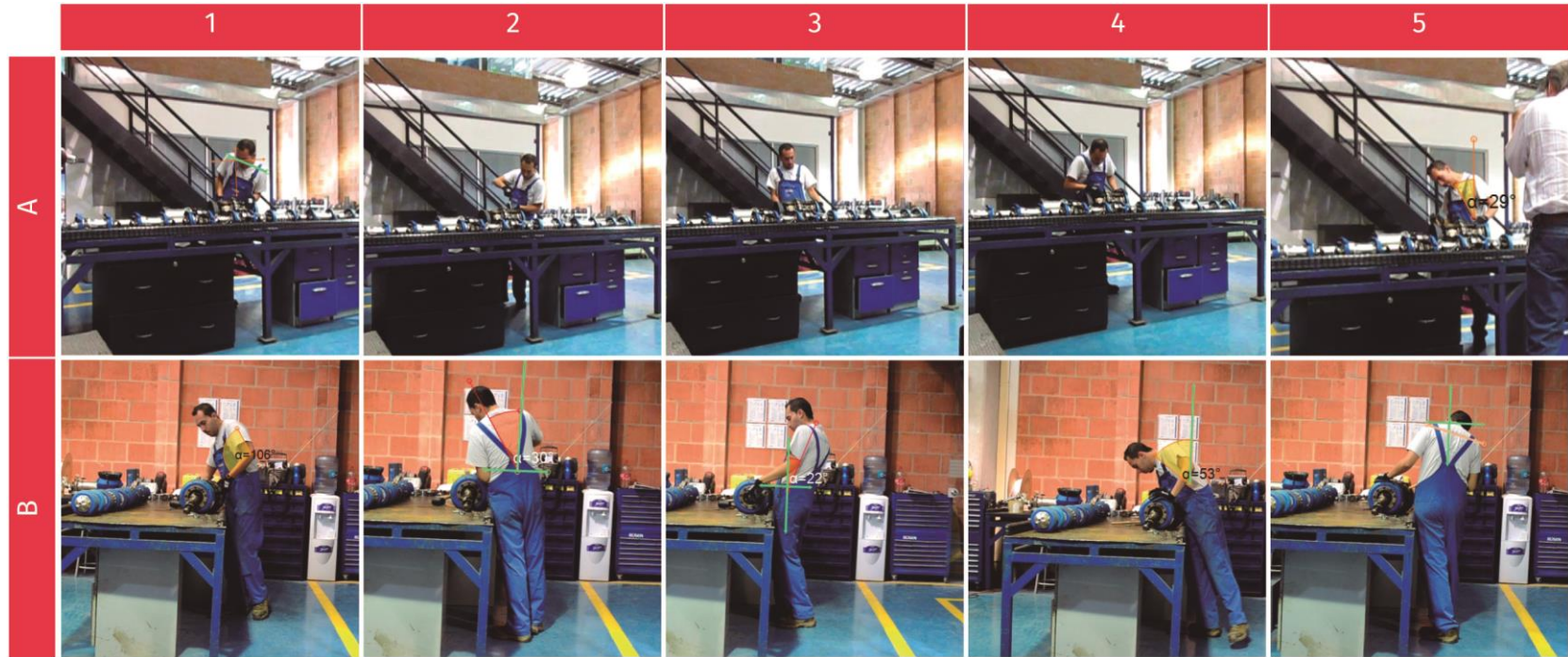
Tabla 37 Análisis cualitativo por fases, MTN de Magnetos²²

	F1 Instalación de Magnetos	F2 Atornillar	F3 Giro y Traslado de H/ILI
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Dificultad para la realización de fuerza de aprensión sobre herramienta manual. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 1A y 1B, MTN de Magnetos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación axial. *Cabeza con inclinada. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 2A y 2B, MTN de Magnetos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco flexionado hacia atrás. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodilla flexionada. *Fuerza de arrastre o empuje de carga externa. <p>(Ver imágenes 3A y 3B, MTN de Magnetos)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio Visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Trauma músculo esquelético (TME) en manguito rotador. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

²² Nota: Para visualizar las imágenes de la fila **actividad** de la **tabla 37**, remítase a la tabla 38 y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

	F4 Inspeccionar	F5 Martillar
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visibilidad de tarea que se está ejecutando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con rotación axial. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 4A y 4B, MTN de Magnetos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco inclinación lateral y rotación axial. *Cabeza con inclinación lateral. *De pie sobre rodilla flexionada. *Brazos en abducción. <p>(Ver imágenes 5A y 5B, MTN de Magnetos)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio Visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

Tabla 38 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Magnetos.

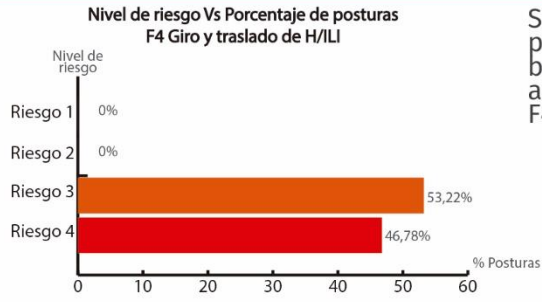


Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Magnetos (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 39 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Magnetos.

F1 Instalación de Magnetos	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F1 Instalación de Magnetos</p> <p>Se realizaron 960 observaciones para la F1 de las cuales se identificaron 20 posturas diferentes; donde el 54,17% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F1 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>>=20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">0,63%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	3	1	5	3	Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>=20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	0,63%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	3	1	5	3																						
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>=20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	0,63%																									
F2 Atornillar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F2 Atornillar</p> <p>Se realizaron 430 observaciones para la F2 de las cuales se identificaron 12 posturas diferentes; donde el 62,1% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F2 es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">23,49%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	3	1	5	2	Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	23,49%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	3	1	5	2																						
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	23,49%																									
F3 Inspeccionar	<p>Nivel de riesgo Vs Porcentaje de posturas F3 Inspeccionar</p> <p>Se realizaron 160 observaciones para la F3 de las cuales se identificaron 7 posturas diferentes; donde el 62,14% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la Fa es la siguiente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Espalda</th> <th>Brazos</th> <th>Piernas</th> <th>Cargas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Postura</td> <td>Espalda con giro</td> <td>Los dos brazos bajos</td> <td>Sobre rodilla flexionada</td> <td>Entre 10Kg y 20Kg</td> </tr> <tr> <td>Riesgo</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">23,49%</td> </tr> </tbody> </table>		Espalda	Brazos	Piernas	Cargas	Código	3	1	5	2	Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg	Riesgo	4				Frecuencia	23,49%			
	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas																						
Código	3	1	5	2																						
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	Entre 10Kg y 20Kg																						
Riesgo	4																									
Frecuencia	23,49%																									

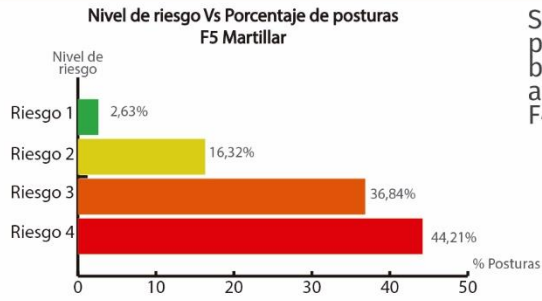
F4 Giro y traslado de H/ILI



Se realizaron 171 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 6 posturas diferentes; donde el 100% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	3	1	5	3
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>=20Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	25,15%			

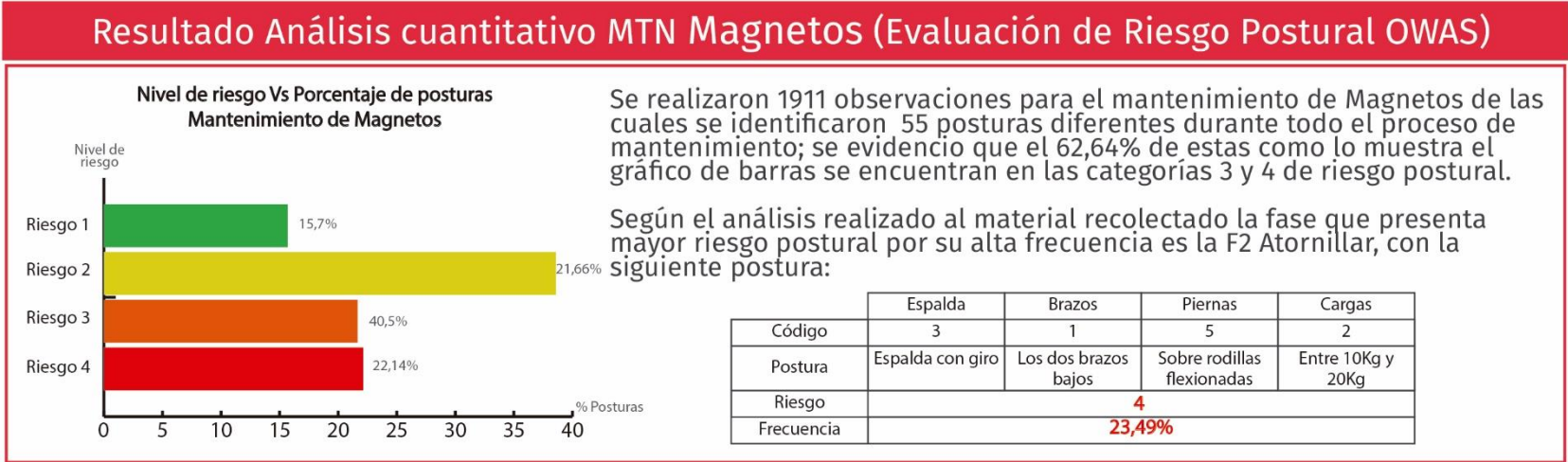
F5 Martillar



Se realizaron 190 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 10 posturas diferentes; donde el 68,57% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	3	1	5	3
Postura	Espalda con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodilla flexionada	>=20Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	21,05%			

Tabla 40 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Magnetos.



Resultados de Análisis, MTN Magnetos

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de magnetos se evidenció la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver tabla 36) el 22,14% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver tabla 38) realizado a la ejecución del proceso mantenimiento de magnetos permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico las cuales son:

Altura inadecuada del plano de trabajo.

Distancia entre el PIG y el operario mayor al alcance máximo permisible

Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.1.8 Mantenimiento de Odómetro Este proceso de mantenimiento (MTN) es de tipo mecánico, consiste en la instalación del odómetro; (ver Ilustración 46) un juego de ruedas que tienen un mecanismo interno, el cual permite medir la distancia recorrida por el PIG en interior de la tubería.

Ilustración 46 Odómetro.



Ilustración 47 Ubicación del odómetro en el PIG.



Las principales tareas que él técnico de mantenimiento debe realizar para el mantenimiento de odómetro, son entre otras; aprensión y desaprensión de tornillería, giro y traslado constante del PIG sobre la superficie de trabajo para tener el acceso deseado, inspeccionar la actividad y finalmente instalación de odómetro. Aunque estas no son las únicas tareas o fases principales presentes en el proceso de mantenimiento de odómetro, si acarrearán el mayor porcentaje de tiempo consumido en la ejecución de este proceso como se podrá evidenciar en la Ilustración 48 e Ilustración. 39

Ilustración 48 Flujograma mantenimiento de Odómetro.



En el análisis observacional preliminar realizado a los datos recolectados del proceso de mantenimiento de odómetro; se identificaron seis (6) fases, las cuales fueron analizadas y se determinó que la fase (F) 6; no representa riesgo postural para el técnico, por esta razón no se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo correspondiente. No obstante esta fase, si represento pérdida de tiempo en la realización del proceso de mantenimiento, debido a que el técnico debía desplazarse por el área del workshop para buscar en gabinetes o recipientes los elementos necesarios para continuar satisfactoriamente el proceso de mantenimiento de odómetro; aspecto que se tuvo en cuenta para las decisiones que se tomaron en la fase creativa.

A continuación, se presenta los análisis posteriores realizados a las fases que se relacionan en la Ilustración 48; estos estudios posteriores se aplicaron a partir de la implementación de los métodos, cualitativo (matriz causa-consecuencia) y cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS).

Análisis Cualitativo Mantenimiento de Odómetro

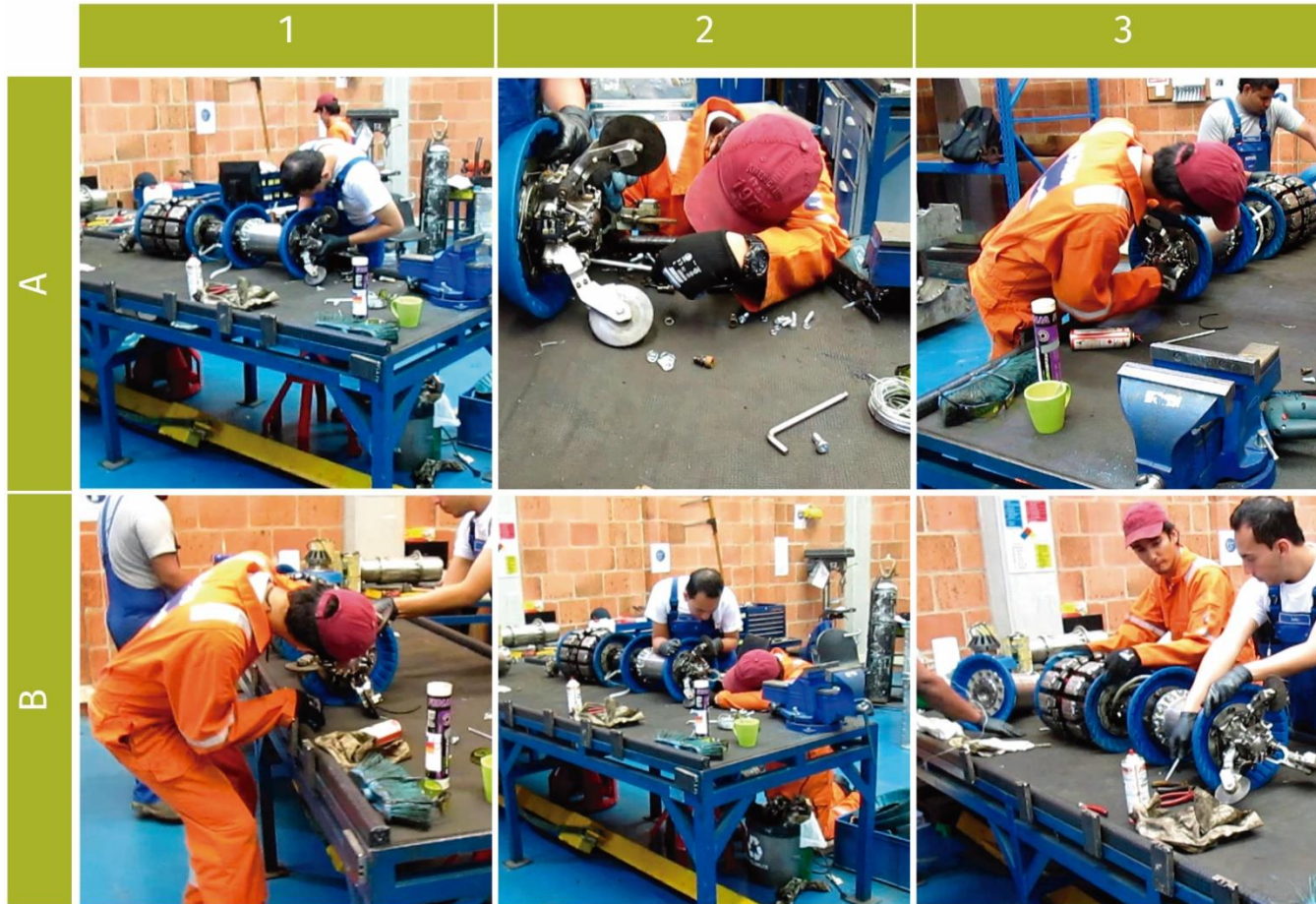
Tabla 41²³ Análisis cualitativo por fases, MTN de Odómetro.

	F1 Instalación de Odómetro	F2 Atornillar	F3 Calibración
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está ejecutando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. Dificulta para visualizar la tarea que se está ejecutando. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Dificultad para la realización de fuerza de aprensión sobre la herramienta manual. 	<ul style="list-style-type: none"> *Altura inadecuada del plano de trabajo. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visualización de la actividad que se está realizando.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación y rotación. *Cabeza inclinación lateral. *Brazos en aducción. *De pie sobre rodillas flexionadas. <p>(Ver imágenes 1A, MTN de Odómetro)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación hacia delante y rotación. *Cabeza inclinada hacia delante y rotación. *Brazo izquierdo a nivel de hombro y brazo derecho en aducción. *Arrodillado. <p>(Ver imágenes 2A y 2B, MTN de Odómetro)</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación hacia delante y rotación. *Cabeza con inclinación hacia delante y rotación. *Brazos en aducción. *De pie sobre rodilla flexionada. <p>(Ver imágenes 3A, MTN de Odómetro)</p>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia lumbar espalda media. *Dolencia en cuello. *Cansancio Visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Trauma musculo esquelético (TME) en manguito rotador. *Dolencia en extremidades inferiores por elevación de la presión sanguínea. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Cansancio visual. *Ausentismo laboral.

²³ Nota: Para visualizar las imágenes de la fila **actividad** de la **tabla 41**, remítase a la tabla 42 y seguir las instrucciones dadas en la introducción del presente capítulo.

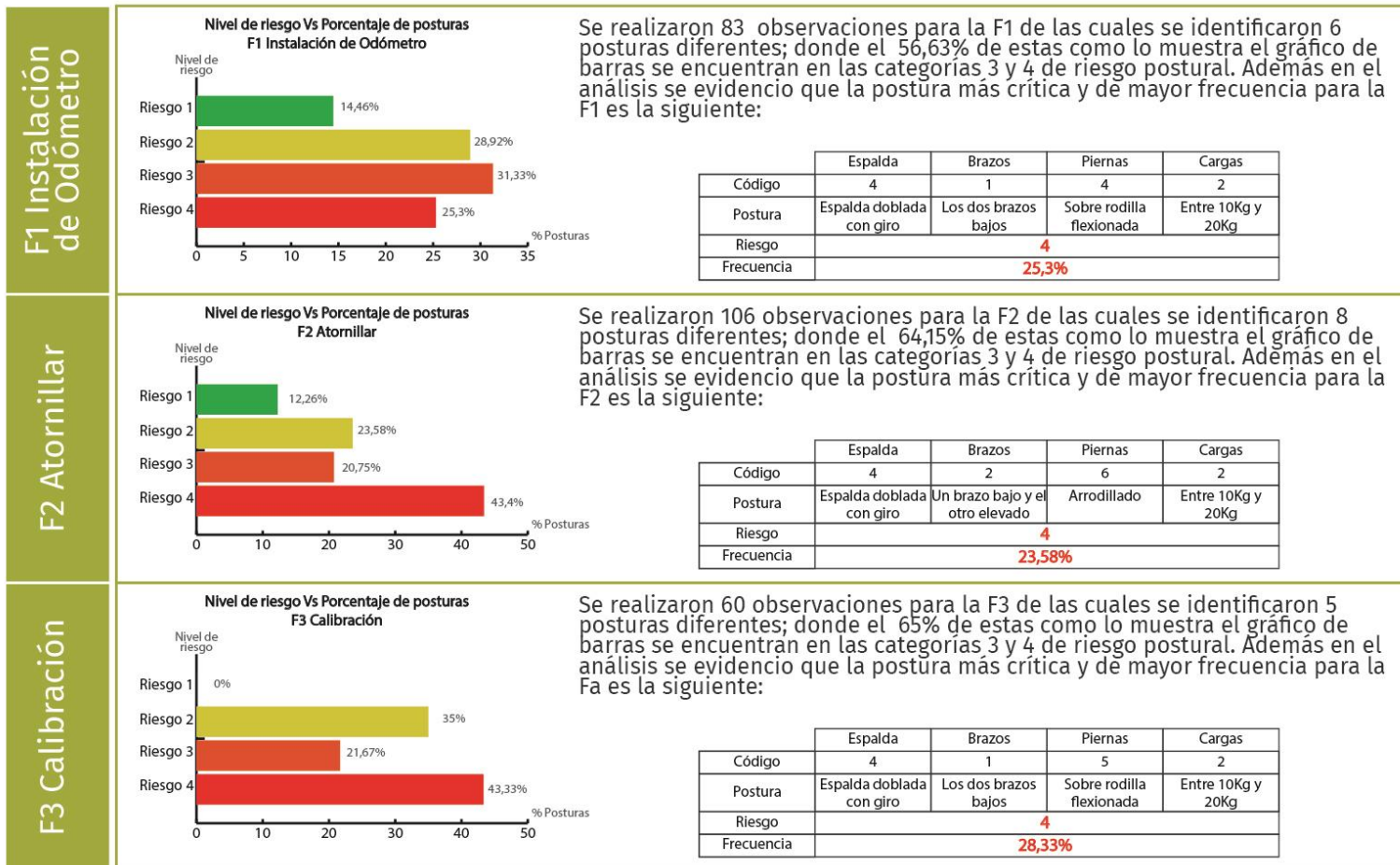
	F4 Inspeccionar	F5 Giro y Traslado de H/ILI
Causas	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura. *Dificultad de visibilidad de tarea que se está ejecutando. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad de acceso a cara inferior de H/ILI. *Distancia entre el H/ILI y el operario mayor a alcance máximo. *Manipulación de carga externa entre 200Kg a 300kg. *Interacción entre la configuración formal del H/ILI y la superficie de trabajo poco segura.
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación hacia delante y rotación. *Cabeza con inclinación hacia delante y rotación. *Brazos en aducción. *De pie sobre rodillas flexionadas. (Ver imágenes 1B, MTN de Odómetro) 	<ul style="list-style-type: none"> *Tronco con inclinación. *Cabeza inclinada. *De pie sobre rodillas flexionadas. *Fuerza de arrastre de carga externa. (Ver imágenes 3B, MTN de Odómetro)
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Cansancio visual. *Dolencia lumbar espalda media. *Cansancio visual. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral. 	<ul style="list-style-type: none"> *Dolencia de cuello. *Dolencia lumbar espalda media. *Atrapamiento de falanges de extremidades superiores. *Ausentismo laboral.

Tabla 42 Imágenes análisis cualitativo por fases, MTN de Odómetro.

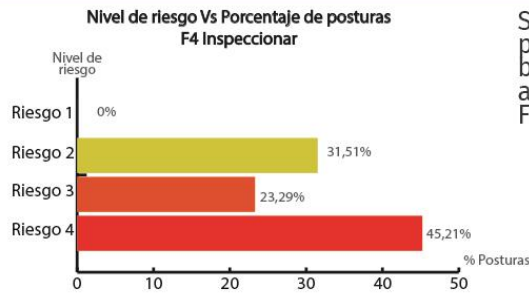


Análisis Cuantitativo Mantenimiento de Odómetro (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)

Tabla 43 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS) por fases, MTN de Odómetro.



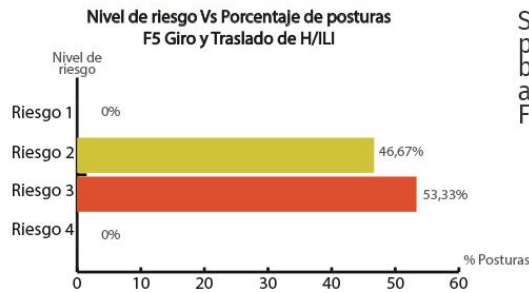
F4 Inspeccionar



Se realizaron 73 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 5 posturas diferentes; donde el 68,5% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	4	1	4	1
Postura	Espalda doblada con giro	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	<10Kg
Riesgo	4			
Frecuencia	28,77%			

F5 Giro y Traslado de H/ILI

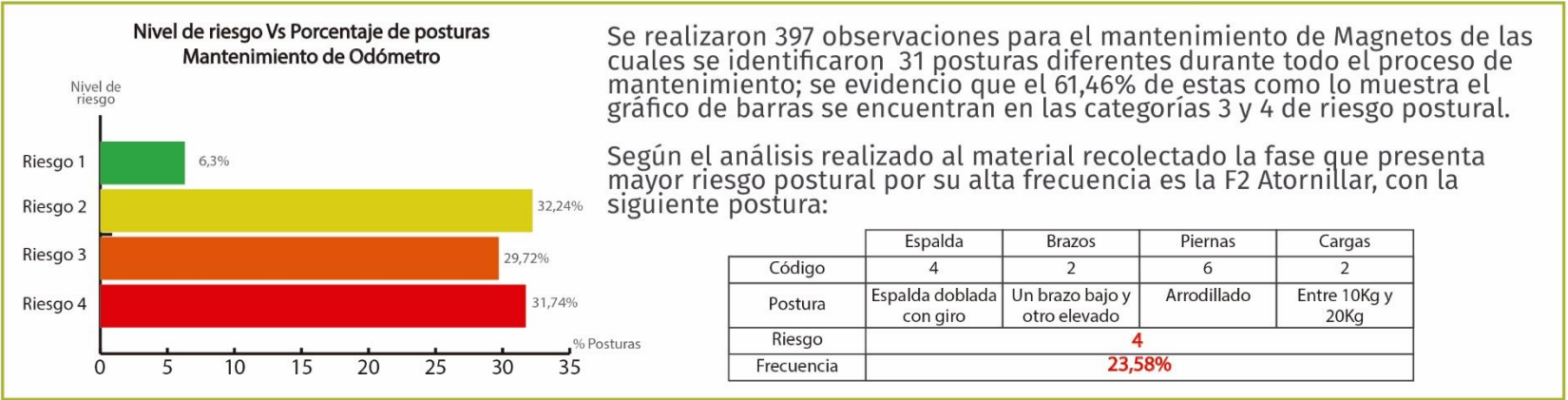


Se realizaron 75 observaciones para la F4 de las cuales se identificaron 7 posturas diferentes; donde el 53,33% de estas como lo muestra el gráfico de barras se encuentran en las categorías 3 y 4 de riesgo postural. Además en el análisis se evidencio que la postura más crítica y de mayor frecuencia para la F4 es la siguiente:

	Espalda	Brazos	Piernas	Cargas
Código	2	1	4	3
Postura	Espalda doblada	Los dos brazos bajos	Sobre rodillas flexionadas	>=20Kg
Riesgo	3			
Frecuencia	20%			

Tabla 44 Análisis cuantitativo (Aplicación OWAS), MTN de Odómetro.

Resultado Análisis cuantitativo MTN Odómetro (Evaluación de Riesgo Postural OWAS)



Resultados de Análisis, MTN Odómetro

Durante el análisis de las fases presentes en el mantenimiento de odómetro se evidenció la necesidad de intervención en el proceso de ejecución debido a la alta incidencia de posturas incómodas que adopta el técnico durante la ejecución del mantenimiento, ya que según el análisis cuantitativo (evaluación de riesgo postural OWAS) (ver tabla 44) el 32,74% de estas posturas se encuentran en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por estas posturas tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Teniendo cuenta lo anterior, los hallazgos del análisis cualitativo (matriz causa-consecuencia) (ver tabla 41) realizado a la ejecución del proceso mantenimiento de odómetro permitió identificar las principales causas por las cuales se presenta esta alta incidencia de adopción de posturas incómodas por parte del técnico las cuales son:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de acceso a la cara inferior de PIG.
- ✓ Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo insegura.

Estas causas generan necesidades que el técnico requiere para ejecutar su trabajo de manera eficiente y es por ello que en la fase creativa se buscó proyectar soluciones para satisfacer dichas necesidades.

3.3.1.9 Conclusiones finales, Etapa 1: Valoración Postural Los estudios realizados a los ocho de mantenimientos arrojaron hallazgos que direccionaron las acciones de diseño para las mejoras del banco de mantenimiento actual.

Estos estudios permitieron concluir, según el resultado de la aplicación del método OWAS, que en todos los mantenimientos los operarios adoptan posturas de alto riesgo es decir en categoría 4, lo cual indica el método (OWAS) que la carga causada por esta categoría de postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético y sugiere la toma de acciones correctivas de inmediato.

Ilustración 49 Balance de posturas categoría 4 para cada mantenimiento.

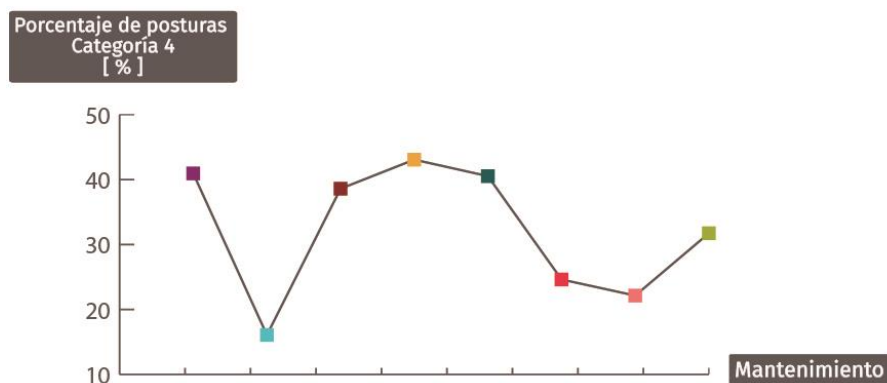


Tabla 45 Mantenimientos y fases de mayor riesgo.

CONVENCIONES	
Mantenimiento	Fase de mayor Riesgo
Fase MTN Gyro	F2 Atornillar
Fase MTN Baterías	F5 Instalación de Baterías
Fase MTN Sensores	F2 Atornillar
Fase MTN Copas	F6 Acomodar Apoyos
Fase MTN Cardan	F1 Instalación de Cardan
Fase MTN Magnetos	F2 Atornillar
Fase MTN Cepillos	F2 Atornillar
Fase MTN Odómetro	F2 Atornillar

En la Ilustración 49, la gráfica muestra el porcentaje de presencia de posturas categoría 4 para cada mantenimiento, encontrando que el mantenimiento que tiene mayor presencia de posturas críticas es el MTN de Copas, seguido por el MTN de Gyro y en el tercer lugar el MTN de Cardan; igualmente en la tabla 45, se muestra

cada mantenimiento y su respectiva fase de mayor riesgo; es decir, aquella que presenta mayor frecuencia de posturas críticas (categoría 4).

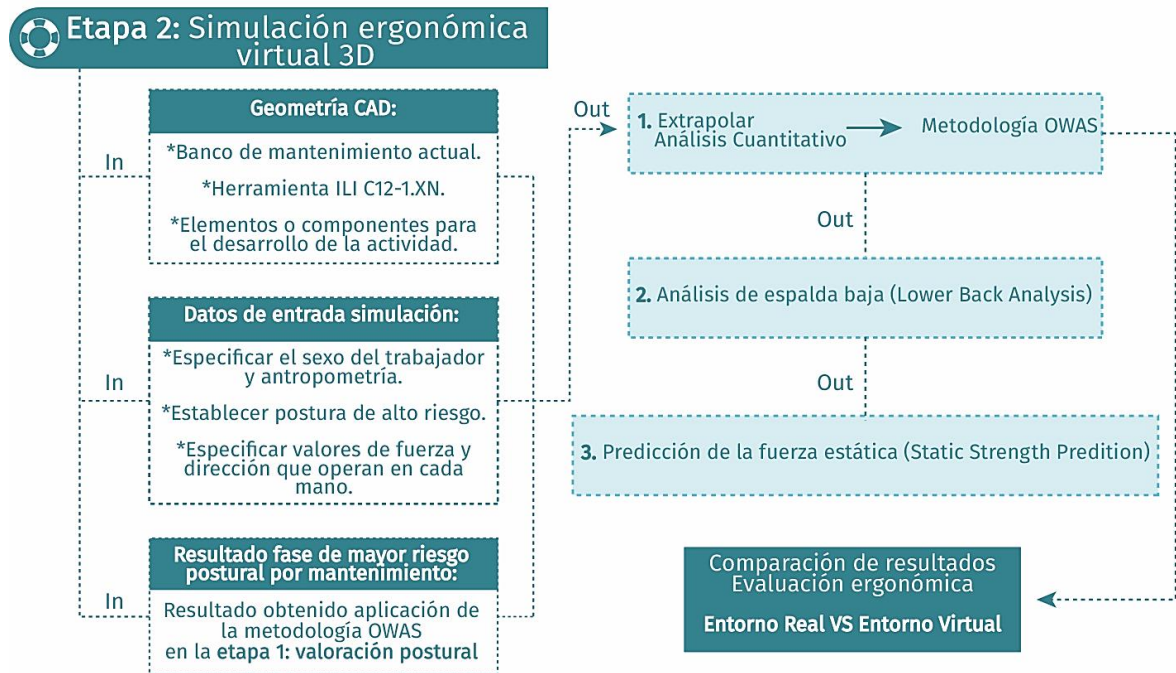
En cuanto a los resultados del análisis cualitativo se hallaron las principales causas que suponen la adopción de posturas críticas en la ejecución de los diferentes mantenimientos. Lo cual se constituyó en el punto de partida para la generación de soluciones que mejorarían sustancialmente el banco de mantenimiento actual, entre las principales causas están:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de visibilidad de la actividad que se está ejecutando.
- ✓ Interacción entre la configuración formal del PIG y la superficie de trabajo generando inestabilidad e inseguridad.
- ✓ Dificultad de acceso a la cara inferior de PIG.
- ✓ Distancia entre el PIG y el operario mayor al alcance máximo permisible.
- ✓ Manipulación de carga de 100Kg a 300Kg.

Partiendo de lo anterior, en la etapa creativa del presente proyecto se buscaron formas de mitigar la aparición e incidencia de estas posturas, lo cual se realizó mediante la generación de soluciones, para satisfacer las necesidades que derivaron las causas que propiciaron estos comportamientos de riesgo postural.

3.3.2 Etapa 2: Simulación Ergonómica Virtual 3D A continuación se presenta el flujograma entradas y salidas que se siguió para el desarrollo de esta etapa.

Ilustración 50 Flujoograma Etapa 2: Simulación Ergonómica Virtual 3D.



El objetivo principal de esta etapa fue evaluar y comparar los resultados obtenidos en la aplicación del método OWAS (Ovako Working Posture Analysing Sytem) con el software JACK en un entorno virtual y los resultados de la aplicación externa del mismo método en un entorno real, el cual fue descrito en la primera etapa del ítem “factores de riesgo postural” (Ver numeral 3.3.1). Para el caso del presente estudio las posturas seleccionadas para la aplicación del método OWAS en un escenario virtual, fueron las más críticas de cada mantenimiento, halladas en la aplicación externa de este método (Ver tabla 45).

Además de lo anterior se evaluó el riesgo del comportamiento postural, para espalda baja y articulaciones en la adopción de las posturas simuladas. Evaluación realizada con las herramientas del software JACK, “Lower Back Analysis” y “Static Strength Prediction” respectivamente. Los resultados de los últimos dos análisis mencionados junto con la aplicación del método OWAS, fueron contrastados en la etapa de validación y evaluación de la propuesta final.

Como primera medida para consolidar esta etapa, se realizó el diseño tridimensional a escala 1:1 de los elementos (Banco de mantenimiento actual, Herramienta ILI C12-1.XN, herramientas manuales) con los cuales interactúa el operario para ejecutar los diferentes mantenimientos, este proceso fue elaborado con el Software CAD SolidWorks [31]. Para obtener los datos requeridos para el desarrollo del diseño, fue a través de la toma de medidas directamente a los elementos en las instalaciones de ROSEN y otros de la información que fue facilitada por la empresa.

Ilustración 51 Entorno virtual del área de mantenimiento escala 1:1.

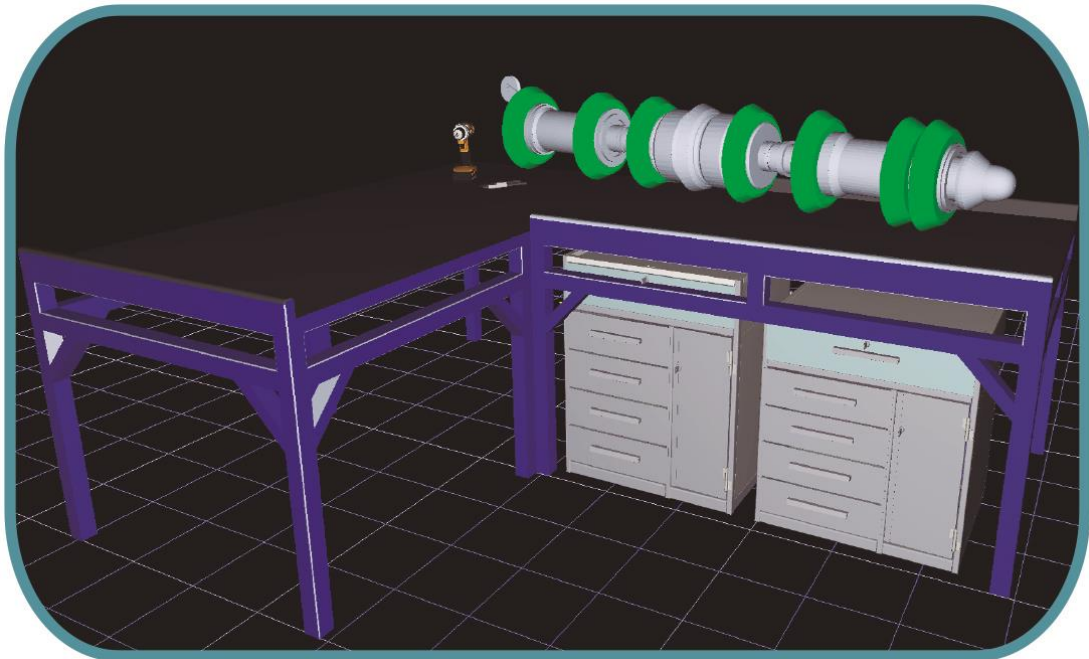
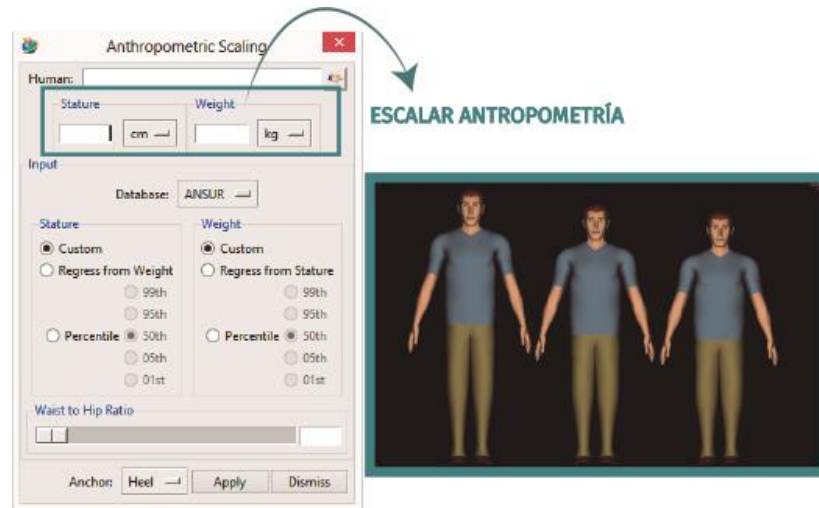


Ilustración 52 Elementos del área de mantenimiento escala 1:1.



Una vez se ha generado el entorno virtual representativo al área de mantenimiento actual de ROSEN Colombia en la interfaz de Jack. Se siguió con la incorporación del factor humano es decir del Modelo Humano Digital (DHM) y se determinaron sus características antropométricas a partir del módulo “anthropometric scaling”, el cual permite escalar el DHM bajo los criterios de estatura y peso. Ya sea asignando los datos exactos o mediante la definición del percentil (Ver Ilustración 53). Para el caso del presente estudio se introdujeron los datos reales de estatura, medido con una cinta de medición y peso, medido con una escala digital, para cada uno de los operarios del área de mantenimiento (Ver Anexo B).

Ilustración 53 Módulo módulo “anthropometric scaling” del software Jack.



A continuación se definieron las posturas para el humano digital. El software proporciona varias opciones para el ajuste de posturas de trabajo. Es posible usar la biblioteca de 30 posturas y 27 agarres básicos. Alternativamente, es posible modificar estas posturas básicas de varias maneras [32]. Cuando las posturas se establecieron fueron salvadas, luego se procedió a la asignación de pesos para los elementos del área de mantenimiento y de cargas manuales, estas últimas estimadas según el artículo publicado por la FUNDACIÓN MAPFRE SEGURIDAD [33], acerca de los límites de carga física de trabajo en extremidades superiores, estudio sobre el personal de General Motors España (Ver anexo B).

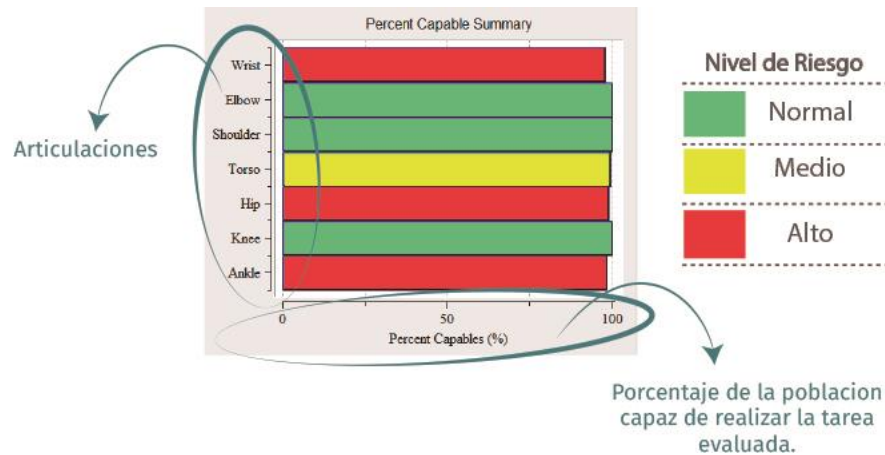
Con base en lo anterior se procedió a realizar la evaluación postural del estado actual del área de mantenimiento de ROSEN para ello se utilizó, el módulo de análisis de tareas “Task Analysis Toolkit”, donde se usaron las siguientes herramientas: metodología OWAS (Ovako Working Posture Analysis System), Análisis de la espalda baja (Lower Back Analysis) y Predicción de la fuerza estática (Static Strength Prediction) [34].

- **Predicción de la fuerza estática (Static Strength Prediction):** La herramienta de predicción de la fuerza estática, ayuda a evaluar el esfuerzo de la articulaciones determinando si exceden los límites de NIOSH, además determina el porcentaje de la población de operarios que tiene la fuerza para llevar a cabo la tarea en función de la postura, los requisitos de esfuerzo y la antropometría [35]. El esquema de presentación de resultados se muestra en la Ilustración 54.

Base científica de la herramienta, cita tomada del manual de usuario de Jack.

“La herramienta de predicción de la fuerza estática se basa en estudios de resistencia realizadas en los últimos 25 años en la Universidad de Michigan Centro de Ergonomía (<http://www.engin.umich.edu/dept/ioe/3DSSPP/>) y argumentado con datos de 250 documentos relacionados con la fuerza. Una colección de estudios de resistencia se describe en el Trabajo Biomecánica, segunda edición, Chaffin y Anderson 1991 SSP se actualiza para Jack v7.0 para incluir fuerza de la muñeca usando ecuaciones de resistencia desarrolladas en la Universidad de Michigan Centro de Ergonomía. Estas ecuaciones son las mismas que se utiliza en el programa 3DSSPP de la Universidad y se desarrolló a partir de un análisis de datos de la muñeca y la mano de resistencia reportados en la literatura académica”

Ilustración 54 Esquema de resultados de Static Strength Prediction.

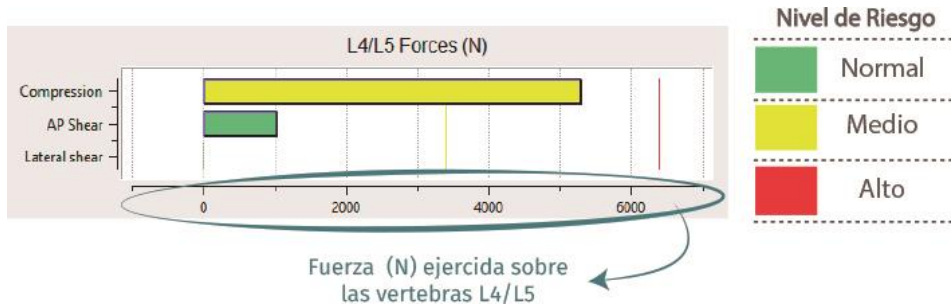


- **Análisis de espalda baja (Lower Back Analysis):** La herramienta de Análisis de espalda baja, ayuda a evaluar las fuerzas de la columna vertebral que actúa sobre la espalda baja del humano virtual, bajo cualquier condición de la postura y de carga, evaluando esto en tiempo real, marcando los momentos exactos en que las fuerzas de compresión en la espalda baja de un trabajador exceden los límites de NIOSH. El esquema de presentación de resultados se muestra en la Ilustración 55.

Base científica de la herramienta, cita tomada del manual de usuario de Jack.

“La herramienta de análisis de espalda baja, se basa en un modelo de vuelta compleja biomecánico bajo los cuales se describen en los siguientes artículos: Raschke, U. (1994) lumbar muscular Predicción Actividad Durante dinámico plano sagital Condiciones de elevación: Consideraciones Modelando fisiológicos y biomecánicos. PhD Disertación (Bioingeniería), la Universidad de Michigan. Raschke, U., Martín, B.J y Chaffin, D.B. (1996) Distribuido histograma Momento: Un método basado en neurofisiología del agonista y la actividad muscular del tronco antagonista de predicción. J. Biomecánica Vol 29 (12) pp. 1587/96”[34]

Ilustración 55 Esquema de resultados de Lower Back Analysis.



Para la interpretación de los diferentes diagramas es conveniente tener en cuenta las convenciones presentadas en la Ilustración 56 e Ilustración 57, la primera presenta la tabla comparativa de resultados de la aplicación de los métodos OWAS, Entorno Real Vs Entorno Virtual, a su vez muestra las convecciones de color que indica los tres niveles de confiabilidad (alto, Medio, bajo) de los resultados. Donde, la franja verde indica un nivel de confiabilidad alto, es decir que entre 100% - 90% de datos comparados fueron iguales, por otro lado la franja amarilla indica un nivel medio ya que entre el 89% - 50% fueron iguales y finalmente el nivel bajo designado a la franja color rojo indica que entre 49% - 0% fueron iguales. Mientras la segunda muestra el diagrama de comparativo de las posturas evaluadas en vista lateral y frontal para cada uno de los entornos evaluados (Jack Vs Real).

Ilustración 56 Diagrama de presentación de resultados Simulación Jack.

Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Copas F6 Acomodar Apoyos		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda		
Brazos		
Piernas		
Cargas		
Código		
Riesgo		

Nivel de confiabilidad

- 100% - 90%
- 89% - 50%
- 49% - 0%

Asignación de los valores para cada postura para los dos entornos.

Ilustración 57 Diagrama de comparativo de posturas en entorno JACK Vs Virtual.



En base a lo anterior, son presentados los resultados de la simulación ergonómica 3D, para las posturas de mayor riesgo durante la ejecución de cada uno de los ocho mantenimientos ejecutados a las herramientas ILLI.

3.3.2.1 Mantenimiento de Gyro – Simulación Ergonómica

Ilustración 58 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN GYRO.



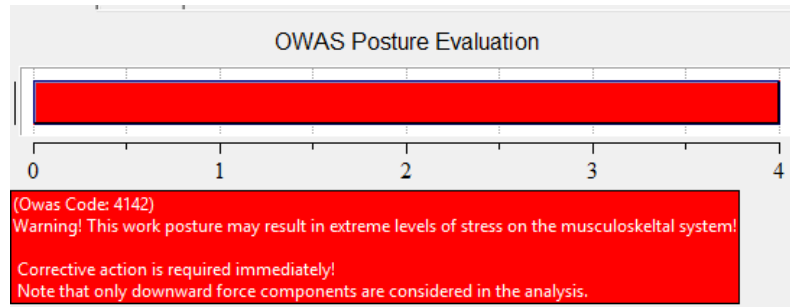
MTN Gyro, F2 Atornillar.
Entorno JACK

MTN Gyro, F2 Atornillar.
Entorno Real

Tabla 46 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN GYRO.

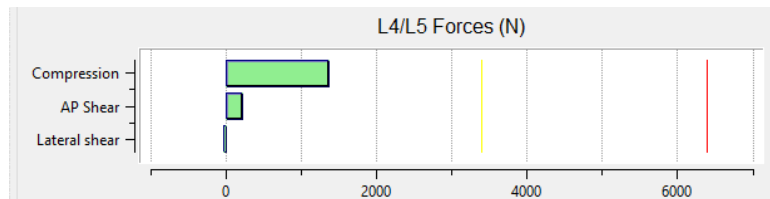
Resultado Analisis Comparativo Aplicación Metodo OWAS de MTN GYRO F2 Atornillar		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	4	4
Brazos	1	1
Piernas	4	4
Cargas	2	2
Código	(4 1 4 2)	(4 1 4 2)
Riesgo	4	4

Ilustración 59 Resultado herramienta OWAS, MTN GYRO.



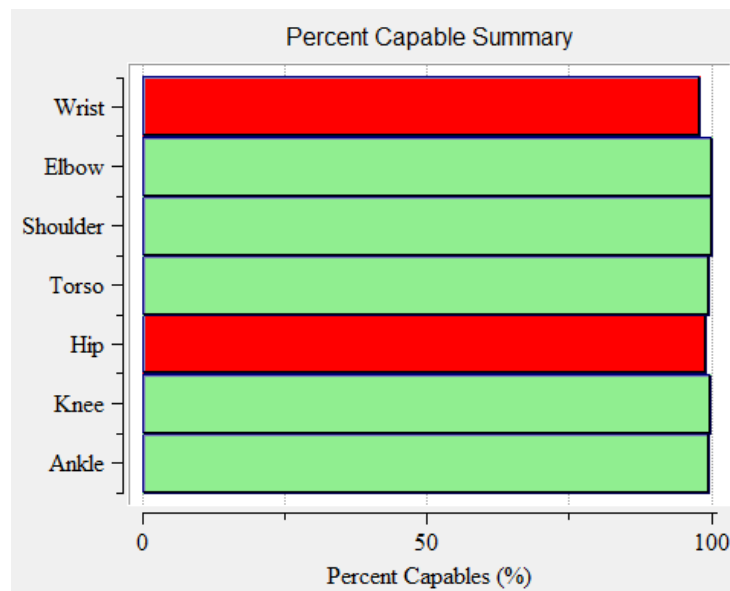
Fuente: JACK

Ilustración 60 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN GYRO.



Fuente: JACK

Ilustración 61 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN GYRO.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Gyro – Simulación Ergonómica

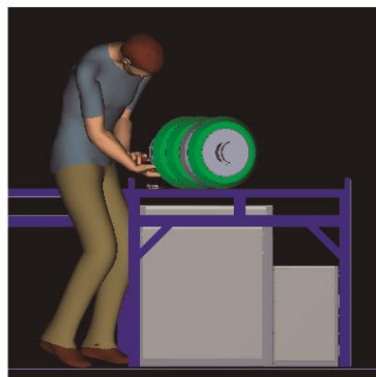
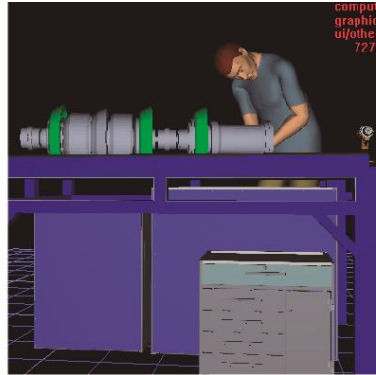
Para la simulación de la F2: Atornillar del MTN de Gyro, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario A, se simuló la postura y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 58. La postura que es simulada en un entorno virtual mediante el software JACK, es muy cercana a la adoptada por operario real, además en la tabla 46, se indica un nivel confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos. El nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediatas.

Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (ver Ilustración 60), registra un valor de 1361N, resultado que se encuentra en el rango de los límites permitidos por NIOSH el cual es 3400N. Respecto a los resultados del análisis de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 61), la evaluación genera alerta para las articulaciones de muñeca y cadera, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos de NIOSH. Además la herramienta también indica que el 99% de la población con las características antropométricas establecidas para el DHM, es capaz (fuerza) de realizar esta postura.

3.3.2.2 Mantenimiento de Baterías– Simulación Ergonómica

Ilustración 62 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Baterías.



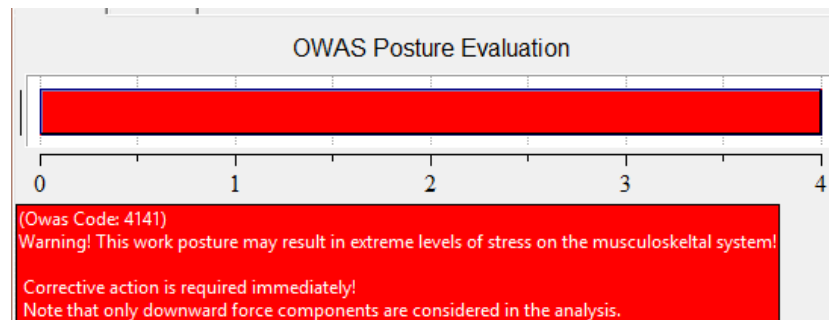
MTN Baterías,
F5 Aplicacion de Sellante
Entorno JACK

MTN Baterías,
F5 Aplicacion de Sellante
Entorno Real

Tabla 47 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Baterías.

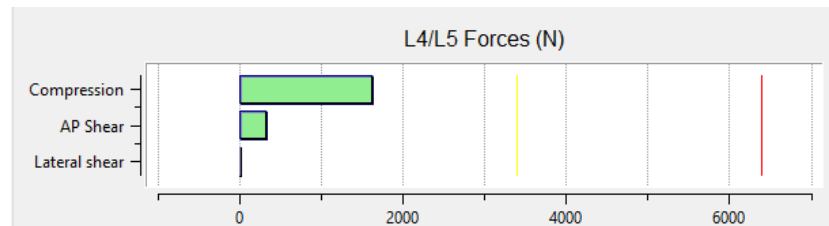
Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Baterías F5 Aplicacion Sellante		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	4	4
Brazos	1	1
Piernas	4	4
Cargas	1	1
Código	(4 1 4 1)	(4 1 4 1)
Riesgo	4	4

Ilustración 63 Resultado herramienta OWAS, MTN Baterías.



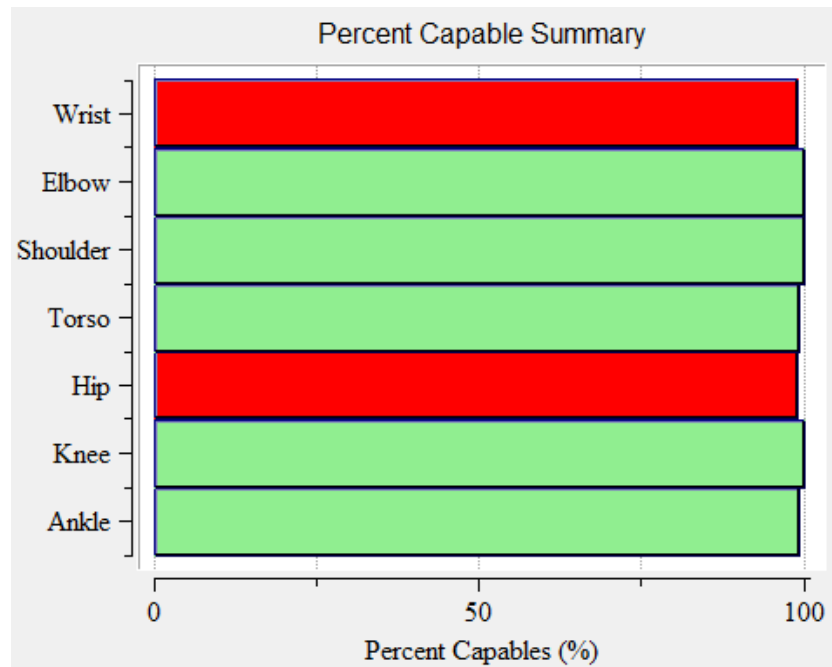
Fuente: JACK

Ilustración 64 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Baterías.



Fuente: JACK

Ilustración 65 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Baterías.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Baterías – Simulación Ergonómica

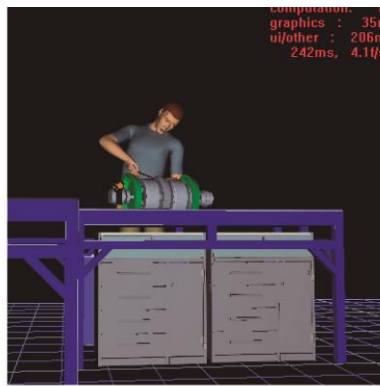
Para la simulación de la F5: Aplicación Sellante del MTN de Baterías, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario A, se simuló la postura y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 62. La postura que es simulada en un entorno virtual mediante el software JACK, es muy cercana a la adoptada por operario real, además en la tabla 47, se indica un nivel confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos, el nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediatas. Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda

baja (ver Ilustración 64), registra un valor de 1631N, resultado que se encuentra en el rango de los límites permitidos por NIOSH el cual es 3400N. Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 65), la evaluación genera alerta para las articulaciones de muñeca y cadera, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos de NIOSH. Además la herramienta también indica que el 99% de la población con las características antropométricas establecidas del DHM, es capaz (fuerza) de realizar esta postura.

3.3.2.3 Mantenimiento de Sensores

Ilustración 66 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Sensores.



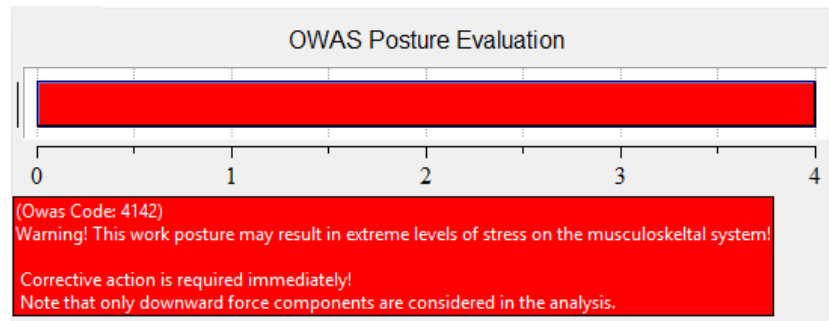
MTN Sensores, F2 Atornillar
Entorno JACK

MTN Sensores, F2 Atornillar
Entorno Real

Tabla 48 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Sensores.

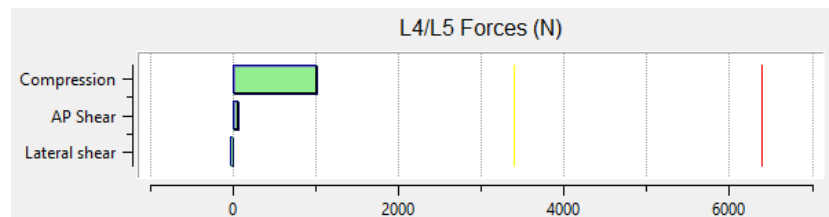
Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Sensores F2 Atornillar		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	4	4
Brazos	1	1
Piernas	4	4
Cargas	2	2
Código	(4 1 4 2)	(4 1 4 2)
Riesgo	4	4

Ilustración 67 Resultado herramienta OWAS, MTN Sensores,



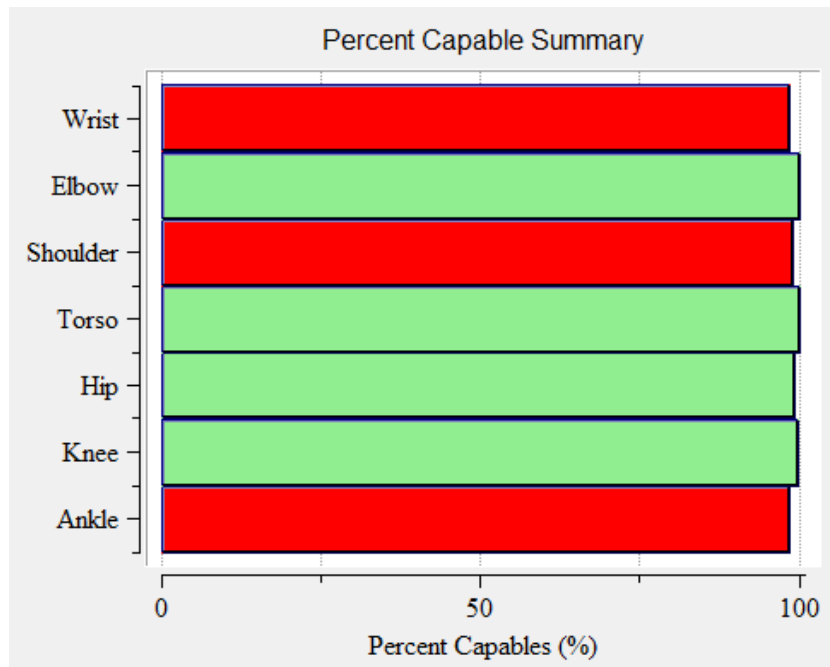
Fuente: JACK

Ilustración 68 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Sensores.



Fuente: JACK

Ilustración 69 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Sensores.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Sensores – Simulación Ergonómica

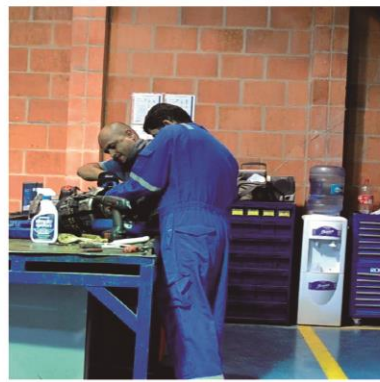
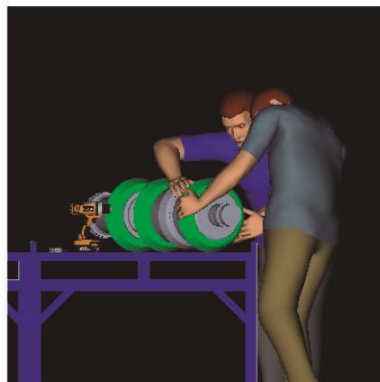
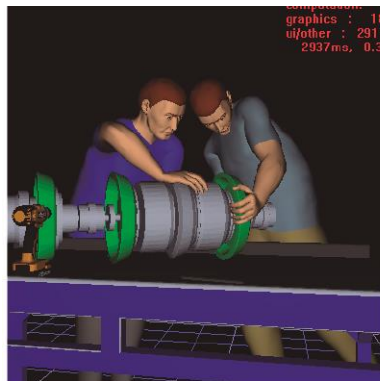
Para la simulación de la F2: Atornillar del MTN de Sensores, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario A, se simuló la postura y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 66. La postura que es simulada en un entorno virtual mediante el software JACK, es muy cercana a la adoptada por operario real, además en la tabla 48, se indica un nivel de confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos, el nivel de riesgo de adoptar esta postura es 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediata. Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (ver

Ilustración 68), registra un valor de 1013, resultado que se encuentra en el rango de los límites permitidos por NIOSH el cual es 3400N. Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 69) la evaluación genera alerta para las articulaciones de muñeca, hombro y tobillo, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos de NIOSH. Además la herramienta también indica que el 99% de la población con las características antropométricas establecidas del DHM, es capaz (fuerza) de realizar esta postura.

3.3.2.4 Mantenimiento de Copas

Ilustración 70 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Copas.



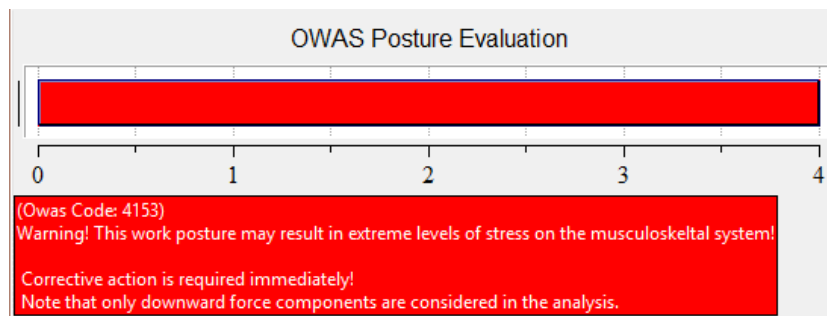
MTN Copas
F6 Acomodar Apoyos
Entorno JACK

MTN Copas
F6 Acomodar Apoyos
Entorno Real

Tabla 49 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Copas.

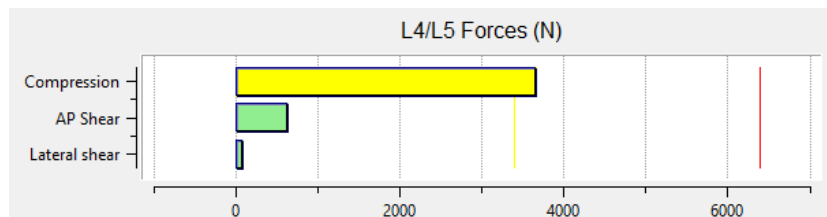
Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Copas F6 Acomodar Apoyos		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	4	4
Brazos	1	1
Piernas	5	5
Cargas	3	3
Código	(4 1 5 3)	(4 1 4 3)
Riesgo	4	4

Ilustración 71 Resultado herramienta OWAS, MTN Copas,



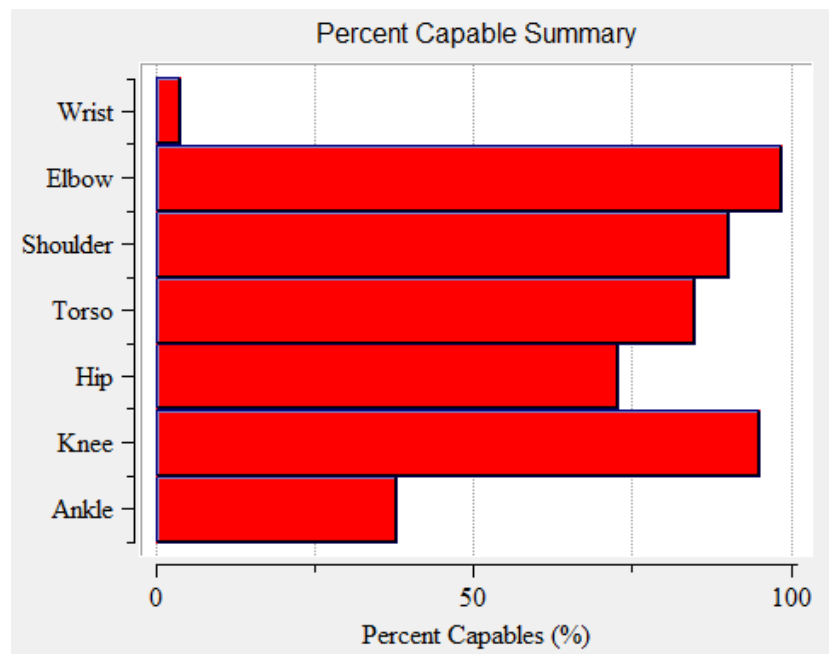
Fuente: JACK

Ilustración 72 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Copas.



Fuente: JACK

Ilustración 73 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Copas.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Copas – Simulación Ergonómica

Para la simulación de la F6: Acomodación de apoyos del MTN de Copas, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario B y C, se simularon las posturas y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano. (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 70. Las posturas simuladas en un entorno virtual mediante el software JACK, son muy cercanas a las adoptadas por los operarios reales, además en la tabla 49, se indica un nivel confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos, el nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediatas.

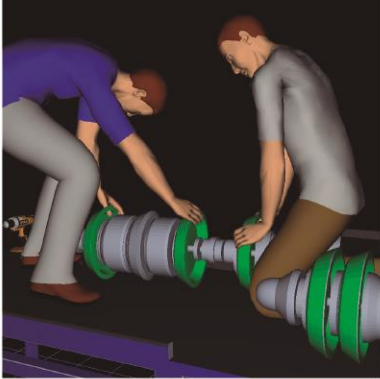
Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (ver Ilustración 72), registra un valor de 3654N, resultado que se encuentra por encima del límite permisible por NIOSH el cual es 3400N. Sugiriendo la toma de acciones tales como:

1. La reducción del peso de la carga.
2. Cambiar el entorno de trabajo de tal manera que el trabajador no deba agacharse para levantar la carga (no tener que inclinarse).
3. Evitar posturas asimétricas (giros).

Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 73) la evaluación genera alerta para las 8 articulaciones evaluadas, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos por NIOSH. Además la herramienta también indica que el 72% de la población, podría adoptar la postura de 5 de las 8 articulaciones evaluadas y que tan solo el 4% de la población con las características antropométricas establecidas del DHM, es capaz (fuerza) de realizar esta postura.

3.3.2.5 Mantenimiento de Cardan

Ilustración 74 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Cardan.



MTN Cardan
F1 Instalacion de Cardan
Entorno Real

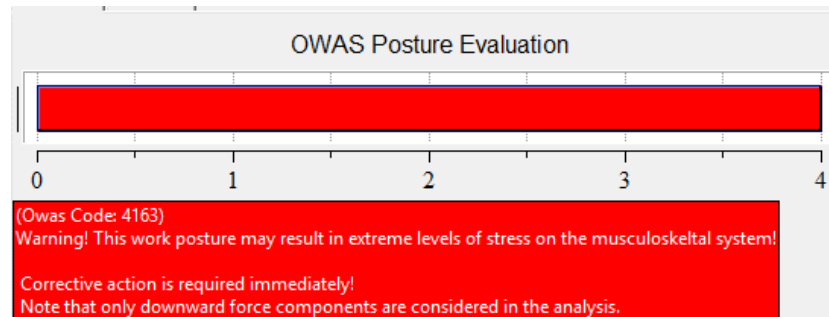


MTN Cardan
F1 Instalacion de Cardan
Entorno JACK

Tabla 50 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Cardan.

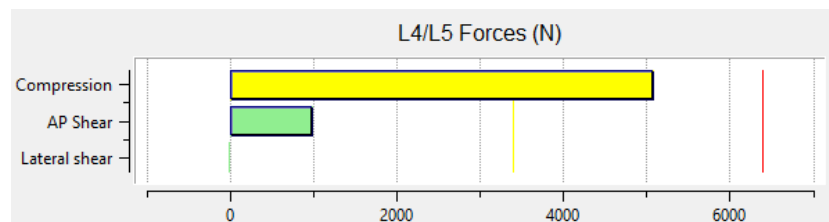
Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Cardan F1 Instalacion de Cardan		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	4	4
Brazos	1	1
Piernas	6	6
Cargas	3	3
Código	(4 1 6 3)	(4 1 6 3)
Riesgo	4	4

Ilustración 75 Resultado herramienta OWAS, MTN Cardan,



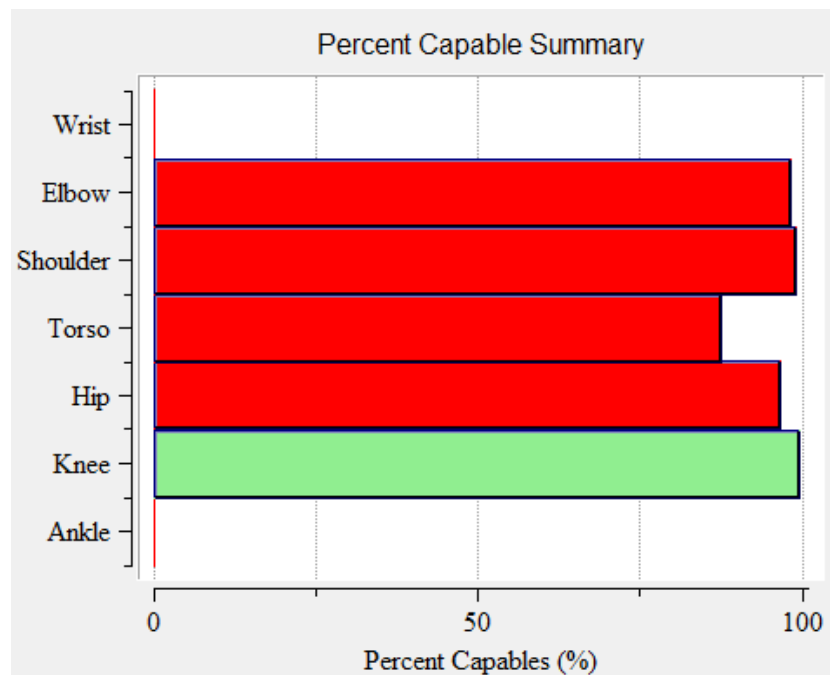
Fuente: JACK

Ilustración 76 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Cardan.



Fuente: JACK

Ilustración 77 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cardan.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Cardan – Simulación Ergonómica

Para la simulación de la F1: Instalación de Cardan del MTN de Cardan, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario A y D, se simularon las posturas y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano. (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 70. Las posturas que son simuladas en un entorno virtual mediante el software JACK, son muy cercanas a las adoptadas por los operarios reales, además en la tabla 50, se indica un nivel confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos, el nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la

toma de acciones inmediatas. Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (ver Ilustración 76), registra un valor de 5065N, resultado que se encuentra por encima del límite permisible por NIOSH el cual es 3400N. Sugiriendo la toma de acciones tales como:

- ✓ La reducción del peso de la carga.
- ✓ Cambiar el entorno de trabajo de tal manera que el trabajador no deba agacharse para levantar la carga (no tener que inclinarse).
- ✓ Evitar posturas asimétricas (giros).

Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 77) la evaluación genera alerta para 4 de las articulaciones evaluadas, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos por NIOSH. Además la herramienta también indica que para las articulaciones de muñeca y tobillo, la posición no es recomendable indicando que un 0% de la población podría llevarla a cabo, mientras que el 87% de la población con las características antropométricas establecidas del DHM sería capaz (fuerza) de adoptar la postura de 5 de las 8 articulaciones evaluadas.

3.3.2.6 Mantenimiento de Cepillos

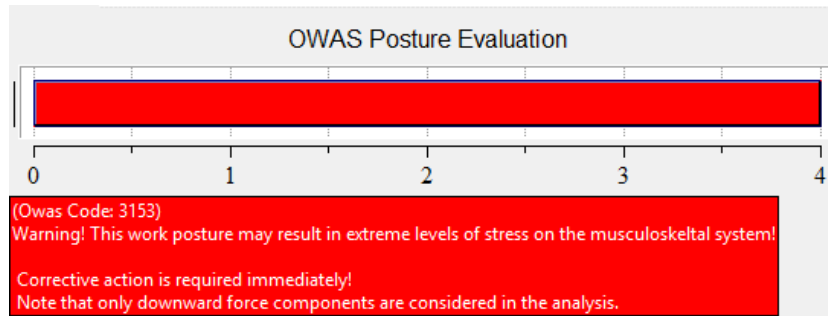
Ilustración 78 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Cepillos.



Tabla 51 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Cepillos.

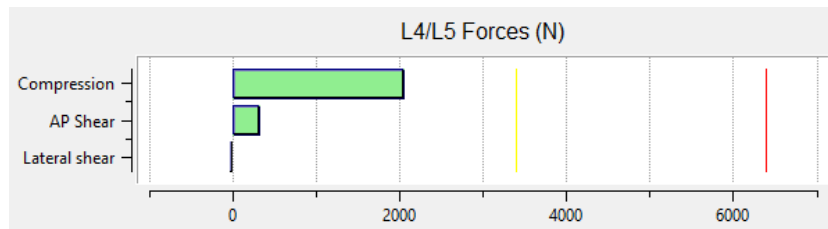
Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Cepillos F2 Atornillar		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	3	3
Brazos	1	1
Piernas	5	5
Cargas	3	3
Código	(3 1 5 3)	(3 1 5 3)
Riesgo	4	4

Ilustración 79 Resultado herramienta OWAS, MTN Cepillos,



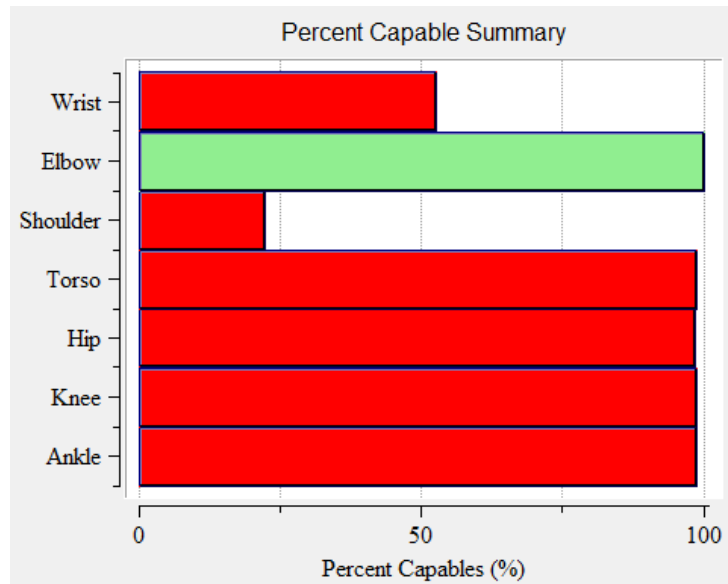
Fuente: JACK

Ilustración 80 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Cepillos.



Fuente: JACK

Ilustración 81 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cepillos.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Cepillos – Simulación Ergonómica

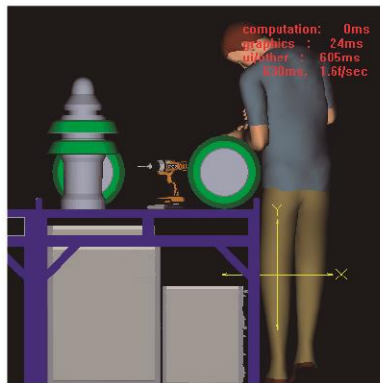
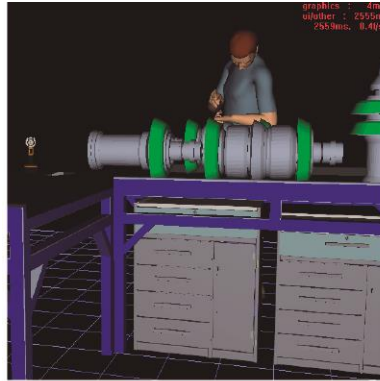
Para la simulación de la F2: Atornillar del MTN de Cepillos, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario B, se simularon las posturas y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano. (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 78. Las posturas que son simuladas en un entorno virtual mediante el software JACK, son muy cercanas a las adoptadas por los operarios reales, además en la tabla 51, se indica un nivel confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos, el nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediatas. Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (Ver Ilustración 80), registra un valor de 2046N, valor que se encuentra en el límite permisible por NIOSH el cual es 3400N.

Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 81) la evaluación genera alerta para 7 de las articulaciones evaluadas, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos por NIOSH. Además la herramienta también indica que el 52% de la población, podría adoptar la postura de 7 de las 8 articulaciones evaluadas para la población con las características antropométricas establecidas del DHM.

3.3.2.7 Mantenimiento de Magnetos

Ilustración 82 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Magnetos.



MTN Magnetos, F2 Atornillar
Entorno JACK

MTN Magnetos, F2 Atornillar
Entorno Real

Tabla 52 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Magnetos.

Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Magnetos F2 Atornillar		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	3	3
Brazos	1	1
Piernas	5	5
Cargas	2	2
Código	(3 1 5 2)	(3 1 5 2)
Riesgo	4	4

Ilustración 83 Resultado herramienta OWAS, MTN Magnetos,

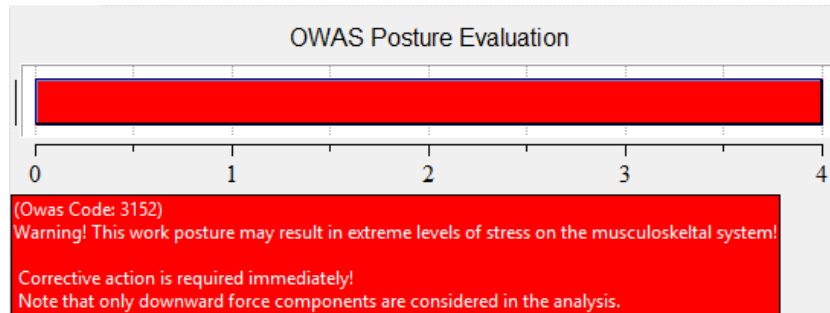
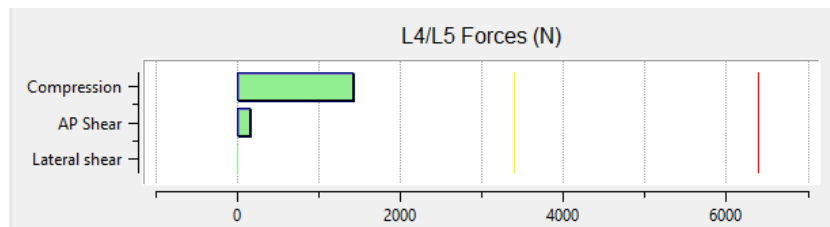
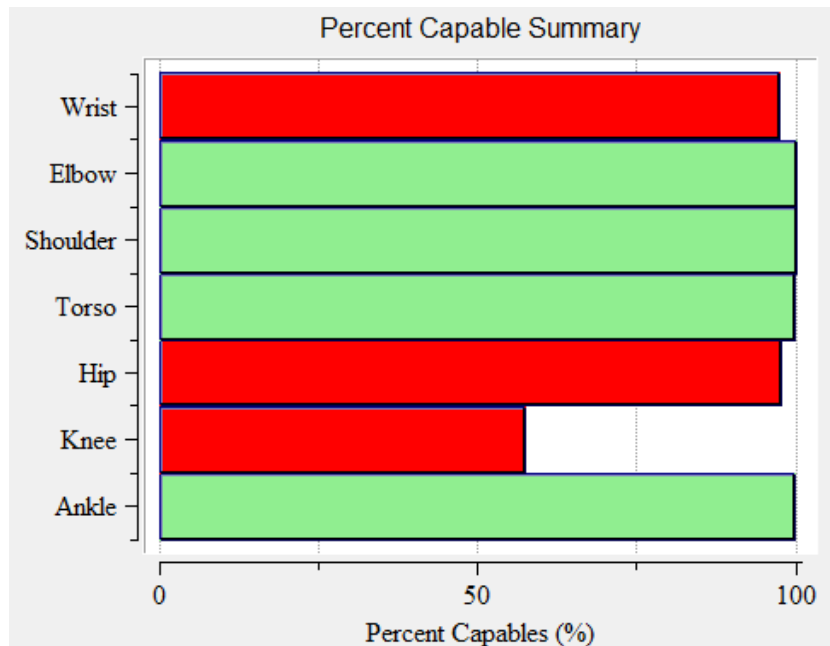


Ilustración 84 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Magnetos.



Fuente: JACK

Ilustración 85 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Magnetos.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Magnetos – Simulación Ergonómica

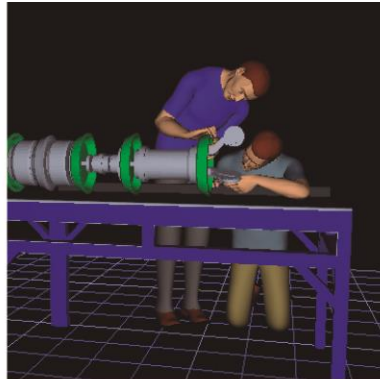
Para la simulación de la F2: Atornillar del MTN de Magnetos, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario A (Ver Anexo B), se simuló la postura y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 82. Las posturas que son simuladas en un entorno virtual mediante el software JACK, son muy cercanas a las adoptadas por los operarios reales, además en la tabla 52, se indica un nivel de confiabilidad alto en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos, el nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica cómo se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediatas.

Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (Ver Ilustración 84), registra un valor de 1434N, valor que se encuentra en el límite permisible por NIOSH el cual es 3400N. Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 85) la evaluación genera alerta para las articulaciones de muñeca, cadera y rodilla, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos por NIOSH. Además la herramienta también indica que el 97% de la población con las características antropométricas establecidas para el DHM, es capaz (fuerza) de realizar esta postura

3.3.2.8 Mantenimiento de Odómetro

Ilustración 86 Comparación de posturas Virtual Vs Real MTN Odómetro.



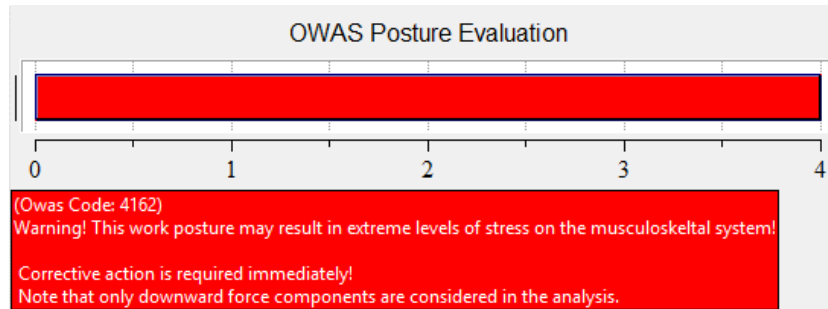
MTN Odometro, F2 Atonillar
Entorno JACK

MTN Odometro, F2 Atonillar
Entorno Real

Tabla 53 Comparación resultados Real Vs Virtual, método OWAS, MTN Odómetro.

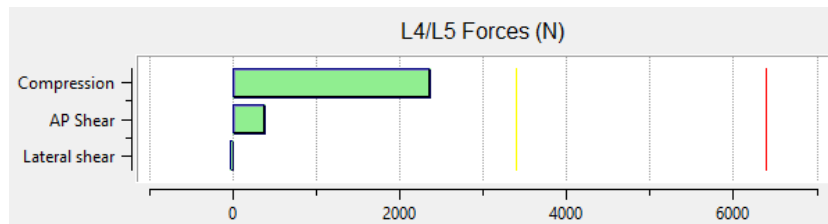
Resultado Analisis Comparativo Aplicacion Metodo OWAS de MTN Odometro F2 Atonillar		
Postura	Entorno REAL	Entorno JACK
Espalda	4	4
Brazos	2	1
Piernas	6	6
Cargas	2	2
Código	(4 2 6 2)	(4 1 6 2)
Riesgo	4	4

Ilustración 87 Resultado herramienta OWAS, MTN Odómetro,



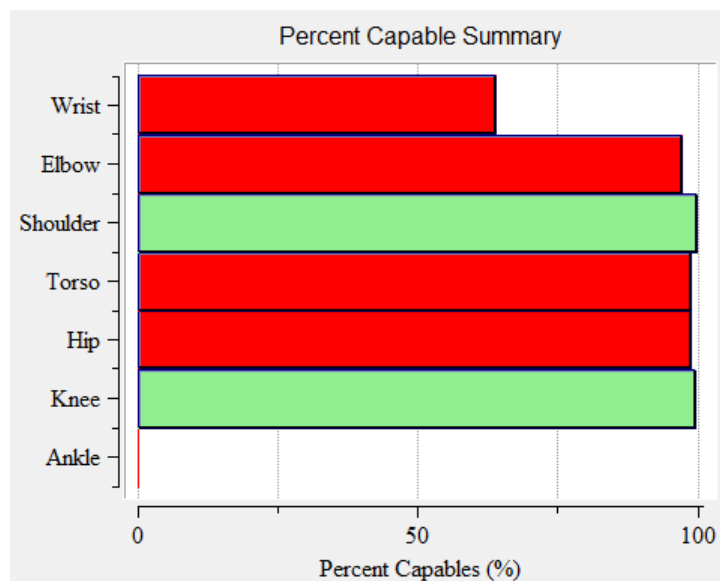
Fuente: JACK

Ilustración 88 Resultado herramienta análisis de espalda baja, MTN Odómetro.



Fuente: JACK

Ilustración 89 Resultado herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Odómetro.



Fuente: JACK

Análisis de resultados, Mantenimiento de Odómetro – Simulación Ergonómica

Para la simulación de la F2: Atornillar del MTN de Odómetro, se determinaron los elementos a interactuar en la escena de la simulación, se escaló el DHM a la antropometría del operario A y E (Ver Anexo B), se simularon las posturas y finalmente se asignaron los valores de fuerza de mano (Ver Anexo B).

Como se puede observar en la Ilustración 86. Las posturas que son simuladas en un entorno virtual mediante el software JACK, son muy cercanas a las adoptadas por los operarios reales, aunque en la tabla 53, se indica un nivel de confiabilidad medio en la comparación de los resultados de la aplicación del método OWAS para los dos entornos debido a la diferencia del código para la postura de brazos, ya que la posición de brazos para la simulación es “ambos brazos a nivel de hombros” mientras que en la aplicación externa es “un brazo por encima o nivel del hombro”; esto se debe a la subjetividad del método de observación ya que cuando la postura es simulada se comprueba que realmente ambos brazos están a nivel de hombros. En cuanto al nivel de riesgo de adoptar esta postura es categoría 4 lo cual indica como se mencionó en el resultado de la aplicación externa del método OWAS, la toma de acciones inmediatas.

Por otra parte, el análisis de esfuerzo para espalda baja (Ver Ilustración 88), registra un valor de 2361N, valor que se encuentra en el límite permisible por NIOSH el cual es 3400N. Respecto a los resultados de predicción de fuerza estática (Ver Ilustración 89) la evaluación genera alerta para las articulaciones de muñeca, codo, torso y cadera, indicando que estas articulaciones tienen un esfuerzo que supera los límites permitidos por NIOSH. Además la herramienta también indica que para la articulación de tobillo, la posición no es recomendable indicando que un 0% de la población podría llevarla a cabo, mientras que el 64% de la población con las características antropométricas establecidas del DHM sería capaz (fuerza) de adoptar la postura de 7 de las 8 articulaciones evaluadas.

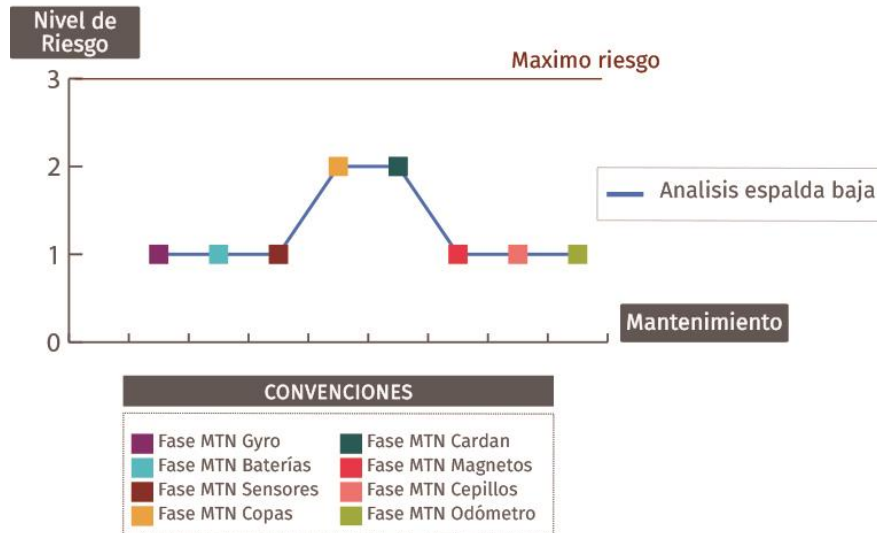
3.3.2.9 Conclusiones Finales, Etapa2: Simulación Ergonómica Virtual 3D El desarrollo de este estudio permitió tener en cuenta el factor humano en las primeras etapas del diseño, donde se pudieron identificar hallazgos sobre los riesgos a nivel musculo esquelético que están expuestos los operarios del área de mantenimiento de Rosen Colombia.

A través del empleo del método de evaluación ergonómica OWAS, incluido dentro del software JACK, y aplicado sobre el DHM. Fue posible garantizar que los resultados obtenidos a través de una simulación ergonómica virtual tiene un grado de fiabilidad alto, ya que como se observó en las simulaciones realizadas, el grado representación formal de la postura simulada es muy cercano a la realizada por el operario y además los resultados comparativos entre la aplicación del método OWAS ejecutado a través del software JACK y los obtenidos de la programación externa del mismo método, alcanzó un alto porcentaje de similitud, el cual fue 87.5%, demostrando que si es confiable la utilización de la metodología de simulación ergonómica virtual para la validación de la propuesta final de diseño del dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILLI.

De igual modo con la utilización del software Jack fue posible la realización dos análisis adicionales para determinar el riesgo de la postura por la manipulación de carga externa, los cuales son análisis de espalda baja y predicción de fuerza estática incluidos en el paquete de análisis tareas de este software. A continuación se presenta los resultados.

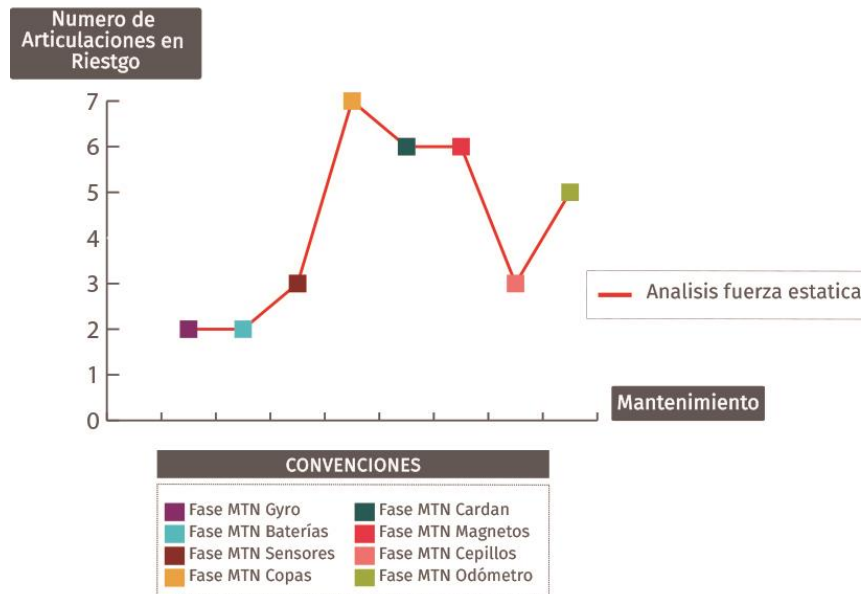
La Ilustración 90, muestra el resultado del análisis de espalda baja donde se evidencia que los mantenimientos analizados presentan un nivel riesgo medio-bajo; no obstante, los mantenimientos de copas y cardan siguen presentando la mayor frecuencia de riesgo para los operarios del área mantenimiento.

Ilustración 90 Balance del riesgo de espalda baja para cada mantenimiento.



La Ilustración 91 muestra el resultado del análisis del nivel riesgo presente en las ocho articulaciones del cuerpo humano, evidenciando que todas las posturas evaluadas presentan como mínimo 2 a 7 articulaciones en riesgo alto; y observándose nuevamente el comportamiento de mayor riesgo postural para el mantenimiento de copas, seguido por el de cardan y magnetos.

Ilustración 91 Balance de articulaciones en riesgo para cada mantenimiento.



3.4 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL PRODUCTO

Empleando los datos recolectados y analizados, para obtener la información clave de usuarios, contexto y la valoración de los factores de riesgo postural, se logró establecer los requerimientos de diseño, para dar inicio y direccionar la creación de alternativas de solución y su posterior comprobación.

En este ítem, se ejecutaron dos actividades secuenciales. La primera consistió en la comparación sistemática de las necesidades halladas, mediante el método Analytic Hierarchy Process²⁴ (AHP), en cual se busca obtener la voz del cliente para la toma de decisiones, en este ejercicio en particular, el usuario confrontó pares de

²⁴ Analytic Hierarchy Process: Fue diseñado en 1970 por el Dr. Thomas Saaty, el AHP (el título oficial en español todavía no existe) es una herramienta para apoyar la toma de decisiones, a través de ponderar prioridades cuando se tienen que considerar aspectos tanto cuantitativos como cualitativos en una decisión. Esta es la herramienta preferida por muchos de los practicantes profesionales de QFD a nivel internacional para comparar las necesidades de los clientes. 36. Ruíz, J.S.C. and F.T. Enríquez, *De la Voz del Cliente a la Lealtad del Cliente: Un Caso Exitoso de la Aplicación de QFD en la Industria Mexicana del Calzado*. 2002, Extraído el.

necesidades y determinó cuál de las dos que se comparaban era la más importante. Identificándose la importancia relativa de las necesidades para toma de prioridades y futuras decisiones de diseño. Como segunda actividad fue la especificación de los requerimientos de diseño, los cuales fueron clasificados según su orden y por su escala de importancia en taxativos (T), deseable (D) u opcional (O).

3.4.1 Tabla de necesidades Como se hizo mención antes, en esta actividad se buscó establecer el grado de importancia de cada una de las necesidades halladas, para saber cuáles son las prioridades del usuario. Mediante un cuestionario se aplica la comparación sistemática de las necesidades.

El resultado de esta actividad fue obtenido, mediante la aplicación de un cuestionario de comparación sistemática de necesidades al personal del área de mantenimiento (4). La Ilustración 92 muestra el formato del cuestionario con el que se aplicó la técnica de comparación sistemática de necesidades.

Ilustración 92 Cuestionario de necesidades



ENCUESTA DE NECESIDADES

Soy Diana Milena Buenahora López, estudiante de Diseño Industrial y me encuentro desarrollando mi proyecto de grado DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI. Me gustaría que haga parte del proceso con su participación en este cuestionario.

Nombre: _____
Cargo: _____

A continuación encontrará un listado de trece (13) necesidades identificadas con N1, N2, N3..... Posterior a esto encontrará una tabla donde usted tendrá que confrontar cada necesidad de la columna A con cada necesidad de la fila B (N1 con N2, N1 con N3, N1 con N4, N1 con N5.....) y escriba en las casillas en blanco:

1	3	5	7	9
Los elementos B y A tienen la misma importancia	El elemento B es ligeramente más importante que el elemento A	El elemento B es más importante que el elemento A	El elemento B es fuertemente más importante que el elemento A	El elemento B es muy fuertemente más importante que el elemento A

Listado de Necesidades

N1. Que el dispositivo se adapte a las características de las herramientas ILI, a las cuales le son ejecutados los mantenimientos sobre el banco de trabajo actual, específicamente las herramientas:

- *C10-1.XD
- *C12-1.XN
- *C14-1.D

N2. Que sea fácil girar la herramienta ILI.

N3. Que se puedan realizar los distintos mantenimientos.

N4. Que se pueda cargar la herramienta ILI con eslingas.

N5. Que se pueda graduar la altura del plano de trabajo.

N6. Que la estructura soporte el peso de la herramienta ILI C14-1.D.

N7. Que tenga un espacio para ubicar temporalmente las herramientas manuales de uso frecuente y piezas como tornillería de la herramienta ILI.

N8. Que se pueda reubicar fácilmente.

N9. Que sea fácil de usar.

N10. Que sea seguro.

N11. Fácil mantenimiento.

N12. Que tenga una larga vida útil.

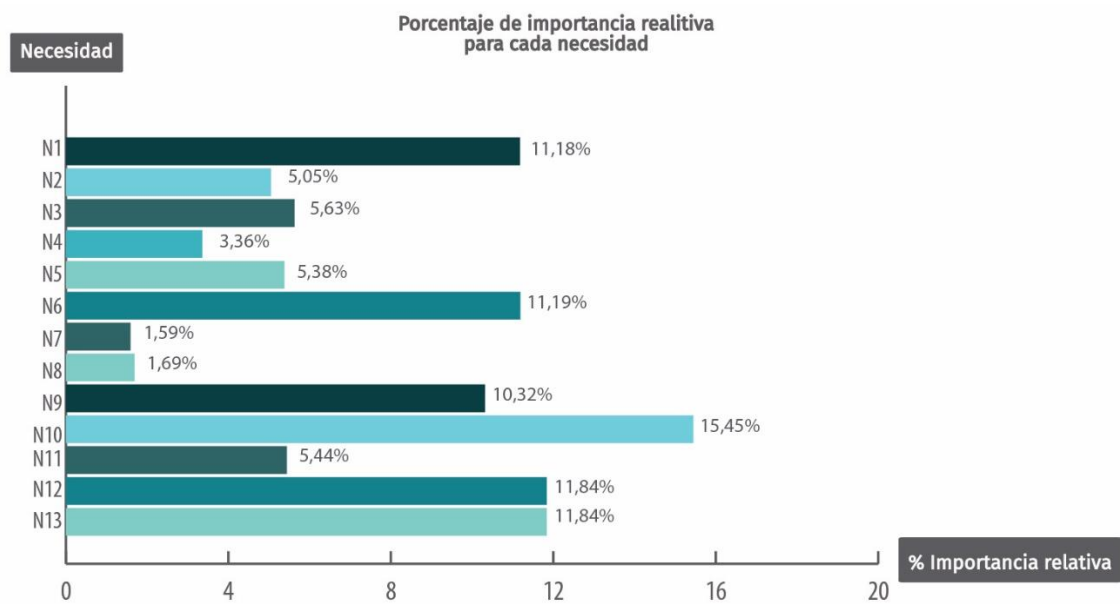
N13. Que este fabricada en materiales resistentes

TABLA DE COMPARACIÓN

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	Fila B
N1	1													
N2		1												
N3			1											
N4				1										
N5					1									
N6						1								
N7							1							
N8								1						
N9									1					
N10										1				
N11											1			
N12												1		
N13													1	
Columna A														

La tabla 54, presenta los resultados de la comparación sistemática de las necesidades, identificándose de esta manera la importancia relativa para cada una. De los resultados se puede concretar que las necesidades de mayor importancia ya que superaron el umbral del 10% son: N1, N6, N9, N10, N12 y N13, por tal motivo en la etapa de desarrollo de alternativas de diseño, se debe prestar atención principalmente a estas necesidades.

Tabla 54 Porcentaje de importancia relativa para cada necesidad



3.4.1 Requerimientos de Diseño En base en los resultados obtenidos en la actividad anterior y analizando los resultados de la información clave de usuarios y contexto, se establecieron los requerimientos que debe cumplir el dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI diseñado, estos son presentados y organizados en la tabla 55. Los requerimientos son implementados en las etapas posteriores para hacer posible el acatamiento de los mismos.

Tabla 55 Especificaciones de requerimientos

REQUERIMIENTOS DE USO	
PRACTICIDAD	<p>1. Adaptabilidad a los diferentes tipos de herramientas instrumentadas ILI. (T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de herramientas ILI de 10in, 12in y 14in.
	<p>2. Facilidad de operación de cada uno de los componentes. (T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de mecanismos con sistemas de accionamientos convencionales (Manivela, volante, botón, palanca, pedal, pulsador, interruptor giratorio, interruptor palanca). • Puede ser usado por un solo usuario.
	<p>3. Reducido número de pasos para configurar el banco de mantenimiento. (T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Numero de pasos de configuración mínimo (1), máximo (3).
	<p>4. El sistema debe tener lenguaje y uso claro para el usuario. (T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de colores distintivos • Uso de etiquetas de identificación de mandos y avisos de advertencia • Uso de manuales físicos o virtuales
	<p>5. El banco de mantenimiento debe permitir ser movilizado de un sitio a otro (O). Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peso del dispositivo • Dimensión del dispositivo • Valor máximo de empuje sistema mano –brazo: (89.5N / Mano Dominante) (86.8N / Mano No Dominante) • Sistema de desplazamiento de la maquina (mecanismo de ruedas y/o rieles)
SEGURIDAD	<p>6. Las partes del banco de mantenimiento deben poder asegurarse para evitar la pérdida del equilibrio (vuelco) o movimientos inesperados. (T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ensamble con tornillería de alta resistencia y características anticorrosivas • Centro gravedad • Simetría de la estructura
	<p>7. Los elementos de protección deben estar sujetos firmemente y no deben poder ser desmontados sin el uso de una herramienta. (T)</p>
MANTENIMIENTO	<p>8. Para el montaje del banco de mantenimiento y el arreglo de cualquier avería, los componentes deben ser fácilmente desmontables. (O) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de ensamblajes y uniones desmontables
	<p>9. El banco de mantenimiento vendrá acompañado de un manual de operaciones y mantenimiento. (D)</p>

	<p>10. Reparación y mantenimiento a manos de personal calificado en mantenimiento industrial. (T)</p>
ERGONOMÍA	<p>11. Las dimensiones del banco de mantenimiento deben estar dadas según los parámetros de diseño y dimensiones antropométricas. (T)</p> <p>Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de herramientas ILL de 10in, 12in y 14in. • Percentil P95 para dimensiones mínimas y percentil P50 para dimensiones máximas.
	<p>12. Los elementos del banco de mantenimiento irán acordes a los movimientos y a los límites máximos de extensión de las extremidades del usuario. (T)</p> <p>Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alcance brazo frontal: 68,5cm/ Alcance brazo lateral: 71,8cm/ Altura de codo a 90°: 99.2 cm.
	<p>13. La altura del plano de trabajo permite la postura de pie para la ejecución de actividades de trabajo pesado. (T)</p> <p>Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entre la altura de los nudillos y la altura de los codos (86.7-110.5 cm)
	<p>14. El tamaño de la tipografía usada en etiquetas informativas del sistema debe ser adecuado para la lectura a la distancia en que se ubica el usuario. (T)</p> <p>Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altura mínima de caracteres 3 mm²⁵
	<p>15. Los comandos, etiquetas e información del sistema deben estar libres de saturación e información innecesaria que perturbe el desempeño del usuario. (T)</p> <p>Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ratio de Contraste (Fórmula de Brillo de Color (mayor de 125) • Fórmula de Diferencia de Color (mayor de 500)²⁶
	<p>16. Los componentes de la máquina no deben presentar ambigüedad en su uso. (O)</p> <p>Parámetro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modularidad de los componentes • Coherencia extra e inter formal • Uso de formas convencionales
	<p>17. El usuario no debe someterse a grandes esfuerzos en el momento de operar el sistema. (T)</p> <p>Parámetro:</p>

²⁵ Tomado de 37. NTC, N.T.C., 512-1. *Industrias alimentarias*. Rotulado o etiquetado. Parte. 1. y 20. Instrumentation, A.f.t.A.o.M., *Human factors design process for medical devices*. Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 2001.

²⁶ Rangos mínimos permitidos para contraste aceptable entre los colores. 38. PROYECTACOLOR. *VISIBILIDAD Y LEGIBILIDAD*. 2014 [cited 2015 Marzo 13]; Available from: <http://www.proyectacolor.cl/percepcion-del-color/visibilidad-y-legibilidad/>.

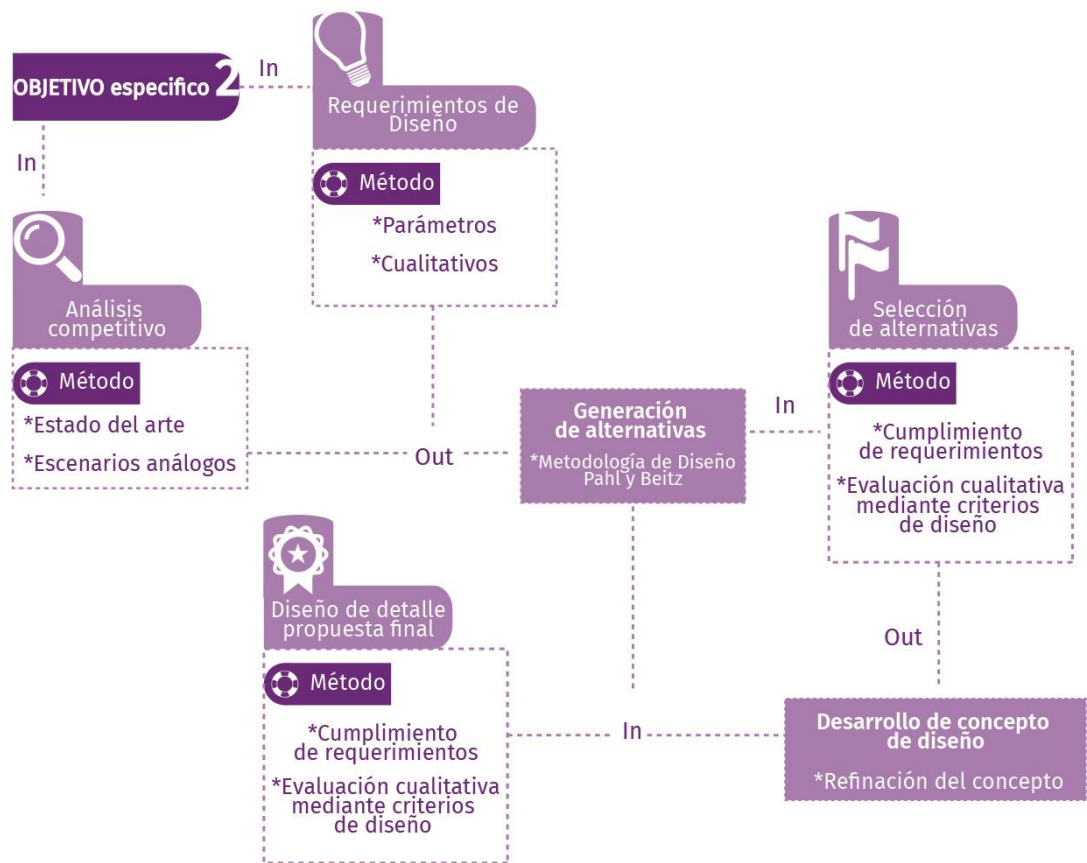
	<ul style="list-style-type: none"> Mecanismos de ganancia mecánica
REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	
MECANISMOS	18. Los mecanismos y principales componentes serán normalizadas para adquirirlos en el mercado.(D)
	19. Los componentes son adaptables a cualquier sistema de potencia, ya sea mecánico, hidráulico o neumático. (O)
CONFIABILIDAD	20. La estructura debe resistir el peso a cual va estar sometida.(T) Parámetro: Peso Herramienta ILI / completa Max 300Kg Parámetro: Peso Herramienta ILI / cuerpo Max 130Kg Parámetro: Factor seguridad $FS \geq 1$
VERSATILIDAD	21. El usuario debe tener la posibilidad de cambiar de posición y ajustar alturas del plano de trabajo según su necesidad. (T) Parámetro: <ul style="list-style-type: none"> Posición de pie/Trabajo pesado / Debajo de la altura de codos (867-1105 mm)
	22. La estación de mantenimiento permite configurar los componentes individualmente para adaptarlas a las medidas que requiere para cada herramienta ILI. (T) Parámetro: <ul style="list-style-type: none"> Dimensiones de herramientas ILI de 10in, 12in y 14in.
	23. La estación de mantenimiento debe permitir la acomodación de herramientas manuales de uso frecuente (T) Parámetro: <ul style="list-style-type: none"> Dimensiones de herramientas (llaves Bristol, taladro inalámbrico)
REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES	
ACABADOS	24. El acabado debe ser resistente al deterioro por rozamiento. (T) Parámetro: <ul style="list-style-type: none"> Acabados externos de pavonado o pintura electrostática.
ESTRUCTURA	25. El sistema presentará estabilidad visual y estructural.(T) Parámetro: <ul style="list-style-type: none"> Principio de simetría.

	<p>26. Los materiales de la piezas deben ser resistentes para otorgarle un tiempo de vida útil elevado a la estación de mantenimiento. (D)</p> <p>27. El diseño de elementos se desarrollará para la protección de los componentes y sistema de potencia. (D)</p>
REQUERIMIENTOS FORMALES	
UNIDAD	<p>28. Los componentes del sistema deben tener coherencia intra-formal. (T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modularidad entre sus componentes • Simplicidad de formas
	<p>29. Composición de color formada por un color dominante, un color secundario y un acento.(T) Parámetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto contraste.
ESTILO	<p>30. La concepción de la forma por medio del diseño industrial le dará una apariencia innovadora y única en el mercado. (T)</p>
REQUERIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN	
IDENTIDAD	<p>31. La estación de mantenimiento tendrá una marca que le dará identidad en el mercado. (T)</p>

4. CREANDO CON ROSEN

El presente capítulo documenta el cumplimiento del segundo objetivo específico: **OE2. Diseñar el concepto mediante la selección de la(s) alternativa(s) que mejor cumpla(n) con los requisitos especificados.** En la Ilustración 93 se presenta un diagrama de entradas y salidas de la metodología usada para la creación y selección alternativas, el desarrollo del diseño conceptual y la propuesta final de diseño del dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI (inspección en línea).

Ilustración 93 Flujo del proceso metodológico para el OE2..



Como se observa en la Ilustración 93, esta etapa comienza con los requerimientos de diseño el cual fue el resultado final del capítulo 3 *Diagnostico de Rosen* y el análisis competitivo actividad con la cual se inicia el presente capítulo, la cual consiste en analizar los productos que son usados actualmente para ejecutar los diferentes mantenimientos a las herramientas instrumentadas ILI. Partiendo de la consolidación de estas dos actividades, comienza el desarrollo creativo de las alternativas de diseño y la selección de las que mejor cumplan con los requerimientos y criterios de diseño. Para llegar a la definición del concepto de diseño, el cual es refinado y optimizado en las siguientes etapas y finalmente definir la propuesta final de diseño del dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI (inspección en línea).


4.1 ANÁLISIS COMPETITIVO

Este análisis parte de la premisa de evaluar lo existente en el mercado en cuanto a sus fortalezas y debilidades, teniendo en cuenta que el producto a diseñar es especializado para la herramientas desarrolladas por ROSEN, se concluyó realizar un análisis competitivo interno, es decir; se evaluaron los productos que ROSEN usa actualmente para realizar esta actividad. A continuación se presenta el análisis de los productos competitivos, describiéndolo y considerando sus ventajas y desventajas.

4.1.1 Frame El frame o “cama”, va dirigido a técnicos de mantenimiento e ingenieros de ROSEN, que requieran manipular las herramientas instrumentadas ILI de diámetros superiores a 20in. Son utilizados para el almacenaje y para ejecutar sobre este el mantenimiento de la herramienta ILI. Cada frame es desarrollado por ROSEN a medida, es decir con las especificaciones dimensionales para una única herramienta ILI. Está fabricado en perfilería metálica; su configuración es robusta,

posee apoyos fijos en forma de ruedas que sirven de soporte a la herramienta ILI y además facilita el giro de la misma. (Ver tabla 56)

Tabla 56 Análisis competitivo frame.

FRAME	
 <p>Tecnología de fabricación: Mecanizado Material: Acero Costo: \$32'000.000 pesos aprox.</p> <p style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 2px;">Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> *Materiales con excelentes características físicas y químicas. *Prolongada vida útil. *Permite el giro de la herramienta ILI. *Seguro. 	<p style="background-color: #4a4a8a; color: white; padding: 2px;">Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> *Esta diseñado para ser utilizado para una única herramienta, no es posible configurar para las características dimensionales de otra herramienta. *Altura del plano de trabajo estática *Estructura robusta que no permite su movilización a otro lugar sin el uso de un montacargas. *No están desarrollados para las herramientas ILI de 10,12 y 14in.

4.1.2 Bandeja de entrampe Dirigido a ingenieros de campo de la empresa ROSEN. Su función principal es asegurar, soportar y facilitar las labores de envío y recepción de la herramienta ILI en el interior de la tubería. Para usar la bandeja de entrampe primero se sujeta del eje tipo tornillo el último cuerpo de la herramienta ILI. Este eje permite arrastrar la herramienta ILI fuera o hacia el interior de la bandeja. Está fabricado en perfilera metálica, para soportar la herramienta ILI se tiene una superficie laminar en forma de media tubería. Al igual que el frame, cada bandeja de entrampe es desarrollada por ROSEN a medida es decir con las especificaciones dimensionales para una única herramienta ILI. (Ver tabla 57)

Tabla 57 Análisis competitivo de la bandeja de entrampe. r

BANDEJA DE ENTRAMPE



Tecnología de fabricación: Mecanizado
 Material: Acero
 Costo: \$26'000.000 pesos aprox.

Ventajas

- *Materiales con excelentes características físicas y químicas.
- *Prolongada vida útil.
- *Seguro.

Desventajas

- *Esta diseñado para ser utilizado para una única herramienta, no es posible configurar para las características dimensionales de otra herramienta.
- *Alta del plano de trabajo estática
- *Estructura robusta que no permite su movilización a otro lugar sin el uso de un montacargas.
- *No permite el giro de la herramienta ILI.
- *No están desarrollados para las herramientas ILI de 10,12 y 14in.

4.1.2 Banco de mantenimiento actual El banco de mantenimiento actual, va dirigido a los técnicos del área de mantenimiento de ROSEN filial Colombia, Este banco es una mesa de propósito general en configuración tipo “L”, fabricada en perfilería metálica con recubrimiento en pintura electrostática, el área de trabajo está cubierta por un polímero texturizado para dar mayor fricción en la superficie. (Ver Tabla 58)

Su fabricación es, mecanizado simple de sus componentes debido a que es un elemento sin mayores especificaciones técnicas, los fabricantes son empresas

dedicadas en el desarrollo de mobiliario industrial, la tabla principales proveedores de bancos de mantenimiento industrial y la tabla 58, muestra el análisis competitivo del banco de mantenimiento actual.

Tabla 58 Análisis competitivo del banco de mantenimiento actual.



Tecnología de fabricación: Mecanizado
Material: Acero
Costo: \$3'800.000 pesos aprox.

Ventajas

- *Materiales con excelentes características físicas y químicas.
- *Prolongada vida útil.

Desventajas

- *No es posible su configuración para la dimensiones de otras herramientas ILI.
- *Altura del plano de trabajo estática.
- *Estructura robusta que no permite su movilización a otro lugar sin el apoyo de un montacargas.
- *No permite el giro de la herramienta ILI.
- *Inestabilidad de la herramienta ILI debido a la configuración cilíndrica de la misma respecto a la superficie plana de trabajo.
- *No están desarrollados para las herramientas ILI de 10,12 y 14in.
- *Inseguro

Tabla 59 Proveedores del banco mantenimiento actual.

 Tomado: http://www.schaefer-shop-industrie.es/	Empresa Alemana, dedicada al desarrollo y fabricación de soluciones integrales para siguientes los sectores: Sistemas logísticos, almacenaje y transporte, puestos de trabajo, software logístico, tecnología de gestión de residuos.
 Tomado: http://www.listaintl.com/	Empresa Suiza, dedicada a producir sistemas modulares de almacenamiento y muebles de oficina e industria en general
 Tomado: https://www.hoffmann-group.com/	Empresa Española, dedicada al desarrollo y fabricación de aplicaciones sistema de construcción MB y bancos de trabajo.
 Tomado: http://www.item24.es/es	Empresa Alemana, dedicada al desarrollo y fabricación de aplicaciones Sistema de construcción MB, bancos de trabajo, herramientas manuales y maquinaria industrial.
 Tomado: http://www.mobiliario-ind.com/	Empresa Mexicana, dedicada al desarrollo de mobiliario Industrial.
 Tomado: http://www.tecnoind.com.ar/	Empresa Argentina, dedicada al desarrollo y fabricación de suministros de equipamiento industrial.

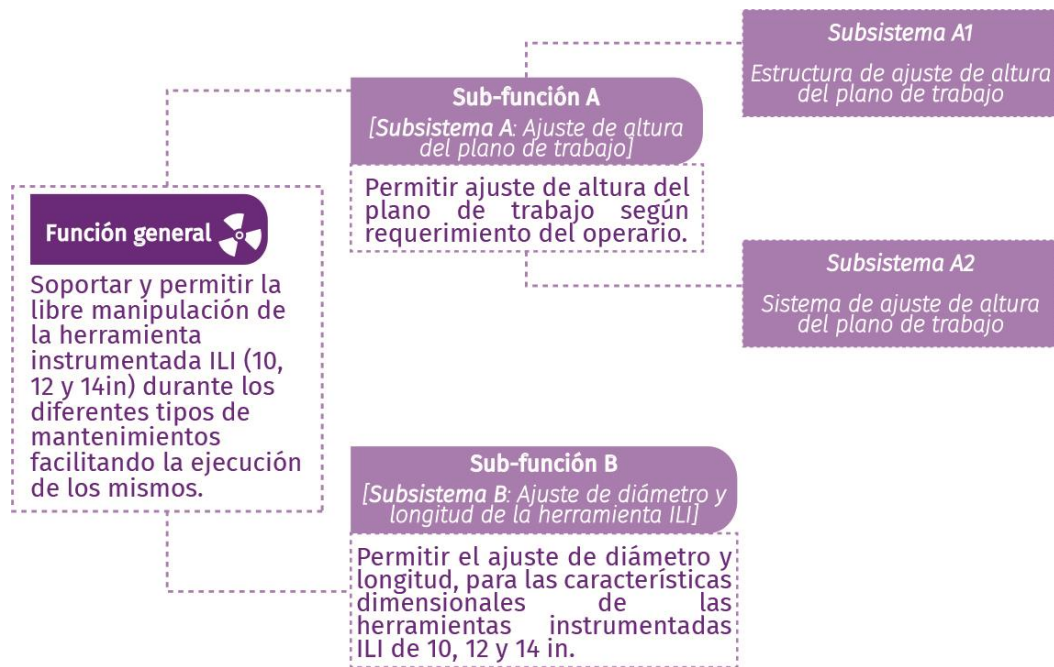
4.1.3 Conclusiones finales del análisis competitivo Como principal ventaja en los productos analizados está el uso del acero como material estructural, asegurando con esto una prolongada vida útil del producto en ambientes abrasivos y soporte de carga axial debido a sus propiedades químicas y físicas. Además en los productos frame y bandeja de entrampe, se observa una relación formal entre la geometría cilíndrica de la herramienta instrumentada ILI y la configuración de los apoyos, facilitando con esto la ubicación y estabilidad de la herramienta ILI. Por otro lado una de las desventajas encontradas en la totalidad de los productos es no poder configurarse de acuerdo a la necesidad del operario aspectos como: altura del plano de trabajo y la disposición de los apoyos de soporte para ubicar otros tamaños de herramientas instrumentadas ILI (10, 12 y 14(in)).

4.2 DESARROLLO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta la información anterior se da inicio a la etapa de ideación de soluciones. Para consolidar esta etapa se tomó como referente la metodología de diseño de enfoque sistemático desarrollada por Pahl y Beitz [39], quienes proponen una estrategia para el desarrollo de soluciones, cuyo objetivo es aumentar las probabilidades del éxito técnico y económico en el diseño de producto.

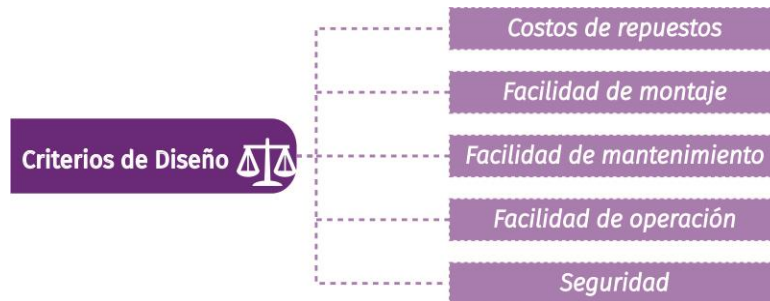
La metodología establece como primera medida, definir la función general que debe cumplir el producto a diseñar, para que a partir de esta función general se establezcan sub-funciones y si es necesario estas a su vez en otras sub-sub-funciones, hasta que estas sean lo suficientemente claras para iniciar la búsqueda de los principios de solución y obtener así el concepto de diseño, el cual será refinado y optimizado, para su posterior evaluación, mediante la verificación del cumplimiento de requerimientos y criterios de diseño. Para dar lugar al diseño de detalle (aspectos formales, estéticos y técnicos).

Ilustración 94 Diagrama de estructuras funcionales para el desarrollo del producto.



Implementando la metodología de enfoque sistemático [39], se definió las estructuras funcionales del producto a diseñar para llevar a cabo la actividad proyectual de creación de alternativas (Ver Ilustración 94). Para realizar la evaluación y selección de las alternativas, tal como lo sugiere el método se realizó mediante el cumplimiento de las especificaciones de los requerimientos de diseño pero para tener un diseño más acercado a la realidad fue conveniente evaluar las alternativas en base a la evaluación cualitativa bajos siguientes criterios de diseño. (Ver Ilustración 95)

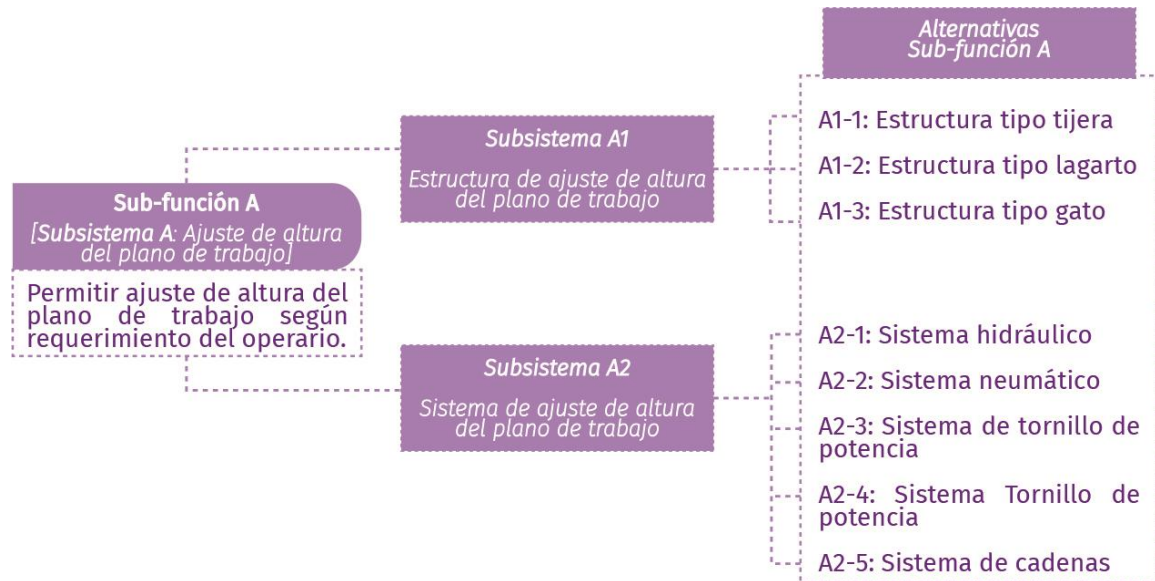
Ilustración 95 Criterios para la evaluación cualitativa.



A continuación se inicia el proceso de ideación de las alternativas para cada subsistema que dé cumplimiento a la sub-funciones del dispositivo para el mantenimiento de herramientas instrumentadas ILI.

4.2.1 Subsistema A: Ajuste de altura de plano de trabajo La Ilustración 96, muestra las alternativas planteadas para el Subsistema A: ajuste de altura de plano de trabajo, cada una de las alternativas expuestas se diferencian entre sí, básicamente en la estructura del sistema de elevación de carga, y en el sistema propio de elevación, por esta razón se realizará en primer lugar la selección de la estructura de elevación y luego se seleccionará el tipo de sistema de elevación que mejor convenga para la aplicación.[40] En las alternativas para el sistema de elevación no se ha considerado emplear un sistema eléctrico o electrónico ya que se tendría limitaciones debido al cableado etc. Además que se incrementarían los costos de producción. Las alternativas se muestran y analizan en la tabla 60.

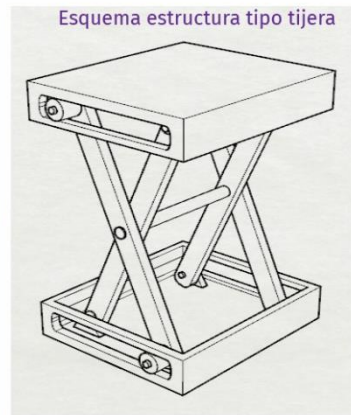
Ilustración 96 Esquemático de alternativas para sub-función A.



Alternativas Subsistema A1: Estructura de elevación

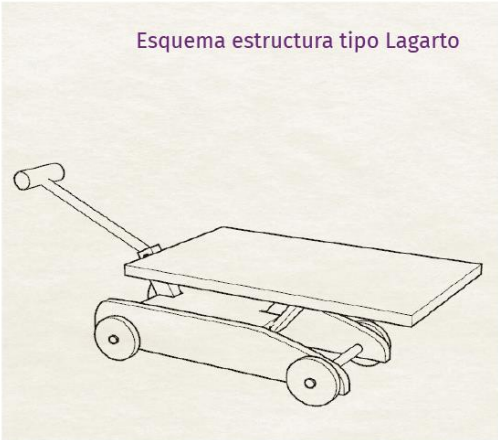
Tabla 60 Alternativas Subsistema A1.

Subsistema A1: Estructura de Elevación	
A1-1: Tijera	
Descripción	Esta estructura consta de una plataforma base y una plataforma superior o de trabajo, unidas entre sí por dos pares de brazos dispuestos en forma de tijera. Los brazos están ubicados de forma paralela en cada extremo de la estructura y unidos entre sí por un eje central. Cada uno de los pares de brazos está formado por un brazo fijo y uno móvil. El brazo fijo está anclado en un extremo a la plataforma base y en el otro a la plataforma superior, mientras que el brazo móvil tiene en ambos extremos unas ruedas que giran y se mueven de forma rectilínea a lo largo de las ranuras o guías que hay en cada plataforma. Teniendo en cuenta esta disposición de los componentes de la estructura se garantiza que la plataforma superior se traslade verticalmente respecto a la plataforma base, pudiendo ajustar la altura de trabajo.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Elevan grandes cantidades de carga. *Facilitan posicionamiento preciso de la altura de la carga. *Tiene posibilidad de interactuar con otros sistemas en red.
Desventajas	*No mantener la simetría al ser elevado a su altura máxima, desplazando su eje de simetría y quedando una parte de la plataforma superior en voladizo. Por tanto su altura máxima debe quedar condicionada a no sobrepasar su eje de simetría.

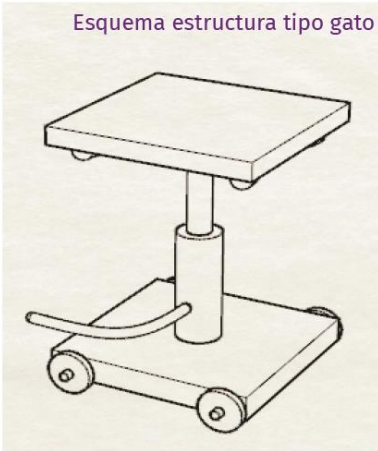


Continuación tabla 5

A1-2: Lagarto

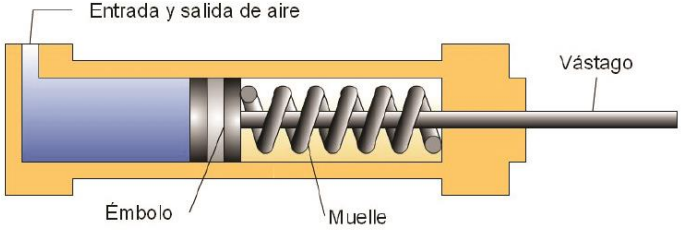
Descripción	Esta estructura está compuesta por una placa base, un brazo deslizante, una superficie de trabajo y un sistema de movilización. El brazo deslizante está unido a la placa base y a la superficie de trabajo a través de los apoyos deslizantes ubicados a cada extremo del brazo, facilitando así el ajuste de la altura de la superficie de trabajo la cual tiene sus respectivos soportes angulares regulables y cadenas de sujeción de seguridad para un ajuste óptimo de la posición de la carga.	<p>Esquema estructura tipo Lagarto</p> 
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Se tiene un transporte de carga. *La estructura permite contraerse en su totalidad y no necesita de una fosa. *Permite libertad de desplazamiento debido a los soportes angulares regulables de la superficie de trabajo. 	
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Elevado peso *Área de soporte de carga reducida no se tiene una buena distribución de carga. 	

A1-3: Gato

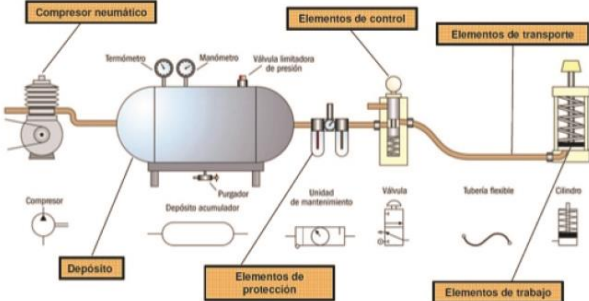
Descripción	Esta estructura tiene como único componente en su estructura base tan solo el cilindro hidráulico telescópico, además de esto poseen una superficie de trabajo de altura ajustable con soportes angulares regulables y cadenas de sujeción de seguridad para el ajuste óptimo del apoyo y la posición de la carga.	<p>Esquema estructura tipo gato</p> 
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Elevación y descenso mediante pedales, permitiendo mantener las manos libres. 	
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *La estructura de elevador es poco robusta, por ello se presentan riesgos que al ubicar la carga sobre la superficie de trabajo pueda inclinarse y/o caerse. * La superficie de trabajo no garantiza seguridad para transportar la carga ya que solo poseen un punto de apoyo, precaria distribución de carga. 	

Alternativas Subsistema A2: Sistema de elevación

Tabla 61 Alternativas Subsistema A2.

Subsistema A2: Sistema de elevación	
A2-1: Hidráulico	
Descripción	<p>Es un conjunto de dispositivos que mediante la utilización de un flujo de líquidos permite generar un movimiento lineal el cual puede ser aprovechado en forma de energía. Los cilindros más utilizados son los de simple y doble efecto, los cuales son compactos.</p>  <p style="text-align: right;">Tomado: http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/imagenes/cilindro_simpleefecto_muelle.jpg</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Las fuerzas pueden regularse de manera continua. *Es posible llegar en los elementos hidráulicos de trabajo hasta su total parada, sin riesgos de sobrecarga o tendencia al calentamiento. * El aceite se adapta a las tuberías y transmite fuerza como si fuera una barra de acero. * Los elementos son reversibles además de que se pueden frenar en marcha. * Simplicidad en su funcionamiento debido a las pocas piezas en movimiento como por ejemplo: bombas, motores y cilindros. * Multiplicación de fuerzas.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> * Velocidad se obtienen velocidades bajas en los actuadores. * Limpieza en la manipulación de los aceites, aparatos y tuberías, como el lugar de la ubicación de la maquina; en la práctica hay muy pocas maquinas hidráulicas que extremen las medidas de limpieza. * Alta presión exige un buen mantenimiento. * Las bombas, motores, válvulas proporcionales y servo válvulas son costosas.

Continuación tabla 6

A2-2: Neumático	
Descripción	<p>Consiste en emplear aire comprimido como modo de transmisión de la energía. El aire es un material elástico y por tanto al aplicarle una fuerza se comprime, mantiene esta compresión y devuelve la energía acumulada cuando se le permite expandirse según dicta la ley de los gases ideales. En los sistemas neumáticos, el aire comprimido se produce en un elemento llamado compresor, que es una bomba de aire comprimido accionada por motor eléctrico o manual. Este aire se almacena en un depósito denominado receptor. Desde éste, el aire es conducido a través de válvulas a los cilindros, que son los componentes encargados de realizar el trabajo. Cuando el aire comprimido fluye en el interior de un cilindro, aumenta la presión y obliga a desplazarse a un émbolo situado en su interior, y proporcionando un movimiento lineal y realizando un trabajo.</p> <div style="text-align: center;">  <p>El diagrama ilustra un sistema neumático completo. A la izquierda, un 'Compresor neumático' (con un motor 'Compresor' debajo) bombea el aire a un 'Depósito' (depósito acumulador). El depósito está equipado con un 'Termómetro' y un 'Manómetro'. El aire fluye a través de 'Válvulas limitadoras de presión' y 'Elementos de control' (que incluyen una 'Unidad de mantenimiento' y una 'Válvula') hacia 'Elementos de transporte' (una 'Tubería flexible'). Finalmente, el aire llega a 'Elementos de trabajo' (un 'Cilindro').</p> </div> <p style="text-align: right; font-size: small;">Tomado: http://2.bp.blogspot.com/-KO4KKH49o rA/VSDtoKa06I/AAAAAAAAA0/xgSxNz R6ycA/s1600/circuito-neumatico.PNG</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> * El uso del aire como recurso abundante e ilimitado, además disponible gratuitamente en cualquier lugar. Ya que no precisa conductos de retorno; lo cual implica que el aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera. * El aire es almacenado y comprimido en acumuladores o tanques, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise. * El aire está a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispas en atmósferas explosivas y puede ocuparse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática. * El aire es fiable, incluso a temperaturas extremas. * Cuando se produce escapes de aire no son perjudiciales y pueden colocarse en las líneas, en depuradores o extractores para mantener el aire limpio. * El diseño y constitución de los elementos es fácil y de simple conexión. * Se obtienen velocidades muy elevadas en aplicación de herramientas de montaje (atornilladores, llaves, etc.). * Las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada. * Se puede llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgos de sobrecarga o tendencia al calentamiento.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> * Para la preparación del aire comprimido es necesario la eliminación de impurezas y humedades previas a su utilización. * La obtención del aire comprimido es costosa. * El aire que escapa a la atmósfera produce ruidos bastante molestos. Se superan mediante dispositivos silenciadores. * Debido a su gran compresibilidad, no se obtienen velocidades uniformes en los elementos de trabajo. * Es una fuente de energía cara.

Continuación tabla 6

A2-3: Tornillo de potencia	
Descripción	<p>Tornillo de traslación o desplazamiento, los cuales son usados para transformar el movimiento giratorio a un movimiento lineal, relativamente lento respecto al movimiento ejecutado.</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Tomado: http://g04.s.alicdn.com/kf/HT1TdY_FpaXXagOFbXv/200130399/HT1TdY_FTpaXXagOFbXv.jpg</p> </div> </div>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Ventaja mecánica en la elevación de pesos y/o ejercer grandes fuerzas. *Precisión en la ubicación de los elementos al realizar un movimiento axial.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Si el avance del tornillo es grande y la fricción es pequeña, la carga puede descender por sí sola y el tornillo gira solo, sin la acción externa. Así que para que evitar esto y que exista una condición de autobloqueo el torque o momento debe ser mayor a cero.
A2-4: Cadena	
Descripción	<p>Se basa en un mecanismo piñón-cadena, donde el movimiento giratorio del piñón transmite movimiento a la cadena ocasionando que la plataforma superior de la estructura ascienda o descienda de forma lineal según el sentido de giro del primer movimiento. La potencia entra al mecanismo es mediante un motor eléctrico, que acoplado a un piñón impulsan el movimiento de la cadena.</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Tomado: http://img.directindustry.es/images_di/photo-mg/13903-2823107.jpg</p> </div> </div>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *La velocidad de giro de las cadenas es fácilmente controlable mediante la regulación de la velocidad del motor con la variación de voltajes y amperajes.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Cambios de giro o paradas inesperadas causan golpeteos de la cadena sobre el piñón causando daños en estos componentes. * Alto desgaste por de los dientes del piñón y eslabones debido a una alta frecuencia de movimientos en las articulaciones de la estructura. *Alto coste debido a los componentes del sistema.

4.2.2 Subsistema B: Ajuste de diámetro y longitud de la herramienta ILI La Ilustración 97, muestra las alternativas planteadas para el Subsistema B: ajuste de altura de diámetro y longitud de la herramienta ILI, cada una de las alternativas expuestas se diferencian entre sí, básicamente en la configuración formal de los apoyos su montaje y el sistema de ajuste de la longitud entre ellos en los ejes x y z, según los requerimientos dimensionales de la herramienta instrumentada ILI. Las alternativas se muestra y se analiza en la tabla 62

Ilustración 97 Esquemático de alternativas para sub-función B.

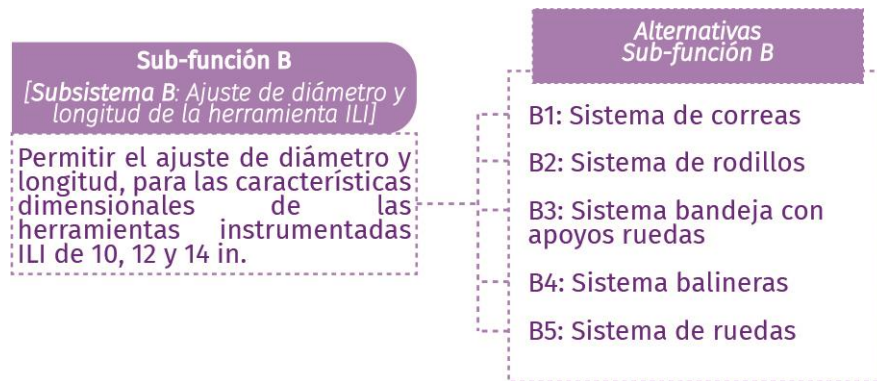
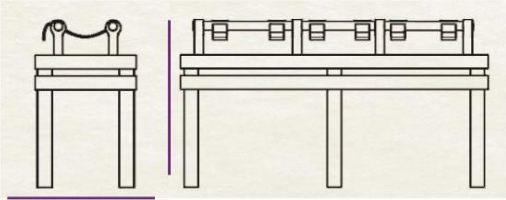
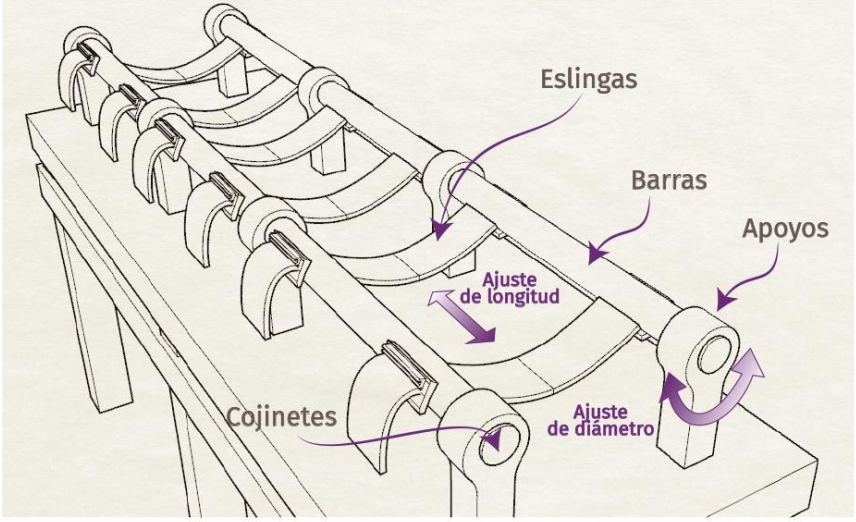
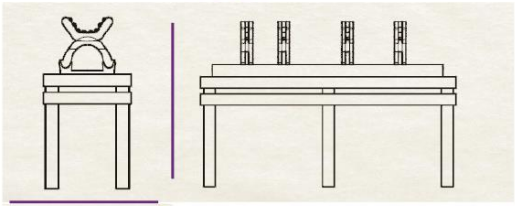
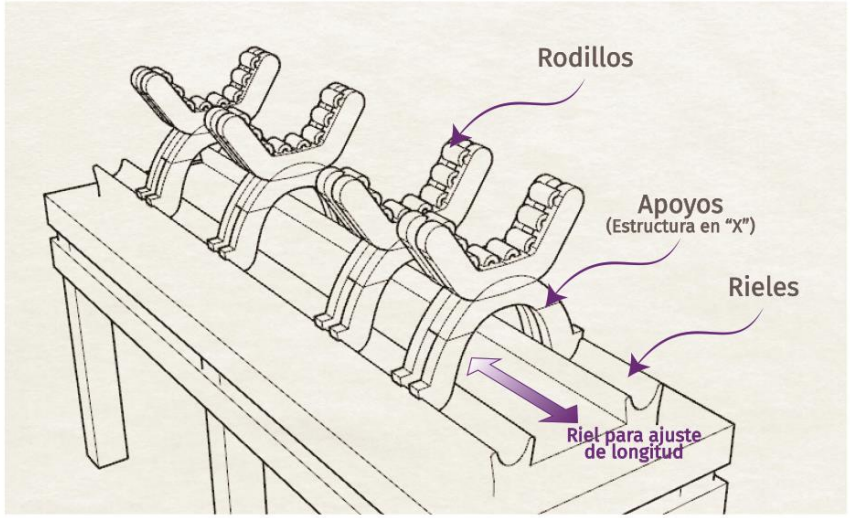
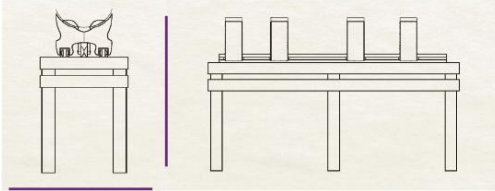
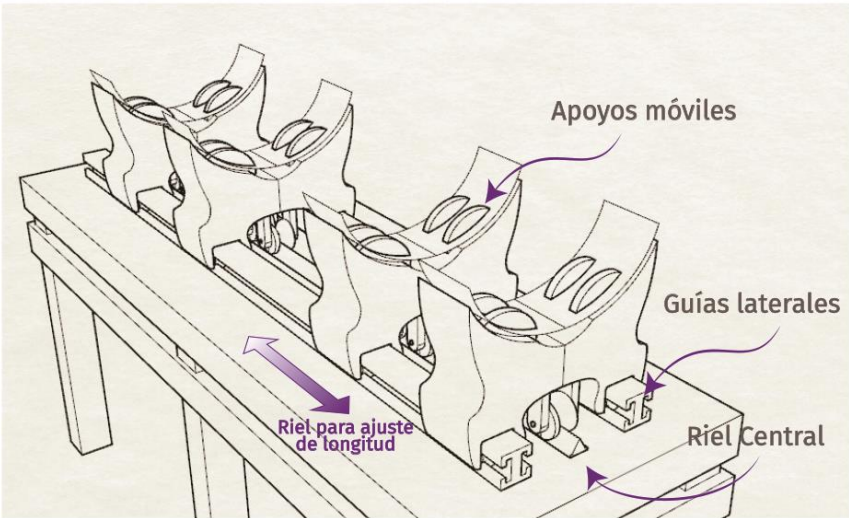


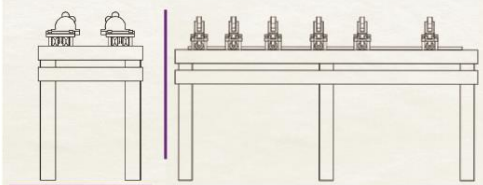
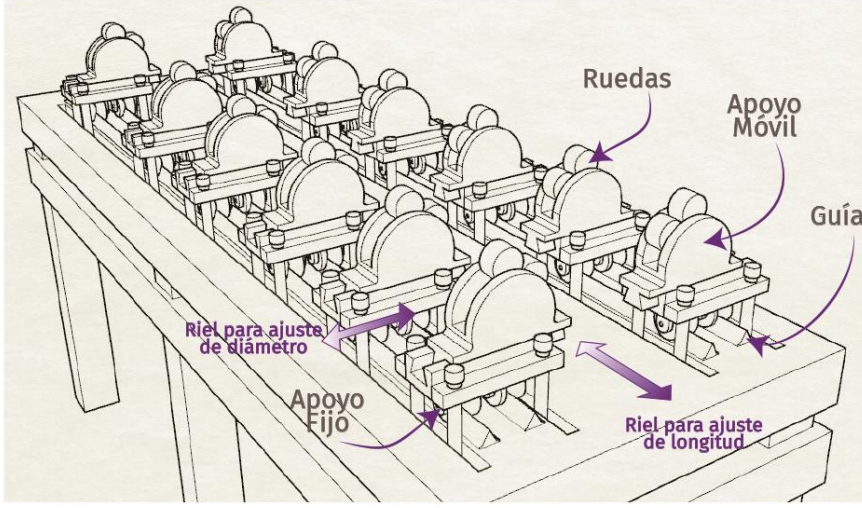
Tabla 62 Alternativas Subsistema B

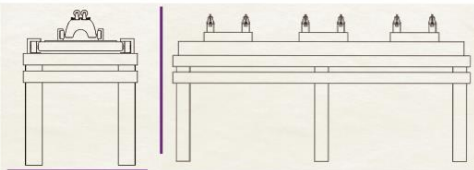
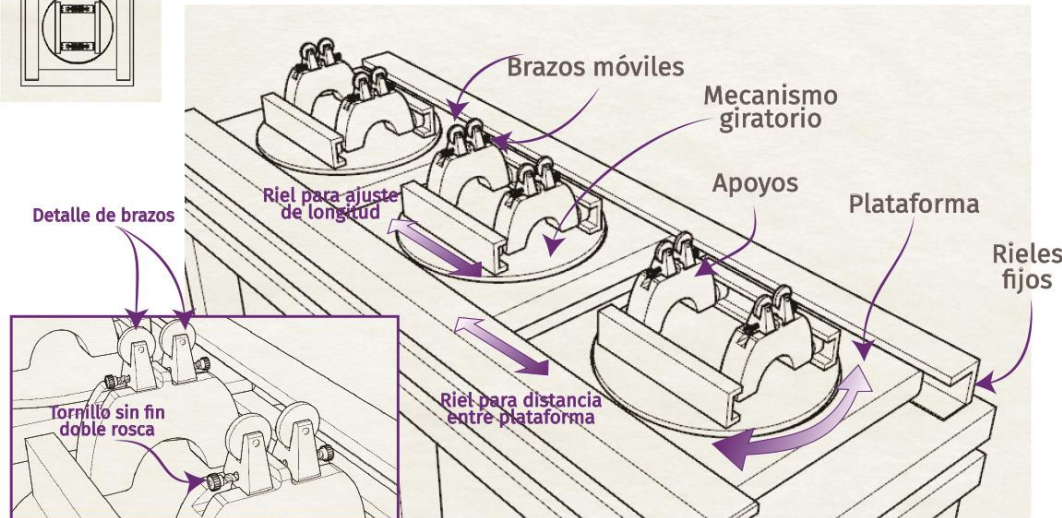
Subsistema B: Ajuste de diámetro y longitud de la herramienta ILI	
B1: Sistema correas	
Descripción	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Vistas</p>  <p>Isométrica</p>  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Consta de un conjunto de barras horizontales y ocho (8) apoyos, que en su interior tienen incorporados cojinetes para la libre rotación de las barras, a manera que se disponen de eslingas que van de una barra a la otra formando una especie de cama para soportar la herramienta ILI, cada una de las eslingas se graduaba de tal manera que la herramienta ILI queda totalmente nivelado.</p> </div> </div>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Facilidad de giro de la herramienta ILI *Ajuste a diferentes tamaños de herramienta ILI
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Facilidad de giro de la herramienta ILI *Ajuste a diferentes tamaños de herramienta ILI

B2: Sistema Rodillos	
Descripción	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">Vistas</p>  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Consta de un sistema rieles horizontales que permite el desplazamiento de los apoyos para ser configurados según las longitudes de los cuerpos de las diferentes herramientas ILI. Para el diseño de los apoyos se partió de una estructura en x con una serie de rodillos que facilitan el soporte y giro de la herramienta ILI.</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">Isométrica</p>  </div>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Facilidad en la configuración de longitud para cada cuerpo de la herramienta ILI *Robusta *Segura
Desventajas	<p>*Dificultad con la nivelación de la herramienta ILI, debido a que la estructura de los apoyos en "x" es fija y no posee un ajuste en altura para contrarrestar las diferencias de diámetros en las zonas donde se soporta cada uno de los cuerpos de la herramienta ILI generando desnivel entre estos y por consiguiente dificultad para la libre rotación de la herramienta ILI.</p>

B3: Sistema con apoyos de ruedas		
Descripción	<p style="text-align: center;">Vistas</p>  <p style="text-align: center;">Isométrica</p> 	<p>Consta de dos guías laterales tipo rieles y un riel central para soportar las ruedas de los apoyos móviles y facilitar su desplazamiento lateral. Los apoyos están compuestos por una estructura en U con cuatro ruedas por apoyo (dos en cada lado) para soportar los cuerpos de las herramientas ILI.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Fácil desplazamiento longitudinal. *Robusto 	<p style="text-align: center;">Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> *Configuración de diámetros limitada. *No posee ajuste en altura para nivelación de la herramienta ILI dificultando la libre rotación.

B4: Sistema balineras

Descripción	<p>Vistas</p> 	<p>Consta de cuatro guías horizontales (dos para cada línea de apoyos) que sirven para facilitar el desplazamiento longitudinal de los apoyos. Cada apoyo está compuesto por dos piezas una fija y otra móvil, donde la móvil tiene dos ruedas para apoyar la herramienta ILI y además esta se desplaza de forma transversal sobre la pieza fija permitiendo así el ajuste de la distancia para las diferentes configuraciones de diámetros de las herramientas ILI.</p>	
	<p>Isométrica</p> 		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Fácil desplazamiento longitudinal y transversal. *Ajustable a diferentes diámetros. *Robusto y seguro. *Facilidad de giro. 	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Dificultad para dejar centrada la herramienta ya que el ajuste de los apoyos se hace de forma individual y es difícil lograr una perfecta simetría. *El ajuste a la mesa se hace por medio de tornillos demandando mayor tiempo y poca precisión.

B5: Sistemas de ruedas	
Descripción	<p style="text-align: center;">Vistas</p>  <p style="text-align: center;">Isométrica</p>  <p>Consiste en dos rieles fijos longitudinales, en los cuales van acopladas plataformas para cada cuerpo de la herramienta ILI. Cada plataforma cuenta con dos apoyos, estos constan de un par de brazos móviles los cuales están unidos entre sí mediante un tornillo sin fin de doble rosca; horaria en un extremo y anti horaria en el otro, garantizando con esto que los brazos se mueven de manera equidistante uno del otro para una mejor simetría. Adicional a esto las plataformas cuenta con un mecanismo giratorio similar al usado en las plataformas giratorias para automóviles; este mecanismo permitirá el giro de cada uno de los cuerpos de la herramienta ILI para tener mejor acceso y mayor facilidad para realizar los diferentes mantenimientos.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Permite un fácil desplazamiento longitudinal para ajustarse a las diferentes longitudes de los cuerpos de la herramienta ILI. *Permite el ajuste a diferentes diámetros. *Fácil ajuste de diámetros y perfecta simetría facilitando el giro de la herramienta. *Permite el giro de cada plataforma para mayor acceso a cada uno de los cuerpos de la herramienta ILI
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Se requiere una mesa de gran longitud para poder desplazar libremente cada plataforma una vez se hayan separado los cuerpos de la herramienta ILI.

4.2.3 Selección de alternativas Para la selección de las alternativas se tomó en cuenta la satisfacción de las necesidades del usuario y el cumplimiento de los

requerimientos expuestos en el **capítulo 3** aparte *3.4 Definición de requerimientos de diseño*. Además fueron evaluadas por el personal del área de mantenimiento de ROSEN, a través de la aplicación de un cuestionario de matriz de criterios ponderados, los cuales fueron mencionados antes: Costo de repuestos. Facilidad de montaje. Facilidad de mantenimiento. Facilidad de operación y Seguridad.

- *Costo de repuestos*

Este es un factor que hará que sea factible la construcción del dispositivo. Para el cálculo del criterio se realiza mediante precio productos iguales o sustitutos que hallan en el mercado.

- *Facilidad de montaje*

Un sistema compuesto de piezas sencillas es fácil y rápido en su construcción, su ensamble no necesita de herramienta de tecnología de punta; ni mano de obra altamente calificada, con lo que disminuyen costos. Además adquisición de repuestos es rápida y económica.[40]

- *Facilidad de mantenimiento*

Sistemas de ensambles de fácil manipulación, garantiza un fácil acceso a las partes internas del dispositivo. Ya que la realización de mantenimientos preventivos garantizara la vida útil del dispositivo, ahorro económico y la reducción de paradas inesperadas.

- *Facilidad de operación*

El equipo debe reflejar una secuencia lógica de uso.

- *Seguridad*

El equipo debe ser construido de tal manera que brinde seguridad y que garantice su normal funcionamiento y protección del operario que lo acciona. Se evalúa la capacidad de soporte de soportar cargas de los elementos del sistema.[40]

La Ilustración 98, corresponde a las actividades que se ejecutaron con sus respectivas herramientas para consolidar la etapa de selección de alternativas, para definir el concepto de diseño.

Ilustración 98 Diagrama de la metodología para la selección de alternativas.





Ilustración 99 Registro de evaluación de alternativas por sub-funciones.



Para la realización de esta actividad cada operario (4) del área de mantenimiento, se apoyó en la fichas descriptivas para entender cada una de las alternativas de los subsistemas (ver Ilustración 99) posterior a esto las evaluó mediante el cuestionario de evaluación (ver Ilustración 100). Luego de realizado esto se solicitó que compartiera sus apreciaciones y resultados, lo cual se tuvo en cuenta para la siguiente “etapa de definición de concepto”.

Ilustración 100 Formato de encuesta para selección de alternativas.




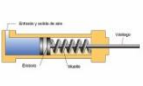
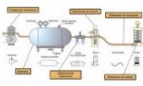




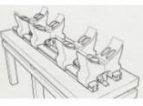





CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Soy Diana Milena Buenahora López, estudiante de Diseño Industrial y me encuentro desarrollando mi proyecto de grado DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI. Me gustaría que haga parte del proceso con su participación en este cuestionario.

Nombre: _____
 Cargo: _____

MATRIZ MORFOLÓGICA

		1	2	3	4	5
SUBSISTEMA A: Ajuste de altura del plano de trabajo	Sistema A1: Estructura					
	Sistema A2: Sistema					
SUBSISTEMA B: Ajuste de diámetro y longitud de la herramienta ILI						

De acuerdo a la matriz morfológica donde se muestra las alternativas para cada subsistema. Evalué las alternativas mediante el cumplimiento de los criterios de diseño en una escala de 1 a 5, siendo 1 el más bajo y cinco el más alto.

C	CRITERIO DE DISEÑO
C1	Costos de repuestos
C2	Facilidad de montaje
C3	Facilidad de mantenimiento
C4	Facilidad de operación
C5	Seguridad

	SUBSISTEMA A: Ajuste de altura del plano de trabajo								SUBSISTEMA B: Ajuste de diámetro y longitud de la herramienta ILI				
	A1				A2				B				
	ALTERNATIVAS SUBSISTEMA	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5
CRITERIO													
C1													
C1													
C2													
C3													
C4													
C5													

Para analizar los resultados, se definieron los pesos para cada criterio de diseño (ver tabla 63). Dando los resultados que aparecen en la tabla 64 para el *Subsistema A: Ajuste de altura de plano de trabajo* y para el *Subsistema B: Ajuste de diámetro y longitud de la herramienta ILI*. La tabla 65 muestra las alternativas seleccionadas para cada subsistema.

Tabla 63 Criterios de selección de alternativas

C	CRITERIO DE DISEÑO	PESO (%)
C1	Costos de repuestos	18
C2	Facilidad de montaje	20
C3	Facilidad de mantenimiento	17
C4	Facilidad de operación	25
C5	Seguridad	20

Tabla 64 Resultados selección de alternativas por subsistemas.

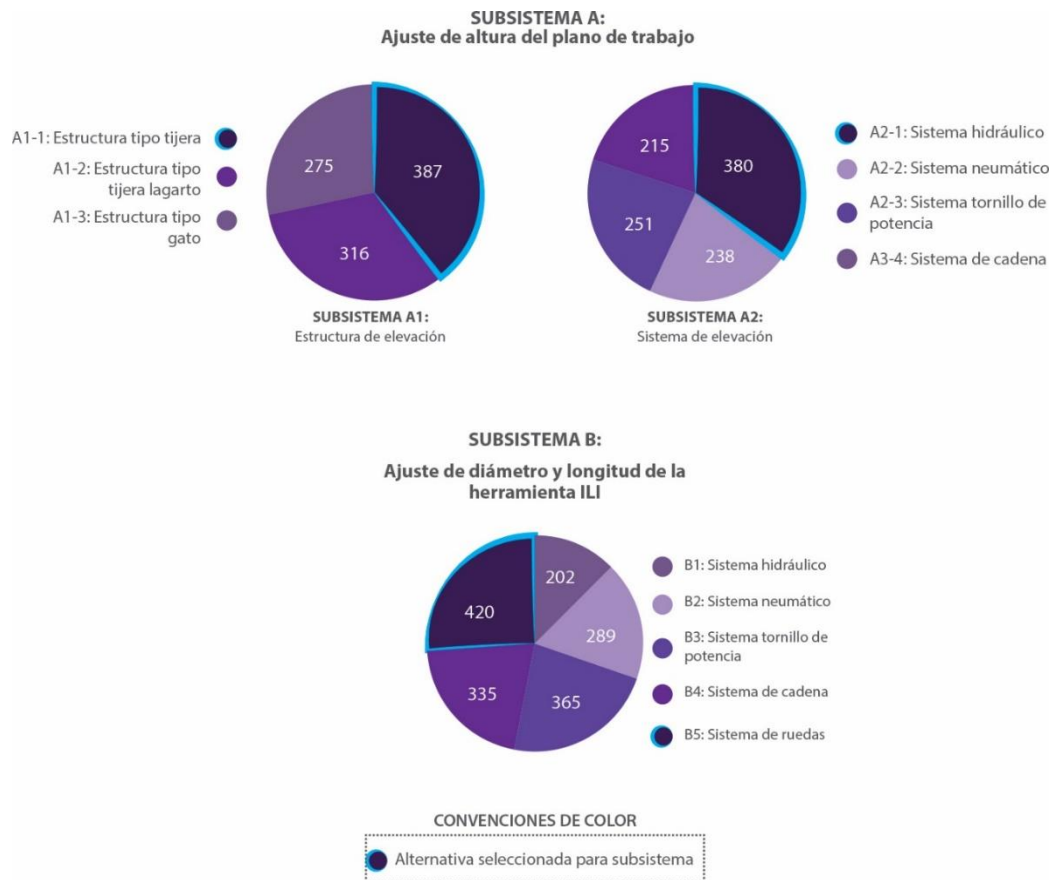


Tabla 65 Alternativas seleccionadas para Subsistema A.

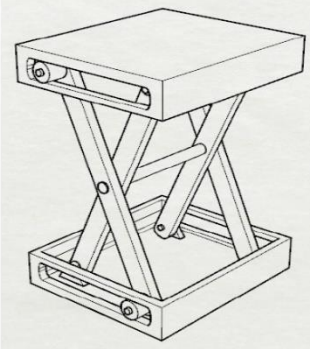
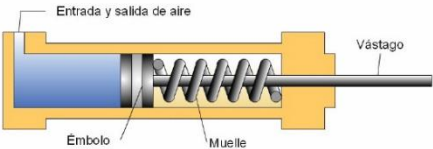
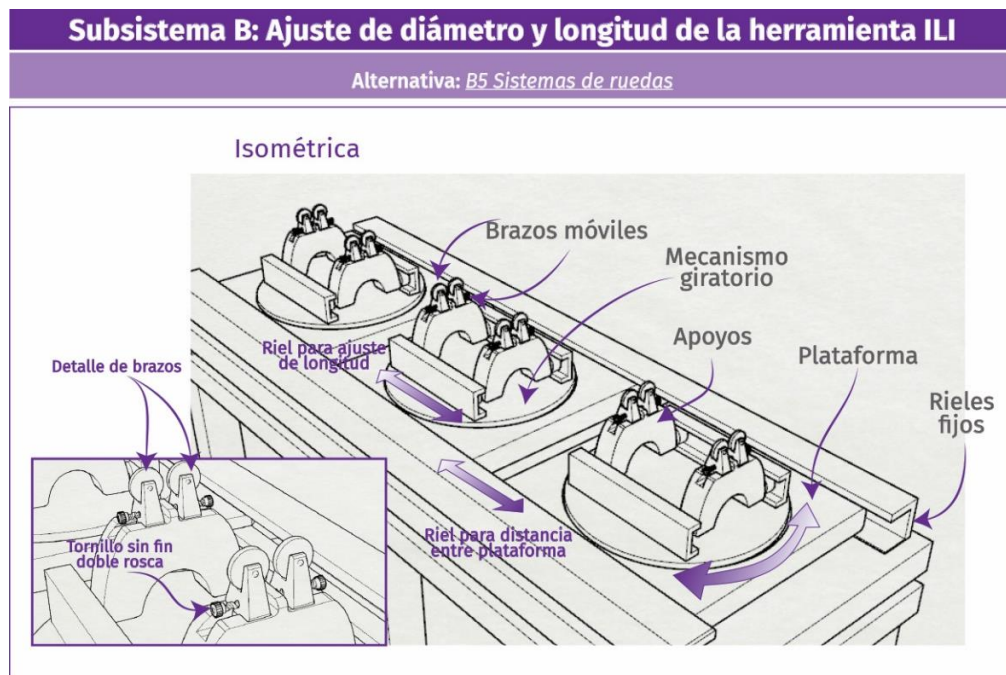
Subsistema A: Ajuste de altura de plano de trabajo	
Subsistema A1: Estructura de Elevación Alternativa: <i>A1-1 Estructura tipo Tijera</i>	Subsistema A2: Sistema de elevación Alternativa: <i>A2-1 Sistema hidráulico</i>
	

Tabla 66 Alternativas seleccionadas para Subsistema A.



Conclusiones selección de alternativas:

Para realizar las mejoras de las alternativas seleccionadas y ser aplicadas en la definición del concepto de diseño se tuvo en cuenta las observaciones a nivel

técnico dadas a cada una por parte del personal de mantenimiento de ROSEN, la cuales son:

A1-1: Estructura tipo tijera

Se seleccionó esta alternativa por considerarse que la estructura tipo tijera es segura, con excelente capacidad de soporte de carga y adaptación a otros sistemas, además con un posicionamiento de mayor precisión. Como mejora para esta alterativa se concluyó lo siguiente:

- Se sugiere que el apoyo móvil de la estructura no se desplace hasta tal punto que sobre pase el centro de masa de la estructura cuando está se encuentre en su máxima altura.

A1-2: Sistema de elevación hidráulico

Para el sistema de elevación, fue seleccionado el sistema hidráulico, por considerarse que su funcionamiento es simple, además este sistema tiene la capacidad de elevación de grandes cantidades de carga y por otro lado el costo de funcionamiento no es alto. Como mejora para esta alterativa se concluyó lo siguiente:

- Para el diseño del sistema hidráulico se debe considerar la altura máxima de trabajo para la subestación para que el vástago tenga la dimensión correcta y pueda realizar el recorrido necesario para ascender y descender el plano de trabajo.

B5: Sistema de ruedas

La selección de esta propuesta se debió a la versatilidad del mecanismo que permite la rotación de cada cuerpo de la herramienta ILI de manera individual, facilitando la manipulación de esta por parte de los operarios. Por otro lado, el sistema de brazos móviles en forma de ruedas que facilita el giro de la herramienta ILI, es confiable ya

que este mismo principio es usado en los frame actuales (ver Tabla 56). Además, el mecanismo del tornillo sin fin de doble rosca para ajustar los brazos móviles a los distintos diámetros, es práctico y se asegura con este la equidistancia entre los mismo respetando así la simetría de las subestación. Como mejoras para esta alterativa se concluyó lo siguiente:

- Eliminar lamina circular acoplada en la plataforma para aprovechar el espacio del área cuadrada de la plataforma, haciendo que el riel para de longitud sea de mayor longitud, aumentando el desplazamiento entre los apoyos.
- Se sugiere la eliminación de los rieles fijos ya que es demasiado complejo movilizar cada plataforma a lo largo de estos rieles, se propone que cada plataforma sea una subestación individual (modulo), que van formando la estación de mantenimiento al ser adicionados otros módulos; asegurando con ello una reducción de espacio al momento de no estar en uso la estación. Adicional se podrá permitir que varios operarios trabajen en el mantenimiento de la herramienta ILI en cada cuerpo de manera individual, ya que pueden ajustar la altura y la rotación del plano trabajo según sus propios requerimientos.
- Para la alineación de cada subestación una respecto a la otra, se propone un riel fijo ubicado a nivel de suelo en el interior del workshop.

4.3 DEFINICIÓN CONCEPTO DE DISEÑO

Mediante la unión de las alternativas seleccionadas con las respectivas mejoras de cada subsistema, se realizó la definición del concepto de diseño del dispositivo para el mantenimiento de herramientas instrumentadas ILI. Para ello se partió del principio de diseño modular, aspecto que permitió optimizar la funcionalidad de la estación en cuanto al uso, capacidad, mantenimiento y fabricación.

Esta propuesta está formada por un sistema de subestaciones de mantenimiento (modulo) que se desplazan a lo largo de un riel que está ubicado a nivel de suelo

(ver Ilustración 101), en los cuales el técnico puede realizar los distintos mantenimientos a la herramienta instrumenta ILI unida o por el contrario desarticulada para realizar el mantenimiento de cada cuerpo de manera individual sobre la subestación que lo esté soportando. Además permite el ajuste del plano trabajo en altura, rotación y desplazamiento, según las necesidades que el técnico lo requiera. De la Ilustración 101 a la Ilustración, 104 se muestra el esquemático en vectores de la definición conceptual de la estación de mantenimiento, el cual fue presentado al personal del área de mantenimiento de ROSEN.

Ilustración 101 Esquema de montaje de la estación de mantenimiento.

**SISTEMA DE SUBESTACIONES DE MANTENIMIENTO
[CONCEPTO DE DISEÑO]**

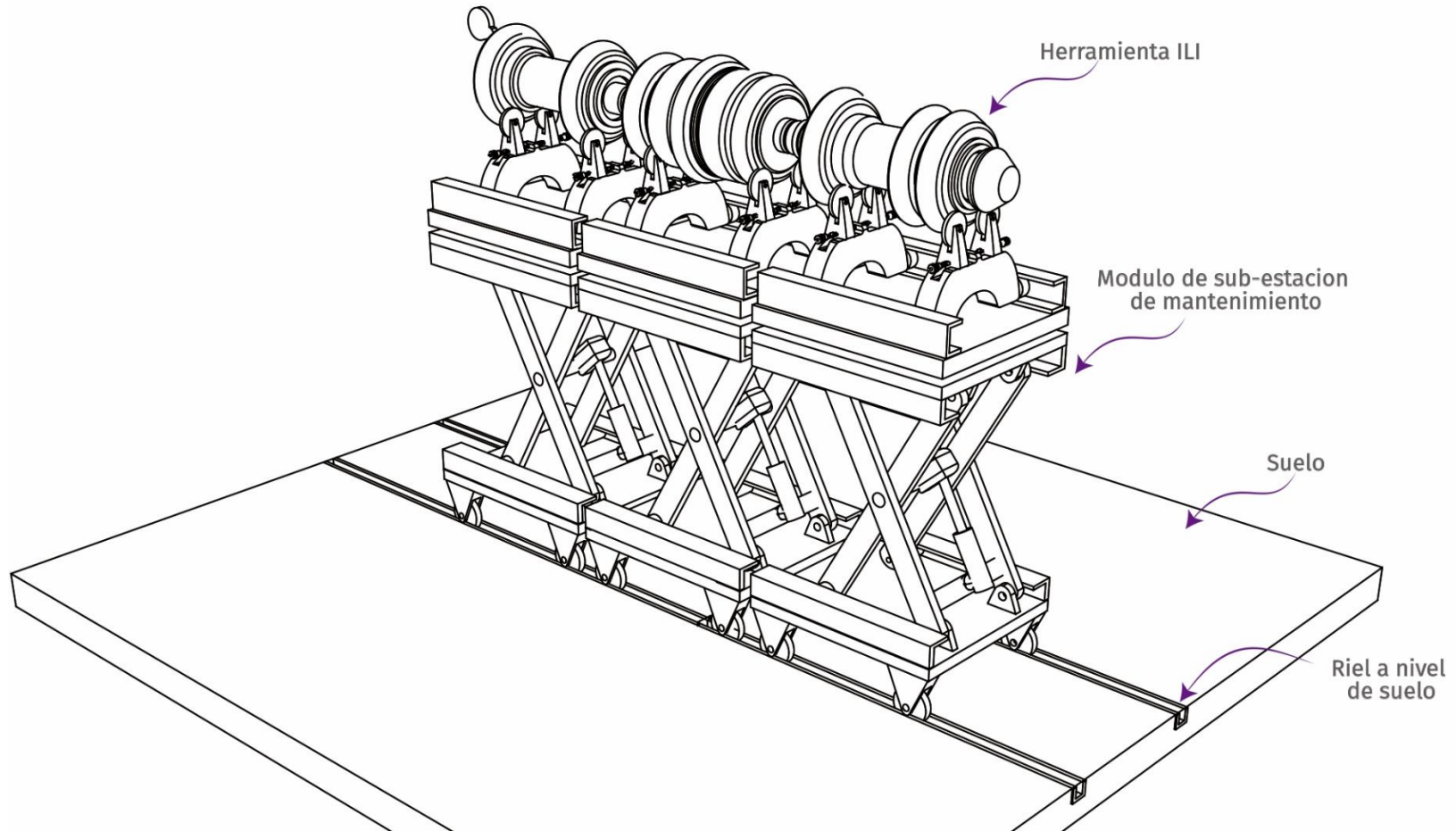


Ilustración 102 Detalles de componentes de la subestación de mantenimiento (modulo).

**MODULO DE SUB ESTACIÓN DE MANTENIMIENTO
[CONCEPTO DE DISEÑO]**

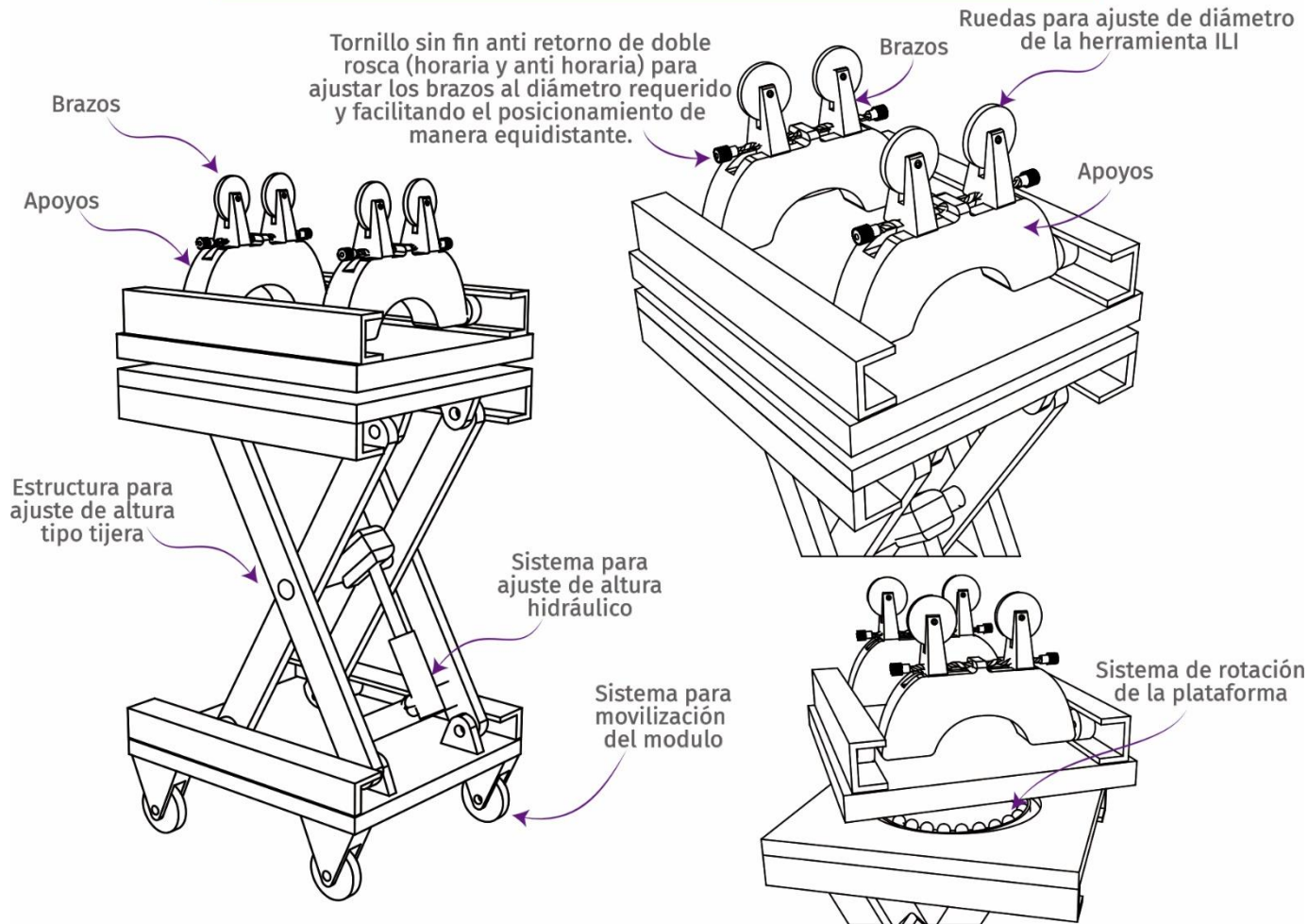
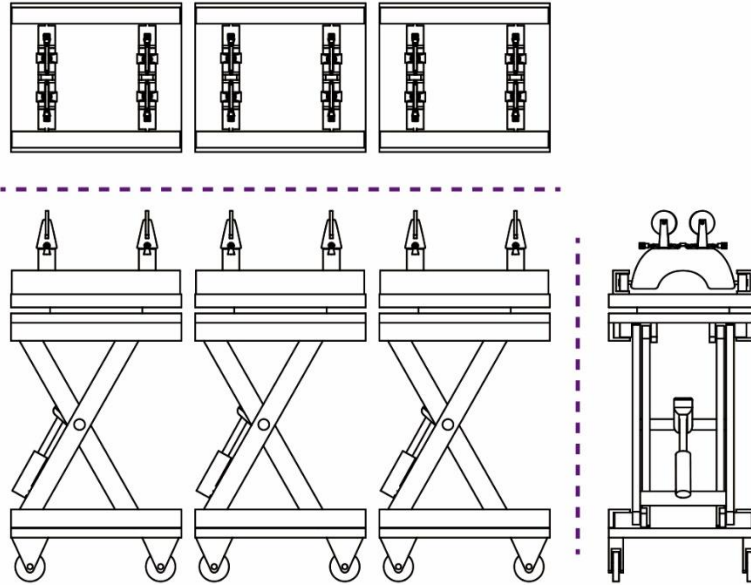


Ilustración 103 Vistas y ubicación de las subestaciones lo largo del riel.

SISTEMA DE SUBESTACIONES DE MANTENIMIENTO
[CONCEPTO DE DISEÑO]



ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL SISTEMA DE SUB-ESTACIONES DE MANTENIMIENTO
EN USO Y NO USO

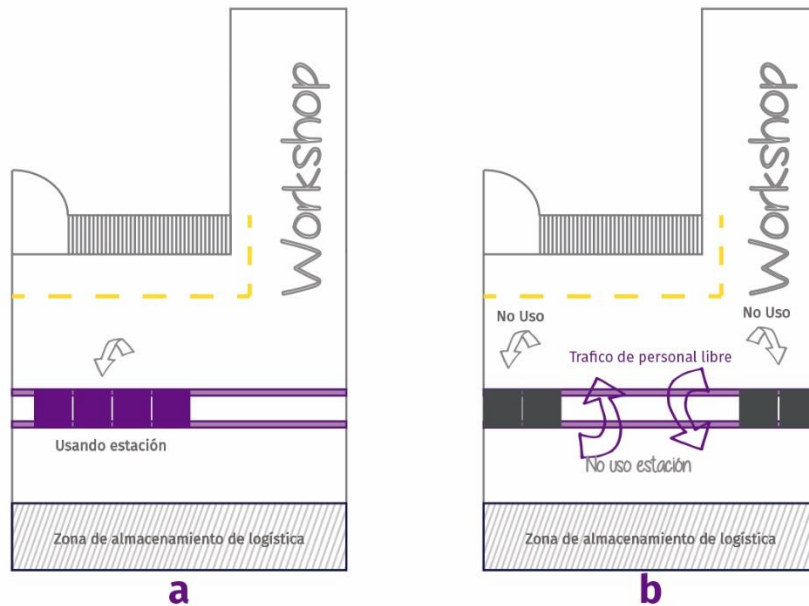
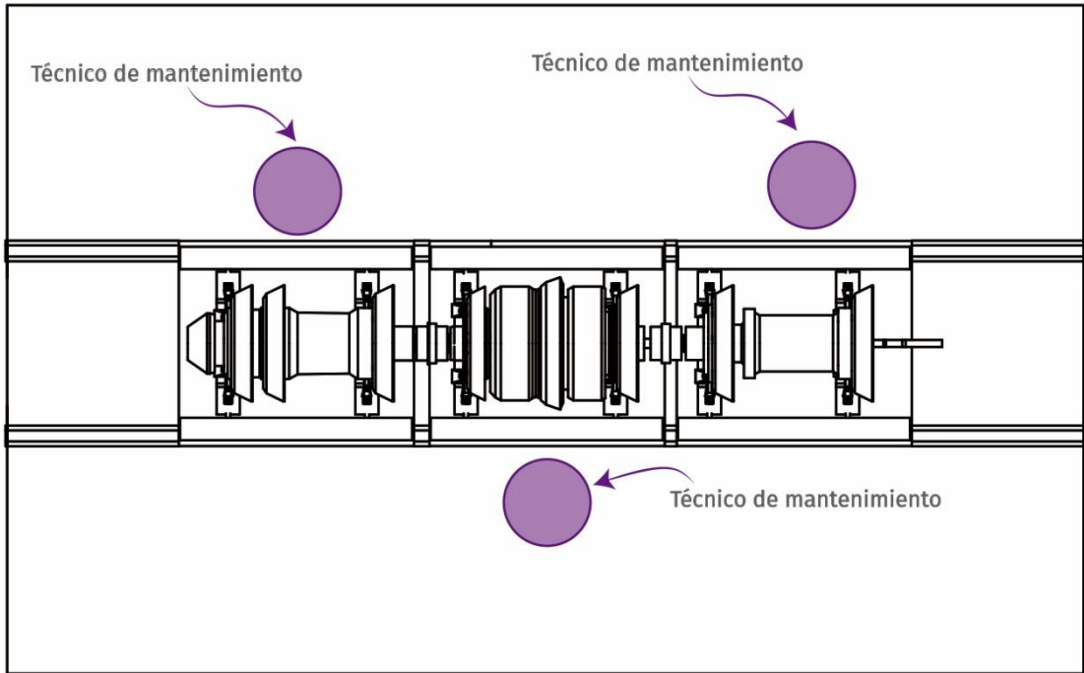
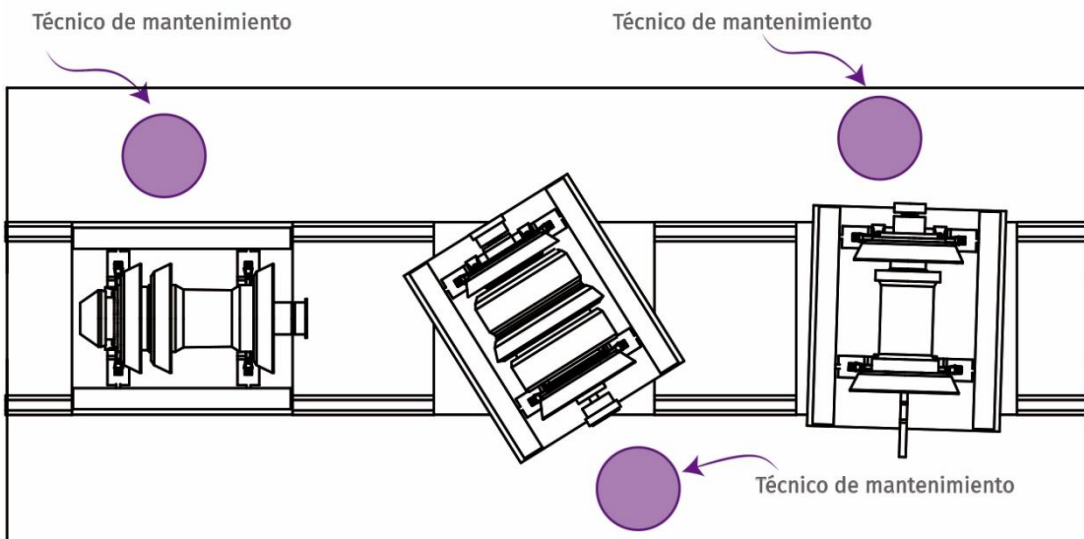


Ilustración 104 Ubicación de los operarios respecto a la estación de mantenimiento.

UBICACIÓN DE LAS PERSONAS RESPECTO AL MODULO CON LA HERRAMIENTA EN CONJUNTO UNIDA



UBICACIÓN DE LAS PERSONAS RESPECTO AL MODULO CON LA HERRAMIENTA DESARTICULADA



Conclusiones de la definición del concepto de diseño:

De la presentación del concepto de diseño al personal de mantenimiento de ROSEN, se concluyó que las características de rotación y ajuste de altura del plano de trabajo fueron las de mayor aceptación, ya que se consideró que estas funciones facilitarían considerablemente las manipulaciones que se deben hacer actualmente. Además permite que cada operario pueda realizar distintos movimientos al cuerpo de la herramienta ILI que le esté realizando el mantenimiento sin interrumpir el trabajo de otro operario garantizando un ahorro de tiempo considerable en la ejecución del proceso de mantenimiento. Por otra parte el sistema para el ajuste de los apoyos, permite una fácil configuración para los distintos diámetros de la herramienta ILI. No obstante se realizaron las siguientes sugerencias de mejora:

- Disminuir el tamaño de la estructura de los apoyos (ver Ilustración 102), ya que se considera que tiene un peso excesivo frente al servicio que presta.
- Modificación de rieles por unos que tengan sistema antifricción que faciliten el desplazamiento lineal. Ya que los actuales tienen demasiada área de contacto generando mayor fricción y aumentando la probabilidad de atascamiento.
- Modificación del mecanismo de rotación por uno de menor tamaño que tenga la misma capacidad y de esta manera disminuir el peso.

4.4 DISEÑO DE DETALLE

La siguiente actividad fue el refinamiento del concepto de diseño hasta el punto que cumpliera con las necesidades y requisitos establecidos por el usuario. Por lo anterior el diseño detallado presentó diversas evoluciones, debido a la evaluación constante que se realizó con el personal del área de mantenimiento de ROSEN.

Para llevar a cabo esto se utilizó el Software CAD SolidWorks, además se consultaron las librerías CAD de los portales web, McMaster²⁷ y TraceParts²⁸ los cuales son ferreterías virtuales donde distintos proveedores almacenan sus catálogos de productos con las especificaciones técnicas, planos y modelados CAD, para ser consultados, descargados y poder ser usados en el desarrollo de producto y/o impresos en 3D y tener una visualización mucho más cercana del producto en un entorno 3D. A continuación se presenta la evolución de la alternativa para llegar al diseño final.

4.4.1 Evolución de la alternativa La Ilustración 105, muestra la solución 1, que se obtuvo de la evaluación realizada al concepto de diseño, la cual costa de apoyos menos robustos reduciendo considerablemente el tamaño y peso de estos. Además cuenta con un sistema de rieles antifricción comercial marca *Thomson Industries [43]*, dispuestos en el eje z para el ajuste de longitud y otros dispuesto en el eje x donde se encajan los apoyos para el ajuste del diámetro de la herramienta ILI. Además se modifica el mecanismo de rotación, el cual costa de una brida y 4 llantas como puntos de apoyo para evitar que la lámina del plano de trabajo se pandee.

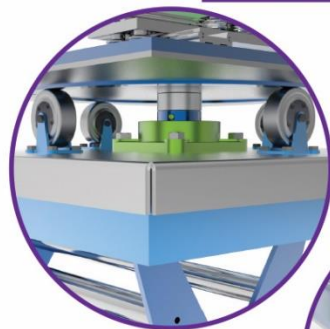
En la evaluación de la solución 1 se concluye cambiar la estructura de tijera simple por una de doble tijera, ya que con esta se gana mayor altura del plano de trabajo y además esta estructura tiene como ventaja que no se requiere cambiar las dimensiones de largo y ancho de la subestación. Por otro lado la revisión de las especificaciones técnicas del sistema de rieles, respecto al soporte de carga no se ajusta a los requerimientos, se sugiere el cambio de estos. Para la geometría de los apoyos se considera que debe ser menos robusta para evitar la colisión de estos

²⁷ El portal mcmaster.com es un catálogo CAD donde se almacenan los productos proveedores a nivel mundial de materiales y suministros de distintos sectores. 41. McMaster-Carr. *McMaster-Carr*. 2016 [cited 2015 Julio 25]; Available from: <https://www.mcmaster.com>.

²⁸ El portal de CAD tracepartsonline.net está disponible gratuitamente a millones de usuarios de CAD en todo el mundo, con cientos de catálogos de proveedores y 100 millones de modelos CAD y fichas técnicas de productos.42. TraceParts. *TraceParts*. 2016 [cited 2015 Julio 20]; Available from: <http://www.traceparts.com/es/>.

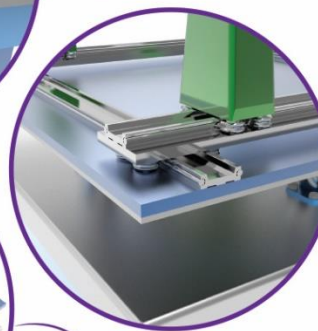
con partes de la herramienta ILI, además se sugiere la inclusión del mecanismo de tornillo sin fin con doble rosca para el ajuste de diámetro propuesta en el concepto de diseño (ver Ilustración 102). También se propone la reducción del tamaño para el mecanismo de rotación e iniciar con el uso del color para dar un aspecto que se identifique con la carta de color de la marca ROSEN (ver Ilustración 106).

Ilustración 105 Solución 1.



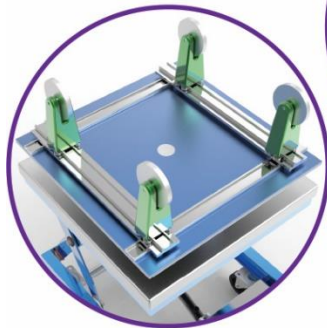
Mecanismo para la rotación del plano de trabajo

Brida en el eje de rotación y 4 llantas de apoyo dispuestas en los cuadrantes de la mesa



Sistema de rieles anti-fricción

Conjunto de rieles que permiten el movimiento lineal. Fabricados por Thomson Industries.



Estructura de apoyos

Estructura tipo brazos que soportan la ruedas de apoyo para la herramienta ILI

Ilustración 106 Carta de color marca ROSEN.



La solución 2 (ver Ilustración 107), se llevan a cabo los cambios y sugerencias establecidos en la evaluación de la solución 1. En esta se modifica la tijera simple por tijera doble, se refuerza la estructura general mediante perfilera metálica, se reduce el tamaño en un 60% del mecanismo de rotación del plano de trabajo, cambiando las ruedas por rodamientos de menor diámetro los cuales resiste mayor carga radial y axial simultáneamente. Se modifican el sistema de rieles antifricción por unos de la marca *PBC Linear* con mejores características (Ver anexo C). Respecto a los apoyos su nueva geometría evita colisión de estos con la herramienta ILI, se incluye nuevamente el mecanismo de tornillo sin fin con sistema anti-retorno y rosca doble, además se agrega dos opciones de rodamiento para el eje del tornillo sin fin, con el fin de evitar su flexión y facilitar su giro, la primera opción es un rodamiento partido, el cual tiene un corte transversal para facilitar su montaje y evitar desensamblar componentes de la subestación. La segunda opción: es un rodamiento más compacto. Por otra parte en los extremos del tornillo sin fin se agregan dos acoples tipo brístol como mandos para su accionamiento. Esta propuesta fue realizada por operarios del área de mantenimiento, quienes consideran viable y factible el uso del acople, ya que es usado frecuentemente como componente de ensamble para las herramientas instrumentadas ILI.

Ilustración 107 Solución 2.

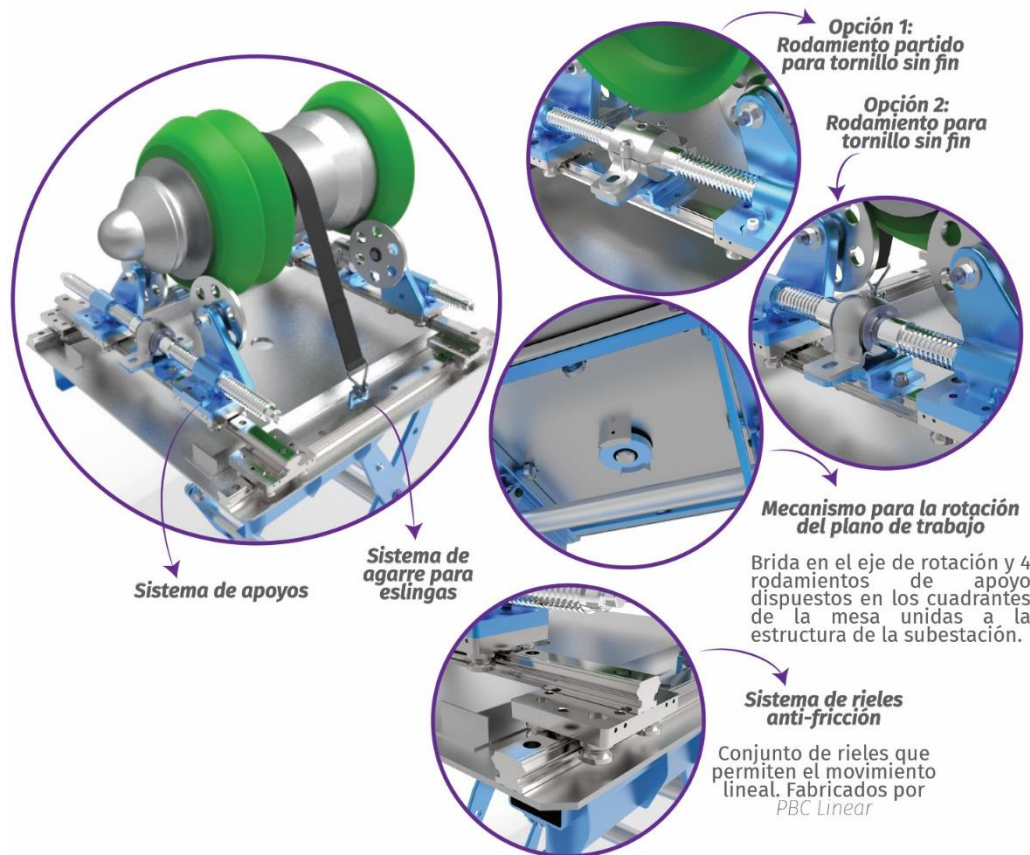
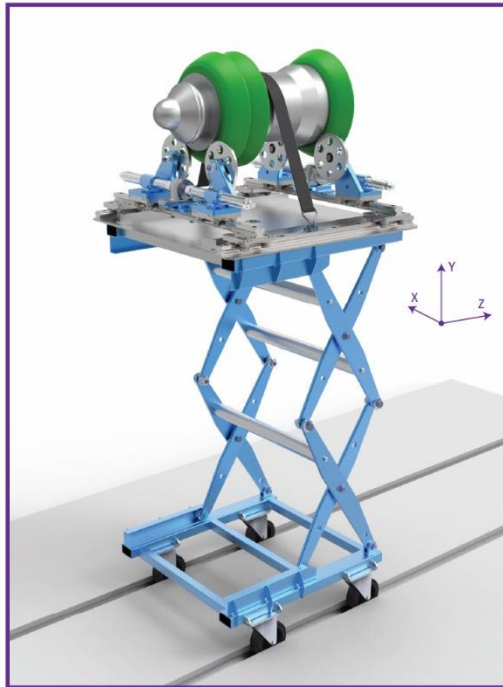
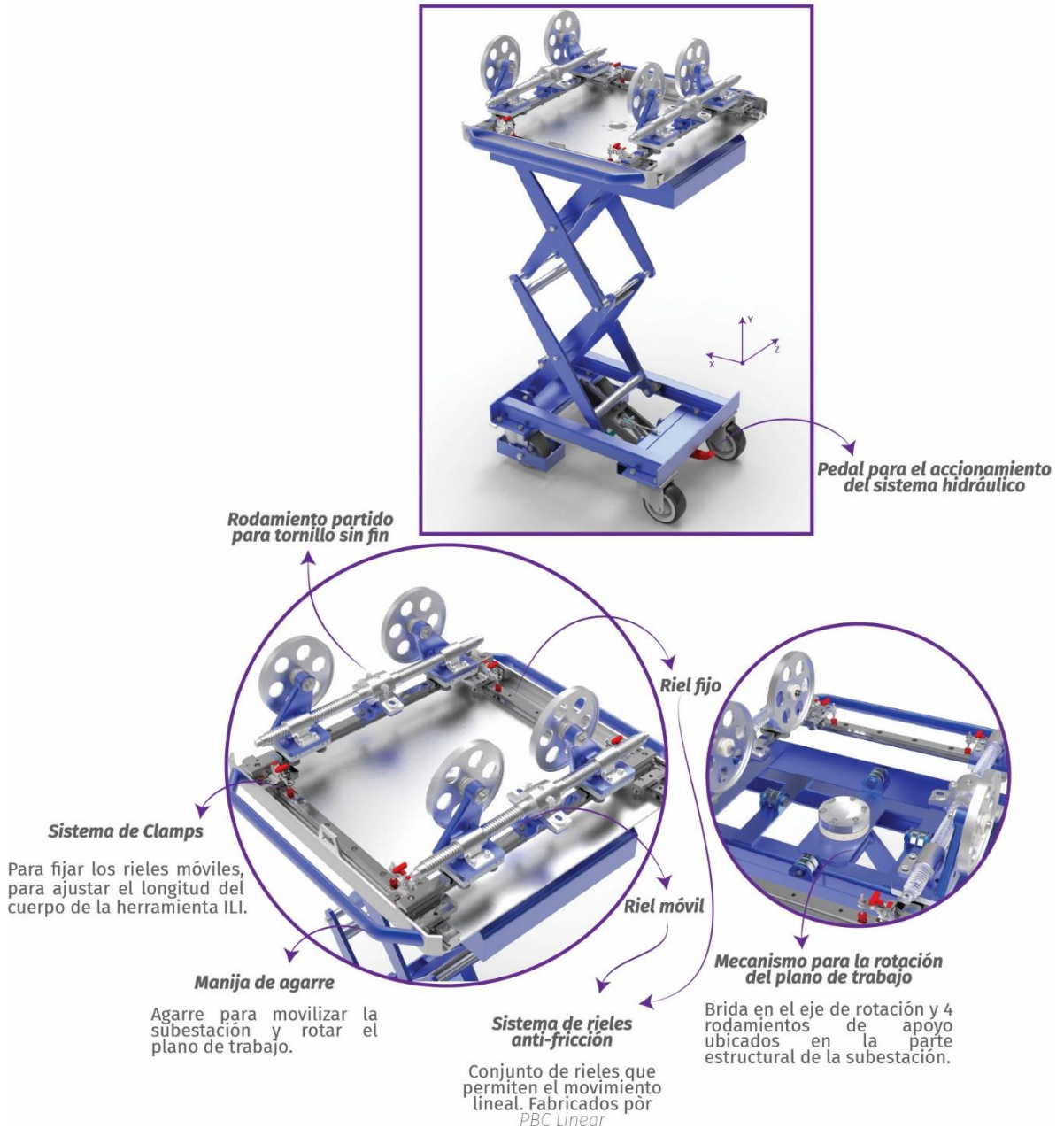


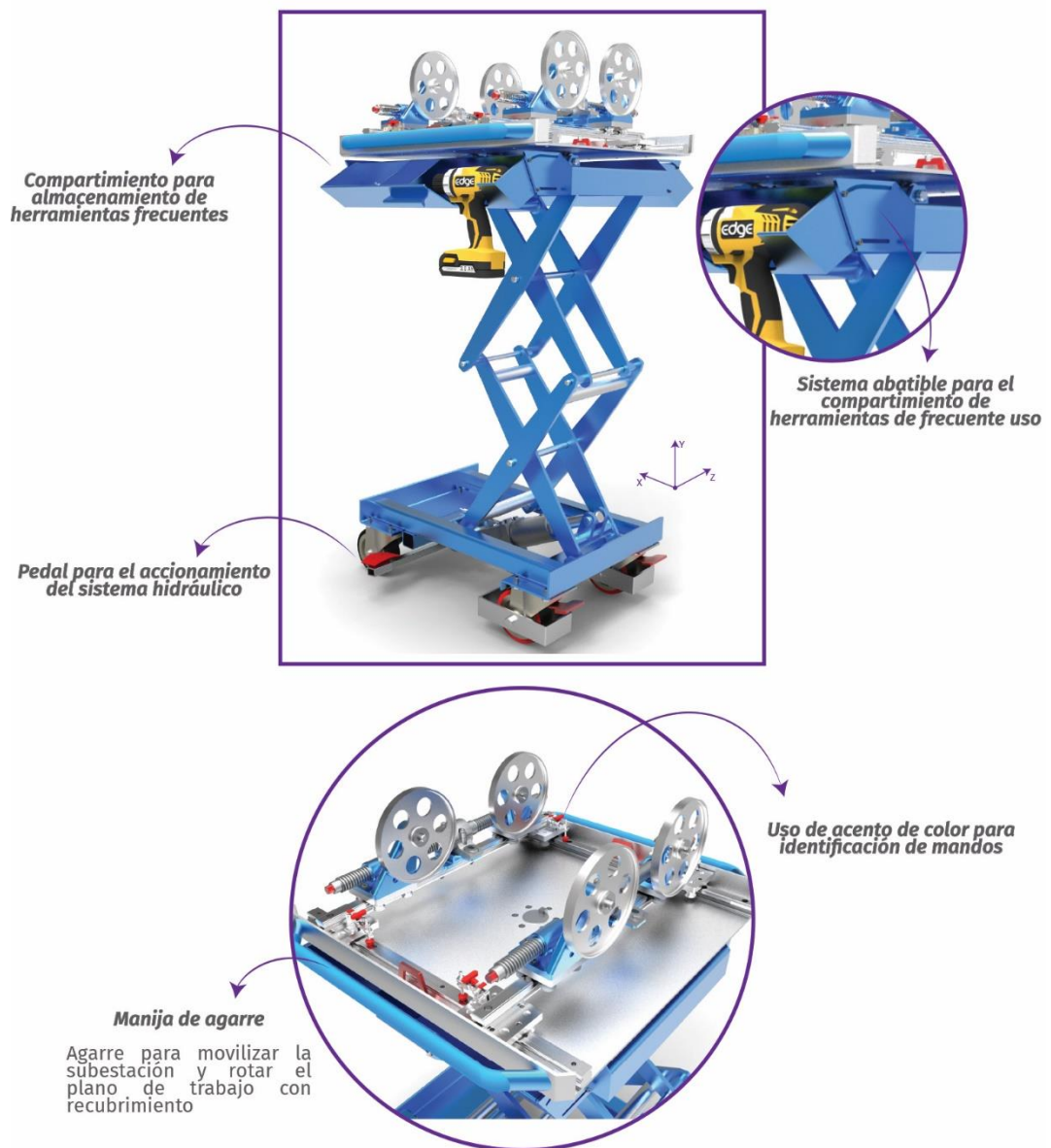
Ilustración 108 Solución 3.



De la evaluación de la Ilustración 107, se plantea la solución 3 (ver Ilustración 108). Donde se modifica la parte estructural de la subestación para otorgarle un aspecto formal más limpio, además se incluye una manija de agarre para facilitar al operario movilizar o rotar el plano de trabajo de la subestación. Asimismo se modifica la ubicación del mecanismo de rotación que se planteó en la solución 2, para que se

ajuste a la nueva estructura de la subestación. Por otra parte para el rodamiento del eje de tornillo sin fin, se selecciona el rodamiento partido (ver anexo C). También se incluye el sistema de clamps (ver anexo C) como seguro, el cual se adaptan al riel móvil con el fin de fijarlo en la posición requerida. Además para el seleccionar el accionamiento del sistema hidráulico según (tabla 7) por la relación rapidez-fuerza se elige como tipo de control el pedal.

Ilustración 109 Solución 4.



En la solución 4, se modifica la ubicación del pedal, debido a que la posición inicial colisiona con la subestación contigua, por esta razón para evitarlo se ubica en un lateral. Además se adiciona un compartimiento abatible a cada lado de lado para el almacenamiento temporal de herramientas frecuentes, taladro inalámbrico y componentes de la herramienta ILI. En cuanto al aspecto formal, el uso del color se sigue la esencia del logotipo de ROSEN, azul como color dominante y un acento de color rojo. Para el caso particular de la subestación el acento de color se usó para los accionamientos para darle mayor jerarquía y punto de interés, respecto a otras partes de la subestación.

De la evaluación de la solución 4 expuesta en Ilustración 109, surge la solución 5 (ver Ilustración 111). Donde se modifica el accionamiento del sistema hidráulico a dos pedales; uno que realice la labor de ascenso y otro de descenso; ya que se consideró que se podría tardar mucho más tiempo llegar a la posición adecuada. Además se adiciona una manija de agarre para cada riel móvil para facilitar el desplazamiento manual. Teniendo en cuenta esto se cambia la posición de los clamps pasándolos a una posición contraria a la que estaban ubicados es decir del riel móvil hacia fuera dejándolos así en el mismo sentido de la manija agarre para una mejor lectura en la usabilidad del producto.

Por otra parte se evidenció la necesidad de verificar y ubicar en la posición inicial (cero) la rotación del plano de trabajo ya que para el montaje en conjunto de todas las subestaciones se requiere que el plano de trabajo se encuentre en esa posición por consiguiente se desarrolló un indicador de giro situado en el centro, incorporando la marca ROSEN como elemento identificador. En la Ilustración 110 se muestra que el acento de color en forma de flecha del logotipo de ROSEN permite evidenciar cuando el plano se encuentre en la posición inicial (cero); es decir, si el logotipo de rosen esta correcto el plano está en la posición inicial pero si por el contrario el acento de color en forma de flecha no se evidencia quiere decir que se encuentra rotada.

Ilustración 110 Funcionamiento del Indicador de rotación

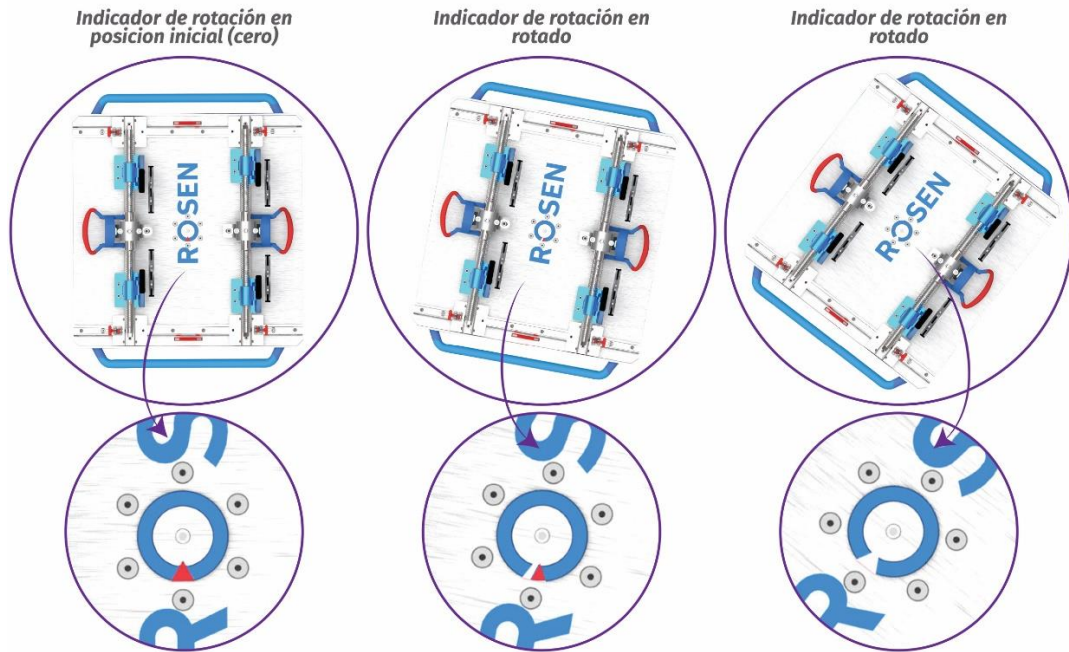


Ilustración 111 Solución 5

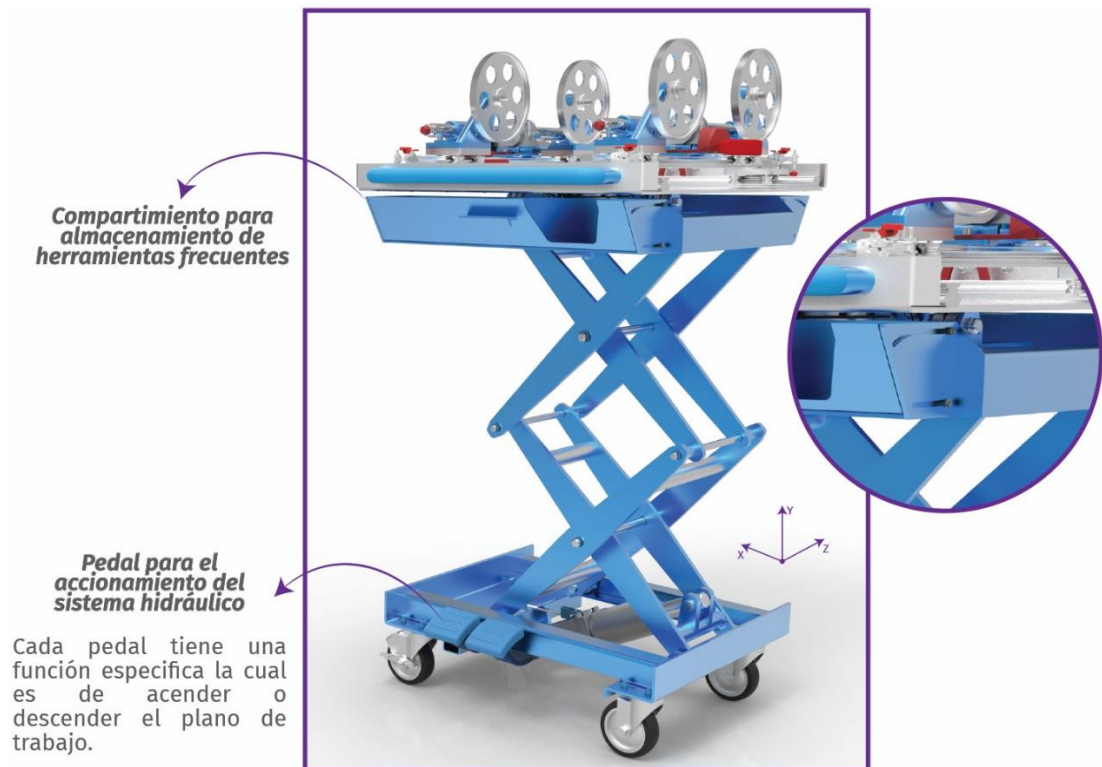
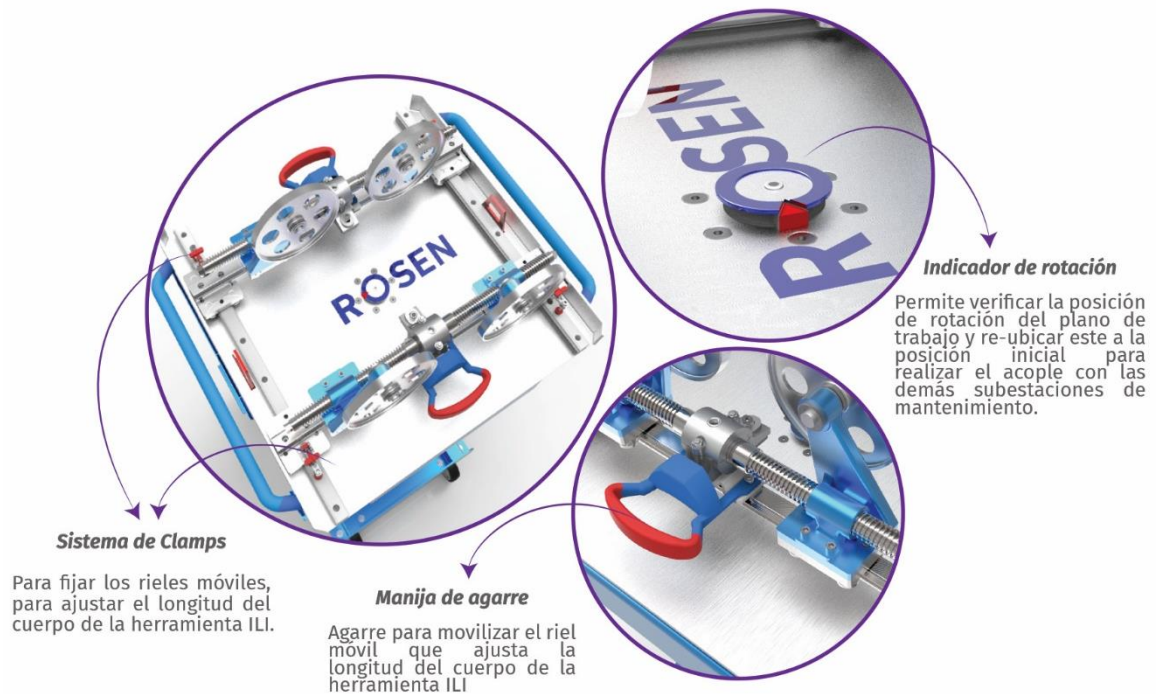


Ilustración 19 continuación



De la evaluación de la solución 5, se concluye que se debe identificar la función para cada pedal del sistema de accionamiento hidráulico para evitar equivocaciones al momento de su uso; así que mediante la aplicación de color y textura sobre cada pedal se añade el aspecto formal de un símbolo de flecha en el sentido que mueve el plano de trabajo cada pedal como se muestra en la Ilustración 112. Respecto al sistema rotación del plano de trabajo se incluye un mecanismo de bloqueo mediante una mordaza que se acciona a través de una guaya conectada a una perilla que se ubica en el lateral de la subestación y permite que el operario ubique en la posición que el determine para realizar las distintas labores de mantenimiento. Además de lo anterior, también se disponen sobre los rieles fijos y móviles una cinta métrica para hacer más precisa la configuración de la subestación a las dimensiones de las distintas herramientas instrumentadas ILI; igualmente sobre la base de la estructura se adiciona otra cinta métrica y se adapta un indicador al brazo móvil de la tijera desplazándose juntos sobre el eje x e indicando de esta forma la altura a la que se encuentra el plano de trabajo.

Ilustración 112 Solución Final

Sistema de medición de altura del plano de trabajo

Sistema de medición de altura del plano de trabajo

Pedales para el accionamiento del sistema hidráulico

Mecanismo de bloqueo para la rotación del plano de trabajo



Cinta métrica para verificar altura de trabajo

Ajuste de altura de trabajo

Pedales para el accionamiento del sistema hidráulico

Ajuste altura del plano de trabajo

Cinta métrica para verificar distancia entre apoyos

Ajuste de diámetro del cuerpo

Cinta métrica para verificar distancia entre apoyos

Ajuste de longitud del cuerpo

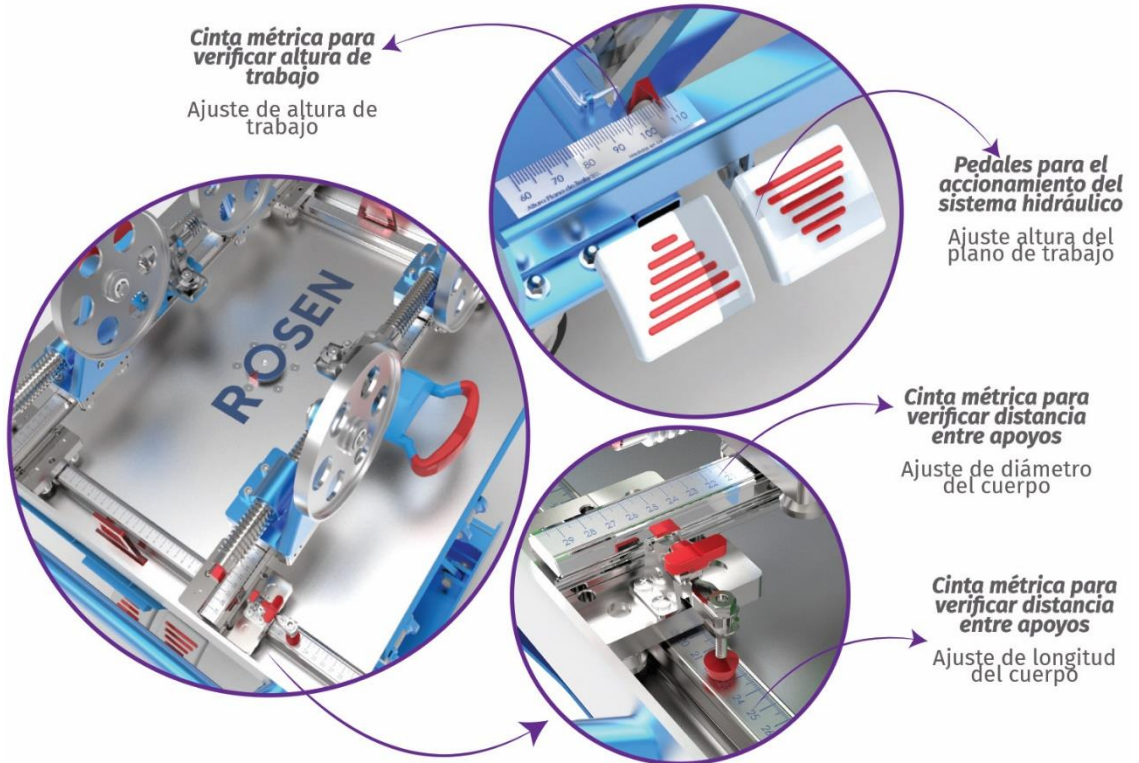
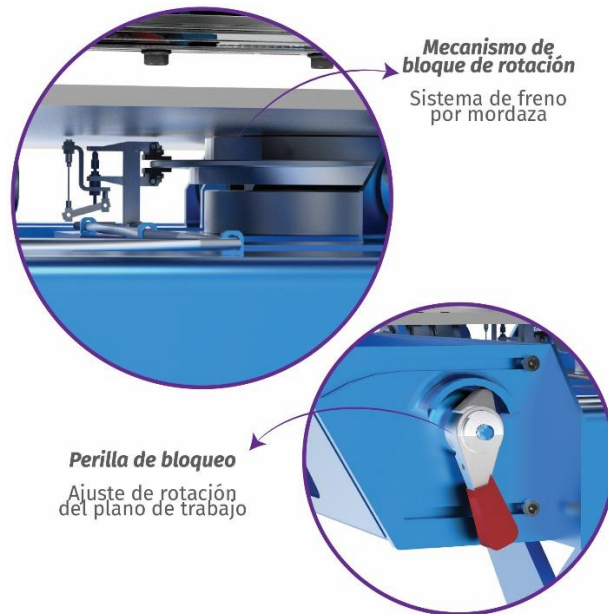


Ilustración 20 Continuación



4.4.2 Arquitectura de la Solución final La propuesta final cumple con las necesidades y requerimientos que se definieron para dar inicio al proceso creativo de soluciones. Dando como resultado una estación de mantenimiento con diseño modular que permite ser configurada a las dimensiones de las herramientas instrumentadas ILI de 10, 12 y 14in.

La estación de mantenimiento está constituida por uno o más módulos denominado subestación que mediante su sistema incorporado de movilización por ruedas se alinean a lo largo de un riel que está ubicado a nivel del suelo, cada subestación tiene un sistema independiente para ajustar la altura y rotación del plano de trabajo, ajustar los apoyos y giro para cada cuerpo de la herramienta instrumentada ILI (Ver Ilustración 114). Aspectos que facilitan y reducen notoriamente la dificultad de realizar las manipulaciones (girar, trasladar, rotar) que hace el operario para llevar a cabo los distintos mantenimientos sobre el banco actual. Lo cual, además de constituir la realización de actividades innecesarias, también es una reducción

considerable en el riesgo de adopción de posturas críticas para el sistema musculoesquelético.

La subestación de mantenimiento se divide en cinco sistemas los cuales son: sistema de rotación, sistema de apoyos, sistema estructural, sistema de accionamiento hidráulico y sistema de desplazamiento (Ver Ilustración 113). Para seleccionar los materiales de cada sistema se tuvo en cuenta las fuerzas a las que va estar sometido, su función y el ambiente de exposición. De manera general teniendo en cuenta que la estación de mantenimiento debe tener una larga vida útil y además en menor medida tendrá contacto con petróleo y sus derivados; se requiere el uso de materiales con excelentes propiedades anticorrosivas y mecánicas para resistir las diferentes fuerzas (tensión, compresión y flexión) a las que va estar sometido por el elevado peso de los cuerpos de las herramientas instrumentadas ILI. En el capítulo 5, se realiza una descripción a mayor detalle de los materiales utilizados para cada componente. A continuación de la Ilustración 115 a la Ilustración 119 , se presentan los planos de cada sistema.

Ilustración 113 Subestación de mantenimiento con sus respectivos sistemas

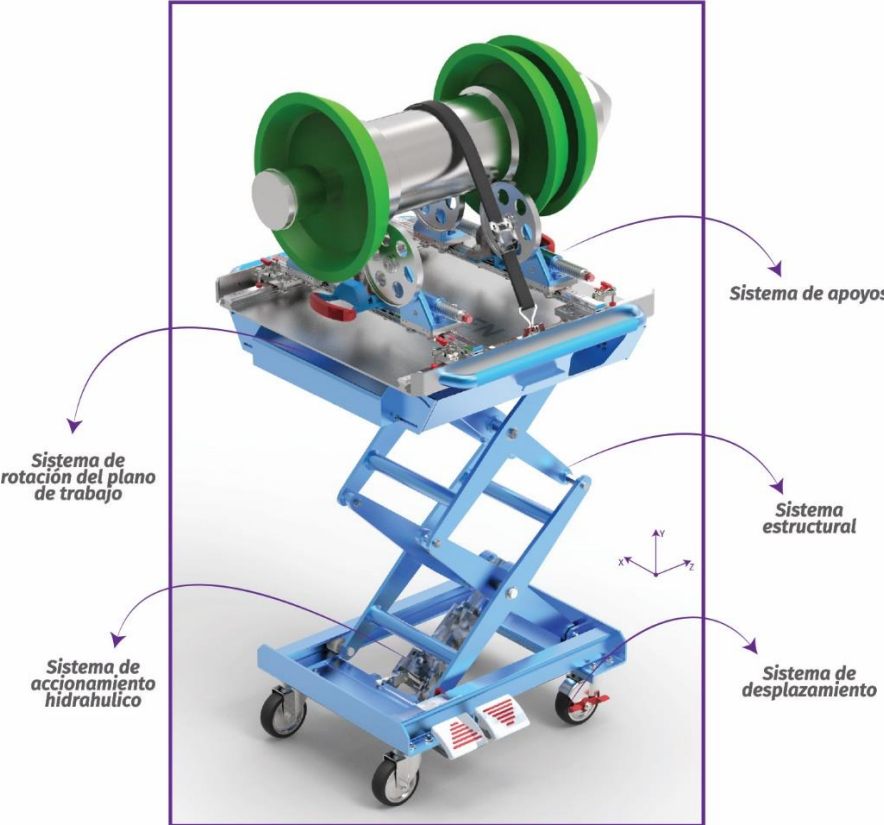
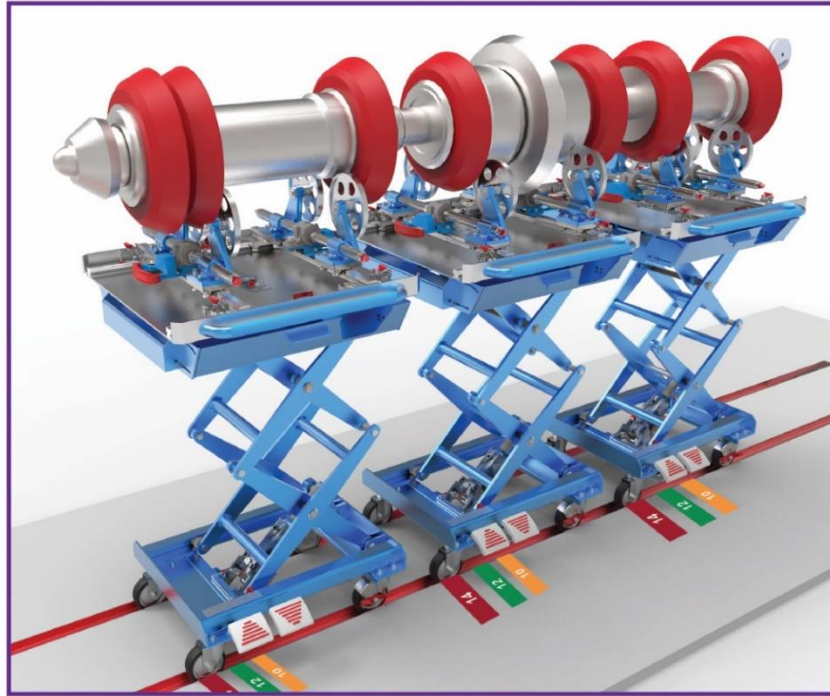
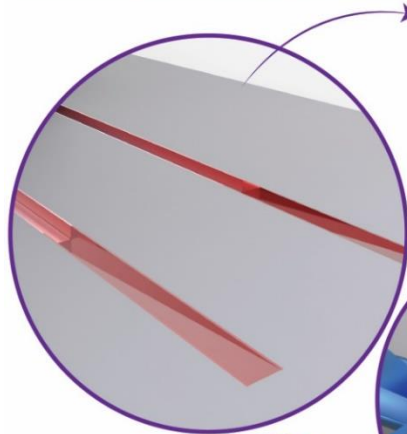


Ilustración 114 Estación de mantenimiento sobre el riel



Riel a nivel de suelo

Sistema de riel a nivel de suelo con rampa en la dos terminales del riel con el fin de facilitar encajar la subestación con mayor flexibilidad del riel



Señalización para ubicar subestaciones

Franjas de colores para identificar la posición de cada módulo respecto las dimensiones de la herramienta ILI.

*La colorimetría la usada por la ROSEN

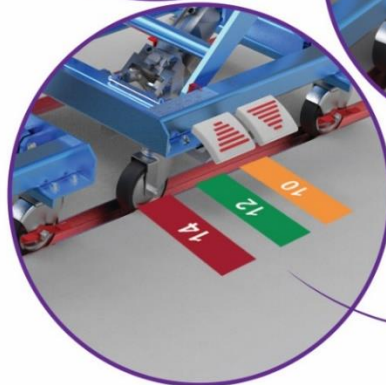
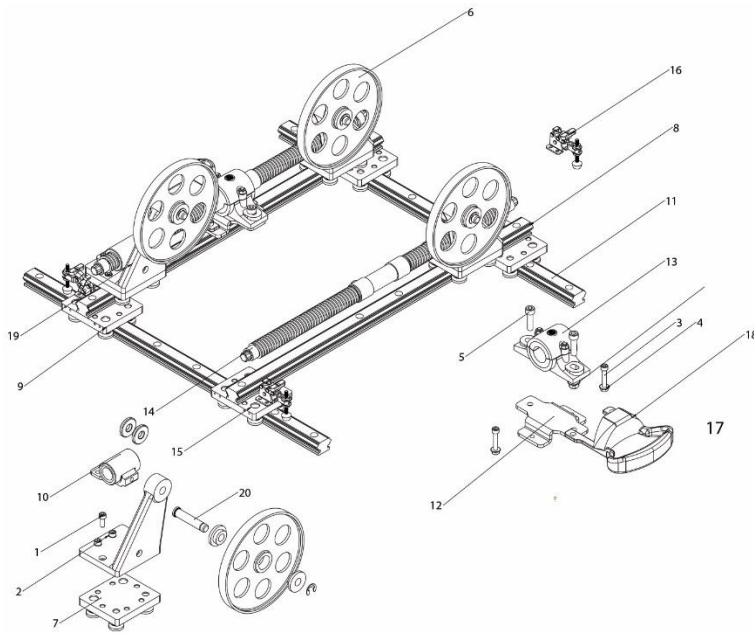
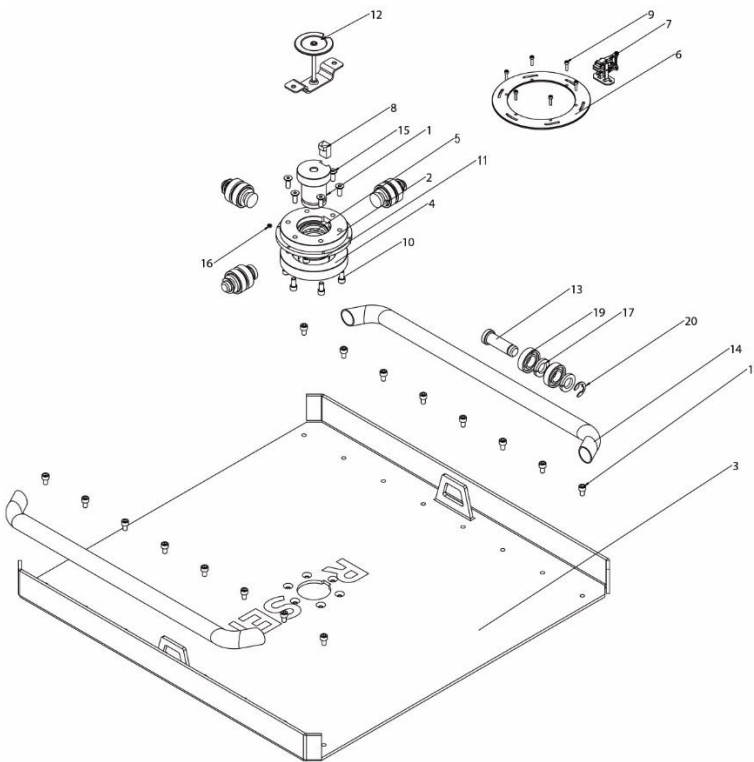


Ilustración 115 Sistema de apoyos



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA
1	Bristol M6x1.0x16
2	Bristo M6x1.0x35
3	Bristol M6x1.0x35
4	Tuerca M6x1
5	Bristol M8x1.25x30
6	Sop_rueda
7	Apoyo_des1
8	Riel1
9	Apoyo_des2
10	Adap_tornillo
11	Riel 2
12	Plat_soporte
13	6359K37
14	Tom_potencia_1in
15	Apoyo_des3
16	Clamp_bloqueo
17	Tuerca_S-M8
18	Manija_riel
19	Simsop_rueda1
20	Simsop_rueda2

Ilustración 116 Sistema de rotación del plano de trabajo



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA
1	Eje
2	Disco_rod2
3	Soporte de bandeja
4	Disco_rod1
5	SKF-51207-12.DE.NC.12_68
6	disco
7	Freno de disco
8	Chaveta
9	Bristol M3x0.5x121
10	Bristol 0.25x20x0.5
11	Retenedor DIN6799-19
12	Aguja angular
13	Eje_roda
14	BARRA_MANIJA
15	Tomillo_avellanad_M6 x1.0x16
16	Tuerca M3x0.5
17	Arandela_0.625
18	Bristol M6 x 1.0 x 10
19	SKF-6003
20	RetenedorDin 6799_12

Ilustración 117 Sistema estructural

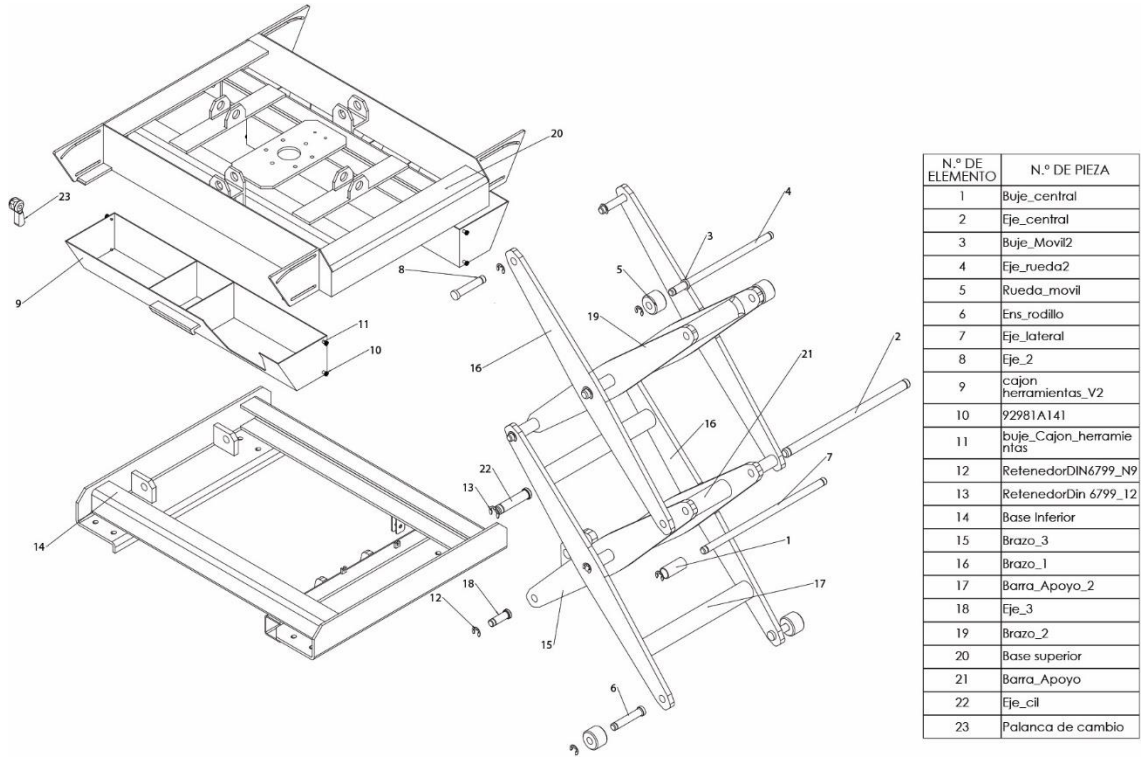


Ilustración 118 Sistema hidráulico

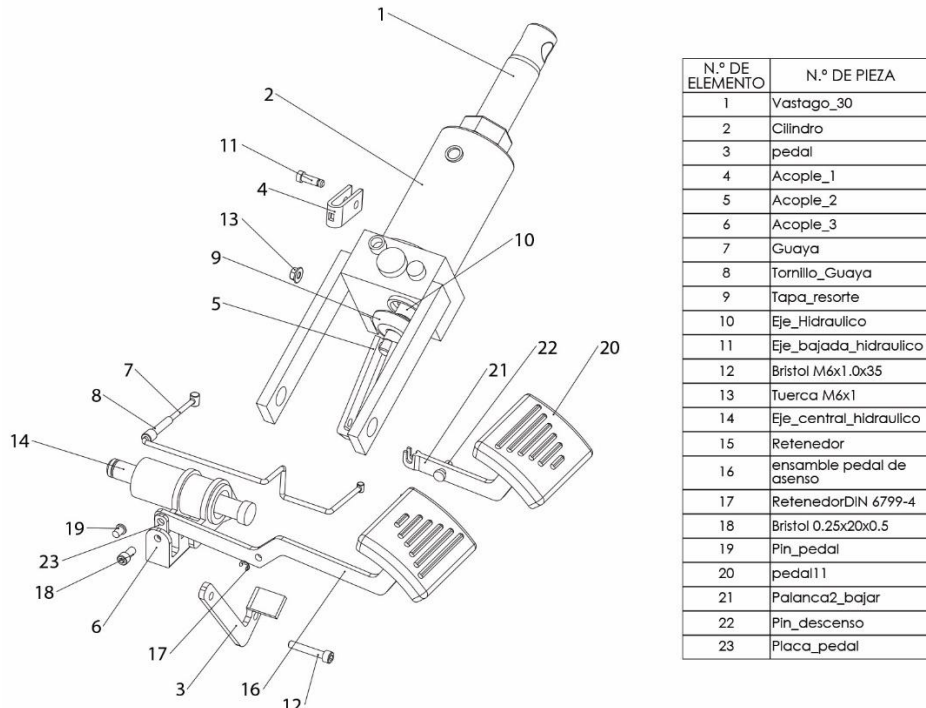
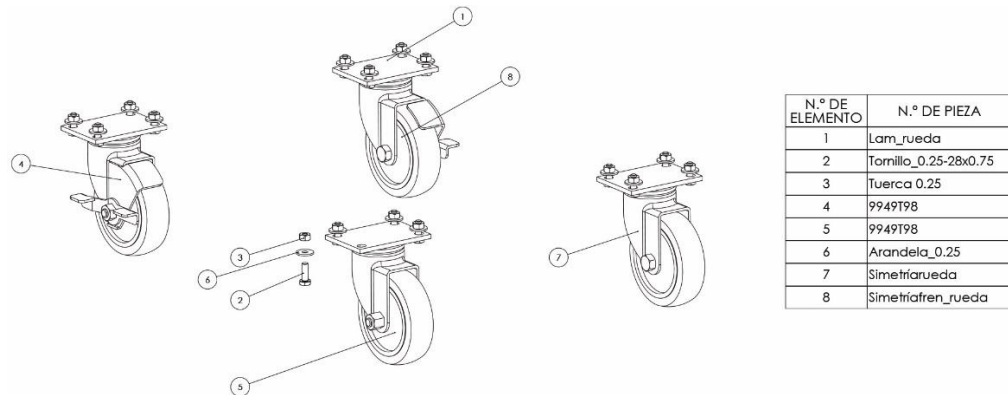


Ilustración 119 Sistema de desplazamiento



Como se puede observar en los despieces de los sistemas, las sujeciones entre los elementos se realiza mediante tornillería brístol, lo cual garantiza que la totalidad de las piezas sean desmontables para realizar los mantenimientos de la subestación, por otro lado el uso de componentes normalizados garantiza calidad y un ahorro considerable en la realización de pruebas de desempeño.

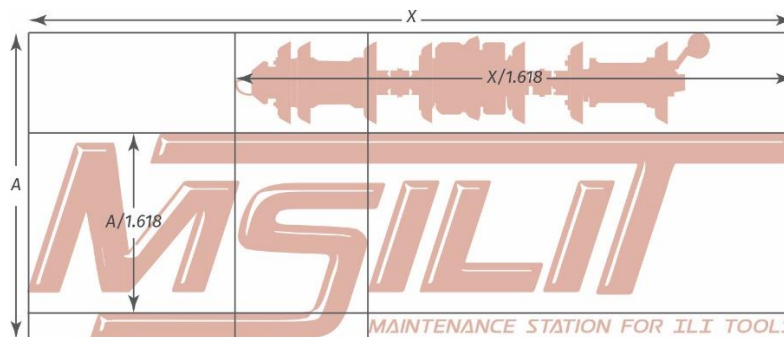
Imagen del producto

Para desarrollar una imagen de producto, que representa la estación de mantenimiento y la marca ROSEN, se realizaron una serie de posibles nombres y palabras que guardaran coherencia con el uso del producto y la identidad de la empresa, para ello se consultó con los miembros del área de mantenimiento y se presentaron diferentes conceptos para llegar finalmente a **MSILIT**, el cual es el acrónimo de la frase en inglés *Maintenance Station for ILI Tools*.

Ilustración 120 Isologo²⁹ del producto



Ilustración 121 Proporciones áureas de los componentes



El Isologo a desarrollar debía evocar, dinamismo, energía y reflejar a ROSEN como marca. Es por ello que se incluye la silueta de herramienta ILI y el uso del color rojo, como elementos de coherencia con la identidad corporativa de ROSEN. Para integrar los elementos se hace alusión a la función del banco de mantenimiento que es la de soportar la herramienta ILI, así que en el isologo la silueta de esta está apoyada o soporta sobre la letra “T”. Para guardar armonía entre las proporciones de los elementos que hacen parte del Isologo se usó el número dorado (1.618) como factor. (Ver Ilustración 121). La tipografía que se usó para el Isologo, fue la fuente OVER THERE modificada y para el eslogan la fuente POSTMASTER CONDENSED modificada.

²⁹ Isologo se refiere al caso donde el texto y el icono se encuentran fundidos en un solo elemento. Son partes indivisibles de un todo y sólo funcionan juntos.

Ilustración 122 Isologo en escala de grises y blanco y negro



5. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE MSILIT PARA ROSEN

5.1 VALIDACIONES ERGONÓMICAS

El objetivo principal de esta etapa fue evaluar y comparar los resultados obtenidos en la *Etapa 2: Simulación Ergonómica Virtual 3D* con el software JACK en un entorno virtual y los resultados de la aplicación *Simulación Ergonómica Virtual 3D MSILT*, con el software JACK en un entorno virtual. Validando de esta manera la viabilidad de las mejoras ergonómicas implementadas con MSILIT. A continuación se presentan los resultados de la aplicación del método OWAS, análisis de espalda baja y predicción de la fuerza estática para cada mantenimiento.

5.1.1 Simulación Ergonómica Virtual 3D MSILT

5.1.1.1 Mantenimiento de Gyro – Simulación Ergonómica MSILT

Ilustración 123 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN GYRO.

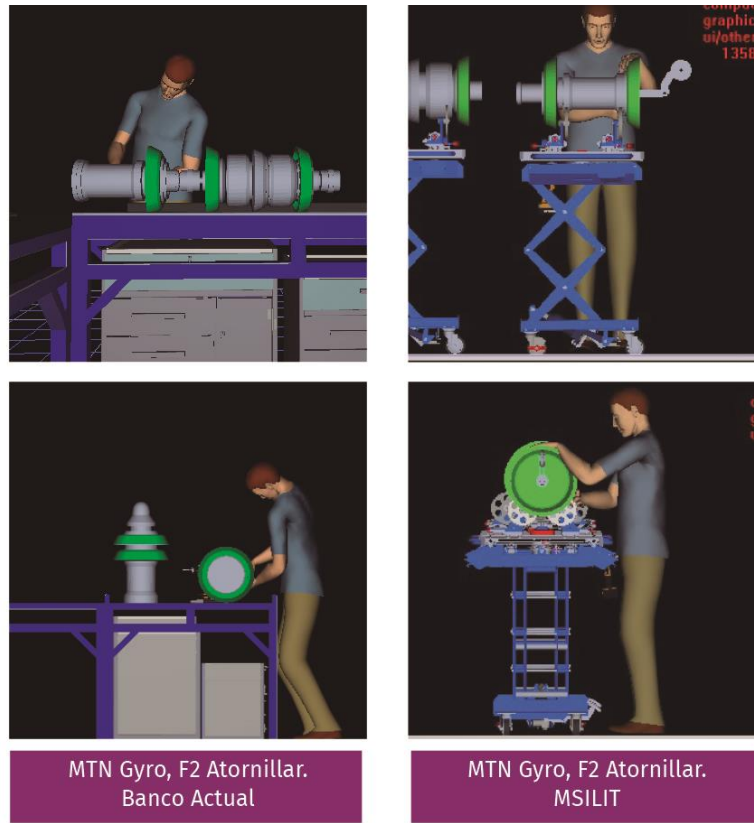
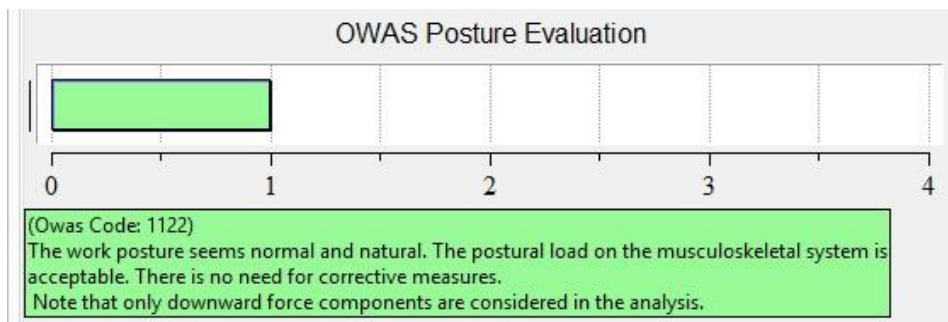


Ilustración 124 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN GYRO.



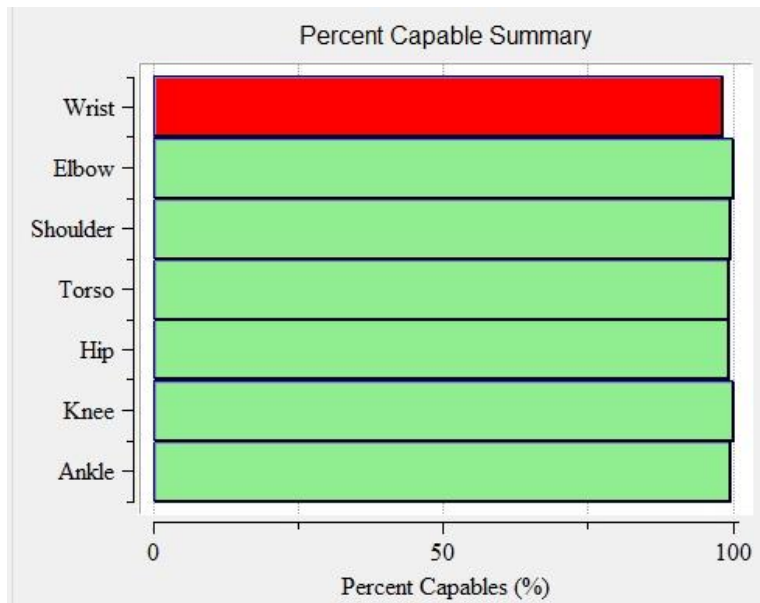
Fuente: JACK

Ilustración 125 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN GYRO.



Fuente: JACK

Ilustración 126 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN GYRO.



Fuente: JACK

5.1.1.2 Mantenimiento de Baterías – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 127 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Baterías.

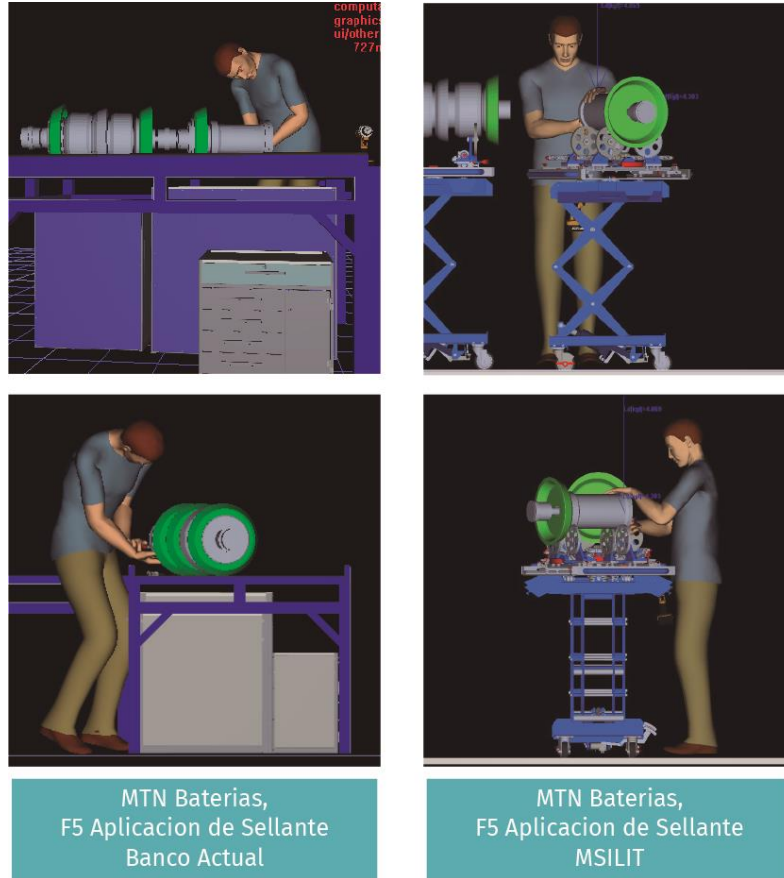
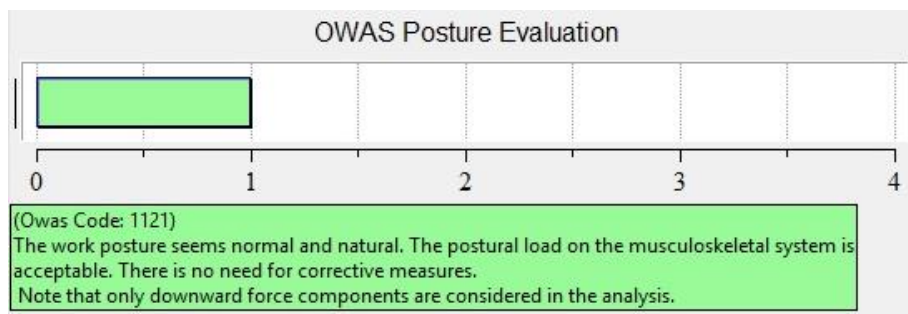
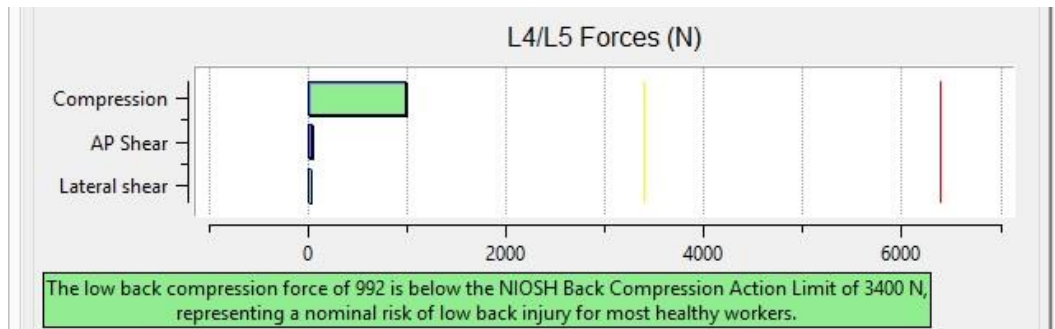


Ilustración 128 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Baterías.



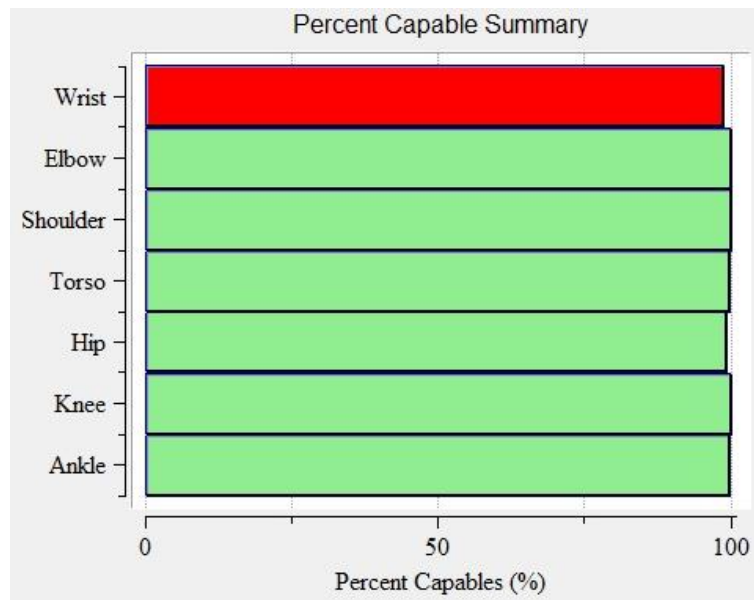
Fuente: JACK

Ilustración 129 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Baterías.



Fuente: JACK

Ilustración 130 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Baterías.



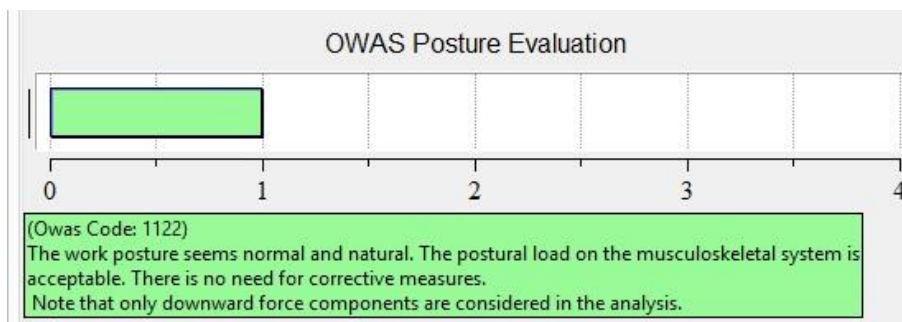
Fuente: JACK

5.1.1.3 Mantenimiento de Sensores – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 131 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Sensores.

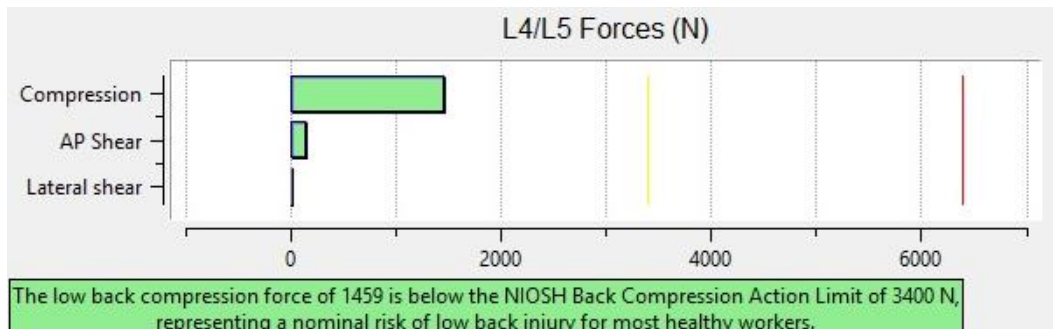


Ilustración 132 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Sensores.



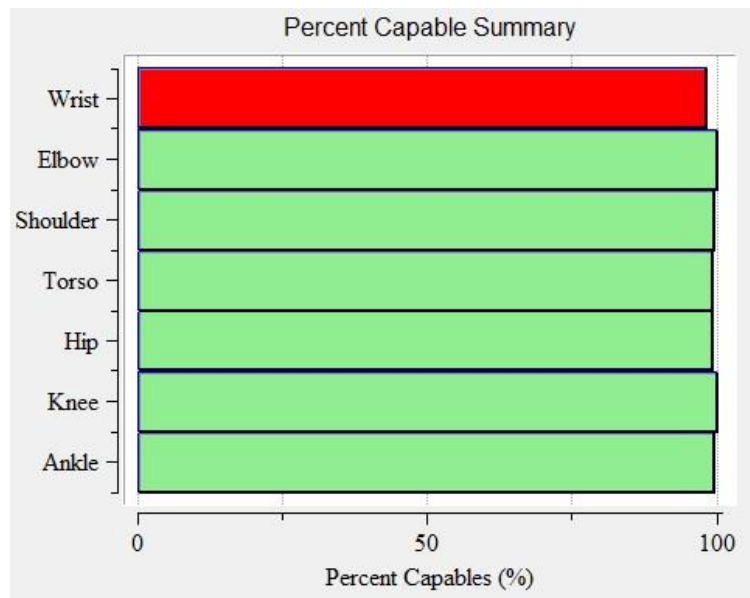
Fuente: JACK

Ilustración 133 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Sensores.



Fuente: JACK

Ilustración 134 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Sensores.



Fuente: JACK

5.1.1.4 Mantenimiento de Copas – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 135 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Copas.

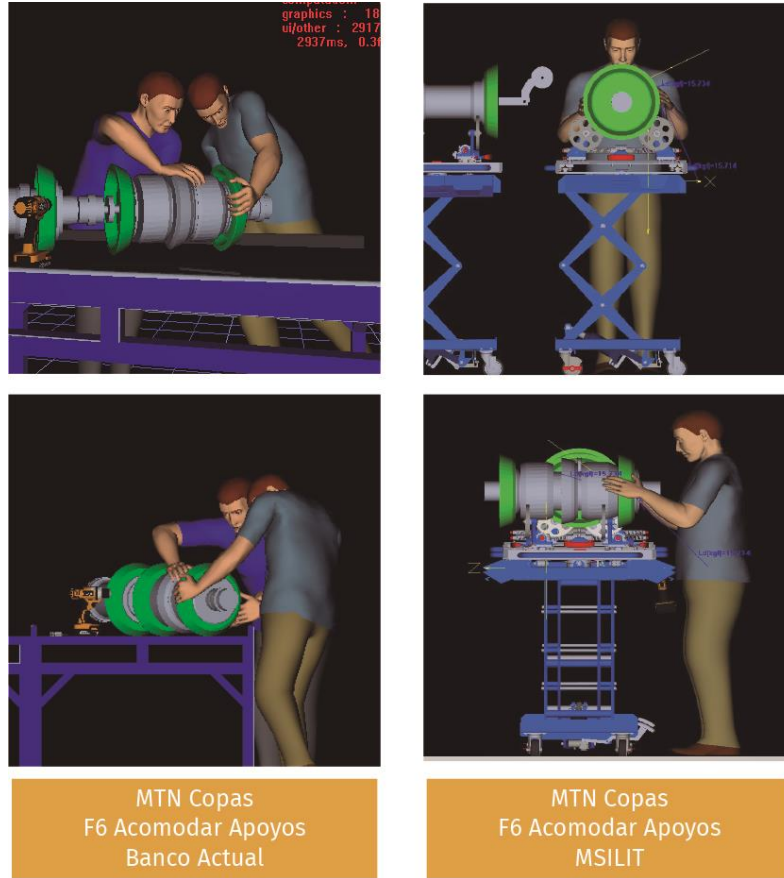
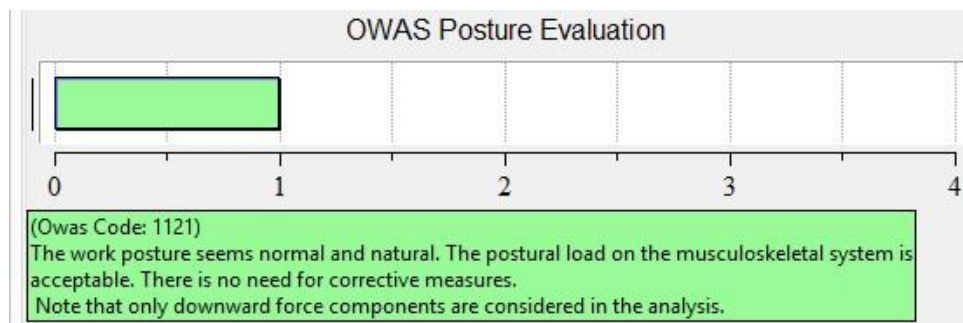


Ilustración 136 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Copas.



Fuente: JACK

Ilustración 137 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Copas.

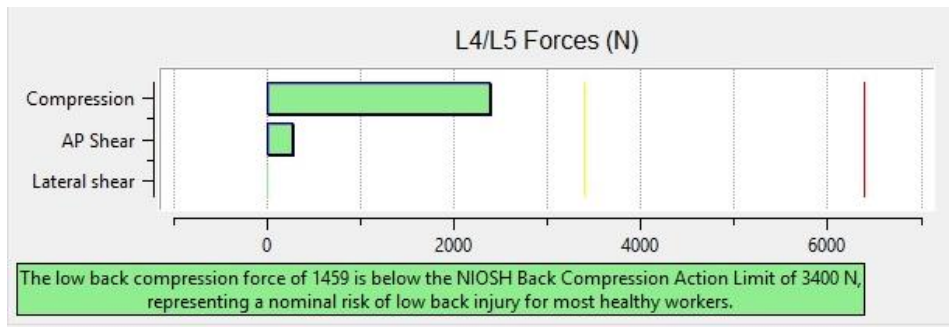
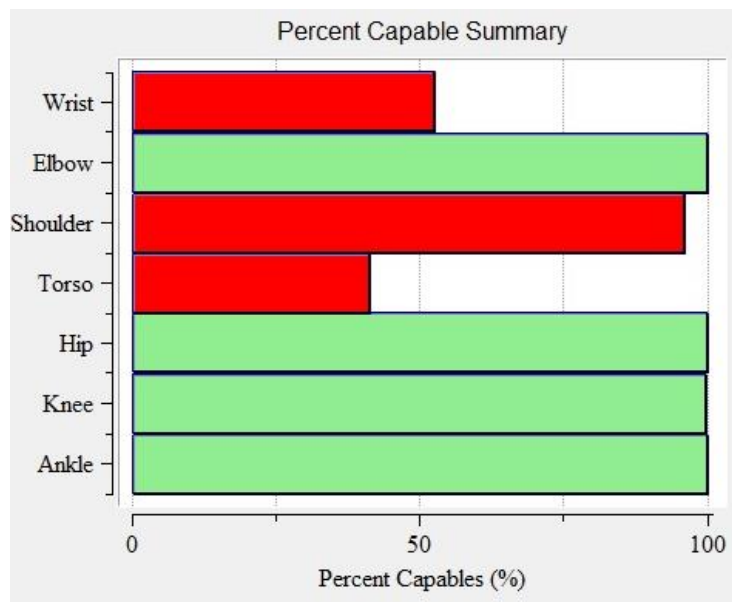


Ilustración 138 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Copas.



Fuente: JACK

5.1.1.5 Mantenimiento de Cardan – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 139 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Cardan.

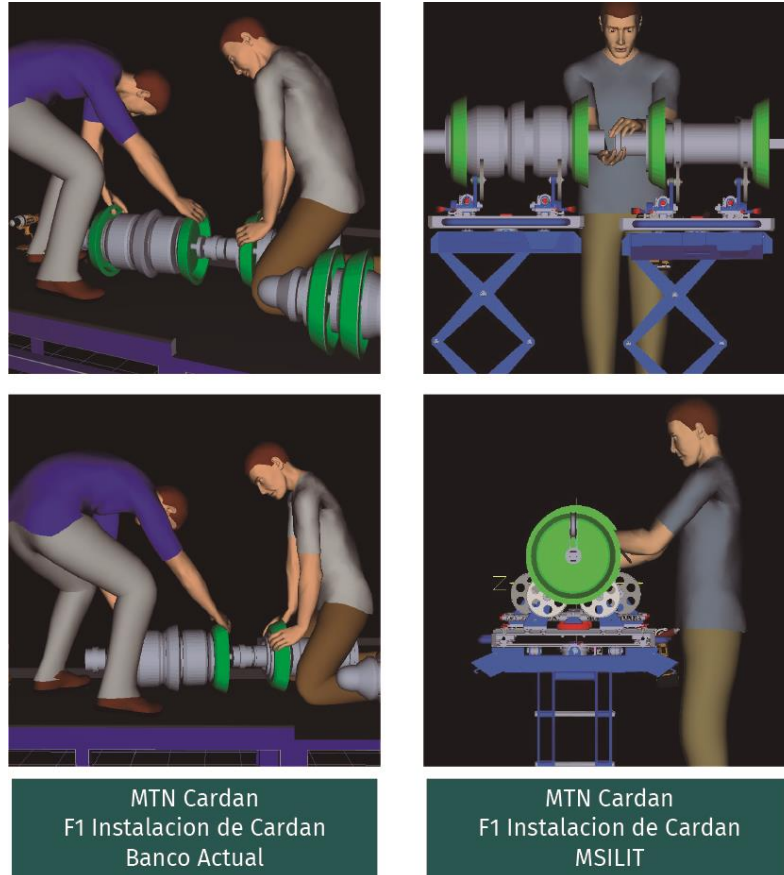
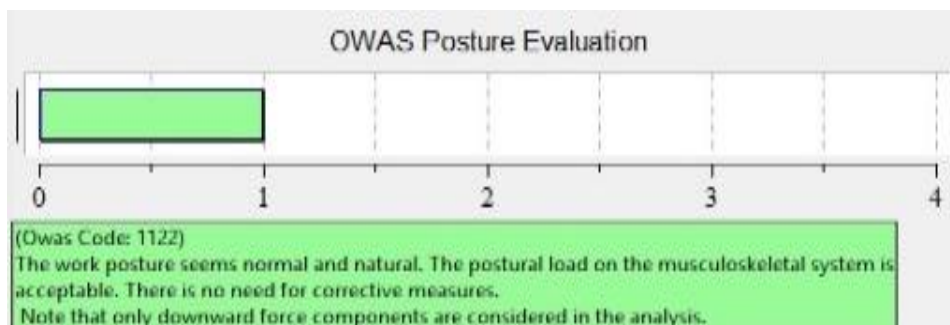
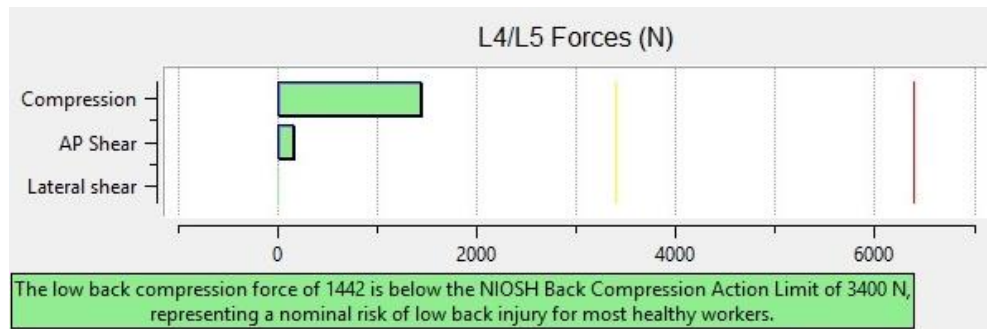


Ilustración 140 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Cardan.



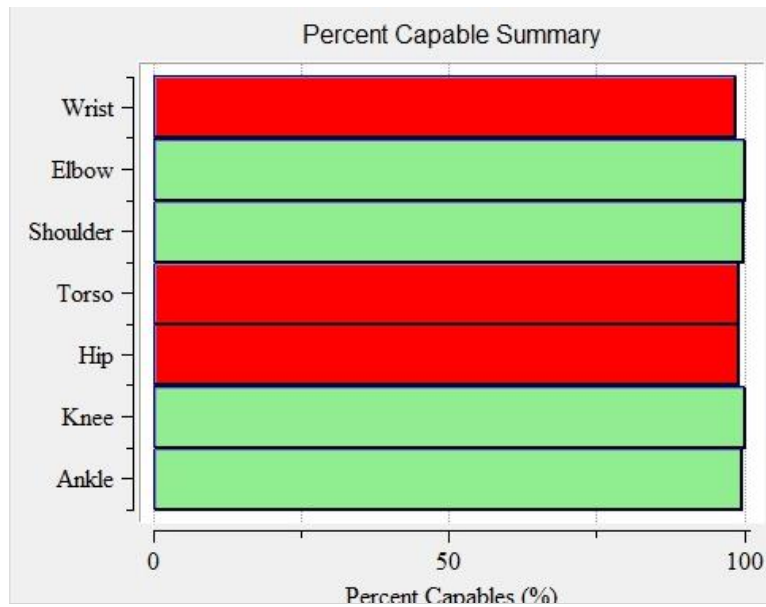
Fuente: JACK

Ilustración 141 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Cardan.



Fuente: JACK

Ilustración 142 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cardan.



Fuente: JACK

5.1.1.6 Mantenimiento de Cepillos – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 143 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Cepillos.

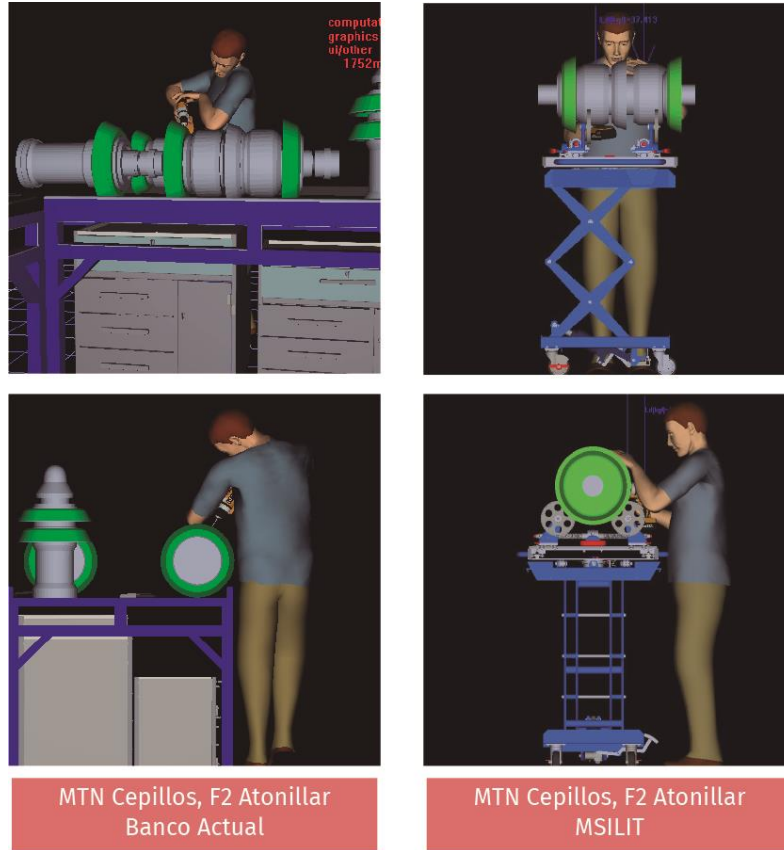
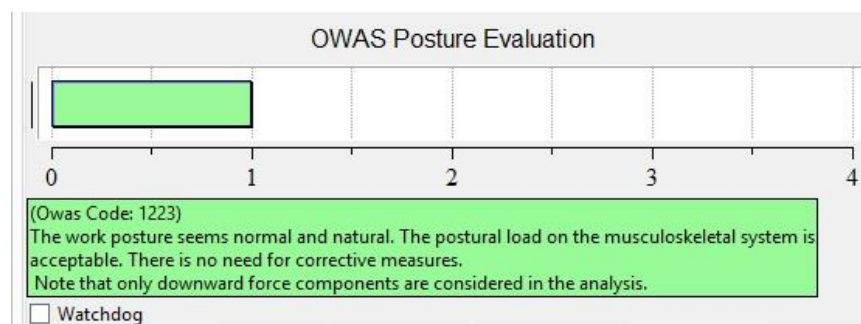
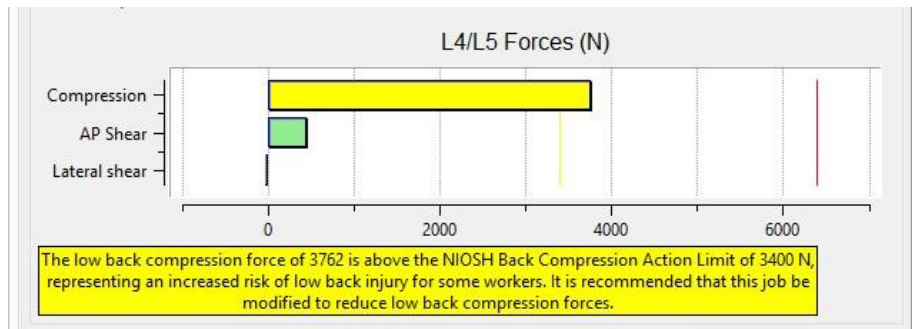


Ilustración 144 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Cepillos.



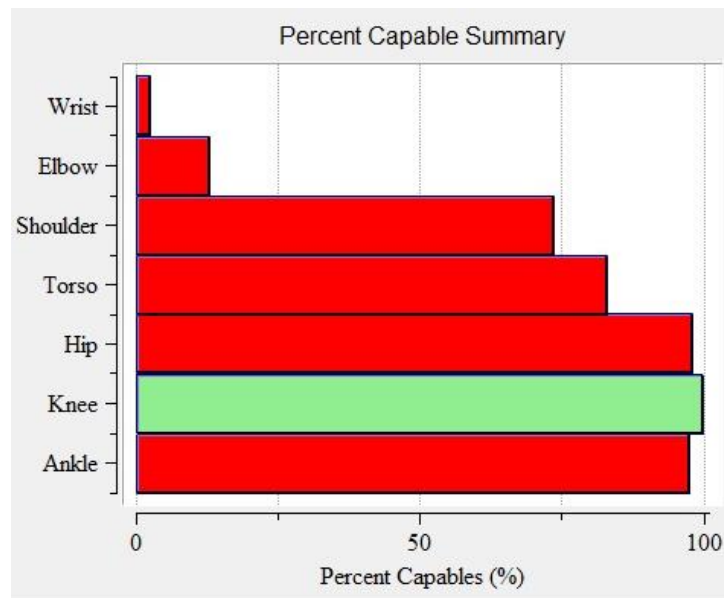
Fuente: JACK

Ilustración 145 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Cepillos.



Fuente: JACK

Ilustración 146 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Cepillos.



Fuente: JACK

5.1.1.7 Mantenimiento de Magnetos – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 147 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Magnetos.

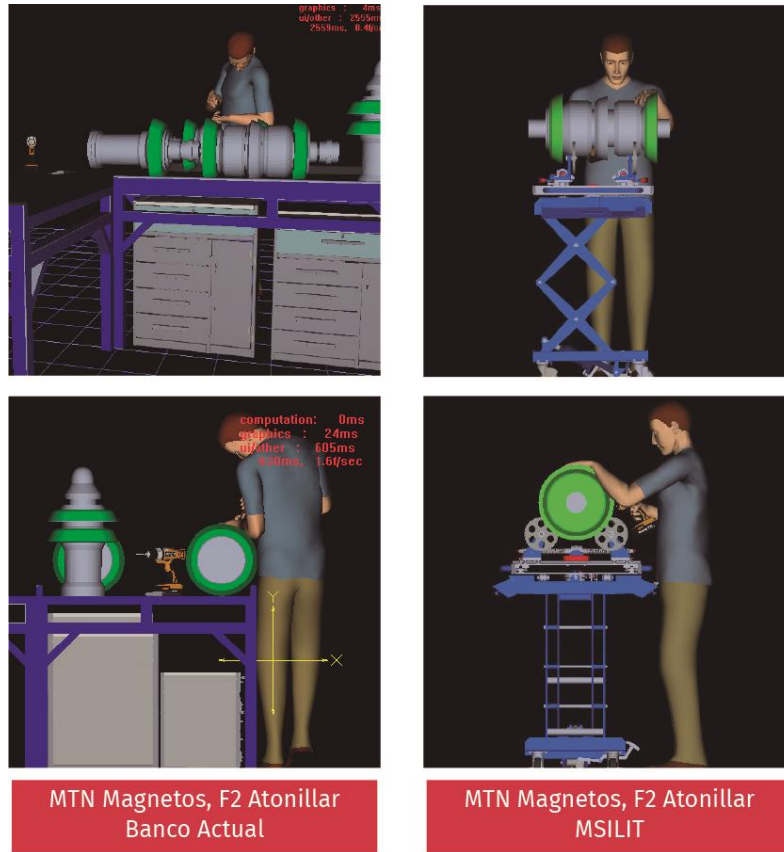
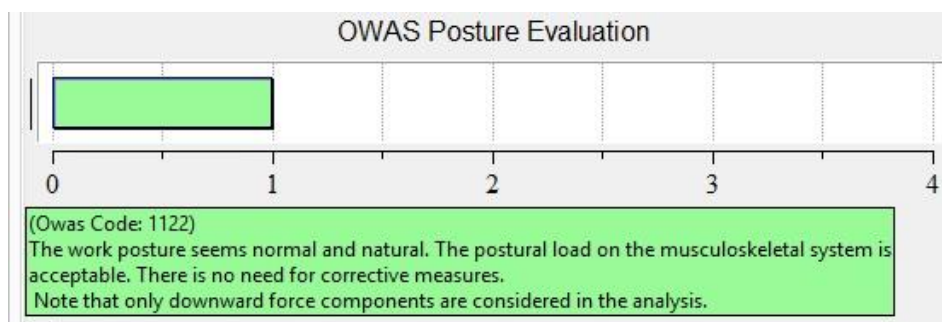
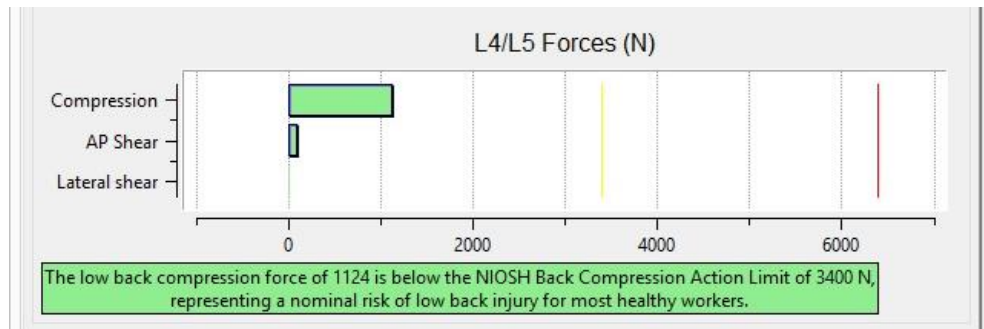


Ilustración 148 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Magnetos.



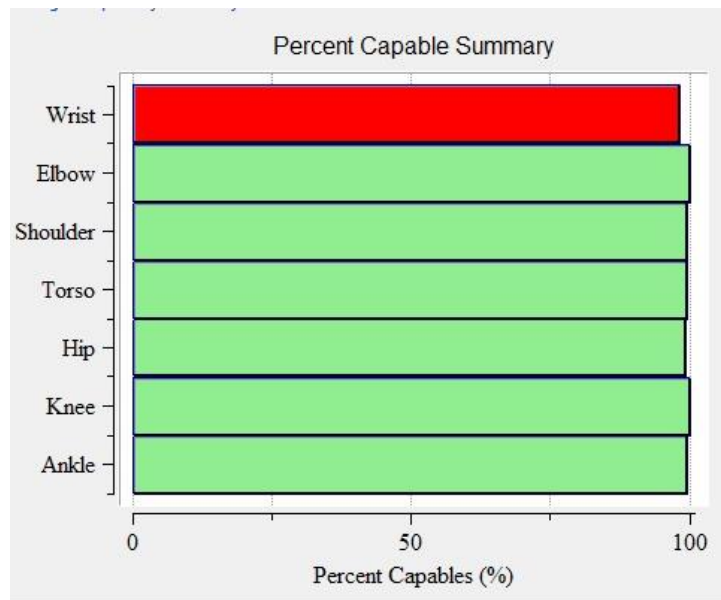
Fuente: JACK

Ilustración 149 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Magnetos.



Fuente: JACK

Ilustración 150 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Magnetos.



Fuente: JACK

5.1.1.8 Mantenimiento de Odómetro – Simulación Ergonómica MSILIT

Ilustración 151 Comparación de posturas Actual Vs MSILIT MTN Odómetro.

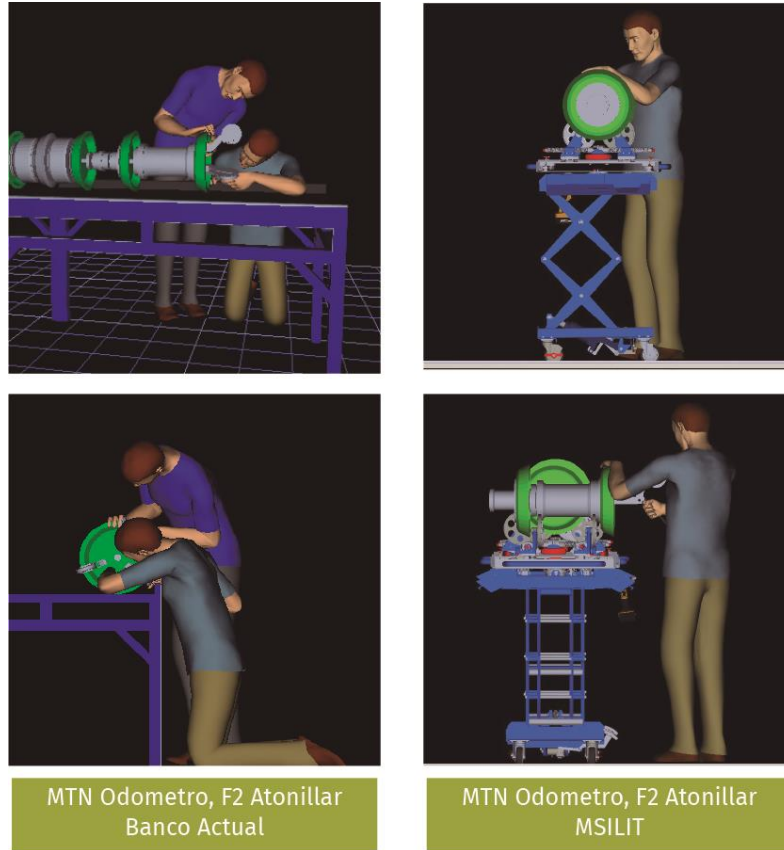
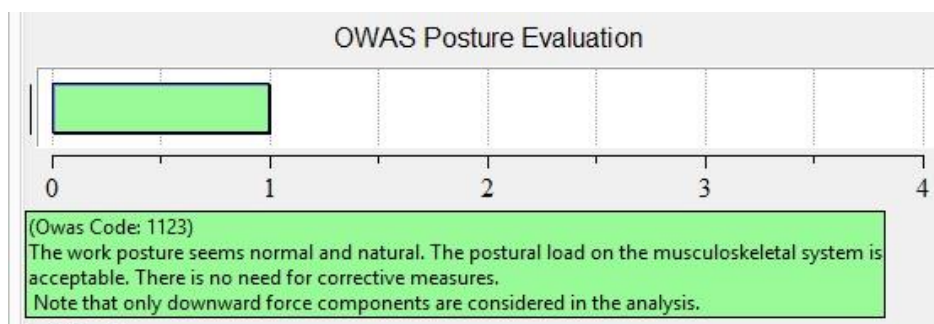
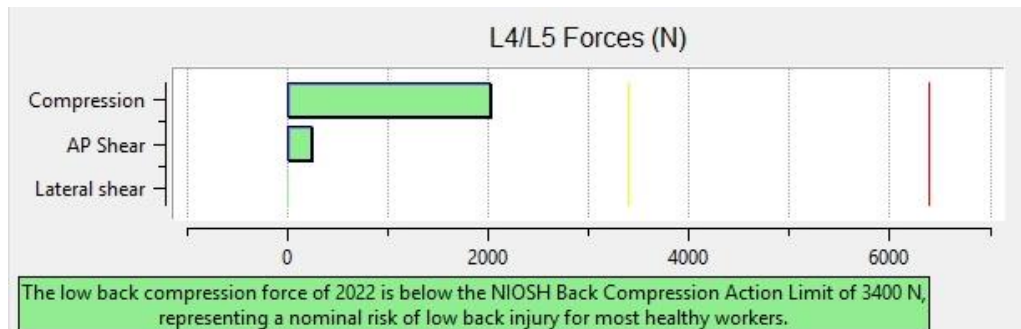


Ilustración 152 Resultado MSILIT herramienta OWAS, MTN Odómetro.



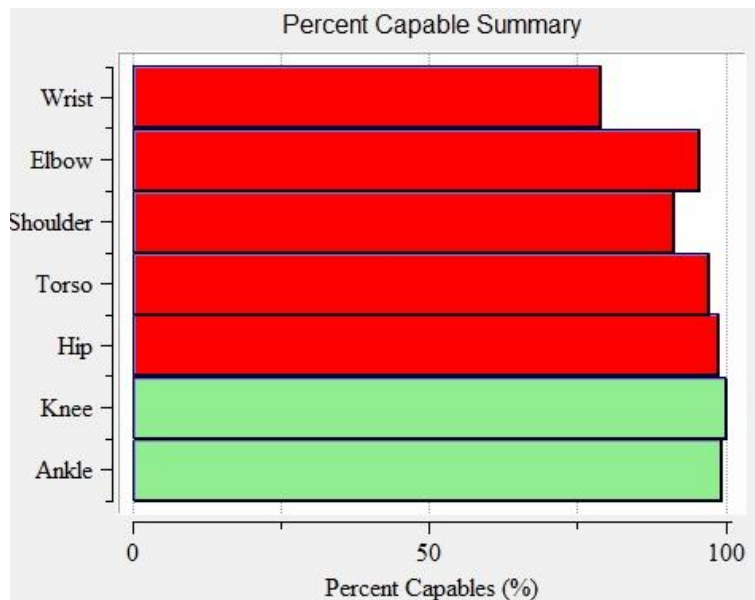
Fuente: JACK

Ilustración 153 Resultado MSILIT herramienta análisis de espalda baja, MTN Odómetro.



Fuente: JACK

Ilustración 154 Resultado MSILIT herramienta predicción de la fuerza estática, MTN Odómetro.

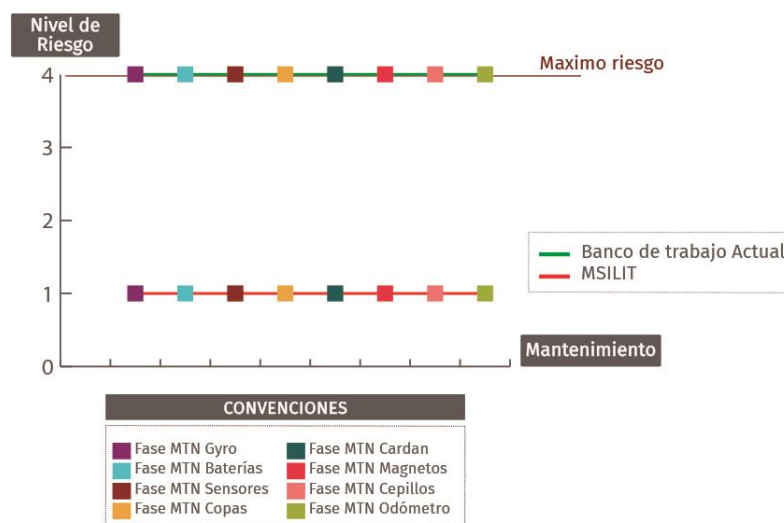


Fuente: JACK

5.1.1.9 Conclusiones Simulación Ergonómica Virtual 3D MSILIT La validación ergonómica a través de la simulación ergonómica virtual mediante el software JACK, arrojó resultados favorables para los tres análisis que se realizaron en la etapa 2 de valoración postural descrito en el diagnóstico de ROSEN del presente documento.

En la Ilustración 155, se observa los resultados obtenidos de la aplicación del método OWAS para cada mantenimiento, tanto en el banco de trabajo actual, como en la propuesta de diseño final (MSILIT). Evidenciado un resultado óptimo para MSILIT, en donde las posturas evaluadas para cada mantenimiento en el puesto de trabajo anterior tenían una penalidad de 4 (riesgo máximo) con MSILIT tiene un penalidad 1 es decir que no representa ningún riesgo para la salud.

Ilustración 155 Balance OWAS Actual Vs MSILIT.



Respecto al balance de riesgo de espalda baja representado en la Ilustración 156, se evidencia que el nivel de riesgo se sigue manteniendo en nivel medio-bajo. No obstante se considera que este resultado quedaría en nivel medio bajo donde se definirían las cargas finales que el operario manipularía con la nueva estación, ya que la propuesta era comprobar que con la misma manipulación carga y la adopción de la postura adecuada se obtendría resultados favorables para la validación de la propuesta final. Así pues se logra concretar que es viable ya que para las dos posturas evaluadas de los mantenimientos copas y cardan, que obtuvieron un riesgo alto con el banco de trabajo anterior con MSILIT, se logró un riesgo mínimo.

Ilustración 156 Balance del riesgo de espalda baja Actual Vs MSILIT.

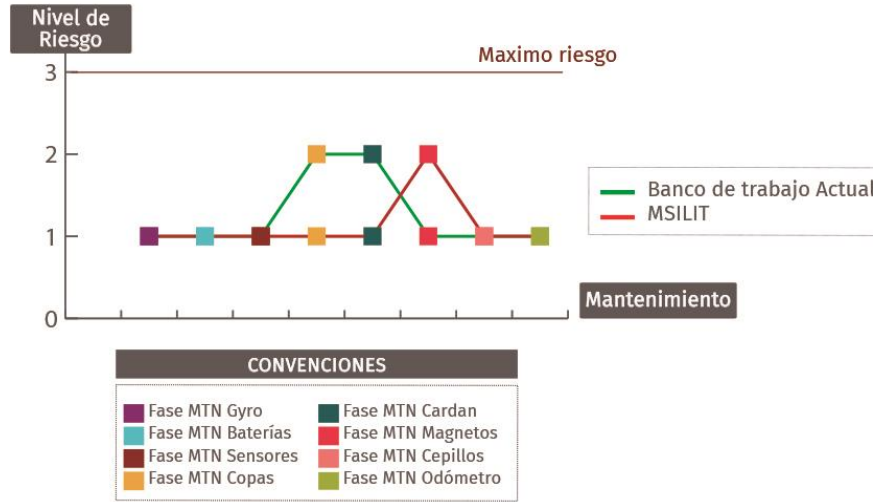
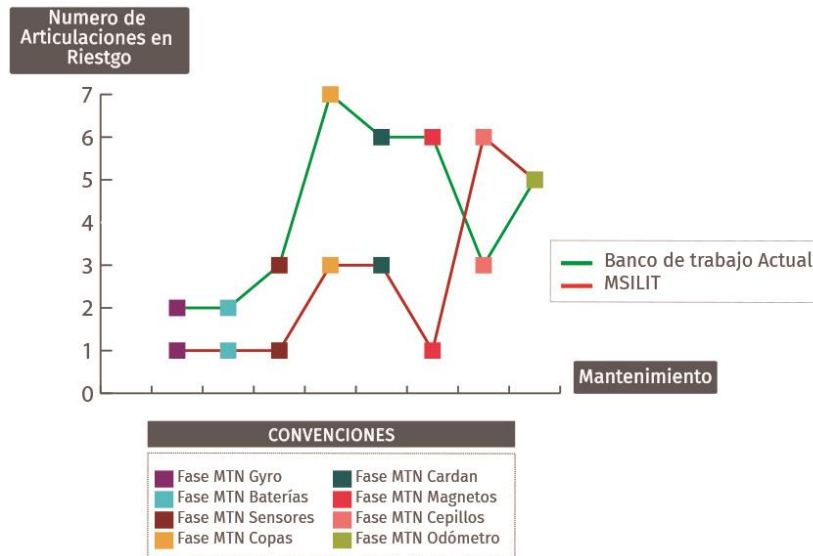


Ilustración 157 Balance de articulaciones en riesgo Actual Vs MSILIT.



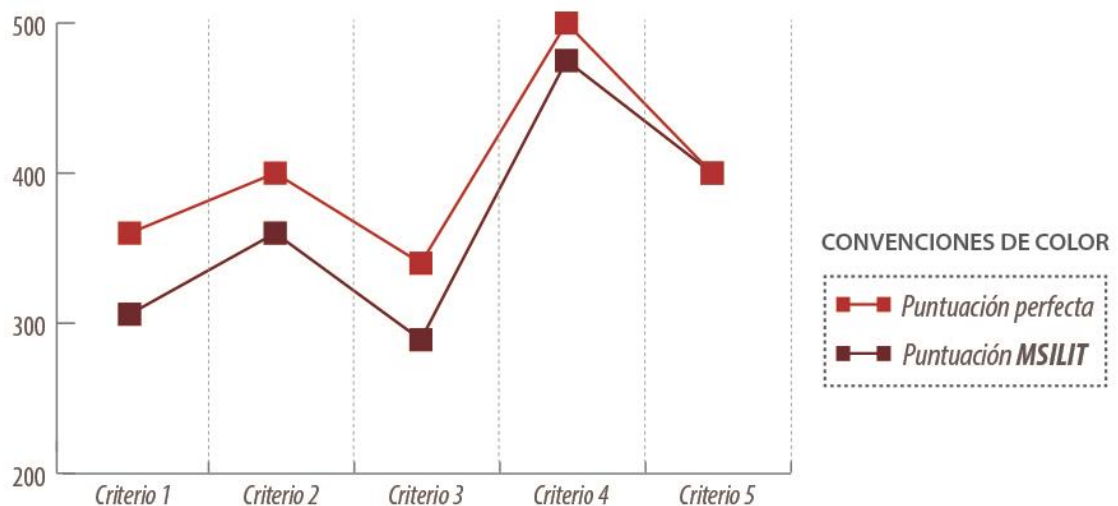
En referente al balance de articulación en riesgo se obtiene 6 articulaciones por debajo del riesgo que se tenía con el banco de trabajo actual. Resultado altamente favorable para MSILIT.

5.1.2 Evaluación por satisfacción de criterios de diseño para MSILIT La propuesta final es evaluada por los operarios a través de la satisfacción de los criterios de diseño los cuales fueron establecidos en el capítulo 4, para realizar la selección de alternativas. Para esta oportunidad se usa la misma metodología. Cada miembro del área de mantenimiento de ROSEN, evalúa en un escala ordinal de 1 a 5 el cumplimiento de MSILIT para cada criterio. Donde 1 es el más bajo y 5 el más alto cumplimiento. La tabla 67, se exponen los resultados de la evaluación para cada criterio realizada los distintos Jefe de área (Maintenance Manager) y Operarios (Tecnico de MTN).

Tabla 67 Evaluación de satisfacción de criterios de diseño para MSILIT.

CRITERIO	PESO (%)	Maintenance Manager	Técnico de MTN 1	Técnico de MTN 2	Técnico de MTN 3	Total
C1	18	5	4	4	4	306
C2	20	5	5	4	4	360
C3	17	5	5	4	3	289
C4	25	5	5	5	4	475
C5	20	5	5	5	5	400
TOTAL	100	500	482	445	403	9150

Ilustración 158 Comparación de resultados puntuación perfecta vs puntuación MSILIT.



Para la totalidad de los miembros del área de mantenimiento, el nivel de cumplimiento para cada criterio por parte de MSILIT es alto, como se puede evidenciar en la Ilustración 158, donde se muestra la comparación del puntaje perfecto y el puntaje logrado por MSILIT.

Concluyendo con esto que la propuesta final del banco de mantenimiento es viable respecto a los criterios de diseño establecidos desde el inicio del proceso de creativo y la evaluación realizada por usuarios finales obteniendo una aceptación favorable para el diseño MSILIT.

5.1.2 Evaluación por satisfacción de necesidades para MSILIT Al igual que la actividad anterior, la propuesta final es evaluada respecto a la satisfacción de las necesidades documentadas en el capítulo 3, las cuales fueron halladas y ponderada su importancia relativa por los usuarios (ver tabla 54). Además de realizar la evaluación respectiva de la propuesta final de diseño, también se realiza la misma evaluación a los productos *FRAME* y *Banco de mantenimiento actual*, descritos en el análisis competitivo del capítulo 4; para a partir de lo anterior se pueda verificar la mejor propuesta entre los tres productos evaluados.

La metodología que se usa en esta actividad es análoga al ítem 5.1.1, en esta oportunidad el Diseñador evalúa de una escala de 1 a 5, la satisfacción para cada necesidad siendo 1 el puntaje más bajo y 5 el más alto.

Tabla 68 Evaluación de satisfacción de necesidades.

NECESIDAD	% de Importancia Relativa	FRAME	BANCO DE MANTENIMIENTO ACTUAL	<u>MSILIT</u>
N1	11,18	1	1	5
N2	5,05	4	1	4
N3	5,63	3	2	5
N4	3,36	4	1	4
N5	5,38	1	1	5
N6	11,2	5	5	5
N7	1,6	1	2	4
N8	1,69	1	1	5
N9	10,32	3	4	4
N10	15,45	4	2	4
N11	5,46	4	4	4
N12	11,84	4	4	4
N13	11,84	5	4	5
<u>TOTAL</u>	100	288,34	285,86	446,92

La tabla 68, muestra los resultados que obtuvo cada producto evaluado donde se observa que el mejor puntaje corresponde MSILIT, siendo un 56% aprox. superior respecto a los otros dos productos evaluados. Concluyendo con esto que la propuesta final del banco de mantenimiento es viable respecto a la satisfacción de las necesidades de los usuarios.

5.2 ANÁLISIS Y SIMULACIÓN CAE

5.2.1 Cálculos analíticos Para el cálculo analítico se definieron las siguientes hipótesis con el fin de obtener un buen análisis para la estructura de la estación de mantenimiento MSILIT:

- El peso del sistema de apoyos se consideró sobre la estructura como una fuerza distribuida sobre las piezas que hacen contacto con ella.

- El análisis fue simplificado para disminuir cálculos, utilizando plano 2D; al considerar esto, la carga será la mitad del peso por encima del sistema elevador.
- El análisis se realizó solo para carga estática, considerando ciertas piezas empotradas.
- Se consideró como factor de seguridad 1,3 para la fuerza del cilindro.
- Se realizó el análisis de esfuerzos por la teoría de la máxima energía de distorsión (Criterio de Von Mises) para las piezas.

Los cálculos estáticos presentados a continuación fueron desarrollados de manera analítica y teniendo en cuenta la complejidad de los mismos su solución se da mediante introducción de los datos analíticos al software Engineering Equation Solver (EES)³⁰ en su versión académica. La tabla 69, presenta los datos de entrada que se tuvieron en cuenta para la solución de los cálculos estáticos en el software EES del subestación (módulo) de mantenimiento.

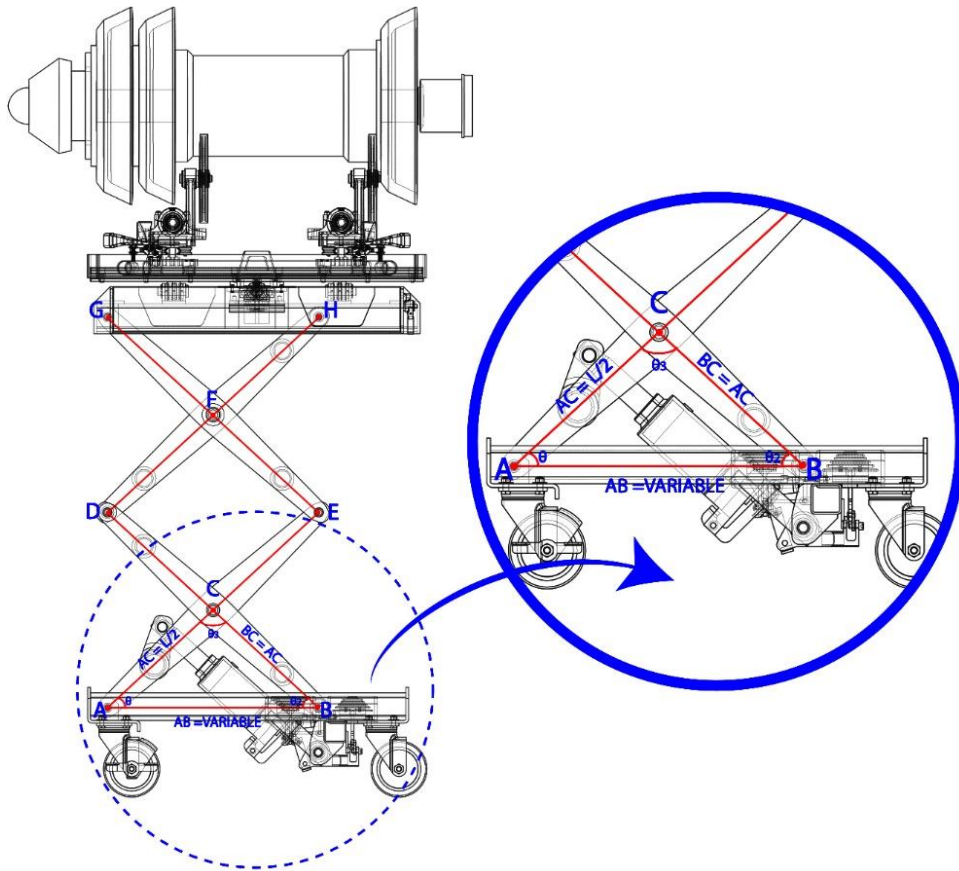
Tabla 69 Datos de entrada para ecuaciones estáticas.

Ítem	Variable	Valor	Unidad	Descripción
1	$M_{Workstation}$	121,77	Kg	Masa del Workstation o subestación
2	M_{pig14}	250	Kg	Masa de la herramienta ILI de 14in o PIG 14in
3	M_{AB}	56,756	Kg	Masa del conjunto de sistemas A y B
4	$M_{Barra_{GE}}$	4,5767	Kg	Masa de la Barra GE
5	$M_{Barra_{HD}}$	4,7244	Kg	Masa de la Barra HD
6	$M_{Barra_{DB}}$	5,0797	Kg	Masa de la barra DB
7	$M_{Barra_{EA}}$	7,6333	Kg	Masa de la barra EA
8	G	9,81	m/s ²	Gravedad
9	L	0,52	m	Longitud total entre los agujeros de una barra

³⁰ Software Engineering Equation Solver, es un paquete de software comercial utilizado para la solución de sistemas de ecuaciones no lineales simultáneas. Fuente: 44. F-Chart Software, L. *Engineering Equation Solver (EES)*. 2015 [cited 2015 Septiembre]; Available from: <http://www.fchart.com/ees/>.

Ítem	Variable	Valor	Unidad	Descripción
10	L_{XPIG}	0,23645	m	Longitud del centro de masa del PIG14 al punto A en la dirección X
11	L_{CW}	0,25345	m	Longitud del centro de masa del Workstation - ILL al punto A en la dirección X
12	L_{XAB}	0,27421	m	Longitud del centro de masa del conjunto de sistemas A y B, hasta el punto G
13	L_{DW}	0,25772	m	Longitud del centro de masa de la barra GE al punto D
14	L_{AW}	0,22221	m	Longitud del centro de masa de la barra al punto A
15	AZ_X	0,38090504	m	Componente X de la longitud de AZ, valor conocido por la estructura fija
16	AZ_Y	0,0808033	m	Componente Y de la longitud de AZ, valor conocido por la estructura fija
17	AI	0,17640198	m	Distancia AI, es la distancia del punto A al punto I, donde se encuentra el eje del cilindro
18	θ	42,7321757	°	Ángulo de inclinación de la barra principal para dar altura a la estructura del Workstation
19	β_2	13,0420507	°	Ángulo conocido por la estructura fija, este ángulo se forma entre el ángulo variable Theta y la posición fija entre AI
20	α	0,86438498	°	Ángulo formado entre la posición del centro de masa de la barra hacia el punto A

Ilustración 159 Posicionamiento de las barras según el ángulo de inclinación.



Para hallar la magnitud de la distancia variable entre los puntos A-B, en función del ángulo “ θ ” (Ver Ilustración 159) se estable mediante la ley de cosenos y senos las siguientes ecuaciones:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2 - 2 * AC * BC * \text{Cos}(\theta_3) \quad \text{"Ec. 1"}$$

$$\frac{\sin(\theta)}{BC} = \frac{\sin(\theta_2)}{AC} \quad \text{"Ec. 2"}$$

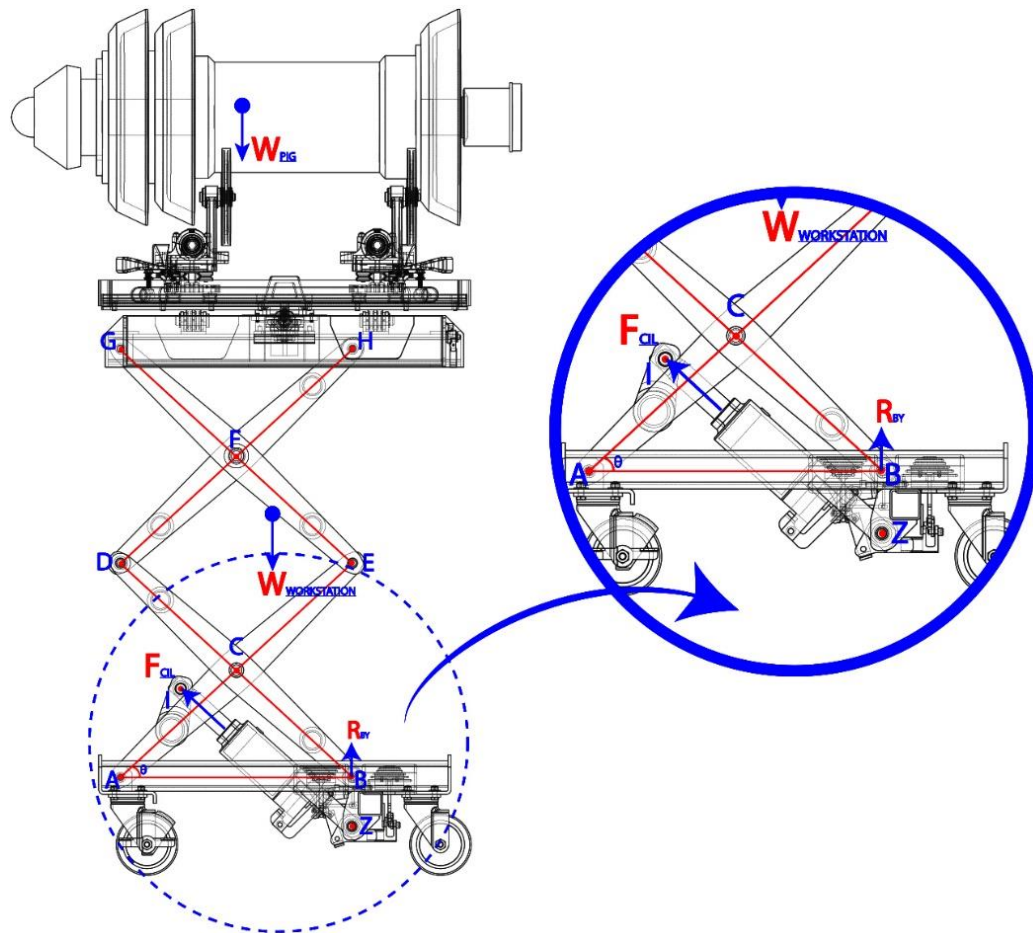
$$\theta + \theta_2 + \theta_3 = 180 \quad \text{"Ec. 3"}$$

$$AC = \frac{L}{2} \quad \text{"Ec. 4"}$$

$$BC = AC \quad \text{"Ec. 5"}$$

$$GH = AB \quad \text{"Ec. 6"}$$

Ilustración 160. DCL de la estructura para calcular la fuerza mínima del cilindro.



En el análisis de la subestación de mantenimiento con el peso del PIG14in se calculó la fuerza mínima del cilindro en el instante de levantamiento de la carga (Ver Ilustración 160).

$$R_{BY} = 0$$

"Ec. 7"

Asumiendo que la reacción en el punto B es cero en el instante en que la fuerza mínima del cilindro actúa para elevar la carga, se obtienen las siguientes ecuaciones:

"Sumatoria de Momentos en A – $\Sigma MA = 0$ "

$$-W_{pig} * L_{XPIG} - W_{Workstation} * L_{CW} + R_{BY} * AB + F_{min_x} * AI * \sin(\alpha_2) + F_{min_y} * AI * \cos(\alpha_2) = 0 \text{ "Ec. 8"}$$

"Peso del PIG14"

$$W_{pig} = M_{pig14} * G \text{ "Ec. 9"}$$

"Peso del Workstation III"

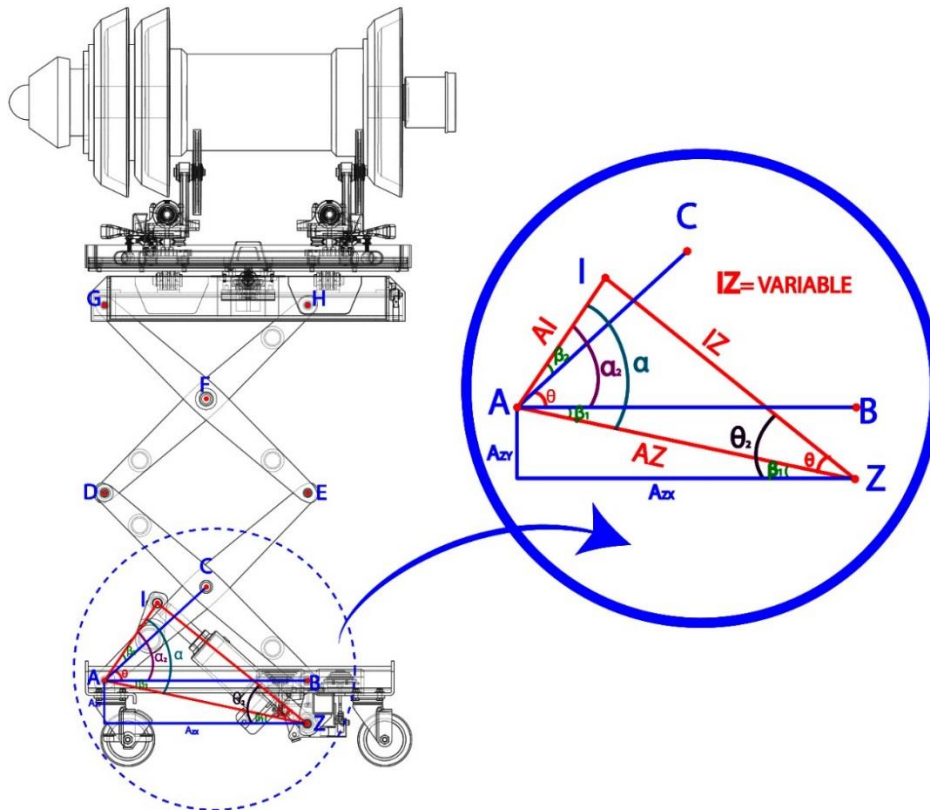
$$W_{Workstation} = M_{Workstation} * G \text{ "Ec. 10"}$$

"Componentes de las fuerzas minimas del cilindro en X y Y"

$$F_{min_x} = F_{min} * \cos(\phi_2) \text{ "Ec. 11"}$$

$$F_{min_y} = F_{min} * \sin(\phi_2) \text{ "Ec. 12"}$$

Ilustración 161 Posición de piezas en función de los ángulos y longitudes variables.



Para determinar la magnitud de la distancia variable "IZ" (Ver Ilustración 161) en función del ángulo "θ" se tienen las siguientes ecuaciones:

"Ángulo entre la componente X y Z de AZ"

$$\tan(\beta_1) = \frac{AZ_Y}{AZ_X} \quad \text{"Ec. 13"}$$

"Distancia AZ"

$$AZ = \frac{AZ_X}{\cos(\beta_1)} \quad \text{"Ec. 14"}$$

"Ángulo formado por AI y AZ"

$$\alpha = \beta_1 + \beta_2 + \theta \quad \text{"Ec. 15"}$$

"Distancia IZ, es una distancia variable según la posición del cilindro, se calcula por ley de cosenos"

$$IZ^2 = AI^2 + AZ^2 - 2 * AI * AZ * \cos(\alpha) \quad \text{"Ec. 16"}$$

"Ángulo ø, calculado por ley de seno"

$$\sin(\theta) = \frac{AI * \sin(\alpha)}{IZ} \quad \text{"Ec. 17"}$$

$$\theta_2 = \theta + \beta_1 \quad \text{"Ec. 18"}$$

"Ángulo formado por la posición de AI"

$$\alpha_2 = \beta_2 + \theta \quad \text{"Ec. 19"}$$

Teniendo en cuenta que el factor de seguridad para la elevación de la estructura es FS=1,3 establecido anteriormente en la formulación de las hipótesis, tenemos las siguientes ecuaciones para la fuerza del cilindro:

"Factor de seguridad para la estructura"

$$FS = 1,3 \quad \text{"Ec. 20"}$$

"Fuerza del cilindro"

$$F_{Cil} = FS * F_{min} \quad \text{"Ec. 21"}$$

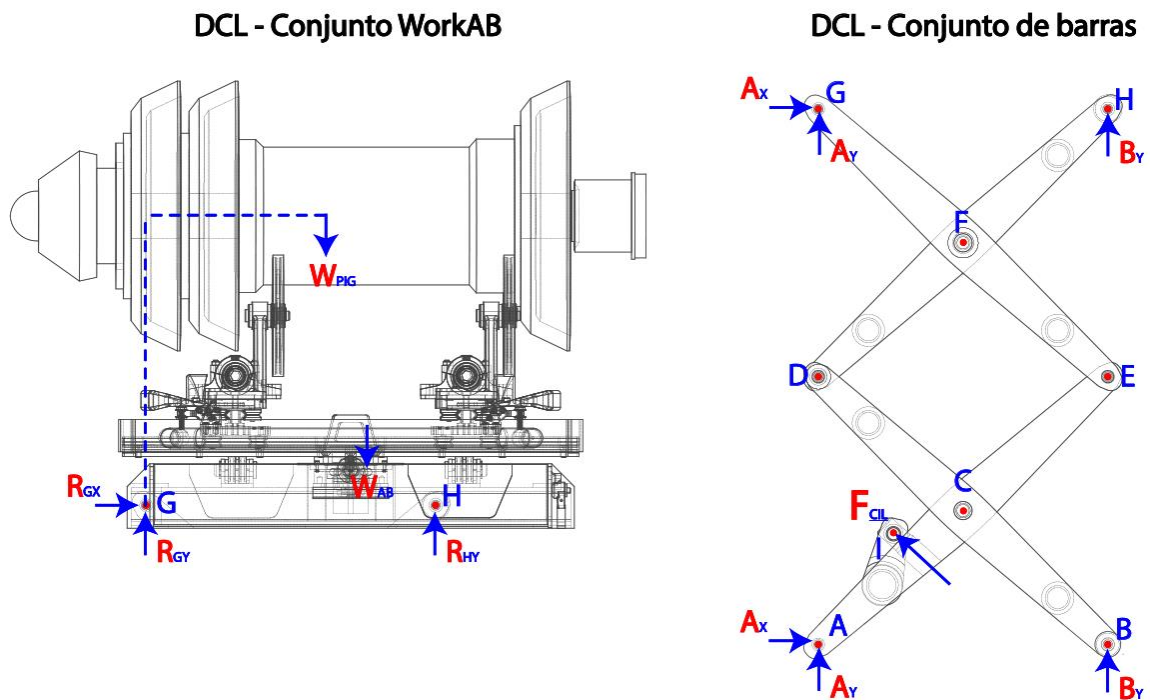
"Componentes de la fuerza del cilindro"

$$F_{Cil_x} = F_{Cil} * \cos(\theta_2) \quad \text{"Ec. 22"}$$

$$F_{Cil_y} = F_{Cil} * \sin(\theta_2) \quad \text{"Ec. 23"}$$

A continuación se muestra las ecuaciones halladas para determinar las fuerzas en los sistemas de barras y apoyos (Ver Ilustración 162).

Ilustración 162 Diagrama de cuerpo libre del sistema de soportes y sistema estructural.



"Análisis Conjunto WorkAB"

"Sumatoria de Fuerzas en X – $\Sigma F_x = 0$ "

$$R_{GX} = 0 \quad \text{"Ec. 24"}$$

"Sumatoria de Fuerzas en Y – $\Sigma F_y = 0$ "

$$R_{GY} + R_{HY} - \frac{W_{pig}}{2} - \frac{W_{AB}}{2} = 0 \quad \text{"Ec. 25"}$$

"Sumatoria de Momentos en G – $\Sigma M_G = 0$ "

$$-\frac{W_{pig}}{2} * L_{XPIG} - \frac{W_{AB}}{2} * L_{XAB} + R_{HY} * GH = 0 \quad \text{"Ec. 26"}$$

"Peso del conjunto WorkAB"

$$W_{AB} = M_{AB} * G \quad \text{"Ec. 27"}$$

"DCL Barra GFE"

"Sumatoria de Fuerzas en X – $\Sigma F_x = 0$ "

$$-R_{GX} + R_{FX} + R_{EX} = 0 \quad \text{"Ec. 28"}$$

"Sumatoria de Fuerzas en Y – $\Sigma F_y = 0$ "

$$-R_{GY} + R_{FY} - \frac{W_{BarraGE}}{2} + R_{EY} = 0 \quad \text{"Ec. 29"}$$

"Sumatoria de Momentos en F – $\Sigma MF = 0$ "

$$R_{GY} * \frac{L}{2} * \text{Cos}(\Theta) + R_{GX} * \frac{L}{2} * \text{Sin}(\Theta) + R_{EY} * \frac{L}{2} * \text{Sin}(\Theta) + R_{EX} * \frac{L}{2} * \text{Cos}(\Theta) = 0 \quad \text{"Ec. 30"}$$

"Peso de la Barra GE"

$$W_{BarraGE} = M_{BarraGE} * G \quad \text{"Ec. 31"}$$

"DCL Barra HFD"

"Sumatoria de Fuerzas en X – $\Sigma F_x = 0$ "

$$-R_{DX} - R_{FX} = 0 \quad \text{"Ec. 32"}$$

"Sumatoria de Fuerzas en Y – $\Sigma F_y = 0$ "

$$R_{DY} - R_{FY} - \frac{W_{BarraHD}}{2} - R_{HY} = 0 \quad \text{"Ec. 33"}$$

"Sumatoria de Momentos en D – $\Sigma MD = 0$ "

$$-R_{FY} * \frac{L}{2} * \text{Cos}(\Theta) + R_{FX} * \frac{L}{2} * \text{Sin}(\Theta) - R_{HY} * L * \text{Cos}(\Theta) - \frac{W_{BarraHD}}{2} * L_{DW} * \text{Cos}(\Theta) = 0 \quad \text{"Ec. 34"}$$

"Peso de la Barra HD"

$$W_{BarraHD} = M_{BarraHD} * G \quad \text{"Ec. 35"}$$

"DCL Barra DCB"

"Sumatoria de Fuerzas en X – $\Sigma F_x = 0$ "

$$R_{DX} - R_{CX} = 0 \quad \text{"Ec. 36"}$$

"Sumatoria de Fuerzas en Y – $\Sigma Fy = 0$ "

$$-R_{DY} + R_{CY} - \frac{W_{BarradaDB}}{2} + R_{BY} = 0 \quad \text{"Ec. 37"}$$

"Sumatoria de Momentos en C – $\Sigma MC = 0$ "

$$R_{DY} * \frac{L}{2} * \text{Sin}(\theta) - R_{DX} * \frac{L}{2} * \text{Cos}(\theta) + R_{BY} * \frac{L}{2} * \text{Sin}(\theta) = 0 \quad \text{"Ec. 38"}$$

"Peso de la barra DB"

$$W_{BarradaDB} = M_{BarradaDB} * G \quad \text{"Ec. 39"}$$

"DCL Barra ACE"

"Sumatoria de Fuerzas en X – $\Sigma Fx = 0$ "

$$-R_{EX} + R_{CX} + R_{AX} - F_{cilX} = 0 \quad \text{"Ec. 40"}$$

"Sumatoria de Fuerzas en Y – $\Sigma Fy = 0$ "

$$-R_{EY} - R_{CY} - \frac{W_{BarradaEA}}{2} + F_{cilY} + R_{AY} = 0 \quad \text{"Ec. 41"}$$

"Peso de la barra EA"

$$W_{BarradaEA} = M_{BarradaEA} * G \quad \text{"Ec. 42"}$$

De los anteriores cálculos se obtiene los siguientes resultados: La tabla 70, muestra el posicionamiento respecto a sus ángulos de inclinación. También se determina la mínima altura para la estructura cuando $\theta=12,91^\circ$, ya que este punto es la mínima distancia para evitar colisión entre los componentes de la estructura y la máxima cuando $\theta=42,73^\circ$.

Tabla 70 Resultados de la posición de las barras AB en función del ángulo de inclinación.

$\theta[^\circ]$	$\theta_2[^\circ]$	$\theta_3[^\circ]$	AB[m]
12	12	156	0,5086
12,91	12,02	154,2	0,5069
14,68	14,68	150,6	0,503
17,35	17,35	145,3	0,4963
20,01	20,01	140	0,4886
22,68	22,68	134,6	0,4798

θ [°]	θ_2 [°]	θ_3 [°]	AB [m]
25,34	25,34	129,3	0,47
28,01	28,01	124	0,4591
30,68	30,68	118,6	0,4472
33,34	33,34	113,3	0,4344
36,01	36,01	108	0,4206
38,67	38,67	102,7	0,406
41,34	41,34	97,32	0,3904
42,73	42,73	94,54	0,382
46,67	46,67	86,66	0,3568
49,34	49,34	81,32	0,3388

Gráfica 1, muestra el comportamiento de la distancia AB en función del ángulo “ θ ”, observando que cuando la distancia AB aumenta el ángulo “ θ ” disminuye.

Gráfica 1 Comportamiento de la posición de las barras en función del ángulo θ .

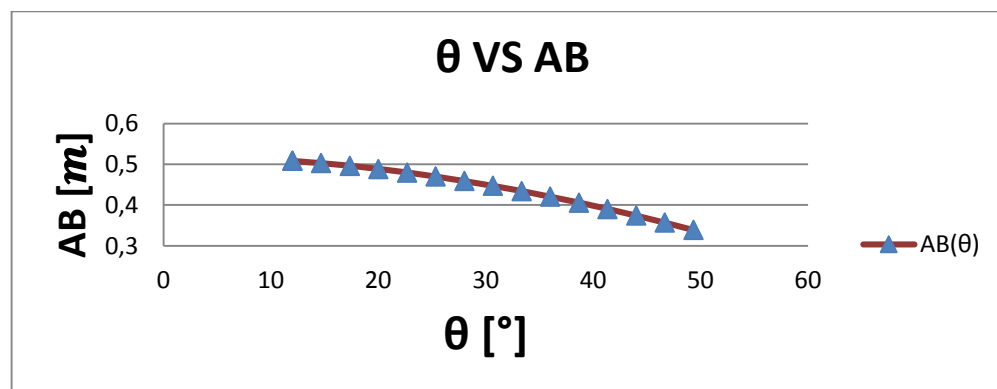
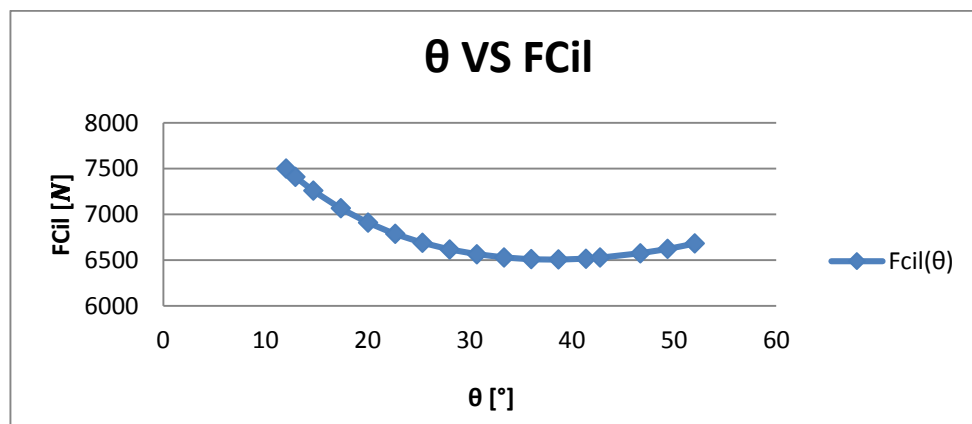


Tabla 71 Resultados de la Fuerza del cilindro en función del ángulo de inclinación.

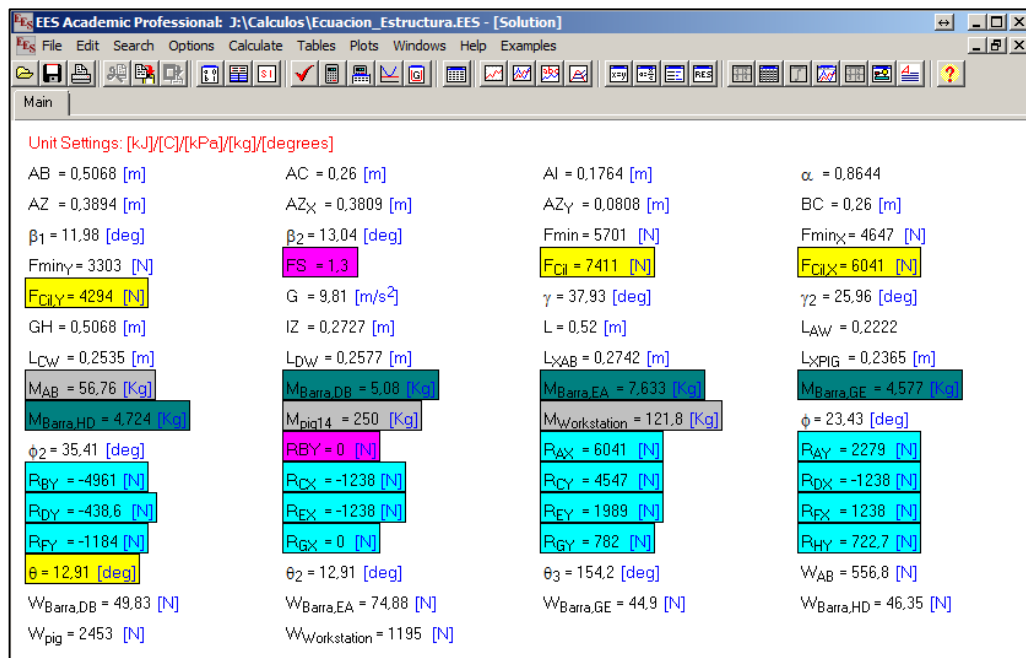
$\theta [^\circ]$	FUERZA CILINDRO			FUERZA CILINDRO TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR SEGURIDAD		
	$F_{min} [N]$	$F_{min_x} [N]$	$F_{min_y} [N]$	$F_{Cil} [N]$	$F_{Cil_x} [N]$	$F_{Cil_y} [N]$
12	5769	4719	3318	7499	6134	4314
12,91	5701	4647	3303	7411	6041	4294
14,68	5584	4521	3276	7259	5878	4259
17,35	5435	4362	3243	7066	5671	4215
20,01	5316	4233	3215	6910	5503	4180
22,68	5220	4130	3193	6786	5369	4151
25,34	5146	4049	3176	6690	5263	4129
28,01	5089	3987	3163	6616	5183	4112
30,68	5048	3942	3154	6563	5125	4100
33,34	5021	3913	3147	6528	5086	4091
36,01	5007	3897	3144	6509	5066	4087
38,67	5004	3894	3143	6505	5062	4086
41,34	5012	3902	3145	6515	5073	4089
42,73	5020	3911	3147	6526	5084	4091
46,67	5057	3952	3156	6574	5137	4102
49,34	5094	3992	3164	6622	5189	4113
52	5139	4042	3175	6681	5254	4127

Gráfica 2 Comportamiento de la fuerza del cilindro en función del ángulo θ .



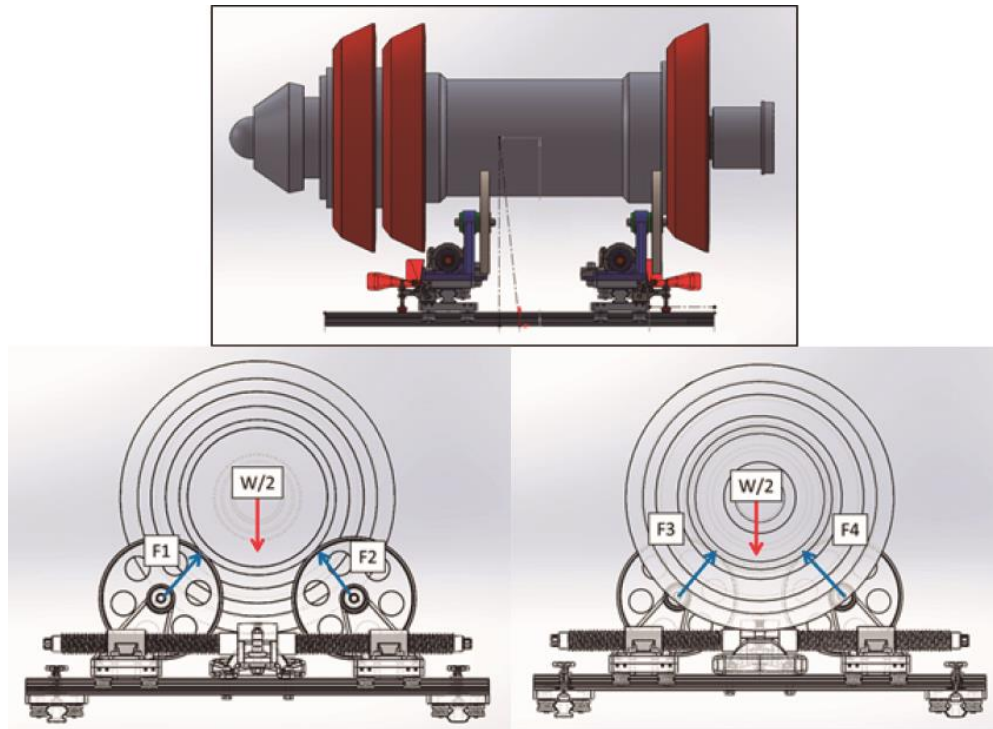
La tabla 71 y la gráfica 2, muestra el comportamiento de la fuerza del cilindro en función del ángulo “ θ ”, observando que la fuerza que debe ejercer el cilindro es mayor cuando la estructura está a su mínima altura $\theta=12,91^\circ$ con una fuerza de 7411 N (Ver tabla 71) y va decreciendo a medida que el ángulo “ θ ” aumenta (Ver gráfica 2).

Ilustración 163 Resultados de la Fuerza del cilindro en función del ángulo de inclinación mínimo.



La Ilustración 163, muestra el resultado del total de las variables halladas mediante los cálculos estáticos del sistema de barras y fuerza de cilindro de la estación de mantenimiento.

Ilustración 164 Representación de las fuerzas que ejercen los soportes sobre el PIG14in.



Para determinar las fuerzas que actúan sobre el sistema de soportes se realizaron los siguientes cálculos (Ver Ilustración 164):

" Cálculo de Fuerzas del pig 14 in sobre los soportes"

"Sumatoria de fuerzas en X – $\Sigma F_x = 0$ "

" Sumatoria de fuerzas en Y – $\Sigma F_y = 0$ "

$$-\frac{W_{pig}}{4} + F_{1y} + F_{3y} = 0 \quad \text{"Ec. 1"}$$

"Sumatoria de momentos en B – $\Sigma M_B = 0$ "

$$-F_{1y} * L_{ab} + \frac{W_{pig}}{4} * L_{pigb} = 0 \quad \text{"Ec. 2"}$$

"Sumatorias de fuerzas X – $\Sigma F_x = 0$ "

$$F_1 = F_2 \quad \text{"Ec. 3"}$$

$$F_3 = F_4 \quad \text{"Ec. 4"}$$

" Determino el valor de la fuerza total y sus componentes sobre el PIG"

$$F_{1y} = F1 * \text{Sin}(\Theta_{12}) \quad \text{"Ec. 5"}$$

$$F_{1x} = F1 * \text{Cos}(\Theta_{12}) \quad \text{"Ec. 6"}$$

$$F_{3y} = F3 * \text{Sin}(\Theta_{34}) \quad \text{"Ec. 7"}$$

$$F_{3x} = F3 * \text{Cos}(\Theta_{34}) \quad \text{"Ec. 8"}$$

" Ángulos de contacto PIG y ruedas"

$$\text{Tan}(\Theta_{12}) = 2 * \frac{L_{\text{Alt}_{\text{pig}}}}{L_{\text{sep1}}} \quad \text{"Ec. 9"}$$

$$\text{Tan}(\Theta_{34}) = 2 * \frac{L_{\text{Alt}_{\text{pig}}}}{L_{\text{sep2}}} \quad \text{"Ec. 10"}$$

"Longitudes de separacion entre apoyos de ruedas y PIG"

"Longitud de separacion de las ruedas con respecto al PIG, corresponden al apoyo 1"

$$L_{\text{sep1}} = 218,15 \quad \text{"Ec. 11"}$$

"Longitud de separacion de las ruedas con respecto al PIG, corresponden al apoyo 2"

$$L_{\text{sep2}} = 250 \quad \text{"Ec. 12"}$$

"Altura entre ejes de la rueda y el PIG"

$$L_{\text{Alt}_{\text{pig}}} = 131,45 \quad \text{"Ec. 13"}$$

"Longitud de separacion del apoyo 1 con respecto al apoyo 2"

$$L_{\text{ab}} = 305 \quad \text{"Ec. 14"}$$

"Longitud de separacion del centro de masa del PIG con respecto al apoyo 2"

$$L_{\text{pigb}} = 242,55 \quad \text{"Ec. 15"}$$

"Datos iniciales"

$$G = 9,81 \quad \text{"Ec. 16"}$$

$$M_{\text{pig14}} = 250 \quad \text{"Ec. 17"}$$

$$W_{\text{pig}} = M_{\text{pig14}} * G \quad \text{"Ec. 18"}$$

"Reacciones de ANSYS, producto del analisis FEA para una fuerza de 250 Kg"

"Reacciones sobre el riel R1"

$$R_{GX1} = 0,55431 \text{ "Reaccion en X determinado por ANSYS"} \quad \text{"Ec. 19"}$$

$$R_{GY1} = 710,33 \text{ "Reaccion en Y determinado por ANSYS"} \quad \text{"Ec. 20"}$$

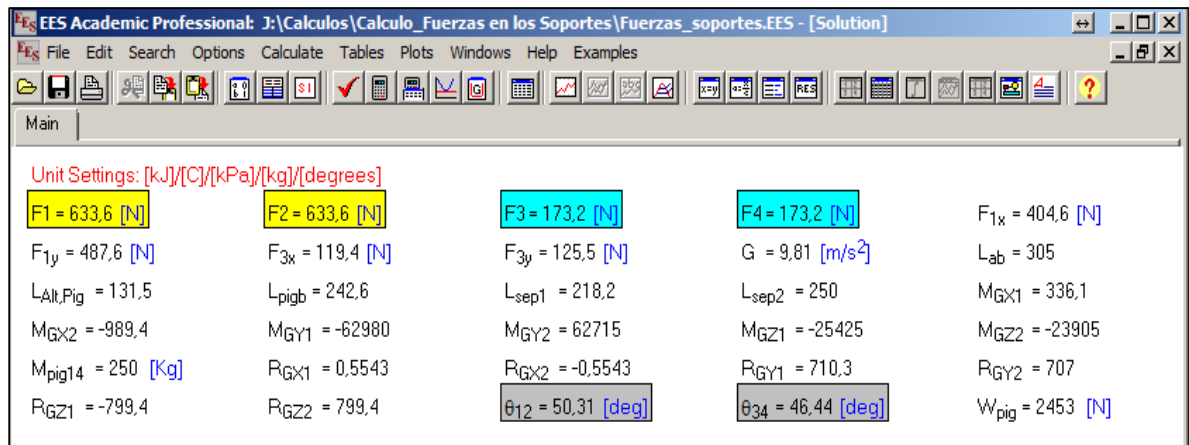
$R_{GZ1} = -799,43$	"Reaccion en Z determinado por ANSYS"	"Ec. 21"
$M_{GX1} = 336,09$	"Momento determinado por ANSYS"	"Ec. 22"
$M_{GY1} = -62980$	"Momento determinado por ANSYS"	"Ec. 23"
$M_{GZ1} = -25425$	"Momento determinado por ANSYS"	"Ec. 24"

"Reacciones sobre el riel R2"

$R_{GX2} = -0,55431$	"Reaccion en X determinado por ANSYS"	"Ec. 25"
$R_{GY2} = 706,97$	"Reaccion en Y determinado por ANSYS"	"Ec. 26"
$R_{GZ2} = 799,43$	"Reaccion en Z determinado por ANSYS"	"Ec. 27"
$M_{GX2} = -989,43$	"Momento determinado por ANSYS"	"Ec. 28"
$M_{GY2} = 62715$	"Momento determinado por ANSYS"	"Ec. 29"
$M_{GZ2} = -23905$	"Momento determinado por ANSYS"	"Ec. 30"

La Ilustración 165, muestra el resultado obtenido de las magnitudes de fuerzas halladas para el sistema de apoyos de la estación de mantenimiento.

Ilustración 165 Resultados de las fuerzas sobre los soportes.



5.2.1 Simulación CAE El objetivo de la simulación CAE es establecer la configuración y magnitud de la carga a tensión máxima soportada por la estación de mantenimiento; así como los esfuerzos y factores de seguridad del sistema. Para ello se realizó la simulación mediante el método numérico de elementos finitos (MEF) el cual comprende las siguientes etapas:

- **Pre-proceso:** Creación del modelo virtual de la estación de mantenimiento, aplicación de conexiones, cargas, selección de materiales para los diferentes componentes y creación de malla.
- **Ejecución:** Cálculo de la simulación
- **Post-proceso:** Interpretación de resultados e iteración.

La aplicación del método numérico de elementos finitos para la subestación de mantenimiento es abordando desde un ambiente estático. Para ello se utilizó la herramienta computacional: software educativo (ANSYS) con el cual se determinan los parámetros de la mecánica estructural de los componentes, bajo los estados de cargas que está sometido el sistema. Los resultados obtenidos en las simulaciones se representan en perfiles de distribución de los siguientes parámetros:

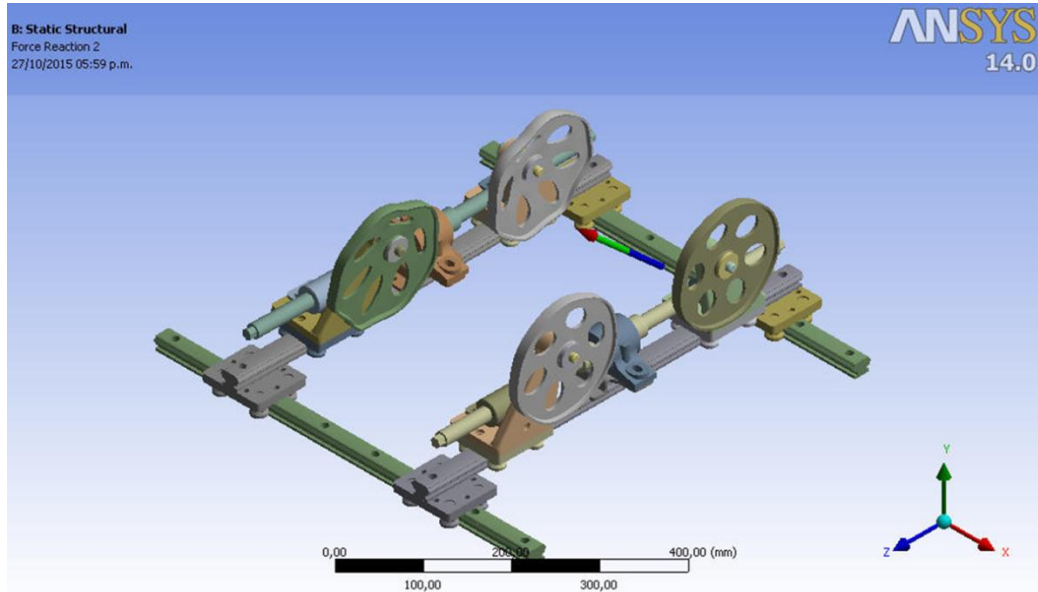
- *Perfil De Esfuerzos:* Representa la intensidad de las fuerzas distribuidas que soportan los componentes por unidad de área. (Calculado bajo la teoría de falla según von Mises).
- *Perfil De Desplazamientos:* Señala las regiones en las cuales el esfuerzo logra generar cambios en la geometría del material, deformando su morfología ya sea de manera plástica o elástica.
- *Factor De Seguridad (FDS):* Muestra la repartición de las zonas más propensas a ocurrir un evento de fractura debido a que el esfuerzo soportado sobrepasa el esfuerzo límite (admisible) de los materiales.

A continuación se presenta el análisis de elementos finitos para la estación de mantenimiento la cual comprende el sistema de apoyos y el sistema de elevación siguiendo los mismos criterios establecidos para los cálculos analíticos, ya que los

resultados de este último son los datos de entrada para realizar la simulación de elementos finitos.

5.2.1.1 Análisis CAE del sistema de apoyos

Ilustración 166 Ensamble sistema de apoyos.



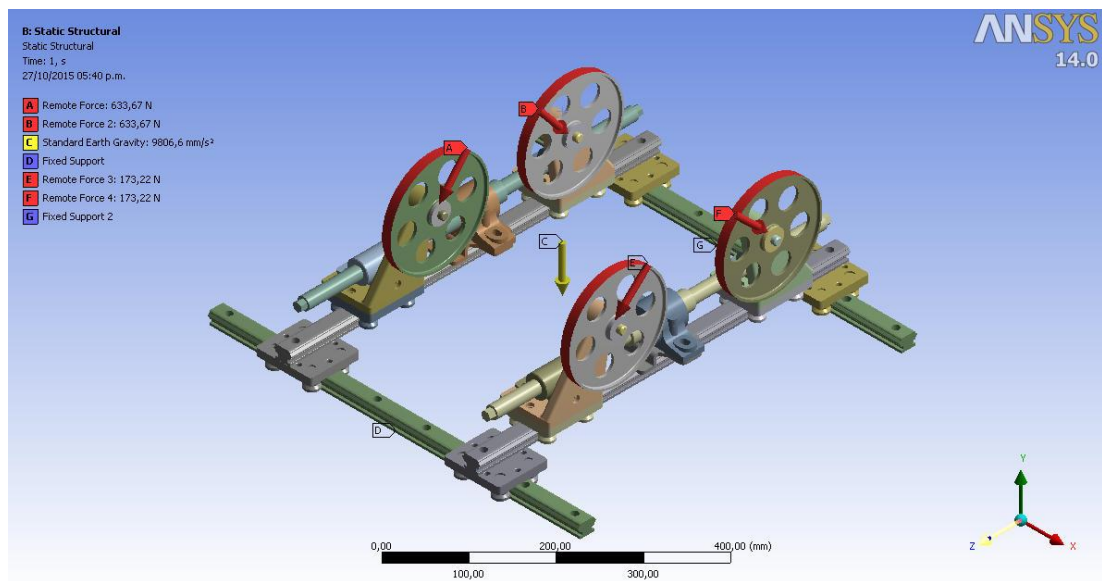
Conexiones y Cargas del Sistema de Apoyos

El sistema de apoyos está compuesto por diferentes piezas, cuya función final es soportar la carga del PIG y adaptarse a cada una de las dimensiones (diámetro y longitud) de los mismos, por esta razón es evaluado en la posición más crítica es decir para soportar el cuerpo de la herramienta ILI de 14in (PIG14in) (Ver Ilustración 164). Para determinar las conexiones del sistema se establece que esta soportado sobre los rieles inferiores que son los que determinan la longitud del cuerpo, los cuales se encuentran anclados por contacto directo entre soporte, dicha conexión es de tipo soporte fijo (Fixed support), los demás componentes se consideran fijos y solidarios a los rieles inferiores, generando una conexión de tipo fijo (Bonded).

En cuanto a las fuerzas, el sistema cumple la función de soportar cargas axiales como el objetivo del estudio es evaluar cuál es la máxima carga que soporta el ensamble se evaluó el sistema bajo la carga de interés de 250 Kg aplicada en la parte superior la cual se distribuye sobre las ruedas de los apoyos el cálculo para establecer la magnitud y sentido de estas se desarrolló en el análisis estático (Ilustración 164), para el análisis también se tuvo en cuenta la fuerza de gravedad.

Los diferentes tipos de conexión y fuerzas evaluadas en el ensamble se muestran de manera gráfica en la Ilustración 167, en la cual se especifica el tipo de conexión y con un vector se muestra ubicación puntual, dirección y magnitud de la fuerza.

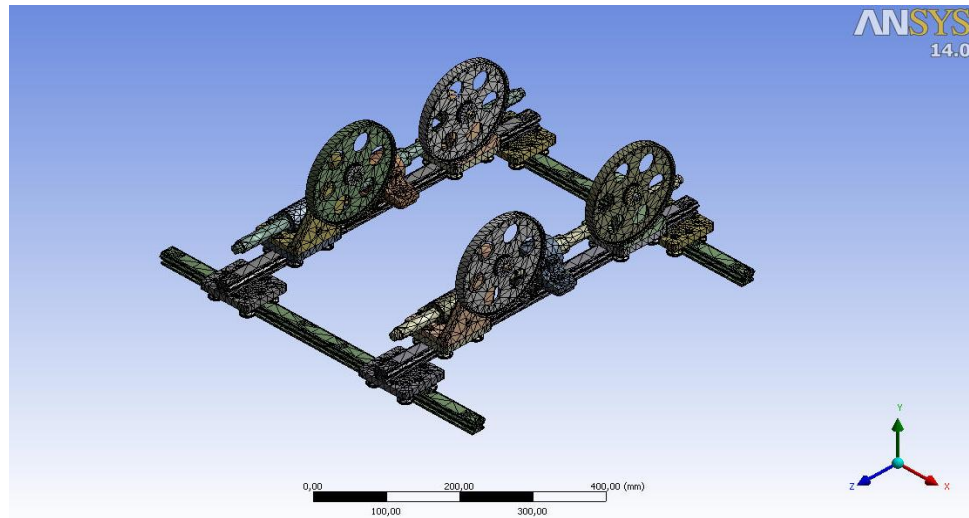
Ilustración 167 Conexiones y carga axial aplicadas al sistema de apoyos.



Mallado del Sistema de Apoyos

Para obtener resultados confiables y satisfactorios se realizó un discretizado³¹ en los componentes, creando una malla con elementos finitos avanzados de tipo proximidad y curvatura, realizando refinamientos de malla en las regiones de interés, donde se concentra el esfuerzo (Gusset). Logrando de esta manera un total de 223983 elementos y 404669 nodos (Ver Ilustración 168).

Ilustración 168 Discretizado basado en la curvatura y proximidad.



Materiales de Construcción del Sistema de Apoyos.

Los componentes del sistema de apoyos están contruidos con aceros estructurales cuyas propiedades mecánicas se presentan en la tabla 72.

³¹ Discretizado: consiste en división equivalente de un cuerpo en elementos más pequeños (elementos finitos) interconectados por medio de puntos comunes o nodos.45. Zienkiewicz, O.C., *El método de los elementos finitos*. 1981: Reverté.

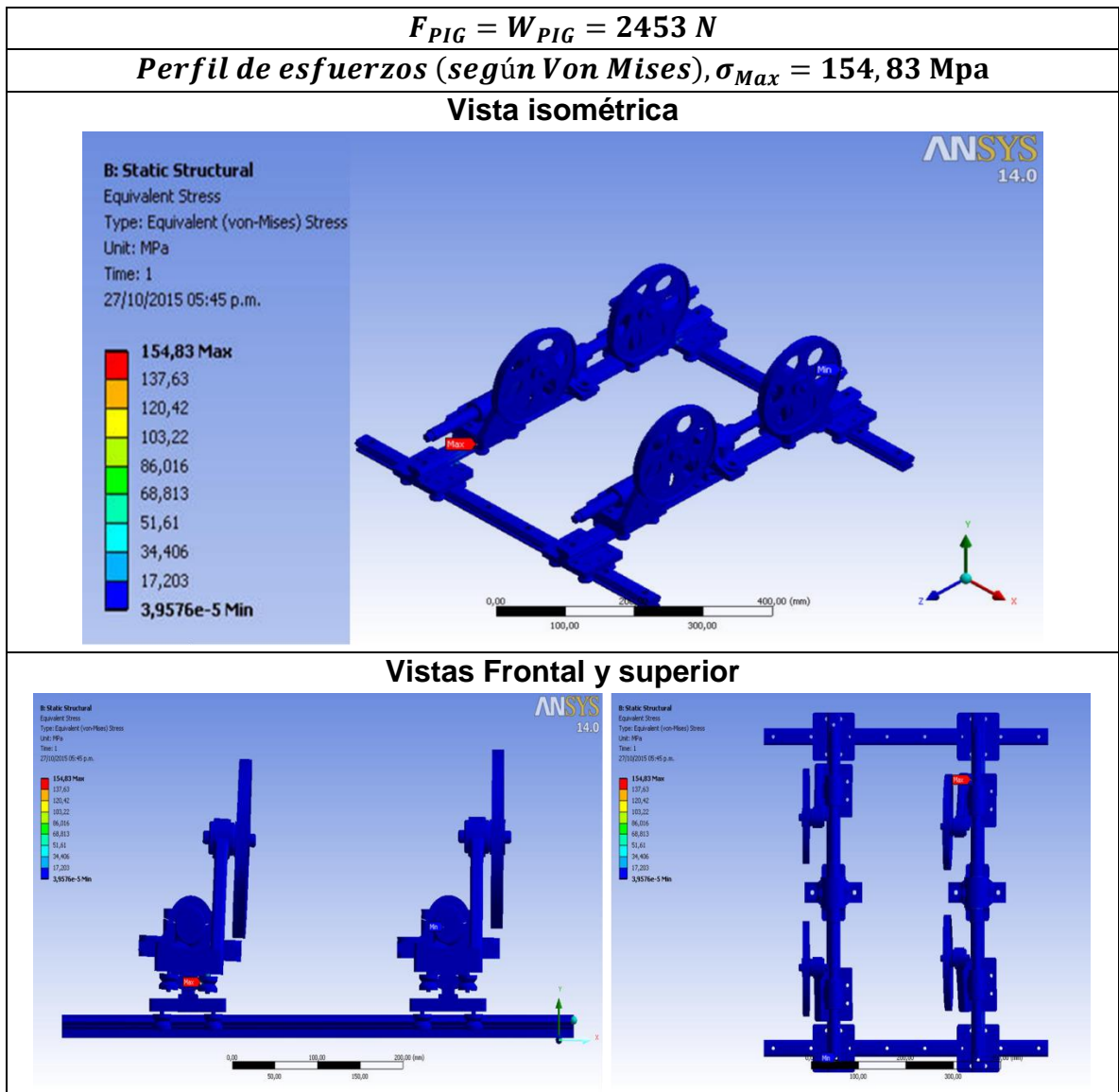
Tabla 72 Propiedades Mecánicas, materiales sistema de apoyos. Fuente: Base de datos

Material	Componentes	Propiedades mecánicas de los materiales			
		Resistencia de Fluencia (Sy) [MPa]	Resistencia Última (Su) [MPa]	Módulo Elástico [MPa]	Relación de Poisson [N/A]
AISI 304 L	Ruedas de apoyos	310	620	205	0,75
C86300 Bronce Manganeso	Bujes	458	8,38E-04	1,03E+05	0,354
0.40C 300 M	Soportes Ruedas	1680	2060	2,10E+05	0,333
AISI 1045	ejes	530	625	2,05E+05	0,29
Aluminum 6063, wrought, T6	Apoyos deslizantes / Carro/Rieles	221	257	73000	0,335
AISI 51200 Acero cromado	Rodamientos	2033,9	2240,8	2,10E+05	0,3
AISI 1050	tornillo de potencia	455	800	2,00E+05	0,295
Structural Steel	lamina de soporte	250	460	2,00E+05	0,3

Resultados para el Sistema de Apoyos

A continuación se desarrolla la evaluación de la mecánica estructural del componente bajo la carga citada en la Ilustración 164. Además, se encuentran visualizadas las vistas del sistema de soporte con los perfiles de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad, como criterios de análisis para la interpretación de resultados, ver tabla 73

Tabla 73 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema (perfil de esfuerzos).



Para el peso del PIG14in aplicado con una carga de 2453 N sobre las ruedas de soporte del sistema de apoyos y según el resultado del análisis realizado se registra un esfuerzo de magnitud 154,83 Mpa, con mayor aplicación sobre uno de los rodamientos de los rieles. Además, se observa que no se afecta con la carga aplicada, lo cual indica que el diseño del sistema es viable estructuralmente.

Tabla 74 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema (perfil de desplazamientos).

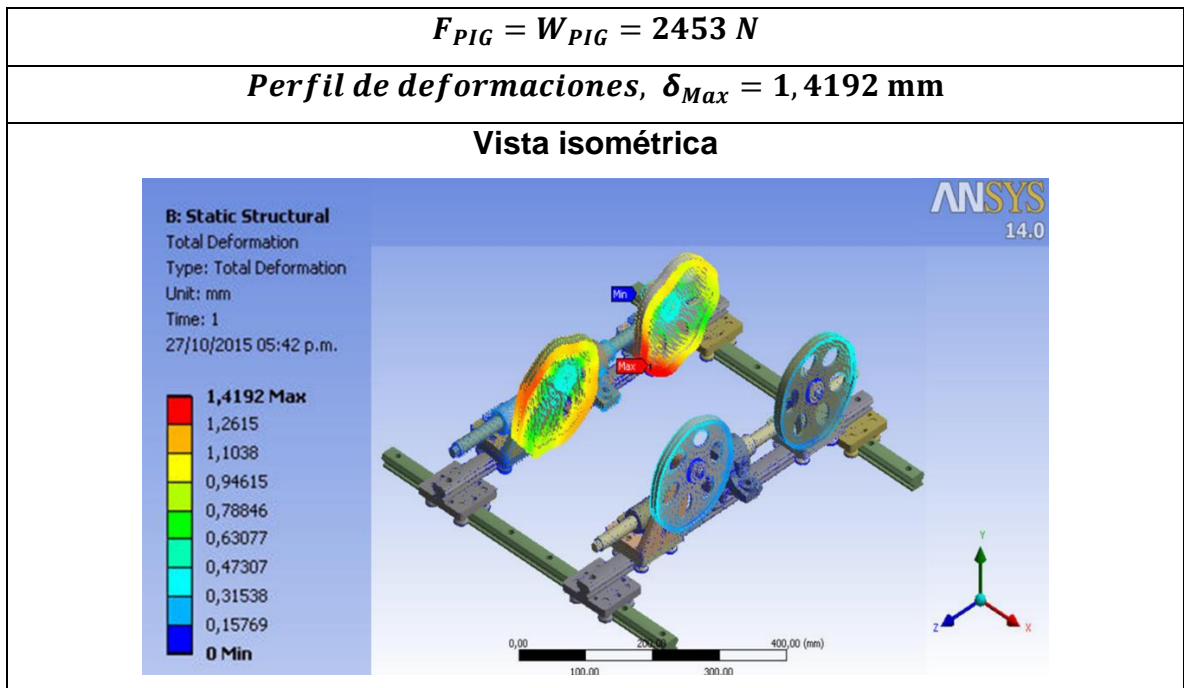
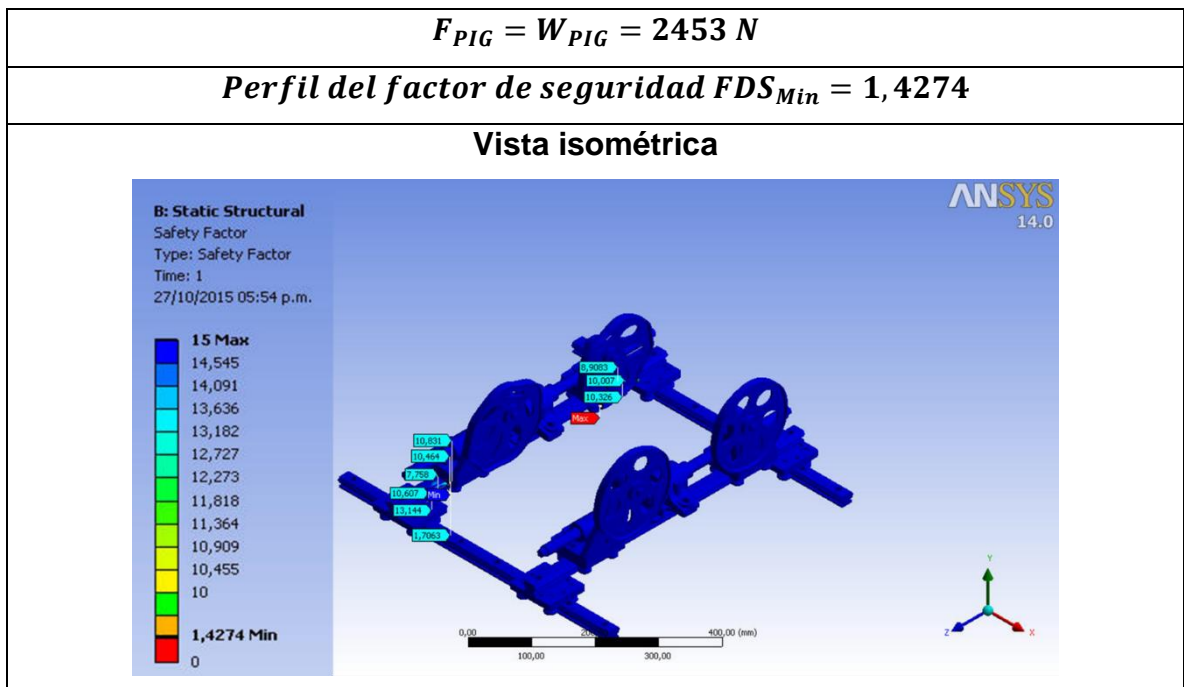


Tabla 75 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema (perfil del factor de seguridad).

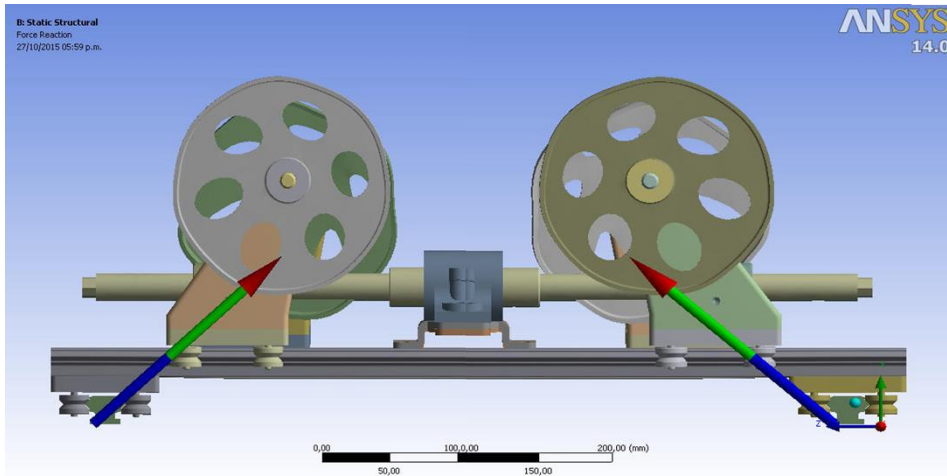


En Tabla 76, se presentan las reacciones de las fuerzas y momentos después de aplicar la carga del PIG14in.

Tabla 76 Fuerzas y momentos en el estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema.

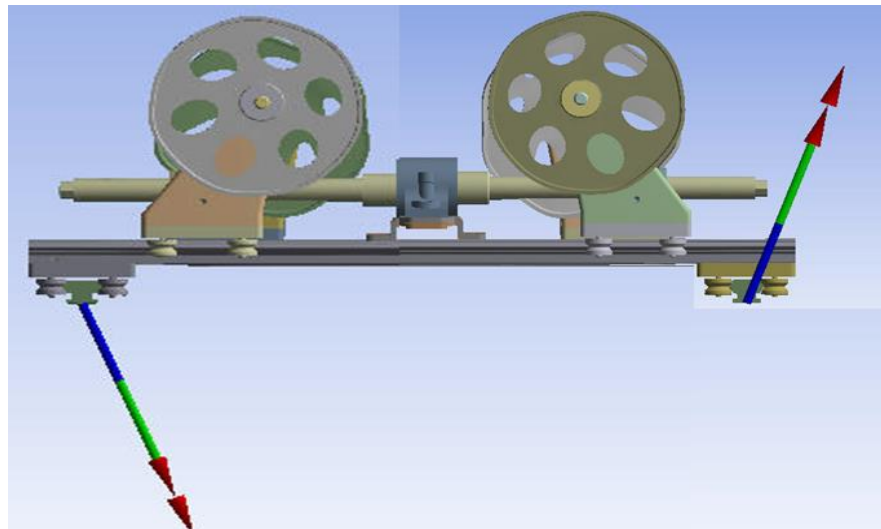
$$R_{G1} = 1069 \text{ N y } R_{G2} = 1067 \text{ N}$$

Vista frontal de fuerzas



$$M_{G1} = 67124 \text{ Nm y } M_{G2} = 67919 \text{ Nm}$$

Vista frontal de momentos



Conclusiones Finales del Sistema de Apoyos

- El sistema de soporte permite un esfuerzo máximo sobre las ruedas de apoyos sin ruptura con una magnitud 154,83 Mpa.
- El esfuerzo máximo con magnitud de 154,83 Mpa obtenido por el análisis es menor comparado con los esfuerzos de los materiales utilizados en el sistema de soportes. Ver tabla 72.
- El sistema de soportes sometido al peso del PIG14in presenta una deformación con un esfuerzo máximo de $\delta_{Max} = 1,4192$ mm.
- El factor de seguridad mínimo obtenido por el análisis de elementos finitos es de $FDS_{Min} = 1,4274$.
- A partir del análisis de elementos finitos del sistema de soportes se determinan las reacciones aplicadas sobre los rieles, en la tabla 76 se aprecian las reacciones de fuerza con magnitudes RG1=1069 N, RG2=1067 N y direcciones opuestas, además de los momentos con magnitudes de MG1=67124 Nm y MG2=67919 Nm.

5.2.1.2 Análisis CAE del sistema de elevación

Conexiones y Cargas del Sistema de Elevación

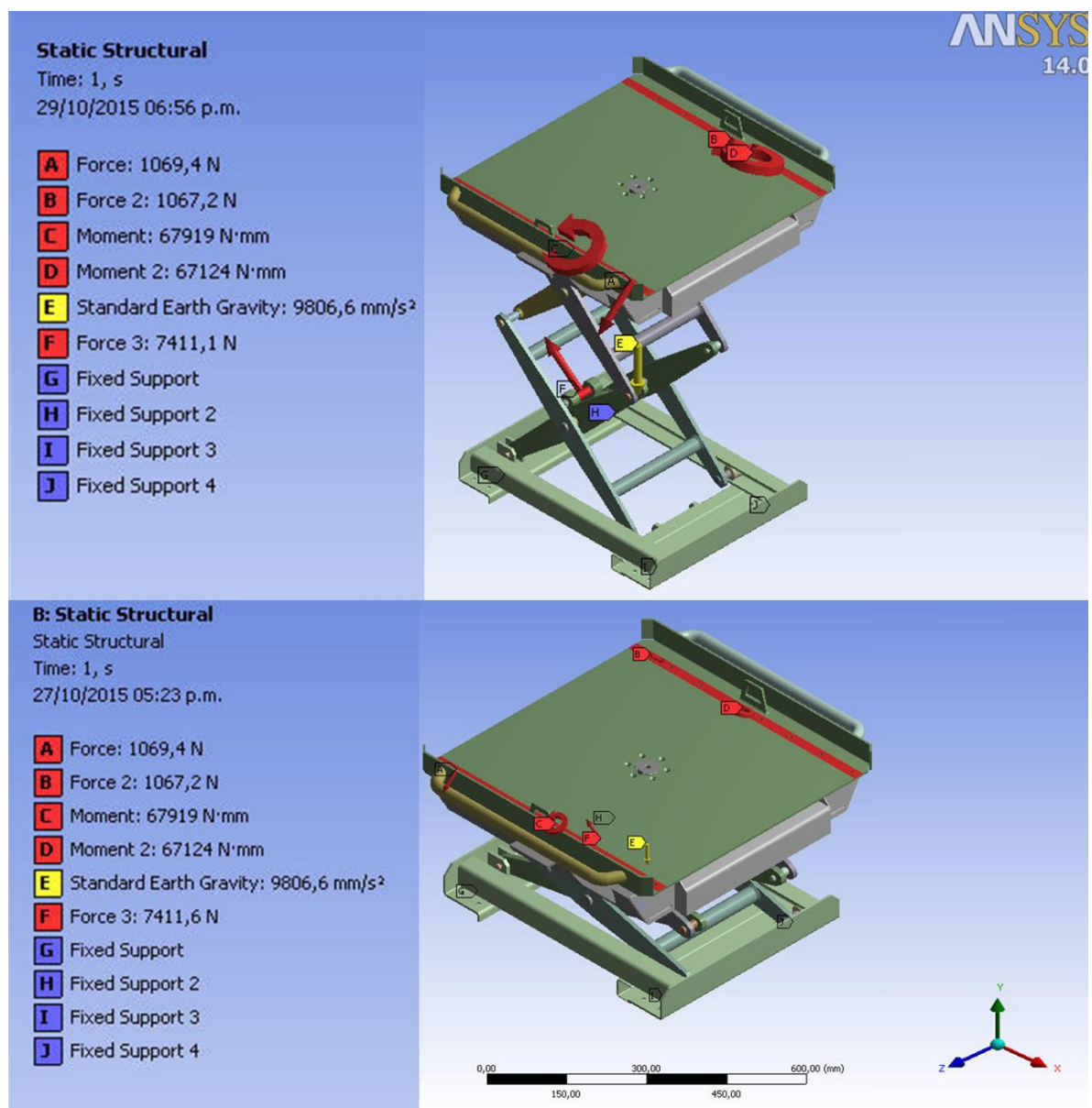
El sistema de estructura de elevación está compuesto de barras, rodamientos, mesa giratoria, cuerpo del cilindro y ejes; este conjunto de piezas permiten cumplir la función de elevar la carga a dicha altura para que el operario pueda realizar los diferentes mantenimientos sin presentar algún problema de postura o manipulación de carga externa.

En la Ilustración 169, se observa las reacciones de fuerza y momentos del sistema de soportes evaluado anteriormente, además la fuerza del peso de cada elemento que actúa en la elevación, sin tener en cuenta la fricción. Para realizar la simulación

se requiere de la simplificación de las piezas y además el comportamiento estático al momento de iniciar la elevación (mínima altura) como al finalizar (máxima altura).

Para realizar el análisis se requiere tener relaciones de conexión correspondientes a la función de cada pieza y la fuerza del cilindro se asigna en magnitud y dirección sobre la barra de elevación.

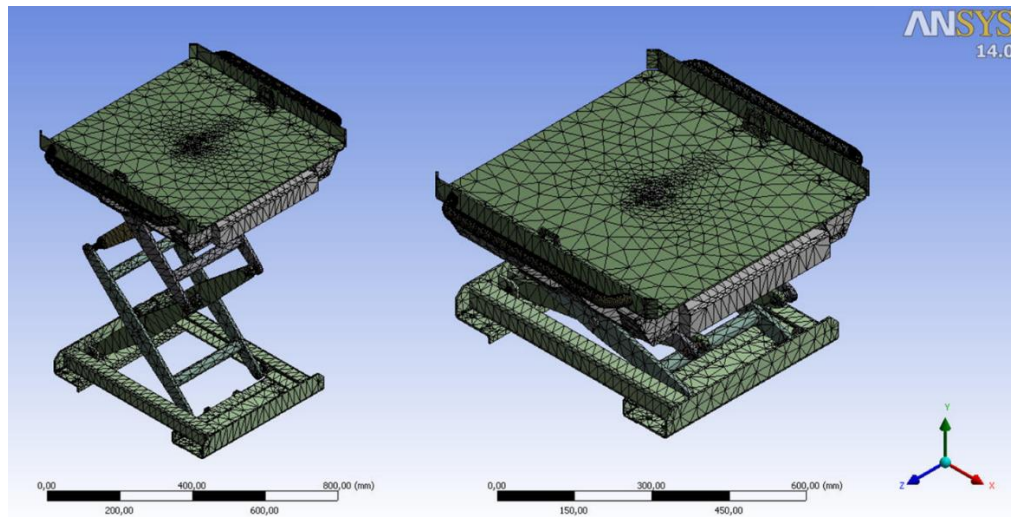
Ilustración 169 Conexiones y carga axial aplicadas al sistema de elevación.



Mallado del Sistema de Elevación

Para obtener resultados confiables y satisfactorios se realizó un discretizado en los componentes, creando una malla con elementos finitos avanzados de tipo proximidad y curvatura, realizando refinamientos de malla en las regiones de interés, donde se concentra el esfuerzo (Gusset). Logrando de esta manera un total de 96909 elementos y 259702 nodos (Ver Ilustración 170).

Ilustración 170 Discretizado basado en la curvatura y proximidad para el sistema de elevación.



Materiales de Construcción del Sistema de elevación

Los componentes del sistema de apoyos están contruidos con aceros estructurales cuyas propiedades mecánicas se presentan en la tabla 77.

Tabla 77 Propiedades Mecánicas, materiales sistema de elevación. Fuente: Base de datos

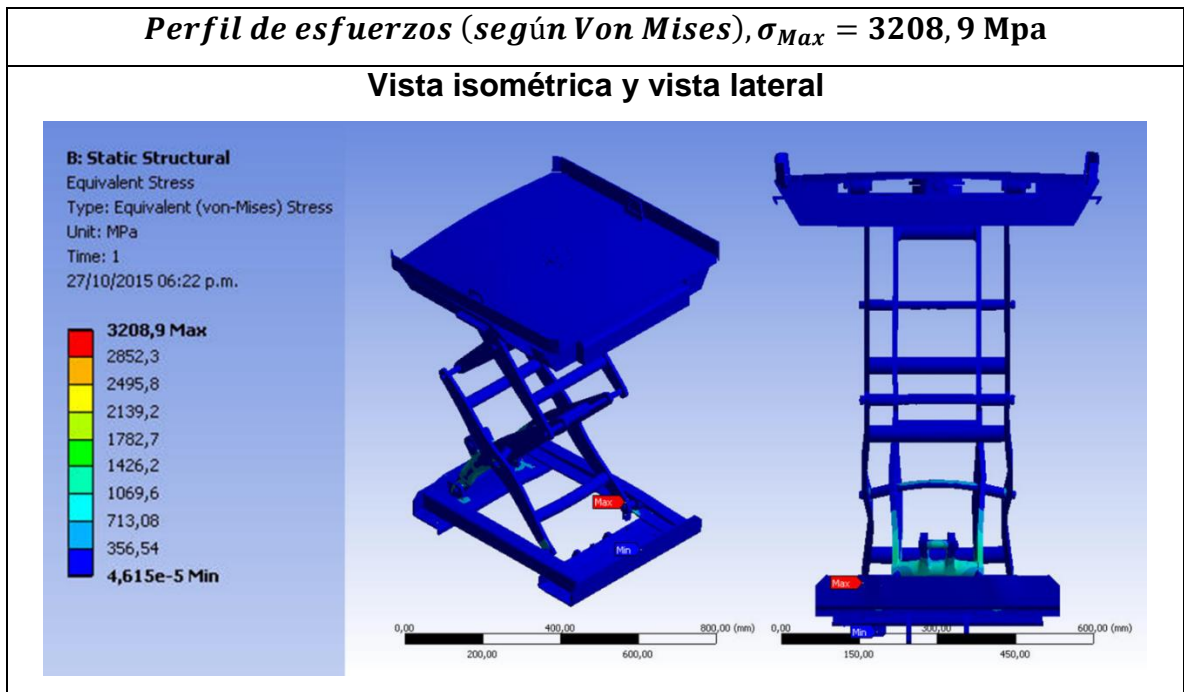
		Propiedades mecánicas de los materiales			
Material	Componentes	Resistencia de Fluencia (Sy) [MPa]	Resistencia Ultima (Su) [MPa]	Módulo Elástico [MPa]	Relación de Poisson [N/A]
Acero estructural	Base inferior, superior, brazos de soporte	250	460	2,00E+05	0,3
AISI 1045	Ejes	530	625	2,05E+05	0,29
C86300 Bronce Manganeso	Bujes	458	8,38E-04	1,03E+05	0,354
AISI 1020	Ejes	325	435	2,15E+05	0,295
AISI 51200 Acero cromado	Rodamientos	2033,9	2240,8	2,10E+05	0,3

Resultados para el sistema de elevación

A continuación se desarrolla la evaluación de la mecánica estructural del sistema de elevación sometido a cargas de reacción determinadas por el sistema de apoyos. Además, se encuentran visualizadas las vistas del sistema de elevación para con los perfiles de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad, como criterios de análisis para la interpretación de resultados en la posición de altura mínima y máxima del sistema de elevación.

Para ello se inició con la primera simulación a la máxima altura, evidenciándose que la fuerza que debe ejercer el cilindro hidráulico era mucho mayor para la que la estructura fue diseñada obteniéndose los resultados de la tabla 78.

Tabla 78 Primer estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación (perfil de esfuerzos).



A partir de la simulación realizada se determina que el esfuerzo máximo de 3208,9Mpa es mucho mayor respecto a las características del material de acero A36, por ende se concluye que fallara. En las siguientes tabla 79 y tabla 80, se observan los desplazamientos de la estructura con una magnitud de 4,94354 mm y un factor de seguridad mínimo de 0.11083, este valor es mucho menor al establecido como criterio que debe ser mayor que uno para que toda estructura no falle.

Tabla 79 Primer estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación máximo (perfil de desplazamientos).

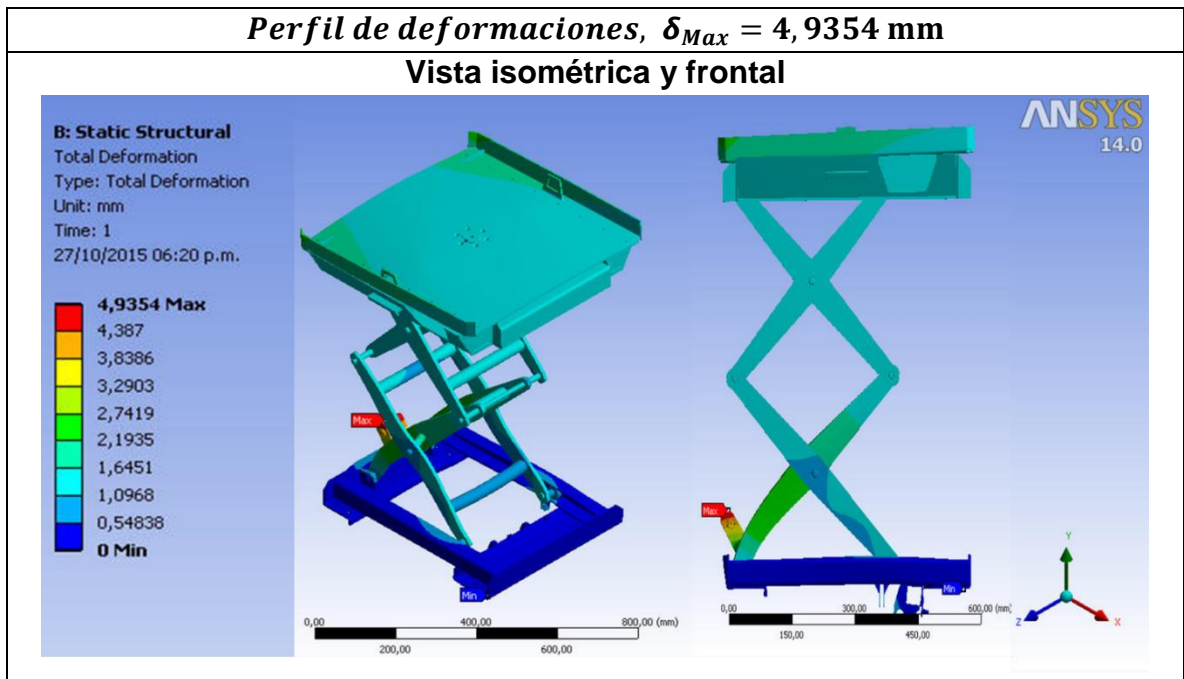
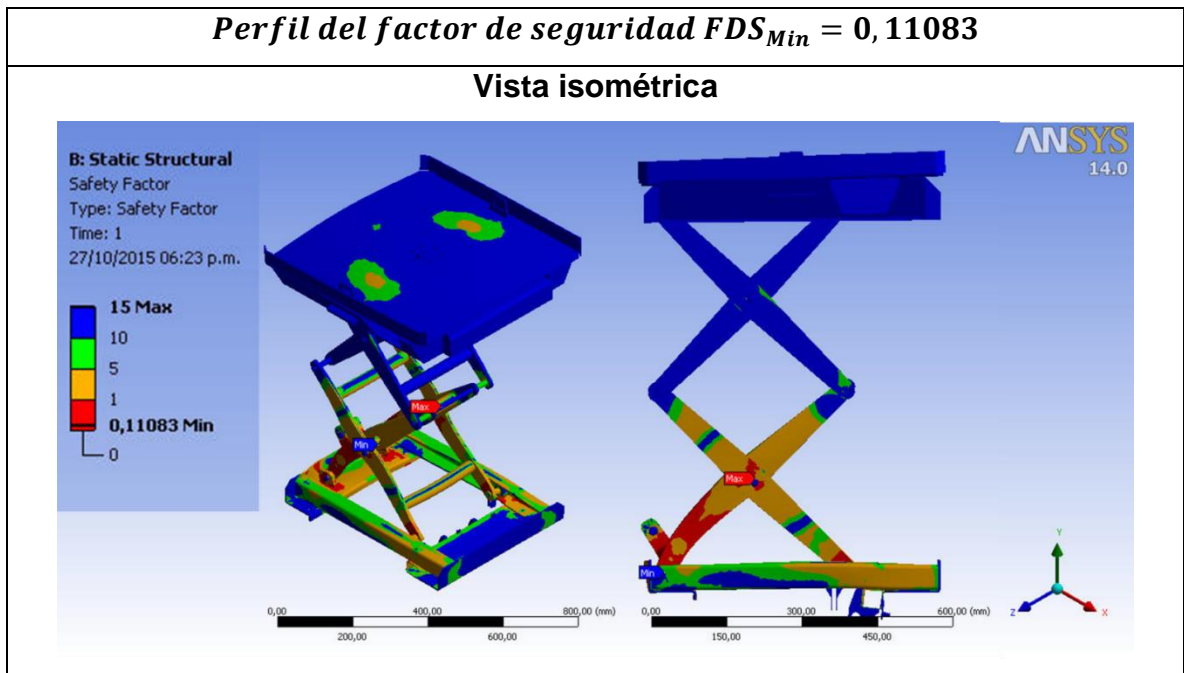


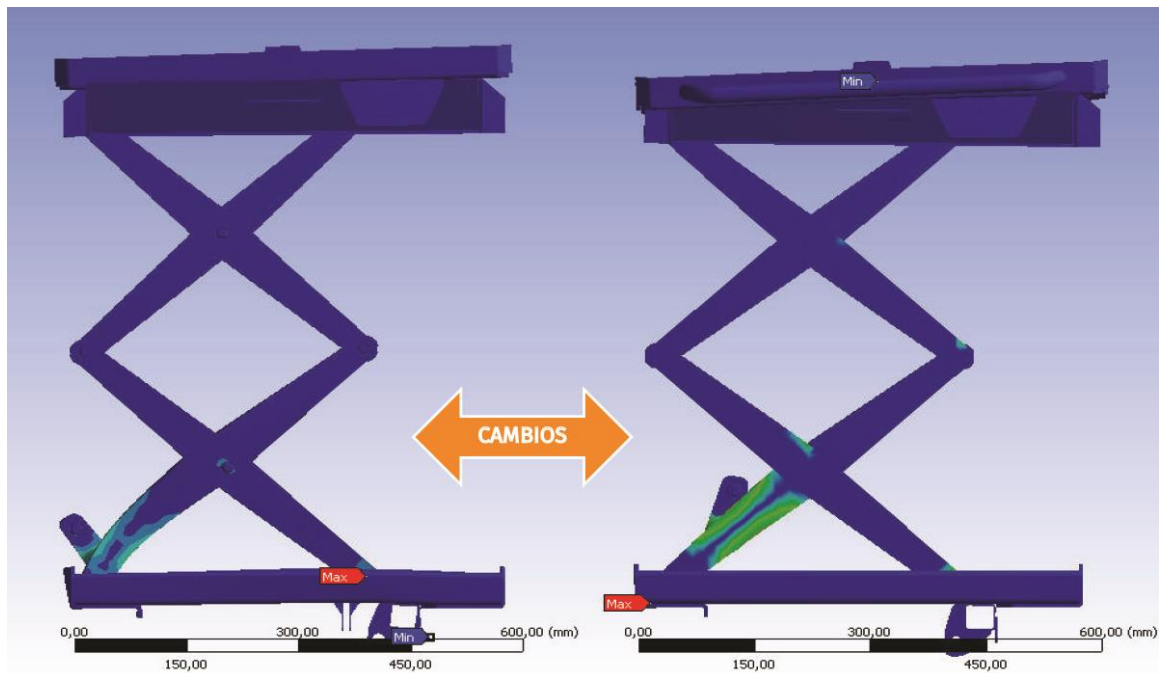
Tabla 80 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación máximo (perfil del factor de seguridad).



Conclusiones Finales primer analisis CAE del Sistema de Elevación

- Este primer análisis para la estructura de elevación sometido a la carga de 250Kg correspondiente al peso del PIG, presenta un valor de factor de seguridad menor que uno (1), por lo cual se espera realizar las correcciones sobre la estructura, por ejemplo cambiando ubicaciones de la posición del vástago del cilindro y posiblemente espesores de las barras.
- Del análisis se concluye que todo apoyo cercano al eje o pivote necesita de mayor longitud de aplicación de la carga porque de lo contrario el momento será pequeño y la fuerza que debe ejercer será tan alta afectara la estructura.
- Se deben realizar cambios en la estructura, en las dimensiones del brazo donde se aplica y ubica el eje del vástago que une la estructura con el cilindro hidráulico, para obtener de esta manera un gran cambio en el comportamiento de la estructura respecto a la concentración de los esfuerzo se distribuye en el pivote y aumentando el momento, para que la carga sea elevada.

Ilustración 171 Primer estudio estático 3D vista frontal de los cambios del brazo donde se aplica la fuerza del cilindro hidráulico.



Con los cambios realizados a la geometría y ubicación de la fuerza sobre el brazo de la estructura, se realiza una segunda y tercera simulación para determinar los nuevos comportamientos generados por la carga sobre la estructura del sistema de elevación a la máxima y mínima altura. Ver tabla 81.

Tabla 81 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación (perfil de esfuerzos).

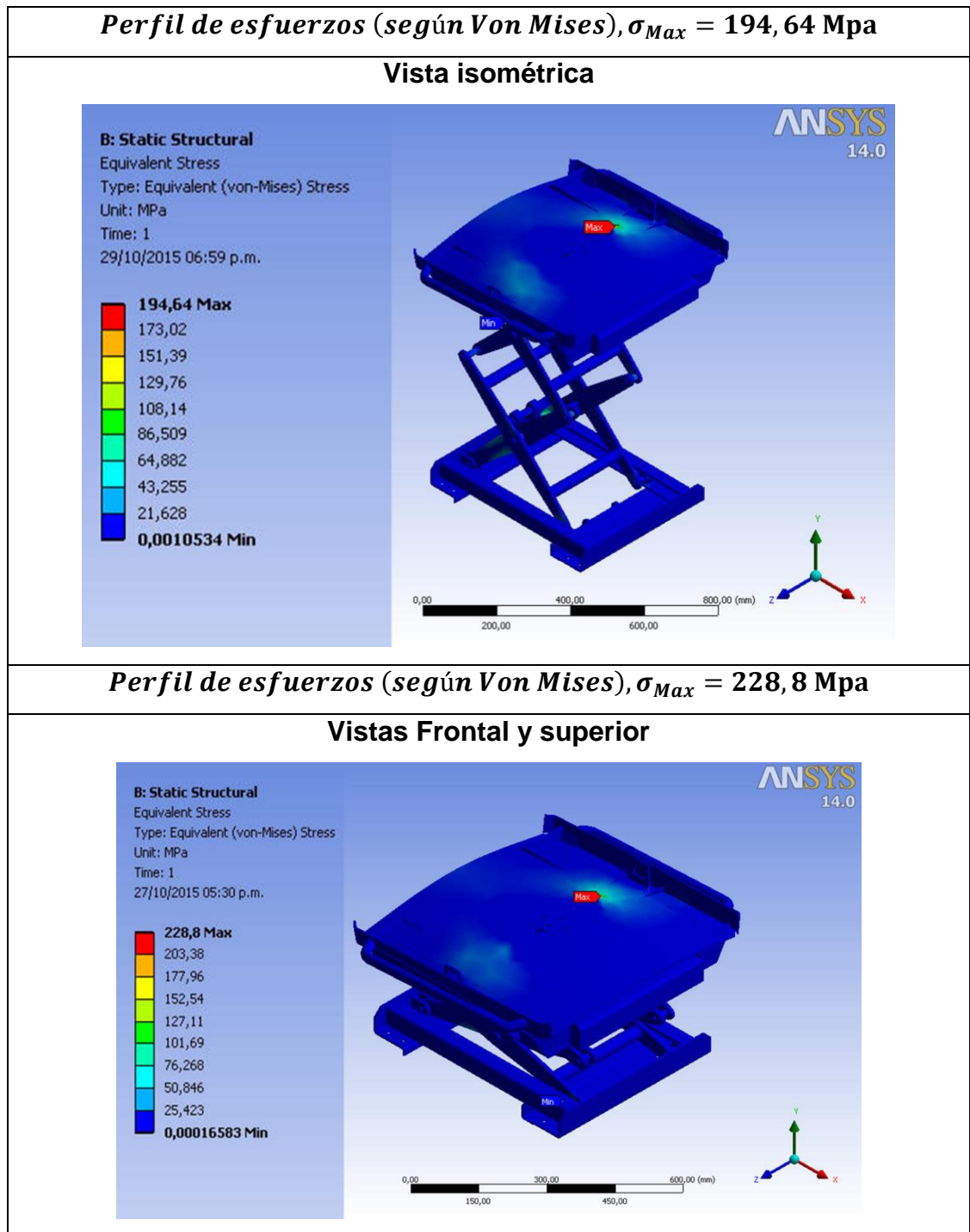


Tabla 82 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación mínimo y máximo (perfil de desplazamientos).

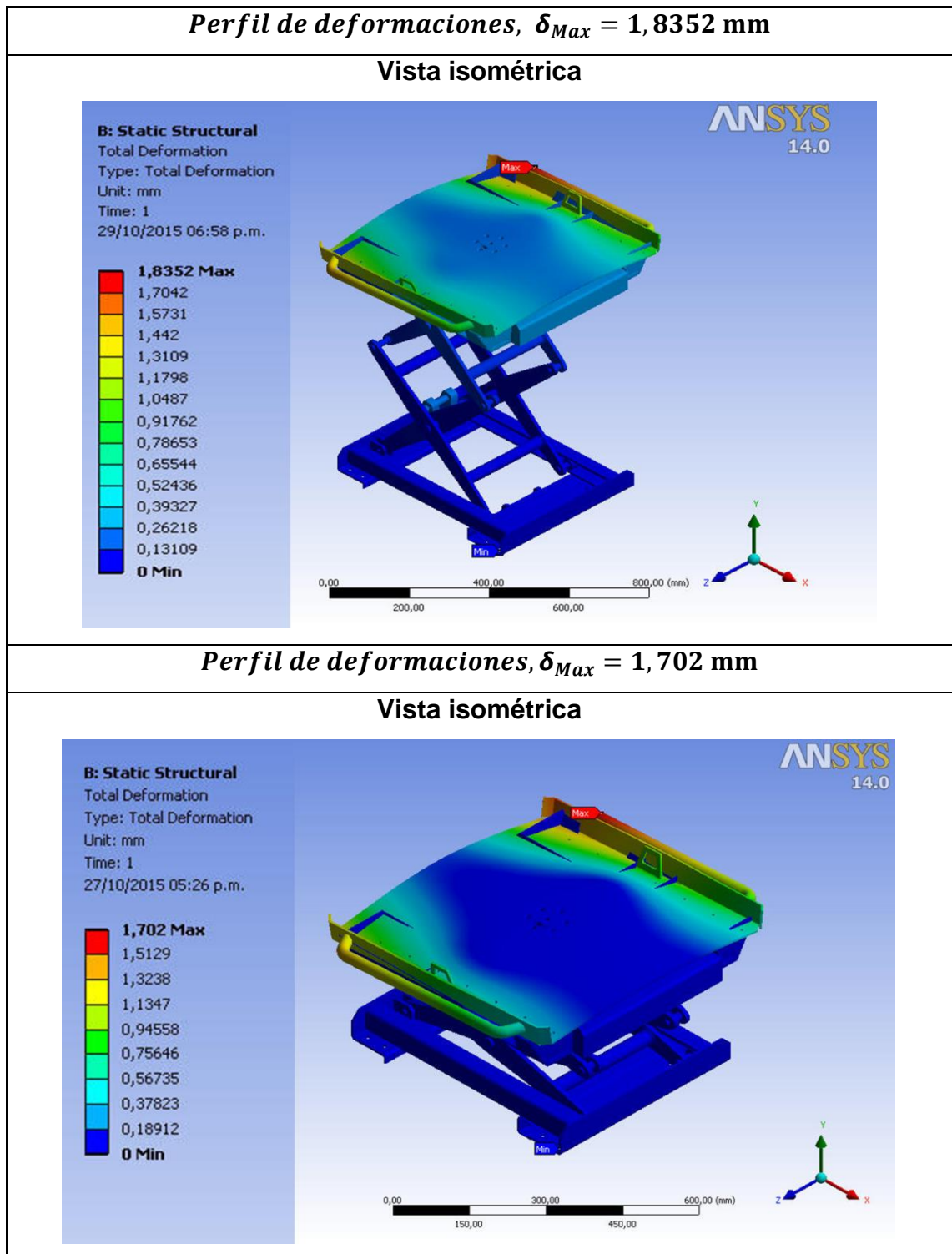
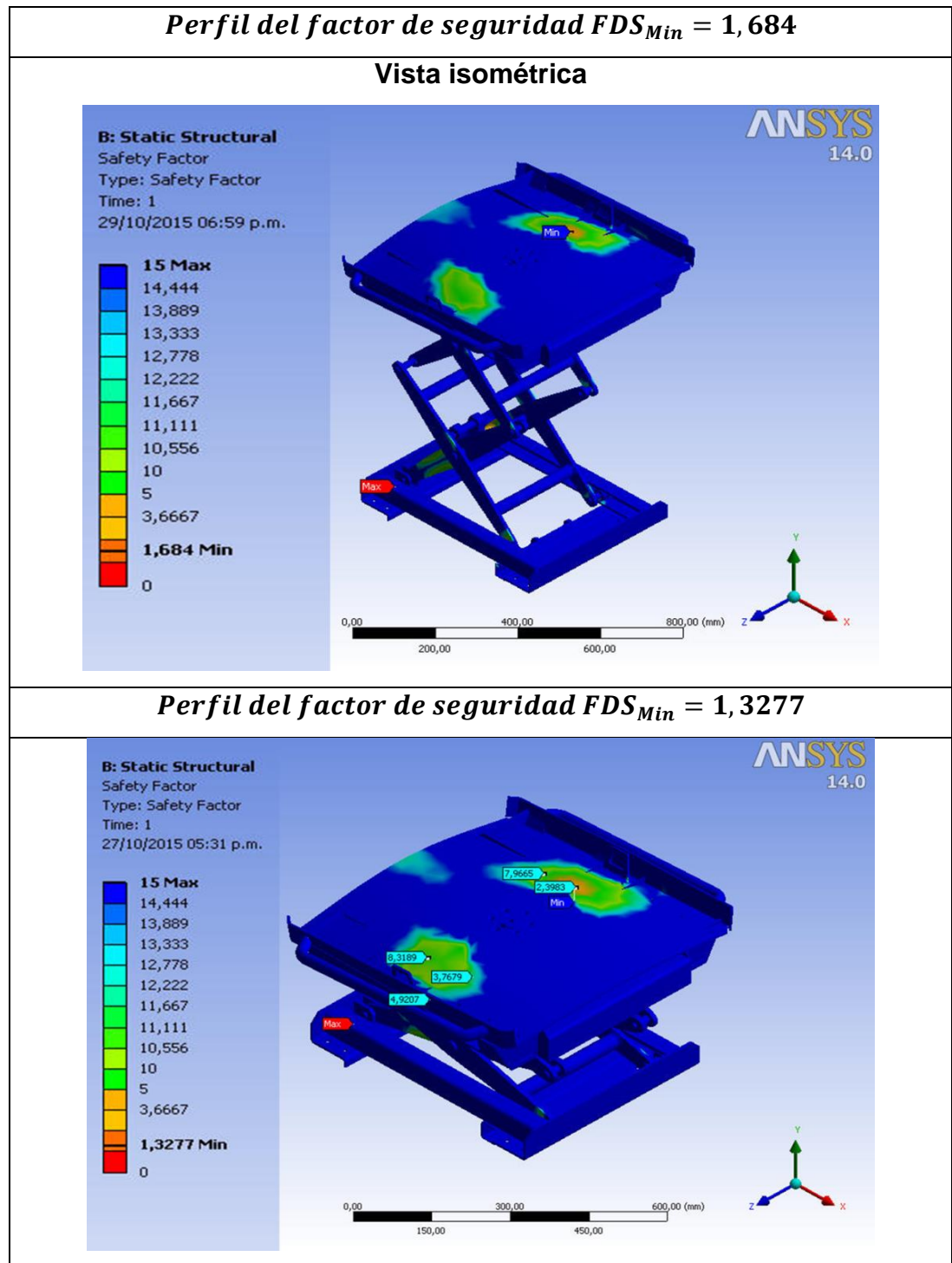


Tabla 83 Estudio estático 3D para la configuración de carga de interés del sistema de elevación mínimo y máximo (perfil del factor de seguridad)..



Para el perfil de deformación se analizan las dos posiciones una mínima y máxima, en la cual se presenta mayor desplazamiento con una magnitud de 1,8352 y para el mínimo es de 1,702 mm (ver tabla 82); este desplazamiento permite observar cuanto se deforman la plataforma donde se apoyan los rieles del sistema de soporte.

Para el factor de seguridad mínimo se determina que para la menor magnitud será de 1,3277 con la posición mínima del sistema de elevación comparada con la magnitud de la posición máxima. Ver tabla 83

Conclusiones Finales Sistema de Elevación

El sistema de elevación permite un esfuerzo máximo sobre las ruedas de apoyos sin ruptura con una magnitud 228,8Mpa para la posición mínima.

Se determina que la mayor magnitud de deformación se da en la posición máxima del sistema elevador con un valor de 1,8352mm.

El esfuerzo máximo con magnitud de 228,8Mpa obtenido por el análisis es menor comparado con los esfuerzos de los materiales utilizados en el sistema de elevación. Ver tabla 77.

El factor de seguridad mínimo obtenido por el análisis de elementos finitos es de $FDS_{Min} = 1,3277$.

5.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y COSTOS DE FABRICACIÓN DE MSILIT

A continuación se presentan las especificaciones técnicas de MSILIT y la factibilidad de fabricación para ROSEN del dispositivo diseñado.

5.3.1 Ficha técnica MSILIT De la Ilustración 172 a la Ilustración 182, se presenta la ficha técnica de MSILIT con sus respectivas especificaciones, etiquetas y accesorios.

Ilustración 172 Ficha técnica MSILIT.



MSILIT, es una estación de trabajo para la realización de mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILL. Facilitando al personal las maniobras de las mismas durante la ejecución de los diferentes mantenimientos y evitando la incidencia de posturas críticas y/o manipulación carga externa que sobrepase los umbrales permitidos según las normatividades colombianas (NTC 5655 Principios para el Diseño Ergonómico de Sistemas de Trabajo), garantizando la integridad y seguridad de las herramienta instrumentadas ILL.

La característica modular de MSILIT y sus apoyos ajustables permite la adaptación de este a las dimensiones de otras herramientas instrumentadas ILL, por otra parte al ser una estación de mantenimiento con sistema de movilización permite la rápida reubicación de la MSILIT en otro lugar cuando no está en uso aprovechando el espacio para ejecutar otras actividades que se requieran en el área de mantenimiento

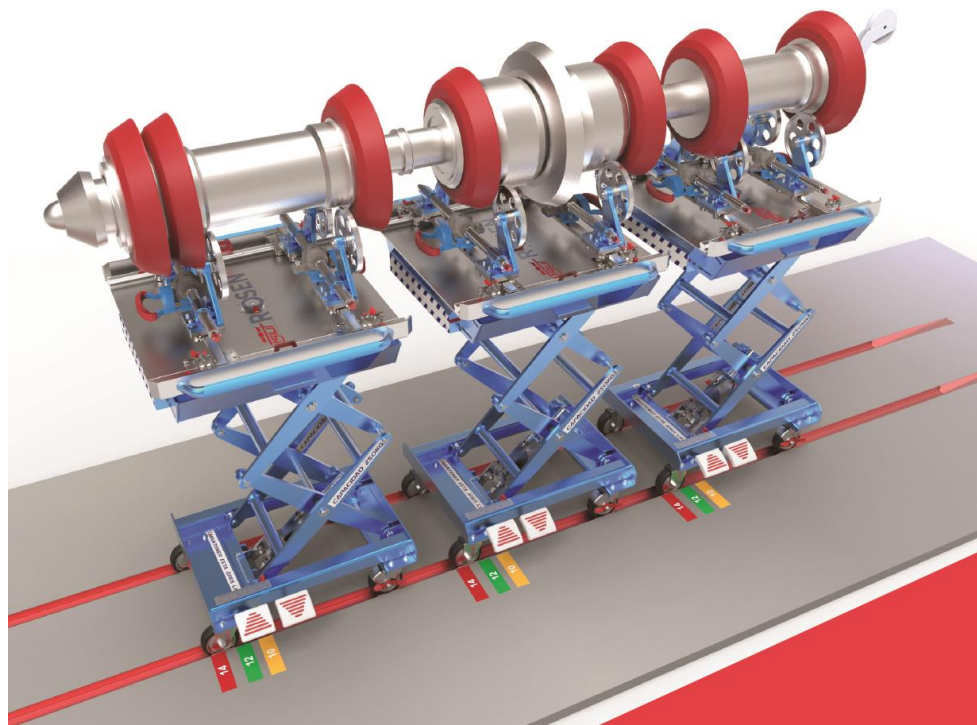


Ilustración 173 Especificaciones técnicas MSILIT.

FICHA TÉCNICA



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Ajustable para Herramientas Instrumentadas ILI de 10in, 12in y 14in.
- Todos los rodamientos de MSILIT están diseñados para un elevado rendimiento y una larga vida útil.
- Plano de trabajo con giro (360º) ajustable según las necesidades del usuario.
- Sistema de frenado.
- Control manual del proceso.
- Accionamiento hidráulico.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil ensamble entre piezas.

CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN

- El material del sistema estructural es Acero ASTM A-36.
- Ejes y pasadores en material acero estructural AISI 1045.
- Tornillería y circlips en material Acero inoxidable AISI 316.
- Apoyos en material acero inoxidable AISI 304L.
- Acabado en pintura en polvo.
- Ejes de acero estructural AISI 1045 y AISI 1020.
- Rieles de transmisión lineal con sistema anti-fricción en aluminio anodizado con incrustaciones en acero endurecido *Marca pbc linear*.

PARÁMETROS TÉCNICOS

- Capacidad de carga máxima de 250 kg-f.
- Altura de máxima elevación con PIG de 124cm
- Altura de máxima elevación sin PIG de 110cm.
- Altura de mínima elevación con PIG de 77,5cm.
- Altura de mínima elevación sin PIG de 64cm.
- Dimensiones (HxWxL)=138 x 61 x 71 cm.
- Mecanismo de elevación: Ascensor de tijera.
- Transmisión/Actuación del ascensor: Hidráulico.
- Fuerza hidráulica= 7411 N.
- Peso de MSILIT= 124 Kg.

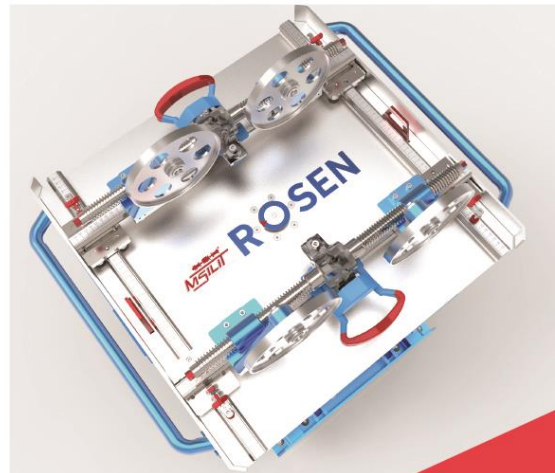


Ilustración 174 Recomendaciones de mantenimiento de MSILIT.

FICHA TÉCNICA



RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO

Para realizar el mantenimiento del sistema elevador MSILIT se deberá seguir un control de tiempo de operación, determinando horas de trabajo por cada mantenimiento, almacenando toda la información en la hoja de vida de la maquinaria.

A partir del tiempo de funcionamiento se designa un tipo de mantenimiento que será programado de la siguiente manera y del cual se generará un reporte diario o semanal para garantizar un mejor control. Dependiendo el tipo de mantenimiento aplicar se recomienda realizar un registro sobre la hoja de vida del sistema MSILIT.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

1. DIARIO

Antes de utilizar el sistema de elevador MSILIT, se debe garantizar una revisión primaria del funcionamiento:

- Revisión previa de cada parte fija y móvil de la subestación por medio visual y auditivo.
- Revisión del entorno del sistema para su normal desarrollo y funcionamiento después de ser removido o trasladado a algún lugar.
- Revisar el sistema hidráulico y sus conexiones en caso de alguna fuga o mal estado de sus elementos, como la revisión del accionamiento de cada pedal.
- Los rieles del sistema de soporte se deben mantener libres de cualquier suciedad o sustancia corrosiva.
- Las piezas móviles deberán estar engrasadas para evitar el desgaste por fricción.
- Se debe garantizar la alineación de las barras y los ejes.
- Se prueban las llantas para determinar la movilidad y el estado del suelo donde se apoyan para evitar problemas de movilidad por alguna pieza.
- Revisión del sistema de la estructura, en especial los brazos móviles.
- Al final la operación del mantenimiento del PIG se recomienda limpiar todo el sistema de elevación MSILIT.

2. MENSUAL

- Cada 30 días se recomienda realizar una limpieza más detallada del sistema MSILIT, se recomienda no utilizar químicos agresivos y sistemas de presión de agua.
- Lubricar periódicamente los rodamientos y partes móviles del sistema MSILIT.
- Revisión de los sistemas de sujeción rápida, si se requiere cambio, se realiza.
- Revisar el nivel de aceite del sistema hidráulico.
- Ajuste manual de cada perno o tuerca que sea necesario para tener un funcionamiento normal del sistema MSILIT.

3. ANUAL

- Realizar el cambio de toda la grasa para lubricar el sistema MSILIT por una nueva garantizando que las piezas con mayor fricción disminuyan el desgaste.
- Se recomienda realizar la limpieza del sistema MSILIT, además si se presenta oxidación o corrosión, corregir el problema y finalizar con pintura sobre el área.
- Para cambio del aceite hidráulico se recomienda usar SAE 10, aplicado para elevadores.
- Revisión del vástago del cilindro en caso de ralladura o deformación.

Ilustración 175 Dimensiones de subestación máxima y mínima altura de MSILIT.

FICHA TÉCNICA

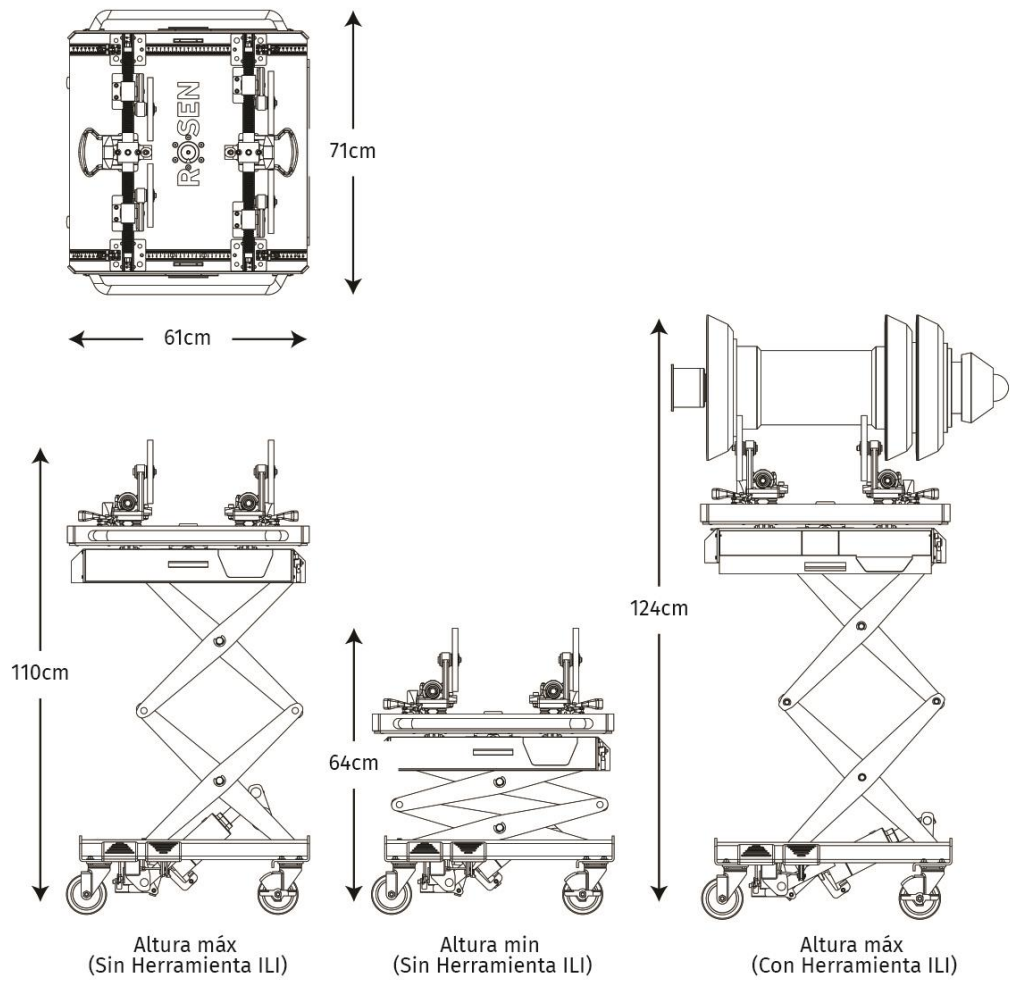


Ilustración 176 Etiquetas de seguridad MSILIT.

FICHA TÉCNICA

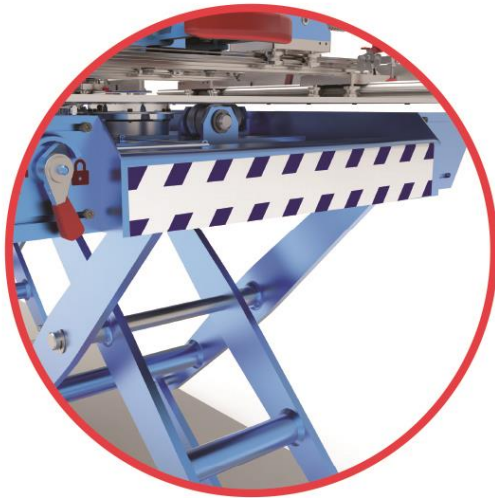


ETIQUETAS

Es necesario que lea esta sección y revise su elevador al momento de recibirlo, ya que debe de tener todas las calcomanías de seguridad y advertencias; de no ser así, repórtelo inmediatamente para que le sean proporcionadas dichas calcomanías.

[CAPACIDAD MÁX 250KG]

Etiqueta de capacidad máxima de la subestación



[FRANJAS DE SEGURIDAD]

Indica que es una parte en movimiento.

[MANTENER ESTA ÁREA LIMPIA]

Calcomanía de advertencia indica que no hay que obstruir las partes en movimiento de la subestación ya que podrá causar daños al personal o al equipo



Ilustración 177 Especificaciones Sistema de elevación MSILIT.

FICHA TÉCNICA



SISTEMA DE ELEVACIÓN

Se divide en dos partes el sistema mecánico y sistema hidráulico. El sistema mecánico consiste principalmente de 4 brazos metálicos articulados en puntos de unión. Todas estas articulaciones además de las que se encuentran en los puntos pivotes de la cubierta, el bastidor, las ruedas y en los pistones llevan rodamientos de alto rendimiento garantizando una prolongada vida útil.

Sistema hidráulico es el responsable de dar movilidad al sistema mecánico, está compuesto de una bomba de desplazamiento positivo accionada por unos un sistema de pedales de subir y bajar.

•**Pedal subir:** Cada vez que se presiona el pedal la subestación inicia su ascenso, este pedal mueve el pasador, lo que origina que el líquido de la bomba se dirigido por medio de la tuberías hasta mover el bastidor donde se aloja el rol de empuje haciendo que el plano de trabajo se eleve.

•**Pedal bajar:** Cada vez que se presiona el pedal se inicia el descenso. Este libera el líquido haciendo que el bastidor descienda y por consiguiente el plano trabajo.

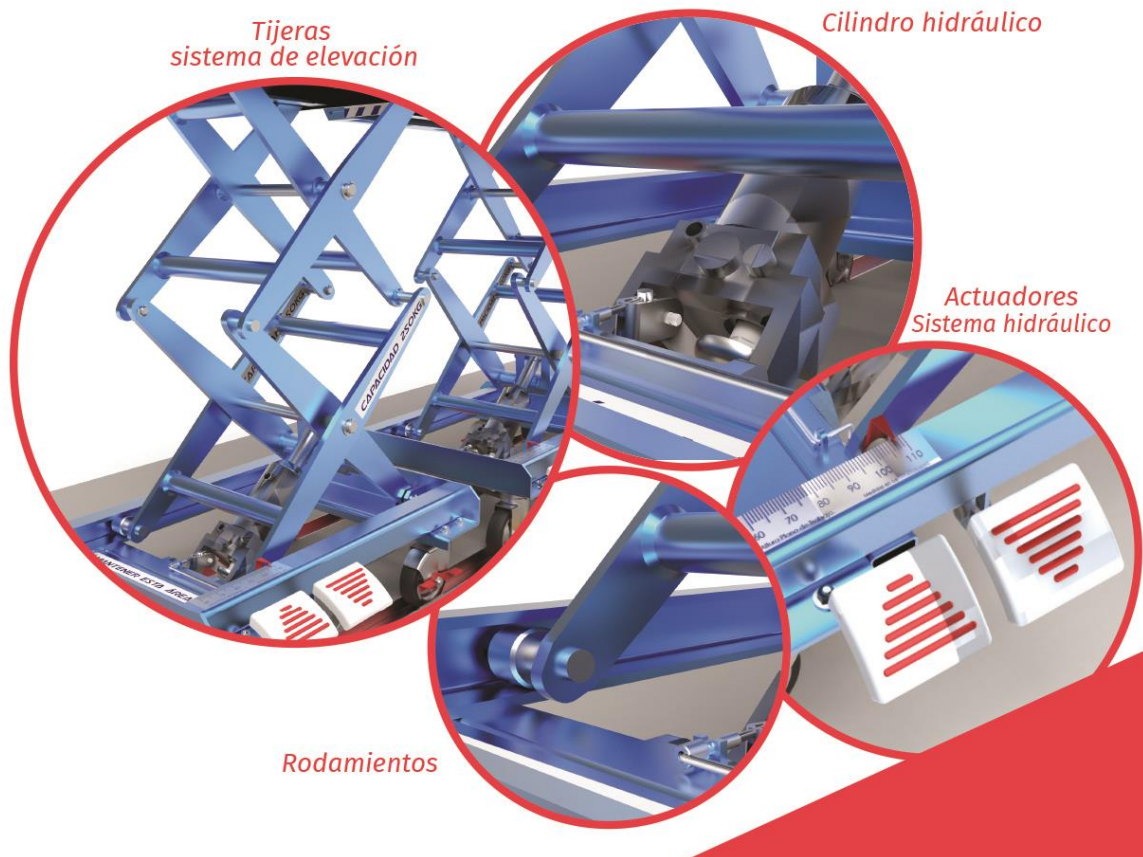


Ilustración 178 Especificaciones sistema de movilización MSILIT.

FICHA TÉCNICA



SISTEMA DE MOVILIZACIÓN

Las ruedas han sido seleccionadas para poder soportar la carga máxima de la subestación y su peso mismo. Estas permiten movilizar la subestación a otros espacios cuando no esté en uso además permite transportar la carga de un punto a otro. Además las ruedas con freno individual permiten fijar y evitar que se mueva la subestación durante la ejecución de los distintos mantenimientos.



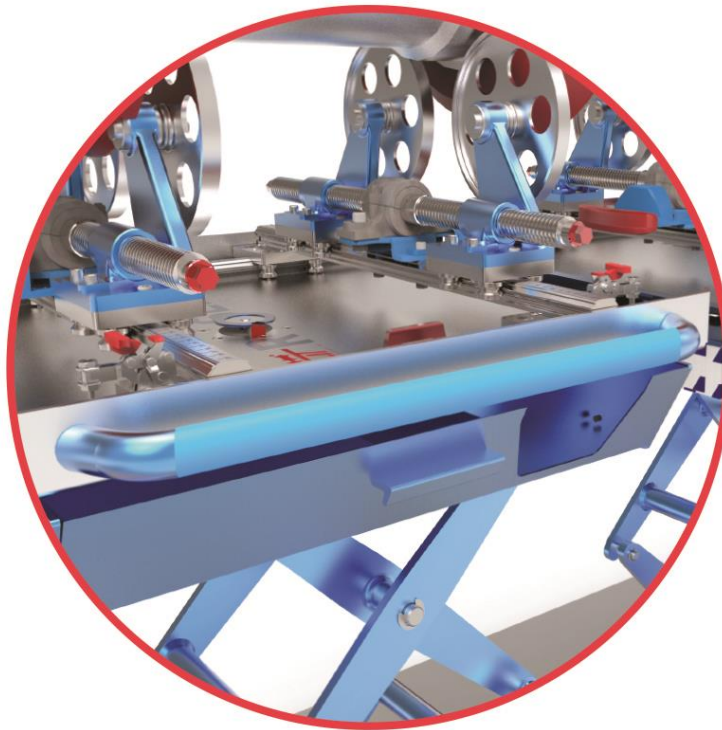
Ilustración 179 Especificaciones Manija de agarre MSILIT.

FICHA TÉCNICA



MANIJA DE AGARRE DE SUBESTACIÓN

La manija de agarre ha sido diseñada para facilitar el proceso de empuje y movilización de la subestación en el interior del área de mantenimiento y a lo largo del riel. La manija está fabricada en perfil estructural cilíndrico y viene provisto de un acabado en caucho texturizado trabajo en su área de activa, para tener mayor fuerza de fricción al momento del agarre.



Manija de agarre

Ilustración 180 Especificaciones sistema de apoyos MSILIT.

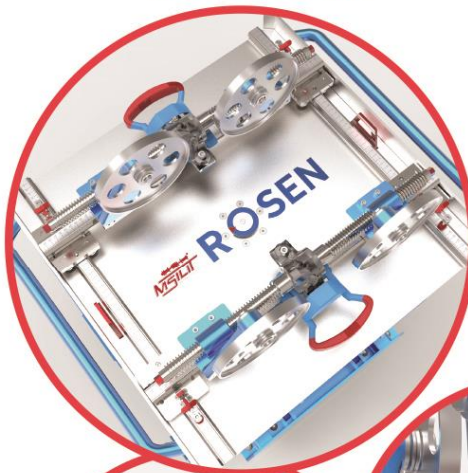
FICHA TÉCNICA



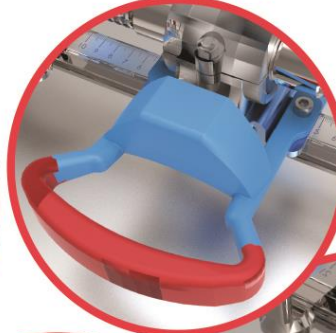
SISTEMA DE APOYOS

Juego de rieles y carros deslizantes anti-fricción marca PBC Linear de alta tecnología y precisión con capacidad para soportar la carga máxima a la que va estar sometido el sistema. Sobre los carros deslizantes es ensamblado los apoyos de ruedas que son movilizadas de manera equidistante sobre el “eje x”, mediante un tornillo sin fin de transmisión con doble rosca, que permite facilitar el ajuste del diámetro de las distintas dimensiones de las herramientas instrumentadas ILI. También se incluye una manija que permite movilizar el sistema de rieles de ajuste de diámetro sobre el “eje z” a una posición tal que se ajuste a la longitud del cuerpo de la herramienta ILI. Este ajuste es posible gracias al sistema integrado de bloqueo de clamp de ajuste rápido. El sistema de medición permite que los ajustes diámetro y longitud se ejecuten con mayor precisión.

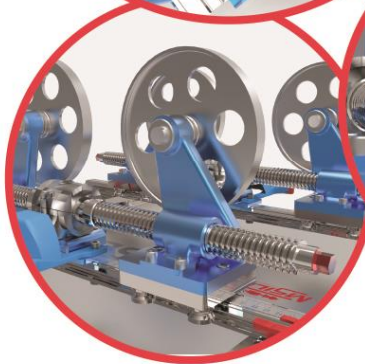
Sistema de apoyos



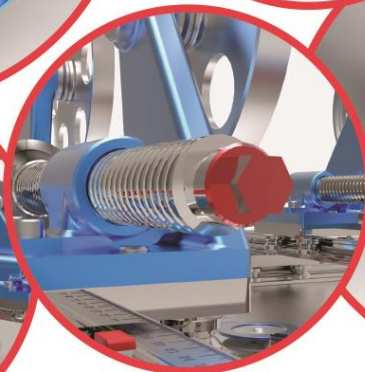
Manija de agarre para sistema de apoyos



Cintas de medición y Clamp de bloqueo



Apoyos de ruedas



Acople tornillo sin fin

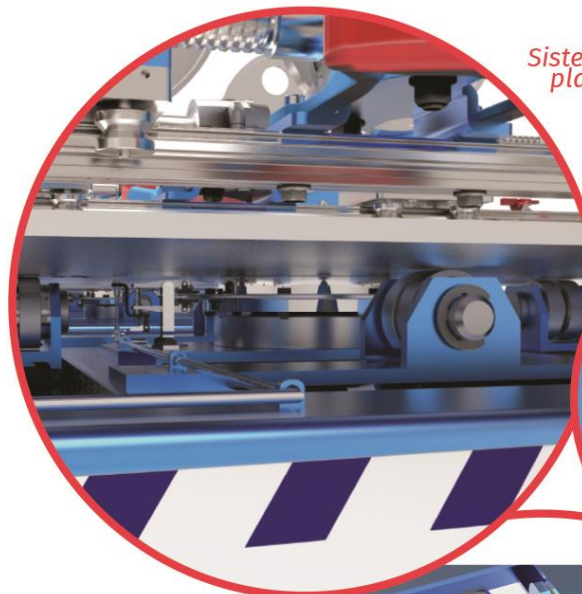
Ilustración 181 Especificaciones sistema de rotación plano de trabajo MSILIT.

FICHA TÉCNICA



SISTEMA DE ROTACIÓN PLANO DE TRABAJO

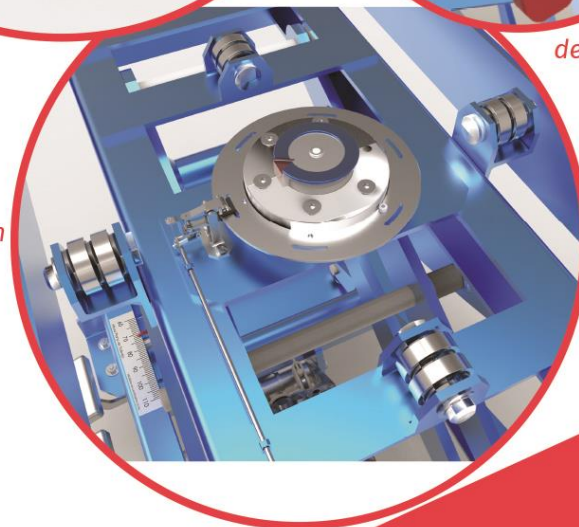
Este permite rotación de 360° del plano de trabajo para ser ajustado mediante un mecanismo manual de frenado que es accionado a través de una perilla a la posición que el operario lo requiera. Esto reduce el tiempo de ejecución del mantenimiento ya que se evita el desplazamiento alrededor de banco de trabajo del operario para lograr acceso total a la herramienta ILI. Los rodamientos unidos al sistema de elevación y la chumacera hacen posible el movimiento rotacional.



Sistema de rotación plano de trabajo



Perilla de accionamiento



Mecanismo de rotación plano de trabajo

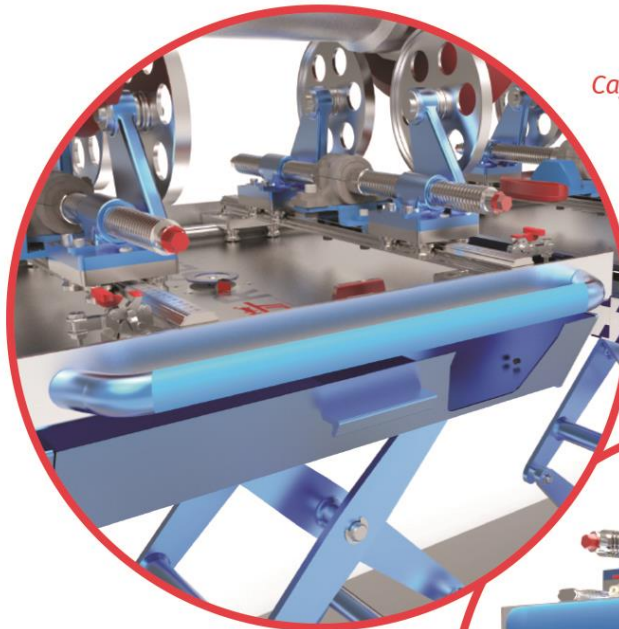
Ilustración 182 Especificaciones sistema de almacenamiento MSILIT.

FICHA TÉCNICA



CAJÓN DE ALMACENAMIENTO

Compartimiento para almacenaje de herramientas manuales de uso frecuente. Este cajón se desliza mediante una canal que permite que el cajo quede abatible y facilita la visibilidad de los elementos almacenados en su interior. Además tiene un espacio especial para la ubicación del taladro inalámbrica cuando no esté en uso



Cajón cerrado

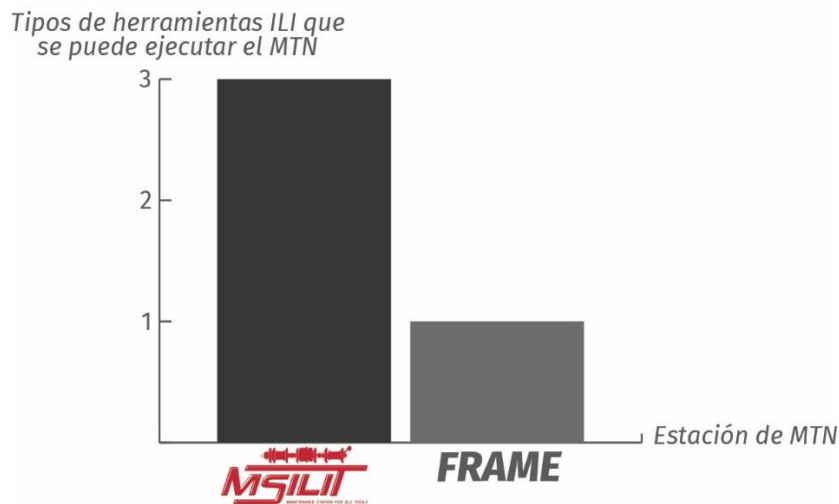


Cajón abierto

5.3.2 Costos de fabricación Para determinar los costos de fabricación para la estación de mantenimiento, se partió como primera medida que está compuesta como mínimo por 3 subestaciones, así que se determinó realizar el costo estimado para una subestación, para después realizar la tasación para la totalidad de la estación de mantenimiento (3 módulos).

El costo de fabricación se realizó teniendo en cuenta cantidades y calidad (material y/o marca) de los diferentes componentes respecto a sus), también se incluyó los costos indirectos, mano de obra y uso de maquinaria. (Ver tabla 84). Como resultado se obtiene que el costos de fabricación de una subestación (modulo) es \$16.653.960 pesos, de esta manera se concreta el costo total de fabricaron de **MSILIT** (3 módulos) es de \$49`961.880. Para establecer la factibilidad de fabricación se realiza una comparación de coste y beneficio entre el producto competitivo FRAME de \$32`000.000 y **MSILIT**.

Ilustración 183 Factibilidad de fabricación.



La Ilustración 183 se presenta los resultados del análisis de factibilidad donde se evidencia que con la inversión de un frame la empresa solo puede ejecutar el mantenimiento para un solo tipo de herramienta ILLI mientras que al realizar la

MSILIT, la empresa podrá ejecutar el mantenimiento a tres tipos de herramientas ILLI diferentes. Obteniendo un beneficio aproximado al 95%.

Tabla 84 Costo de fabricación de una subestación (modulo).

DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
SISTEMA HIDRÁULICO					
Cilindro hidráulico, pedal de elevación y pedal de descenso. Fuerza hidráulica= 7411 N		Un	1	\$ 250.000	\$ 250.000
SISTEMA GIRATORIO					
Soporte de bandeja superior Cal. 3/16; vol=2006,38 cm ³	ASTM A36	Un	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Tubo Barra manija cal. 1,5; Longitud 520 metros	ASTM A36	M	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Riel PBC Linear 60 cm	Al 6063	Un	2	\$ 180.000	\$ 360.000
Rodamiento SKF 51207 * Ø62 cm * e=18 cm	AISI 52100 Acero cromado	Un	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Eje soporte para bandeja superior 58 cm*Ø48mm	AISI 1025	Un	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Disco rodamiento 1 - 16 cm*Ø96mm	AISI 1025	Un	1	\$ 110.000	\$ 110.000
Disco rodamiento 2 - 17,42 cm*Ø108mm	AISI 1025	Un	1	\$ 110.000	\$ 110.000
Sistema de disco de freno, guaya y palanca de cambio	Acero aleado	GL	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Rache de carga gancho doble J RSDJ227 de 2" X 27' y Tensión de ruptura 10,000 Lbs		GL	1	\$ 30.000	\$ 30.000
SISTEMA DE APOYOS					
Tornillo de potencia Ø1,12 in, paso 0,2 in y longitud 553,4mm	AISI 1050	M	2	\$ 140.000	\$ 280.000
Riel PBC Linear 60 cm	Al 6063	Un	4	\$ 180.000	\$ 720.000

DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Apoyo deslizador PBC Liner 90*80 mm	Aleación de aluminio	Un	8	\$ 120.000	\$ 960.000
Fundición de soporte y rueda inox Ø160 mm	AISI 304 - AISI 52100 Acero cromado	Un	4	\$ 160.000	\$ 640.000
Adaptador de tornillo de potencia	C86300 Bronce manganeso	Un	4	\$ 45.500	\$ 182.000
Rodamiento 6359K370	AISI 52100 Acero cromado	Un	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Manija para riel	Polipropileno	Un	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Clamp de bloqueo de accionamiento rápido	Acero Galvanizado	Un	4	\$ 35.000	\$ 140.000
SISTEMA DE ESTRUCTURA					
Base superior calibre 5mm, lamina 3/16 in; dimensiones 590*620*90 mm	ASTM A36	Un	1	\$ 220.000	\$ 220.000
Base inferior calibre 5 mm, lamina de 5/16 in, tubo cuadrado 40*40 mm * e=2,5	ASTM A36	Un	1	\$ 220.000	\$ 220.000
Cajón de herramientas con lamina cal. 1,5, Dimensiones 518*120*79 mm	ASTM A36	Un	2	\$ 35.000	\$ 70.000
Brazo 2, lamina cal. 10 mm, dimensiones 560*60*188 mm, con tubería de acero estructural de 1 in e=2,5 con longitud 152 mm	ASTM A36	Un	1	\$ 148.000	\$ 148.000

DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Brazo 1, lamina cal. 10 mm, dimensiones 560*60*281 mm, con tubería de acero estructural de 1 in e=2,5 con longitud 261 mm	ASTM A36	Un	1	\$ 115.000	\$ 115.000
Brazo 3, lamina cal. 10 mm, dimensiones 560*60*281 mm, con tubería de acero estructural de 1 in e=2,5 con longitud 261 mm	ASTM A36	Un	1	\$ 130.000	\$ 130.000
Eje θ 24 mm * 296 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	2	\$ 80.000	\$ 160.000
Eje θ 12,7 mm * 247 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Eje θ 16 mm * 77 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Eje θ 16 mm * 54 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	2	\$ 20.000	\$ 40.000
Eje θ 16,83 mm * 77 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Eje θ 16,83 mm * 68 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	2	\$ 20.000	\$ 40.000

DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Eje \varnothing 16,83 mm * 45 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Eje \varnothing 1 in * 106 mm	AISI 1045 Estirado en frio	Un	1	\$ 70.000	\$ 70.000
Buje \varnothing 24mm*28,5mm e=2,5	C86300 Bronce manganeso	Un	2	\$ 8.000	\$ 16.000
Buje \varnothing 24mm*18,8mm e=2,5	C86300 Bronce manganeso	Un	2	\$ 7.000	\$ 14.000
Buje \varnothing 17,9mm*28,5mm e=2,5	C86300 Bronce manganeso	Un	2	\$ 7.200	\$ 14.400
Buje \varnothing 17,9mm*18,8mm e=2,5	C86300 Bronce manganeso	Un	2	\$ 6.000	\$ 12.000
Buje \varnothing 17,9mm*21mm e=2,6	C86300 Bronce manganeso	Un	2	\$ 6.500	\$ 13.000
Rueda \varnothing 34 * 26 mm	ASTM A36	Un	2	\$ 22.000	\$ 44.000
Rueda \varnothing 37,46 * 26 mm	ASTM A36	Un	2	\$ 26.000	\$ 52.000
SISTEMA DE RUEDAS					
Rodachina rlp giratoria de 4 in con freno		Un	2	\$ 28.000	\$ 56.000

DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Rodachina rlp giratorias de 4 in sin freno		Un	2	\$ 24.800	\$ 49.600
MANO DE OBRA					
SOLDADOR		GL	1	\$ 1.206.897	\$ 1.206.897
AYUDANTE		GL	1	\$ 689.655	\$ 689.655
PINTOR		GL	1	\$ 862.069	\$ 862.069
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
COMPRESOR, SOLDADORA, TORNO, CORTADORA, PULIDORA		GL	1	\$ 2.586.207	\$ 2.586.207
COSTOS INDIRECTOS					
Costos de Diseñador		GL	1	\$ 2.155.172	\$2.155.172
Imprevistos		GL	1	\$ 344.828	\$344.828
VARIOS (TRANSPORTE, IMPRESIONES, TORNILLERÍA)		GL	1	\$ 431.034	\$431.034
				VALOR	\$14.356.862
				IVA	\$2.297.098
				VALOR TOTAL	\$16.653.960

5.4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (LCA)

El término “ciclo de vida” se refiere a las principales actividades en el curso de la vida útil del producto, desde su fabricación, uso y mantenimiento, hasta su disposición final, incluyendo la adquisición de la materia prima necesaria para la fabricación del producto. Este proceso permite cuantificar el uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados a la extracción, producción, distribución, uso y desecho del producto. Se entiende como un método de la “Cuna a la tumba”. [46]

Para realizar la evaluación de análisis del ciclo de vida de MSILIT, se hizo uso nuevamente del software CAD Solidworks, específicamente el módulo de Sustainability. Teniendo en cuenta que la totalidad del diseño de la estación de mantenimiento fue desarrollado en este software se pudo establecer las entradas correspondiente a los materiales para cada una de las piezas (ver tabla 72 y tabla 77), proceso de fabricación que en su mayoría es mecanizado y acabados finales en pintura al polvo para ciertos componentes. Además se estableció fabricación y uso en Sur América.

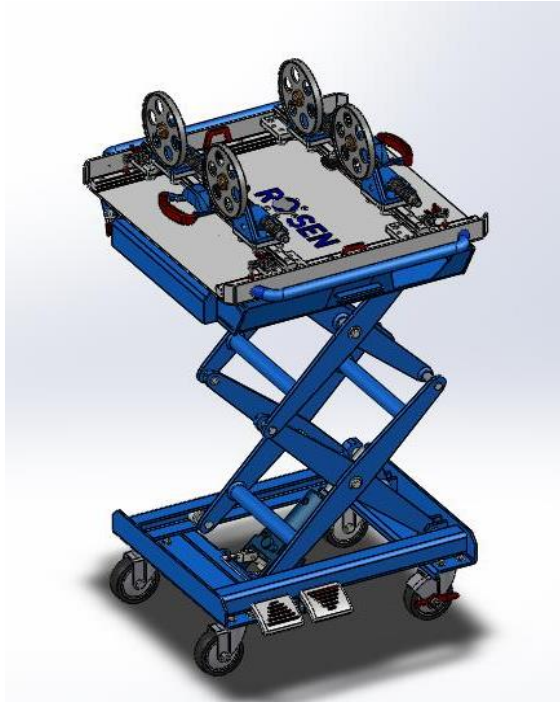
5.4.1 Resultados Análisis LCA SolidWorks A continuación en la tabla 86, se muestra los resultados del informe de SolidWorks el cual analiza el impacto medioambiental de acuerdo con estos parámetros:

- ✓ El material utilizado
- ✓ El proceso de fabricación y la ubicación geográfica (región)
- ✓ El transporte y la región de utilización
- ✓ El fin de la vida útil

Midiendo los siguientes elementos de impacto medioambiental [47]:

- ✓ Huella de carbono (Carbono): Una medición del dióxido de carbono y sus equivalentes, como el monóxido de carbono y el metano, que se liberan a la atmósfera principalmente por la combustión de combustibles fósiles.
- ✓ Consumo de energía (Energía): Todas las formas de energía no renovable consumida durante el ciclo de vida completo del producto.
- ✓ Acidificación atmosférica (Aire): Las emisiones ácidas, como el dióxido de azufre y los óxidos nitrosos, que finalmente producen la lluvia ácida.
- ✓ Eutrofización del agua (Agua): La contaminación de los ecosistemas acuáticos por agua residual y fertilizantes, que produce floraciones algales nocivas.

Tabla 85 Informe *SolidWorks Sustainability* de subestación MSILIT.



Nombre del modelo: Subestación MSILIT

Peso: 1.60E+5 g

Construido para durar: 10 Años

Utilización durante: 8.0 Años



■ Región de fabricación

La elección de la región de fabricación determina los recursos energéticos y las tecnologías utilizadas en la creación de materiales y las etapas de fabricación del ciclo de vida del producto.

■ Región de utilización

Se utiliza para determinar los recursos energéticos consumidos durante la fase de utilización del producto, si procede, y el destino del producto al alcanzar el final de su vida útil. Junto con la región de fabricación, la región de utilización también se utiliza para calcular los impactos medioambientales asociados con el transporte del producto desde su lugar de fabricación al de utilización.

Tabla 86 Informe de impacto ambiental de subestación MSILIT.

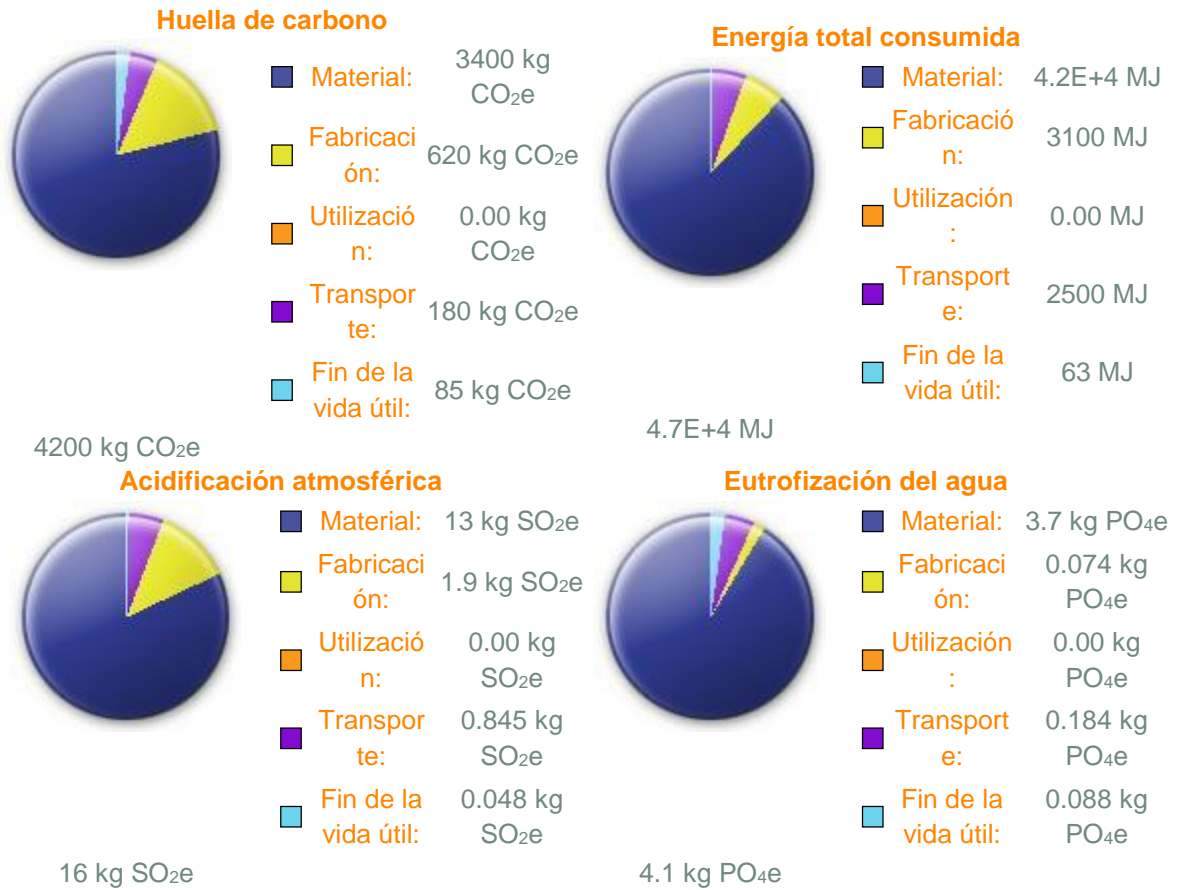
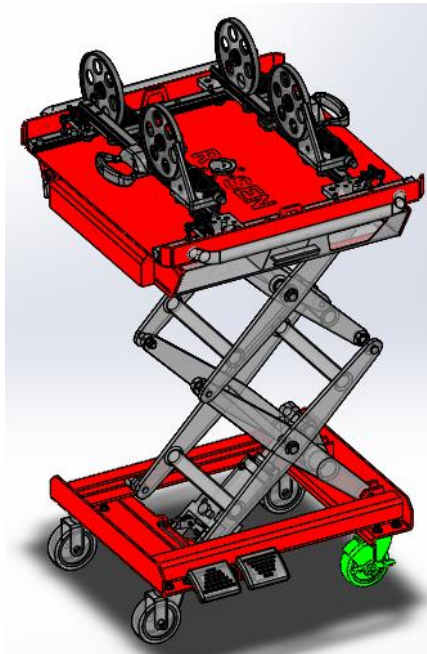


Tabla 87 Los componentes que más contribuyen a las cuatro áreas de impacto medioambiental.

COMPONENTE	CARBONO	AGUA	AIRE	ENERGÍA
Soporte de bandeja	62	0.054	0.226	690
Base superior	59	0.052	0.216	660
Base Inferior	57	0.050	0.207	630
Brazo 1	30	0.026	0.110	340
Brazo 2	20	0.018	0.073	220
Brazo 3	19	0.016	0.068	210
Brazo 2-1	18	0.016	0.066	200
Cilindro hidráulico	15	0.013	0.053	160
Vástago cilindro	7.7	0.025	0.030	80
cajón herramientas	11	9.6E-3	0.040	120

Ilustración 184 Los tres componentes de mayor incidencia en las cuatro áreas de impacto medio ambiental.



5.4.2 Conclusiones LCA Como se puede observar en la tabla 86, el principal impacto ambiental se da al inicio del ciclo de vida de MSILIT, específicamente en la extracción y obtención de la materia prima para ser fabricado debido a que se usan aceros en su mayoría. No obstante se evidencia que para los parámetros de fabricación, utilización, transporte y fin de vida útil de MSILIT el impacto ambiental no es alto. Debido a la alta sustentabilidad del acero, material principal de MSILIT el cual es reutilizado y reciclado en un 99% [48]. En la tabla 87 se puede observar que la principal incidencia de impacto medio ambiental recae sobre los componentes de mayor tamaño y peso de la subestación. Donde los tres principales son: soporte de bandeja, base superior y base inferior. (Ver Ilustración 184)

Por otra parte se concluye que aunque se evidencio un impacto ambiental en la selección de los materiales, se determina no realizar cambios ya que sus propiedades físicas y químicas, se ajustan a los requerimientos y parámetros establecidos para el diseño MSILIT.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de grado se alcanzan mediante el cumplimiento de los objetivos específicos y la metodología implementada durante su desarrollo.

- **HALLAZGOS**

Como primer punto se realizó un acercamiento al contexto, donde el estudio se focalizó en analizar a las personas, elementos y diferentes actividades que se desarrollan en el área de mantenimiento de ROSEN Europe B.V. Sucursal Colombia. Donde se identificó que el proceso de mantenimiento se divide en cinco (5) etapas, así mismo que le son ejecutados once (11) tipos de mantenimiento a las herramientas instrumentadas ILI de los cuales ocho (8) contempla una manipulación directa por parte del operario con la herramienta instrumentada ILI y son realizados sobre el banco de mantenimiento actual. Además, mediante una encuesta aplicada al personal del área se logró ponderar en un 87% el nivel de incomodidad en la realización de los ocho mantenimientos sobre banco actual. Tabla 11

En base a los hallazgos anteriores se realizó la evaluación de riesgo postural que permitió definir a nivel cualitativo y cuantitativo la exposición de los operarios a posturas de alto riesgo para determinar su frecuencia y duración. Así, mediante la implementación del método OWAS en un entorno real y la aplicación de este mismo en un entorno virtual con uso del software JACK de tecnomatix. Se consiguió detectar los principales factores de riesgo ergonómico que orientaron la búsqueda hacia las nuevas soluciones ergonómicas para mejorar las condiciones de trabajo de los operarios en el banco de mantenimiento actual detectándose que entre las causas principales estaban:

- ✓ Altura inadecuada del plano de trabajo.
- ✓ Dificultad de visibilidad de la actividad que se está ejecutando.
- ✓ Interacción entre la configuración formal de la herramienta instrumentada ILI y la superficie de trabajo. Generando inestabilidad e inseguridad en la manipulación de la misma.
- ✓ Dificultad de acceso a la cara inferior de la herramienta instrumentada ILI.
- ✓ Distancia entre la herramienta instrumentada ILI y el operario mayor al alcance máximo permisible.
- ✓ Manipulación de carga externa entre los 100Kg a 300Kg.

Otros aportes logrados en la etapa de diagnóstico, fue comparar los resultados entre la aplicación del método OWAS realizado a través del software JACK, respecto a los obtenidos de la programación externa del mismo método, evidenciando un alto porcentaje de similitud de 87.5%, demostrando así que la implementación de esta metodología de simulación ergonómica virtual para la validación de la propuesta final es confiable (tabla 46 a la tabla 53). Adicional a esto establecieron los requerimientos de diseño, los cuales dieron la pauta para iniciar y direccionar la creación de alternativas de solución y su posterior selección.

El resultado del segundo objetivo específico, corresponde al desarrollo de alternativas de diseño que cumplieran con los requerimientos de diseño y dieran satisfacción a las necesidades manifestadas por el personal de área y además, que respondiera al análisis detallado de los movimientos que se llevan a cabo para realizar los distintos tipos mantenimiento a través de la antropometría dinámica.

En este orden de ideas se inicia con la realización del análisis competitivo donde se concluye que las propuestas comerciales existentes carecían de soluciones totales frente al producto que se iba diseñar además que ninguno de los dispositivos analizados se podía configurar para distintas dimensiones de herramientas instrumentadas ILI y sus costos de fabricación eran relativamente altos. En segunda

instancia se realizó la actividad proyectual del desarrollo de soluciones para ello se tomó como base la metodología de diseño de enfoque sistemático desarrollada por Palh y Beitz [38], quienes proponen una estrategia para el desarrollo de soluciones. Partiendo de la definición de la función general que debe cumplir el producto a diseñar, para que a partir de esta función general se establezcan sub-funciones y si es necesario estas a su vez en otras sub-sub-funciones. Lográndose con esto la concepción del concepto de diseño (Ilustración 101), el cual fue evolucionando mediante las validaciones iterativas a nivel técnico y formal del equipo colaborativo conformado por el personal del área de mantenimiento de ROSEN y el pasante de Diseño Industrial.

De lo anterior se obtiene como resultado el diseño de MSILIT, una estación de trabajo formada por sub-módulos (subestaciones), que mediante el ajuste de sus apoyos permite la adaptación de esta a las dimensiones de otras herramientas instrumentadas ILI (10, 12 y 14in). Con un plano de trabajo ajustable en altura (60 a 110cm) y en rotación (360°). Facilitando con esto la ejecución de las manipulaciones que debe realizar el operario a la herramienta ILI para acceder a sus distintas partes (ver Ilustración 27), sin tener que hacer esfuerzos de carga externa ni adopción de posturas críticas que sobrepase los umbrales permitidos según las normatividades colombianas (NTC 5655 Principios para el Diseño Ergonómico de Sistemas de Trabajo) y garantizando con ello que la estación de mantenimiento se adapte a la antropometría de las diferentes personas que la operen y no las personas a la estación MTN.

Por otra parte su sistema de almacenamiento abatible permite la organización y ubicación rápida de herramientas frecuentes para evitar desórdenes en el área y pérdidas de tiempo en la búsqueda de elementos de trabajo. Además al ser una estación de mantenimiento con sistema de movilización permite la rápida reubicación a otro lugar cuando no está en uso aprovechando el espacio para ejecutar otras actividades que se requieran en el área de mantenimiento.

La propuesta final logro satisfacer las expectativas del personal del área de mantenimiento, lo cual se evidenció en la tabla 67 donde cada miembro de mantenimiento realizo una evaluación paramétrica de las cualidades de MSILIT obteniéndose un resultado de aceptación alto. Además los resultados de ergonómicos de la implementación de MSILIT arrojaron resultados favorables para los tres análisis realizados, método OWAS, evaluación de riesgo espalda baja y evaluación de riesgo fuerza estática. Los resultados obtenidos en fueron comparados con los que hallados en los mismos análisis para el puesto de trabajo actual; evidenciado en las Ilustración 155, Ilustración 156 e Ilustración 157, donde las mejoras ergonómicas implementadas con la propuesta final MSILIT, son óptimas y corresponde a los movimientos y antropometría de los operarios del área de ROSEN.

La simulación CAE de elementos finitos realizados a MSILIT demostró, que la estación está configurada para una carga de trabajo superior a la que estará habitualmente sometida, ya que su carga máxima de soporte es de 250Kg con factor de seguridad para la posición de altura máxima de ***FDSMin=1,684*** y altura mínima de ***FDSMin=1,327***. Y teniendo en cuenta que el peso máximo del cuerpo de una herramienta ILI oscila entre los 100 a 150KG (ver Ilustración 25), da como resultado que la mecánica estructural y los materiales seleccionados para la fabricación de MSILIT son los adecuados.

Otro de los hallazgo encontrados es la factibilidad de fabricación de MSILIT para ROSEN, ya que en el comparativo realizado de costo vs beneficio entre MSILIT y el FRAME, se encontró que mientras el costo de fabricación del primero es de \$49`961.880 (primer prototipo) y permite la ejecución del mantenimiento de hasta 3 herramientas instrumentadas ILI; el segundo, tiene un costo de fabricación (comercial) \$32`000.000 y permite la ejecución del mantenimiento de una sola herramienta instrumentada ILI, dando como resultado una viabilidad de factibilidad del 95% (ver Ilustración 183).

Finalmente el cumplimiento del quinto objetivo específico, se obtuvo que el impacto ambiental se da al inicio del ciclo de vida de MSILIT, específicamente en la extracción y obtención de la materia prima ya que es usado como principal material de construcción el acero. No obstante se evidencia que para los parámetros de fabricación, utilización, transporte y fin de vida útil de MSILIT el impacto ambiental no es alto, debido a la alta sustentabilidad del acero, material principal de MSILIT el cual es reutilizado y reciclado en un 99% [48]

De manera general se considera que el proyecto es exitoso porque mediante el diseño industrial y apoyándose en el uso de metodologías de simulación ergonómica y CAE se logró reproducir las condiciones iniciales y evaluar la propuesta de mejora en un entorno fácilmente reconocible por los componentes del equipo colaborativo (personal del área y pasante de Diseño Industrial), incorporando de manera interactiva todos los factores relevantes del ciclo de vida y mejorando la ingeniería de producto y del proceso, facilitando la introducción de cambios y mejoras sin aumentar los costos de análisis de la distintas alternativas.

- **LIMITACIONES**

Una de las limitantes en el desarrollo del presente trabajo fue la no disponibilidad de las versiones originales de los softwares utilizados para la simulación ergonómica y CAE, utilizando la versión de prueba de ambos donde el tiempo de estas oscilan entre los 15 y 30 días, siendo este insuficiente para la familiarización de los paquetes de herramientas y la implementación aplicativa para las validaciones del proyecto además que algunas herramientas presentaban fallos. No obstante fue posible solucionar estos errores y se obtuvieron resultados.

Por otra parte la disponibilidad de las instalaciones y del personal de ROSEN, para llevar a cabo las actividades de verificación y validación demandó un tiempo adicional al estimado en el cronograma del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García, M.G., et al., *Análisis de métodos de valoración postural en las herramientas de simulación virtual para la ingeniería de fabricación*. Dyna, 2013. **181**: p. 5-15.
2. Berner, J.A.G. *¿Qué es el Diseño? "Análisis sobre la Innovación Radical como Reinterpretación de la Realidad"*. Casiopea 2013 [cited 2014 Enero 10]; Available from: http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/%C2%BFQu%C3%A9_es_el_dise%C3%B1o%3F:%E2%80%9CAn%C3%A1lisis_sobre_la_innovaci%C3%B3n_radical_como_reinterpretaci%C3%B3n_de_la_realidad%E2%80%9D.
3. Woodley, D. *The Origin of Intelligent Pigs*. Pipelines International 2011 [cited 2013 Noviembre 24]; Available from: http://pipelinesinternational.com/news/the_origin_of_intelligent_pigs/065044/.
4. Association, P.P.y.S. *Introduction to Pipeline Pigging*. PPSA 2000 [cited 2013 Noviembre 24]; Available from: <http://ppsa-online.com/about-pigs.php>.
5. CLH, A. *Viaje al Interior del Oleoducto*. 2010. **2013**.
6. Rosen. *Rosen Empowered Technology*. Rosen 2003; Available from: <http://www.rosen-group.com/global.html>.
7. Velez, G.A.L., *Prototipo PiG Intellingent*, in *Facultad de Ingenieria Electrica y Electronica*. 2003, Universidad Nacional: Manizales. p. 2.
8. Techonologies, I. *ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*. 2010 [cited 2014 10 Agosto]; Available from: <http://www.indutecsa.com/index.php/productos/nodestructivos>.
9. Los Cardanes, F.y.r.d.s.c. *Qué es un cardán?* 2014; Available from: http://www.loscardanes.com/index.cfm?section_ID=welcome.

10. Velez, G.A.L., *Prototipo PiG Intellingent*, in *Facultad de Ingenieria Electrica y Electronica*, T.D.E.Y. RECIBO, Editor. 2003, Universidad Nacional: Manizales. p. Herramienta Instrumentada ILI, tres secciones.
11. Velez, G.A.L., *Prototipo PiG Intellingent*, in *Facultad de Ingenieria Electrica y Electronica*, T.D.E.Y. RECIBO, Editor. 2003, Universidad Nacional: Manizales. p. Trampa de lanzamiento
12. Nachlas, J.A. *Diseño e Implementacion del programa de mantenimiento Industrial*. El portal latinoamericano de mantenimiento 1995 [cited 2013 Noviembre 26]; Available from: <http://www.mantenimientomundial.com>.
13. Pulzara, Y.A.B., *Diseño e Implementación del Programa de Mantenimiento Preventivo para las Máquinas Sopladora e Inyectora-Sopladora de la Empresa Otorgo LTDA.*, in *Facultad de Ingeniería 2011*, Universidad Autónoma de Occidente Santiago de Cali.
14. Konz, S.A. and S. Johnson, *Work design: industrial ergonomics*. Vol. 1. 2000: Holcomb Hathaway Pubs.
15. García, M., et al., *A cost-benefit ergonomics methodology applied to service industry with digital human modelling*. European Journal of Industrial Engineering, 2014. **8**(4): p. 533-553.
16. Lite, A.S., M.G. García, and M.Á.M. del Campo. *Métodos de evaluación y herramientas aplicadas al diseño y optimización ergonómica de puestos de trabajo*. in *XI Congreso de Ingeniería de Organización*. 2007.
17. Diego Mas, J.A. *Evaluación postural mediante el método OWAS*. 2013 [cited 2014 Mayo 26]; Available from: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>.
18. Kinovea.org. *¿Qué es Kinovea y a quién va destinado?* 2010 [cited 2014 Diciembre 1]; Available from: <http://www.kinovea.org/help/es/002.html>.
19. ISO, *Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo asociados a máquinas*, ISO, Editor. 2002.
20. Instrumentation, A.f.t.A.o.M., *Human factors design process for medical devices*. Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 2001.

21. Chengalur, S.N., S. Rodgers, and T. Bernard, *Kodak's ergonomics design for people at work*. 2004, USA: Wiley.
22. GARCÍA, M.F.M., F.E. CORREAL, and A.A. PEÑA, *ESTUDIO DE VALORES ANTROPOMÉTRICOS PARA LA REGIÓN NORORIENTAL COLOMBIANA*. Revista UIS Ingenierías, 2009. **7**(2).
23. Maradei, M., F. Espinel, and A. Peña, *Datos antropométricos para el diseño*. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2009.
24. IDEO, *Human-Centered Design Toolkit: An Open-Source Toolkit To Inspire New Solutions in the Developing World*. 3th. Edition ed. 2011: IDEO.
25. Naranjo Celis, G.T., *Diseño, documentación e implementación del sistema de calidad basado en la norma ISO 9001: 2008 para Rosen Europe BV Sucursal Colombia*. 2015.
26. Ding, Z., *Manual assembly modelling and simulation for ergonomics analysis*. 2013, University of Liverpool.
27. Mondelo, P.R., et al., *Ergonomía 3 Diseño de puestos de trabajo*. 2th. Edición ed. 1999.
28. Ergonautas.com. *Selector de métodos de evaluación*. 2006 [cited 2014 Octubre 13]; Available from: <http://www.ergonautas.upv.es/herramientas/select/select.php>.
29. Kivi, P. and M. Mattila, *Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised OWAS method*. Applied Ergonomics, 1991. **22**(1): p. 43-48.
30. Charry, G.T., *QUE ES Y PARA QUE SIRVE EL PROTOTIPADO VIRTUAL*, in *Corporación Universitaria Autónoma de Occidente*. 2001.
31. systèmes, d. *Solidworks*. Recuperado el 2009 [cited 2014 Septiembre 13]; Available from: <https://www.solidworks.com/sw/globalsites.htm>.
32. DULINA, L., *THE USE OF TRACKING SYSTEMS FOR ERGONOMICS ANALYSIS*. 2015.

33. Felipe, A.G., et al., *Los límites del sistema mano-brazo: la carga física de trabajo en extremidades superiores*. Mapfre seguridad, 2006. **26**(101): p. 30-39.
34. Tecnomatix, S.P., *JACK TASK ANALYSIS TOOLKIT (TAT) TRAINING MANUAL*, Tecnomatix, Editor. 2013: Sao Paulo-Brasil. p. 69.
35. Chiang, J., A. Stephens, and J. Potvin, *Retooling Jack's static strength prediction tool*. 2006, SAE Technical Paper.
36. Ruíz, J.S.C. and F.T. Enríquez, *De la Voz del Cliente a la Lealtad del Cliente: Un Caso Exitoso de la Aplicación de QFD en la Industria Mexicana del Calzado*. 2002, Extraído el.
37. NTC, N.T.C., *512-1. Industrias alimentarias*. Rotulado o etiquetado. Parte. **1**.
38. PROYECTACOLOR. *VISIBILIDAD Y LEGIBILIDAD*. 2014 [cited 2015 Marzo 13]; Available from: <http://www.proyectacolor.cl/percepcion-del-color/visibilidad-y-legibilidad/>.
39. Pahl, G. and W. Beitz, *Engineering design: a systematic approach*. 2013: Springer Science & Business Media.
40. Arriaga Ortega, J.A., *Diseño de un elevador tipo tijeras para el mantenimiento automotriz*. 2015.
41. McMaster-Carr. *McMaster-Carr*. 2016 [cited 2015 Julio 25]; Available from: <https://www.mcmaster.com>.
42. TraceParts. *TraceParts*. 2016 [cited 2015 Julio 20]; Available from: <http://www.traceparts.com/es/>.
43. Industries, T. *Linear Guides Profilerail*. 2000 [cited 2015 Octubre 15]; Available from: http://www.thomsonlinear.com/website/esm/esm/products/linear_guides/profilerail.php.
44. F-Chart Software, L. *Engineering Equation Solver (EES)*. 2015 [cited 2015 Septiembre]; Available from: <http://www.fchart.com/ees/>.
45. Zienkiewicz, O.C., *El método de los elementos finitos*. 1981: Reverté.

46. innocamaras. *ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA*. 2011 [cited 2014 10 de febrero]; Available from: <http://www.innocamaras.es/metaspaces/portal/13626/49974-ecodise%C3%B1o:-dise%C3%B1o-de-productos-servicios-sostenibles?pms=1,14380,13964005,view,normal,0>.
47. Cáceres, M.A.D. and J.M.M. Gómez, *Modelo de análisis de ciclo de vida del producto asistido por herramientas informáticas, como soporte a las estrategias de enseñanza universitaria del ecodiseño*. Arquetipo, 2015(10): p. 18-37.
48. Gervásio, H., *La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas*. 2009, Portugal.
49. Alcalde Lapiedra, V., et al., *La carga física de trabajo en extremidades superiores. Los límites del sistema mano-brazo*. Mapfre seguridad, 2006. **26**(101): p. 31-39.

BIBLIOGRAFÍA

CHIANG, J., A. STEPHENS, and J. POTVIN, *Retooling Jack's static strength prediction tool*. 2006, SAE Technical Paper.

DING, Z., *Manual assembly modelling and simulation for ergonomics analysis*. 2013, University of Liverpool.

DULINA, L., *The use of tracking systems for ergonomics analysis*. 2015.

FELIPE, A.G., et al., *Los límites del sistema mano-brazo: la carga física de trabajo en extremidades superiores*. Mapfre seguridad, 2006. **26**(101): p. 30-39.

GARCÍA, M., et al., A cost-benefit ergonomics methodology applied to service industry with digital human modelling. *European Journal of Industrial Engineering*, 2014. 8(4): p. 533-553.

IDEO, *Human-Centered Design Toolkit: An Open-Source Toolkit To Inspire New Solutions in the Developing World*. 3th. Edition ed. 2011: IDEO.

ISO, *Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo asociados a máquinas*, ISO, Editor. 2002.

LITE, A.S., GARCÍA M.G., and DEL CAMPO M.Á.M.. *Métodos de evaluación y herramientas aplicadas al diseño y optimización ergonómica*

MARADEI, M., F. ESPINEL, and A. PEÑA, *Datos antropométricos para el diseño*. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2009.

TECNOMATIX, S.P., *Jack task analysis toolkit (tat) training manual*, Tecnomatix, Editor. 2013: Sao Paulo-Brasil. p. 69.

ANEXOS

ANEXO A FORMATOS DE INMERSIÓN EN EL CONTEXTO

DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO EN USO

Informe realizado

por:

Fecha:

Hora de inicio:

Hora de

finalización:

USUARIOS		
1	TIPOS DE USUARIOS	Resultados
1.1	Usuario primario	
1.1.1	Consideraciones a Evaluar	
1.2	Usuario secundario	
1.2.1	Consideraciones a Evaluar	
1.3	Usuario terciario	
1.3.1	Consideraciones a Evaluar	
CARACTERÍSTICAS DE LAS TAREAS		
2	LISTA DE TAREAS	Resultados
2.1	Tareas identificadas	
2.2	Objetivo de la tarea	
2.3	Frecuencia de la tarea	
2.4	Duración de la tarea	
2.5	Exigencias físicas para realizar la tarea	
2.6	Exigencias mentales para realizar la tarea	
2.7	Efectos secundarios al realizar la tarea	

2.8	Equipo herramental requerido para realizar la tarea	
2.9	Flexibilidad de la tarea ¿Se sigue un protocolo definido para ejecutar la tarea?	
2.10	Relaciones de la tarea ¿La ejecución de la tarea hace parte de un proceso?, si es así realizar una lista de las tareas que están antes y/o después de esta.	
2.11	Seguridad ¿Cuál es el peligro que enfrenta el usuario a ejecutar la tarea?	
2.12	Estado de riesgo de la tarea ¿Qué tan crítica es ejecutar la tarea en términos de la integridad del usuario o los costos financieros de la misma?	

ANÁLISIS DEL CONTEXTO

3	AMBIENTE ORGANIZACIONAL	Resultados
3.1	Grupo de trabajo ¿El usuario primario trabaja en colaboración con otros individuos?	
3.2	Asistencia ¿Qué ayuda recibe el usuario en caso de presentarse un problema?	
3.3	Interrupciones ¿Cuál es la frecuencia de interrupción en las tareas que realiza el usuario? Y	

	¿Cuál es la naturaleza de dicha interrupción?	
3.4	Estructura administrativa ¿Qué jerarquía ocupa el usuario en cuanto a la tarea que desempeña?	
3.5	Estructura de comunicación ¿Cómo viaja la información en el equipo de trabajo? Medios de comunicación usado	
4	APTITUDES	Resultados
	Propósitos organizacionales ¿Cuál es la misión y la visión de la empresa?	
	Relaciones laborales ¿Cuál es el ambiente de las relaciones laborales? Excelente-bueno-regular	
5	CONTROL TRABAJO/USUARIO	Resultados
5.1	Supervisión y rendimiento ¿Cómo se supervisa la calidad y la velocidad de las tareas realizadas por el usuario? ¿Quién supervisa?	
5.2	Retroalimentación sobre el desempeño	
5.3	Ritmo ¿Qué determina la velocidad para realizar la tarea?	
6	EQUIPAMIENTO	Resultados
6.1	Herramientas manuales necesarias ¿Cuáles son las que se usan con mayor frecuencia?	

6.2	Herramientas eléctricas necesarias ¿Cuáles son las que se usan con mayor frecuencia?	
6.3	Herramientas de consultas Eje: manuales físicos, manuales electrónicos, guías de mantenimiento... etc.	

CONDICIONES AMBIENTALES

7	AMBIENTE FÍSICO	Resultados
7.1	Distribución de los elementos en el área de trabajo Eje: Plano del espacio trabajo	
7.2	¿Las condiciones del área de trabajo son estandarizadas?	
7.3	Ambiente acústico Descripción de los tipos de ruido que limiten comunicación entre los usuarios o causen estrés para el desarrollo del trabajo	
7.4	Ambiente térmico Descripción de la temperatura del espacio de trabajo tanto natural o artificial Eje: calefacción, aire acondicionado, ventanas	
7.5	Ambiente visual Descripción de las fuentes iluminación tanto natural y artificial en cuanto al grado de control que tiene el usuario sobre la misma	

CONDICIONES DEL ESPACIO DE TRABAJO		
8	Mobiliario del espacio de trabajo Eje: silla, mesas etc... Descripción del tipo de mobiliario usado, la disposición en el área de trabajo las dimensiones y si es estandarizado o no	
9	Posturas del usuario ¿Qué posturas frecuentes adopta el usuario en la realización del trabajo? Cuales se consideran críticas y requieren intervención inmediata	
10	Desplazamientos del usuario ¿Cuáles son los recorridos que realiza el usuario para ejecutar su tarea?	
11	SALUD Y SEGURIDAD	Resultados
11.1	Riesgo para la salud ¿Existen riesgos para el usuario en el área de trabajo o en la ejecución del mismo?	
11.2	Ropa y equipo protector Descripción de la indumentaria y equipo de seguridad que usa el usuario	

ENTREVISTA A USUARIO PRIMARIO - TÉCNICO ÁREA DE MANTENIMIENTO

Informe realizado por:

Fecha:

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Soy Diana Milena Buenahora López, estudiante de Diseño Industrial y me encuentro desarrollando mi proyecto de grado **DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI**. Me gustaría que haga parte del proceso con su participación en esta entrevista.

1	DATOS GENERALES	RESULTADOS
1.1	Nombre	
1.2	Edad	
1.3	Estatura	
1.4	Peso	
1.3	Nivel de educación	
1.4	Cargo actual	
1.5	Personas a cargo	
1.6	Experiencia en el cargo (meses, años)	
2	CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO	RESULTADOS
2.1	Horario laboral ¿Cuál es su horario de trabajo? ¿Cuál es su horario de pausa?	
2.2	Actitud hacia el trabajo ¿Qué es lo más complejo de las actividades que desarrolla en su trabajo?	
2.3	Funciones / trabajo ¿Cuáles son las funciones que generalmente realiza?	
2.4	Tipos de mantenimiento / trabajo ¿Cuáles tipos de mantenimiento se realizan en un día habitual de trabajo?	

2.5	Tiempo / trabajo ¿Cuántas herramientas instrumentadas ILI se les realiza el mantenimiento en un día, semana?	
2.6	Control / trabajo ¿Se lleva a alguna estadística de los mantenimientos realizados?	
2.7	Tareas / trabajo ¿Cómo divide usted las funciones que realiza? Eje: cambio de magnetos, cambio de baterías... etc.	
2.8	Espacio / trabajo ¿Qué opina de su área de trabajo? Eje: Mobiliario, herramientas manuales, herramientas eléctricas... etc.	
2.9	Herramientas / trabajo ¿Qué herramientas eléctricas y manuales se le dificulta su uso, debido a su espacio de trabajo?	
2.10	¿Cuáles son las herramientas que usa con mayor frecuencia?	
2.11	¿Usa una superficie diferente a la mesa para realizar el mantenimiento de las herramientas?	
2.12	¿Cuáles son las especificaciones de las herramientas instrumentadas ILI que son manipuladas sobre la mesa de trabajo actual?	
3	CARACTERÍSTICAS DEL DESARROLLO-TRABAJO	RESULTADOS
3.1	Comodidad ¿Podría un solo técnico realizar el mantenimiento de una herramienta instrumentada ILI? ¿Porque?	
3.2	Seguridad	

	<p>¿Considera usted que recurrido a manipulaciones que podría poner en riesgo su integridad o la de la herramienta?</p> <p>Lista de las manipulaciones y las posibles soluciones</p>	
3.3	<p>Necesidad</p> <p>¿Qué actividades, tareas o funciones se le ha dificultado realizar por las características de su puesto de trabajo?</p>	
3.4	<p>Mejoras</p> <p>¿Qué aspectos mejoraría de su actividad laboral en cuanto a su puesto de trabajo?</p> <p>Lista de las mejoras</p>	
3.5	<p>Sugerencias</p> <p>¿Qué sugerencias daría usted para los aspectos a mejorar?</p>	

ENTREVISTA A USUARIO PRIMARIO - MAINTENANCE MANAGER

**Informe realizado
por:**

Fecha:

Hora de inicio:

**Hora de
finalización:**

Soy Diana Milena Buenahora López, estudiante de Diseño Industrial y me encuentro desarrollando mi proyecto de grado **DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI**. Me gustaría que haga parte del proceso con su participación en esta entrevista.

1. ¿Qué tan crítica es para la empresa las funciones que se realiza en el área de mantenimiento?
2. ¿Cuál es el punto de equilibrio para la empresa respecto al trabajo que se realiza en el área de mantenimiento? indicar
3. ¿Se maneja algún tipo de estadística sobre los accidentes en el área de mantenimiento y/o sobre afectaciones de índole muscular de los técnicos del área de mantenimiento? indicar
4. ¿Qué falencias ha notado en el desarrollo de la actividad de mantenimiento de las herramientas instrumentas ILI, respecto a las manipulaciones realizadas por parte de los técnicos a la herramienta?

ENCUESTA DE COMODIDAD

Informe realizado por:

Fecha:

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Soy Diana Milena Buenahora López, estudiante de Diseño Industrial y me encuentro desarrollando mi proyecto de grado **DISPOSITIVO PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE HERRAMIENTAS INSTRUMENTADAS ILI**. Me gustaría que haga parte del proceso con su participación en esta encuesta.

Teniendo en cuenta su experiencia en la realización de los distintos mantenimientos correctivos que son ejecutados a las herramientas instrumentadas ILI. Identifique que tan cómodo o que NO tan cómodo es la ejecución de estos sobre el banco de trabajo actual, en una escala de 1 a 5, siendo 1 más cómodo y 5 menos cómodo.

TIPO DE MANTENIMIENTO	NIVEL DE COMODIDAD				
	<i>Más Cómodo</i> ← → <i>Menos Cómodo</i>				
	1	2	3	4	5
MTN Gyro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Baterías	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Sensores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Copas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Cardan	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Magnetos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Cepillos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MTN Odómetro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

PROTOCOLO PARA REGISTRO DE VIDEO

La presente guía sirve como elemento fundamental para garantizar la calidad y claridad de la grabación de video, durante la jornada laboral en el área de mantenimiento de ROSEN COLOMBIA. Con el fin de obtener hallazgos que permitan el Diseño del Dispositivo para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI.

Requerimientos técnicos:

Dos cámaras con trípode y batería requerida, que permita atender a las especificaciones técnicas del video, las cuales corresponden a:

- ✓ Máximo 200 MB
- ✓ Formato Flv y Mp4
- ✓ Resolución de 360 puntos de alto
- ✓ Formato: puede ser 16:9 o 4:3 indistintamente
- ✓ Baterías de repuesto y/o sistema de carga
- ✓ Cable o dispositivo para descargar la información.

Metodología de registro de video

Explicar la actividad:

Como primera medida explicar al personal la actividad que se va desarrollar y el objetivo que tiene el presente proyecto. Además acerca de la necesidad de observar y analizar cómo se ejecuta habitualmente el mantenimiento de la herramienta ILI sobre el banco de trabajo actual. Y de esta forma, poder obtener hallazgos de las posibles causas que derivan los comportamientos posturales riesgosos, durante la ejecución de los distintos mantenimientos a la herramienta ILI. Para finalmente a partir de estos hallazgos generar posibles alternativas que puedan mitigar considerablemente estas posturas.

Ubicación de las cámaras

- ✓ Se deben ubicar dos cámaras con su respectivo trípode, con el fin de capturar las vistas lateral y frontal del operario tal como lo muestra la Ilustración 186.
- ✓ Se sugiera ubicar las cámaras como se visualiza en la Ilustración 185.

Ilustración 185 Ubicaciones de las cámaras

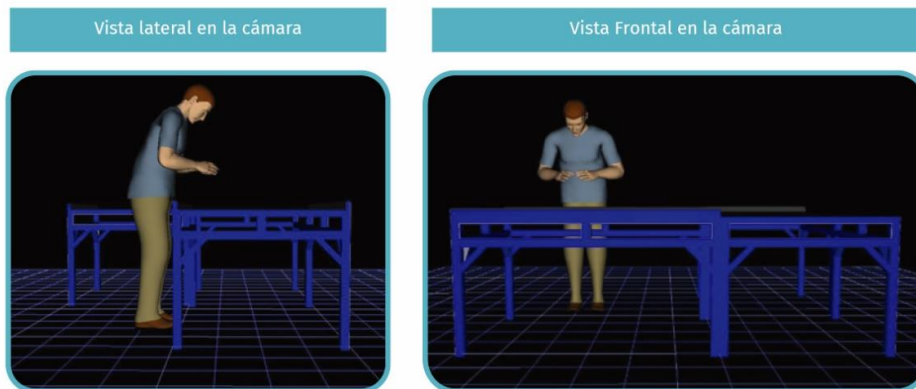
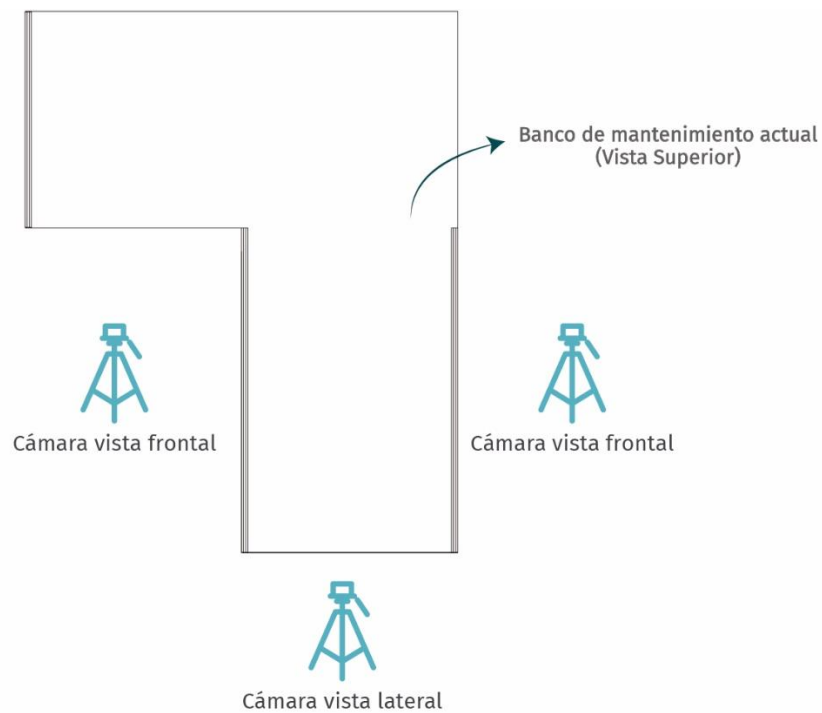


Ilustración 186 Visualización de la cámara.



ANEXO B: DATOS SIMULACIÓN ERGONÓMICA VIRTUAL

Características antropométricas del área de mantenimiento de ROSEN filial Colombia:

OPERARIOS	Edad (Años)	Estatura (cm)	Peso (Kg)	Experiencia (Años)
Operario A	25	178	63	3,5
Operario B	30	170	74	4
Operario C	35	168	80	N/A*
Operario D	38	168	74	N/A*
Operario E	27	174	62	2,5

N/A*: Nivel de experiencia no aplica ya que estos operarios no hacen parte del área de mantenimiento

Datos de máximos de fuerza para el sistema mano-brazo en la actividad laboral:

Los datos mostrados a continuación corresponden apartes de la investigación realizada por [49] y publicada en el primer trimestre de 2006 por MAPHRE SEGURIDAD. Donde el objetivo del estudio ha sido medir las fuerzas ejercidas por una población laboral durante la realización de distintas acciones con el fin de determinar las fuerzas máximas de referencia para el sistema mano-brazo; obteniéndose datos importantes de aplicación práctica en las etapas de diseño de productos y de procesos. Las fuerzas que se han incluido en el estudio han sido las siguientes: fuerza de pulgar, fuerza de dedos, fuerza de palma, fuerza de pinza término-terminal, fuerza de pinza término-lateral, fuerza de agarre, fuerza de empuje y fuerza de tracción. Para ello los autores del estudio recurrieron a una población de 1.927 trabajadores de la General Motors España, donde realizaron 6.114 mediciones en la siguiente tabla se muestra los datos de la población de estudio.

POBLACIÓN DE ESTUDIO	
Nº de determinaciones	6.114
Nº de trabajadores	1.927
Peso medio	79 kg.
Talla media	170 cm.
IMC medio (kg/m ²)	27

Las fuerzas que fueron determinadas para el proceso de simulación corresponden a la medida media para cada tipo de fuerza. La tabla siguiente muestra las fuerzas que se tuvieron en cuenta:

F. Valores de fuerza máxima en agarre			
Nº	Altura de trabajo (cm)	Mano	Media(N)
F1	100	Dominante ----->	366.9
		No Dominante -->	332.2
F2	120	Dominante ----->	416
		No Dominante -->	372.6
F3	140	Dominante ----->	355
		No Dominante -->	298.8

G. Valores de fuerza máxima con pinza término-lateral			
Nº	Altura de trabajo (cm)	Mano	Media(N)
G1	100	Dominante ----->	42.2
		No Dominante -->	39.9
G2	120	Dominante ----->	43.3
		No Dominante -->	43.4

H. Valores de fuerza máxima con pinza término-terminal			
Nº	Altura de trabajo (cm)	Mano	Media(N)
H1	100	Dominante ----->	49.4
		No Dominante -->	46.2
H2	120	Dominante ----->	44.9
		No Dominante -->	43.5

I. Valores de fuerza máxima con pinza término-terminal			
Nº	Altura de trabajo (cm)	Mano	Media(N)
I1	100	Dominante ----->	154.1
		No Dominante -->	154.3
I2	120	Dominante ----->	344.3
		No Dominante -->	343.9

J. Valores de fuerza máxima de dedos				K. Valores de fuerza máxima con la palma			
Nº	Altura de trabajo (cm)	Mano	Media(N)	Nº	Altura de trabajo (cm)	Mano	Media(N)
J1	100	Dominante ----->	154.1	K1	100	Dominante ----->	140,8
		No Dominante -->	154.3			No Dominante -->	139,5
J2	120	Dominante ----->	344.3		120	Dominante ----->	376,4
		No Dominante -->	343.9			No Dominante -->	370,8

Fuente: MAPFRE SEGURIDAD³² adaptado por el autor

La siguiente tabla muestra los datos que fueron introducidos en simulación ergonómica para cada mantenimiento:

DATOS SIMULACIÓN ERGONÓMICA			
MANTENIMIENTO	FASE DEL MANTENIMIENTO	OPERARIO	FUERZA MANO
Gyro	F2. Atornillar	A	H1
Baterías	F5. Aplicacion de sellante	A	G1
Sensores	F2. Atornillar	A	H1
Copas	F6. Acomodar Apoyos	B-D	I1
Cardan	F1. Instalación de Cardan	A-D	F1
Cepillos	F2. Atornillar	B	F1 (D*) J1 (ND*)
Magnetos	F2. Atornillar	A	H1
Odometro	F2. Atornillar	A-E	J1 (D*) G1 (ND*)

D*: Mano Dominante

ND*: Mano No Dominante

³² 49. Alcalde Lapiedra, V., et al., *La carga física de trabajo en extremidades superiores. Los límites del sistema mano-brazo*. Mapfre seguridad, 2006. **26**(101): p. 31-39.

ANEXO C: PLANOS DE PIEZAS NORMALIZADAS

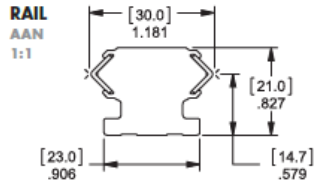
1. RIELES PBC LINEAR

IVT INTEGRAL V TECHNOLOGY



INTEGRAL V TECHNOLOGY IVT

IVT AAN

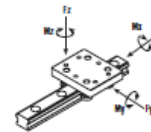


IVT AAN

SPECIFICATIONS

SERIES	# of Rollers	Carriage Weight (kg)*	Static Load Ratings					Dynamic Load Ratings					Rail Weight (kg/m)	Moments of Inertia		Max Rail Length (mm)
			Radial F _R (N)	Axial F _A (N)	Roll M _R (N-m)	Pitch M _P (N-m)	Yaw M _Y (N-m)	Radial F _R (N)	Axial F _A (N)	Roll M _R (N-m)	Pitch M _P (N-m)	Yaw M _Y (N-m)		L _x (cm ²)	L _y (cm ²)	
IVT AAN	4	0.25	1,900	1,200	16	36	69	2,400	1,400	20	45	74	1.30	1.7	2.1	3,657

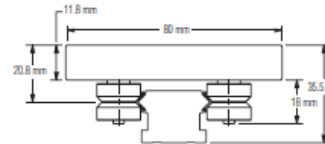
*Weight may vary slightly depending on carriage options.



F_d - Dynamic capacity (LC)
 F_a - Axial capacity
 F_r - Radial capacity
 M_x, M_y, M_z - Moment capacities

Conversions
 newton (N) x 0.2248 = lbs.
 (lbf) meter x 0.0997 = inch
 newton-meter (N-m) x 8.851 = in.-lbs.

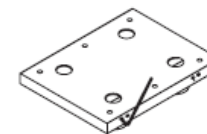
CARRIAGE



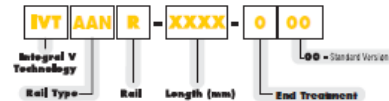
PRELOAD ADJUSTMENTS

Standard
 Side (CAM) Adjustable

PATENTED

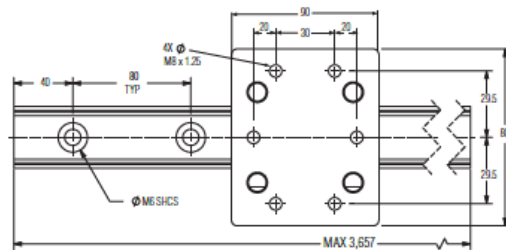


RAIL ORDERING INFORMATION

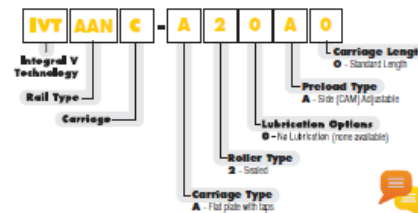


Ordering Example:
 IVT AAN R - 1500 - 000; 1500 mm rail
 IVT AAN R - 0600 - 000; 600 mm rail

RAIL LENGTHS TO 3,657 mm (12 ft)



CARRIAGE ORDERING INFORMATION



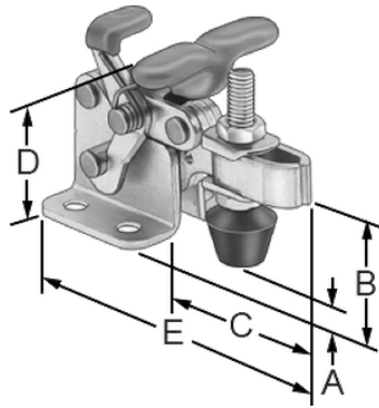
Note: Lubrication is highly recommended for IVT



Consult Factory • 800-962-8979

2. CLAMPS

Compacto de sujeción de bloqueo doble Toggle Clamp Acero, 150 lb Máxima Capacidad de retención

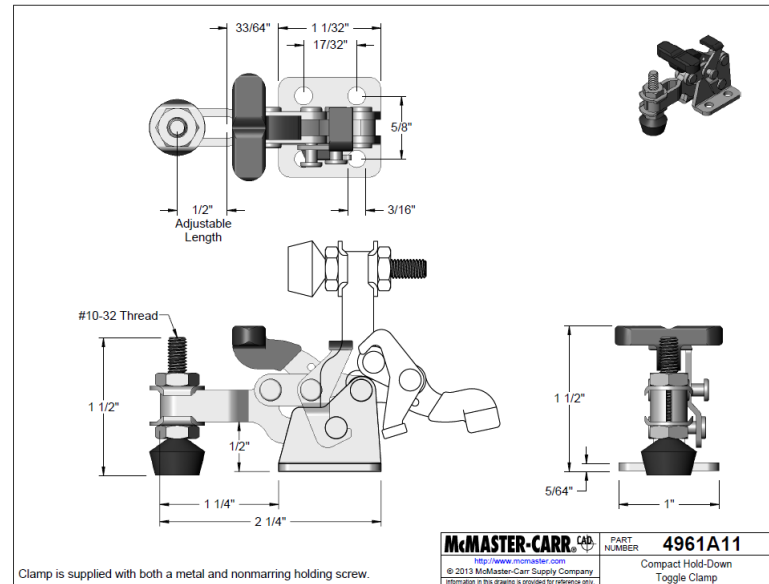


Cada Disponible
 ADD TO ORDER \$ 28.29 Cada
 4961A11

Capacidad máxima Holding	150 libras.
Liquidación de sujeción (A)	0 "
Altura del brazo (B)	2.1 "
Longitud del brazo (C)	1 cuarto "
Altura (D)	1 1/2 "
Longitud (E)	2 cuarto "
Holding Tornillo	10-32
Especificaciones adicionales	Acero Doble bloqueo

Lograr la fuerza de tamaño completo en una pequeña pinza. A menudo se utiliza para el circuito juntas, pegado, y el montaje, estas pinzas tienen asas de plástico cubiertas y una de cuatro agujeros estándar de la industria de base. Se incluyen tanto un metal y nonmarring celebración de tornillo. La celebración tornillo se puede mover a cualquier posición a lo largo del brazo. Nota: Colocar la celebración tornillo más cercana a la base (como se muestra) para lograr la máxima explotación de la capacidad. Capacidad disminuye hasta en un 30% cuando el tornillo está colocado en el extremo del brazo.

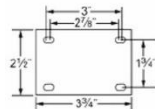
Doble Locking- construido en el bloqueo / desbloqueo de palanca impide accidentales aberturas.



4. RUEDAS

Static-Control Caster

Swivel, 4" x 15/16" Rubber Wheel, 125 lb Capacity

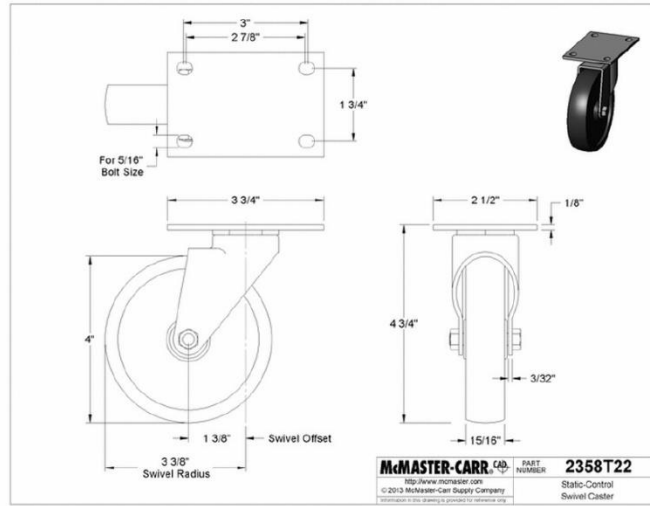


Each In stock
\$12.25 Each
2358T22

ADD TO ORDER

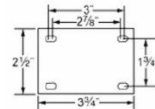
Wheel Diameter	4"
Wheel Width	15/16"
Mount Height	4 3/4"
Capacity Each	125 lbs.
Mounting Bolt Size	5/16"
Additional Specifications	Swivel Mounting Plate 2

Prevent damage to sensitive electronic equipment—the wheels dissipate static to keep it from building up. Average surface resistance is less than 10^9 ohms. Wheels are soft (80A durometer) black rubber. Frame is steel with a zinc-plated finish.



Static-Control Caster

Swivel, 4" x 15/16" Rubber Wheel, Brake, 125 lb Capacity

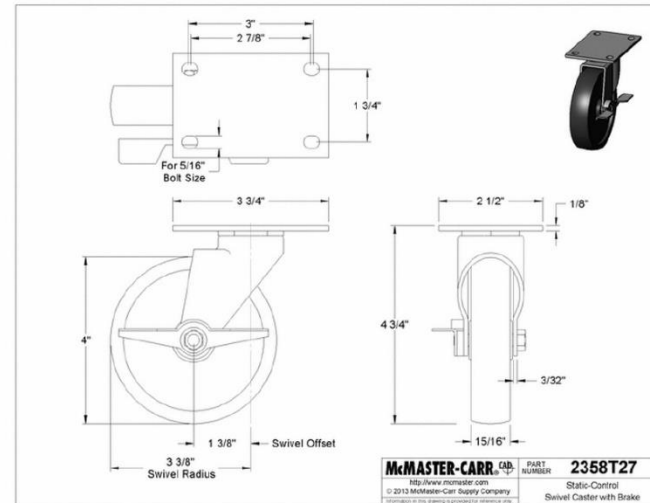


Each In stock
\$13.90 Each
2358T27

ADD TO ORDER

Wheel Diameter	4"
Wheel Width	15/16"
Mount Height	4 3/4"
Capacity Each	125 lbs.
Mounting Bolt Size	5/16"
Additional Specifications	Swivel with Brake Mounting Plate 2

Prevent damage to sensitive electronic equipment—the wheels dissipate static to keep it from building up. Average surface resistance is less than 10^9 ohms. Wheels are soft (80A durometer) black rubber. Frame is steel with a zinc-plated finish.



ANEXO D: CARTA DE CONSTANCIA DE PASANTÍA

Document Name: Constancia_trabajo_de_grado
Revision Date: 16-Sep-16

Bucaramanga, 16 de Septiembre de 2016

ROSEN EUROPE B.V. SUCURSAL COLOMBIA

HACE CONSTAR:

Que la señorita **DIANA MILENA BUENAHORA LÓPEZ**, identificada con la cédula de ciudadanía 1.098.673.750 de Bucaramanga (Santander), estudiante de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander, realizó un proyecto como práctica empresarial. El diseño de una estación de mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILLI con el fin de mejoramiento de aspectos ergonómicos y funcionales en el área mantenimiento de nuestra empresa desde el día 1 de Abril de 2014 hasta el día 16 de febrero de 2016.

Atentamente,



RAFAEL AFANADOR MUÑOZ

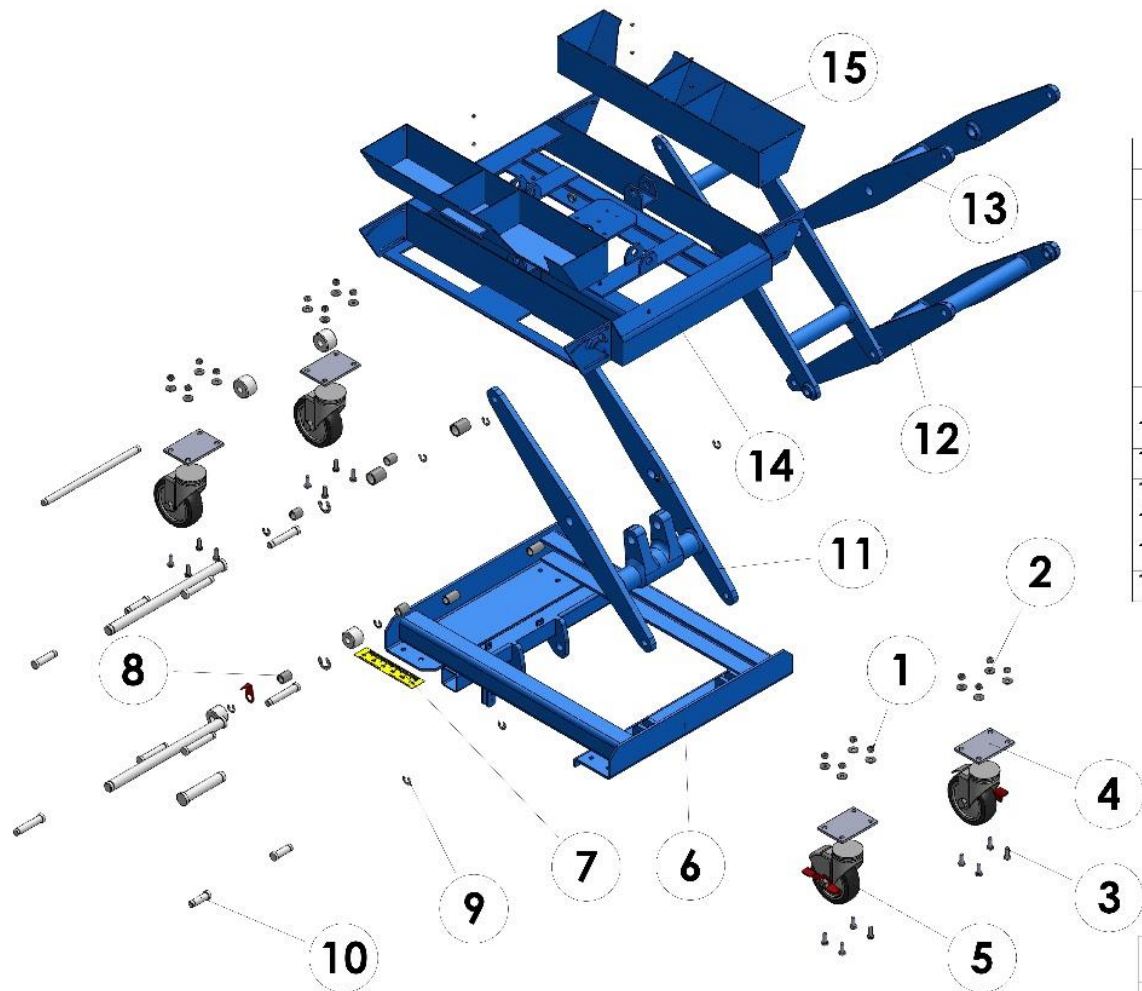
C.C. 91514849

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Electronic Assembly

ROSEN

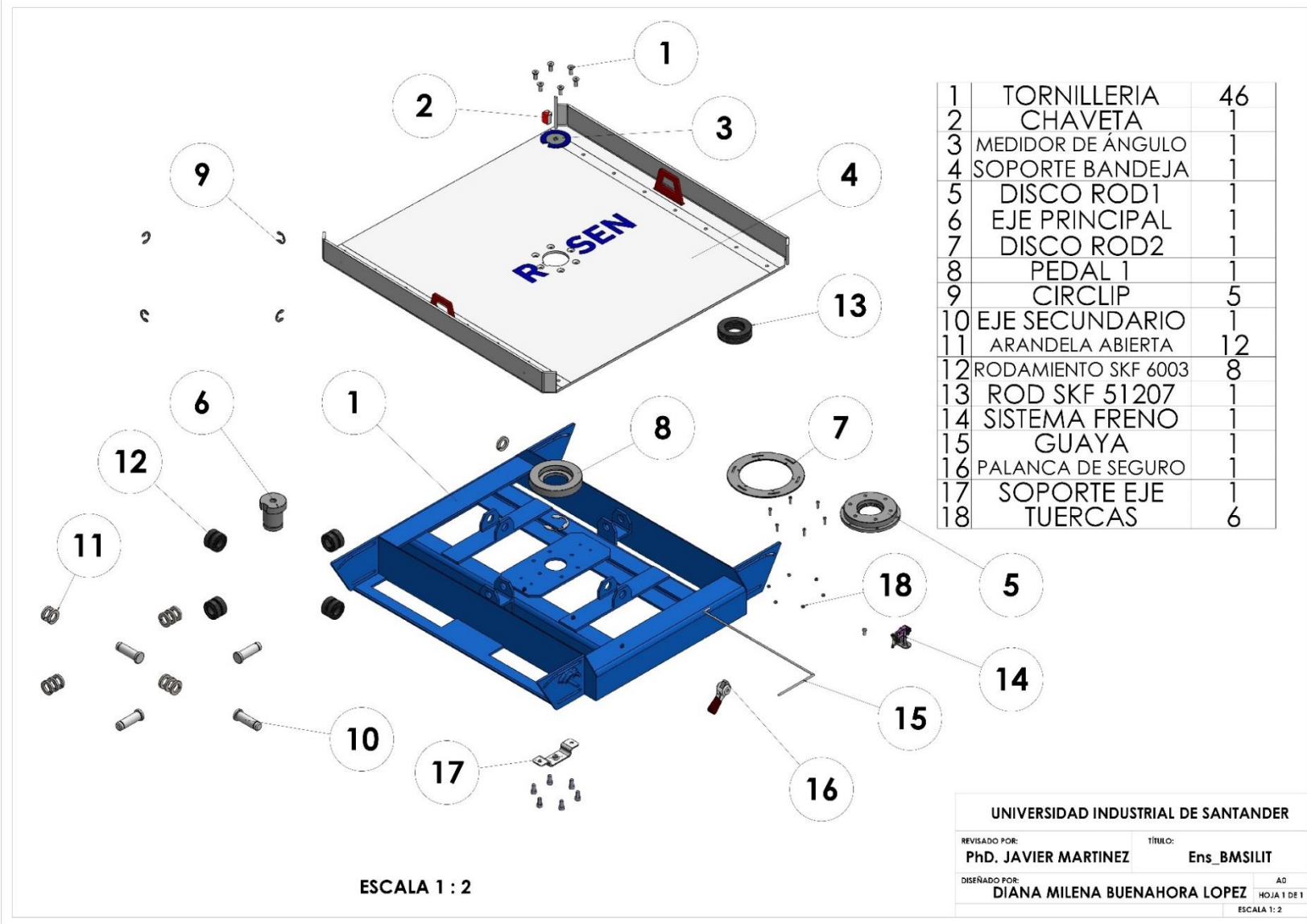
ANEXO E: PLANOS TÉCNICOS MSILIT



1	TUERCAS	20
2	ARANDELAS	16
3	TORN. 1/4	20
4	LAM. RUEDA	4
5	RUEDAS 4 IN	4
6	BASE INFERIOR	1
7	CINTA METRICA	1
8	BUJES	8
9	CIRCLIP	12
10	EJES	12
11	BRAZO 1	1
12	BRAZO 2	1
13	BRAZO 3	1
14	BASE SUPERIOR	1
15	CAJA DE HTAS	2

ESCALA 1 : 2.5

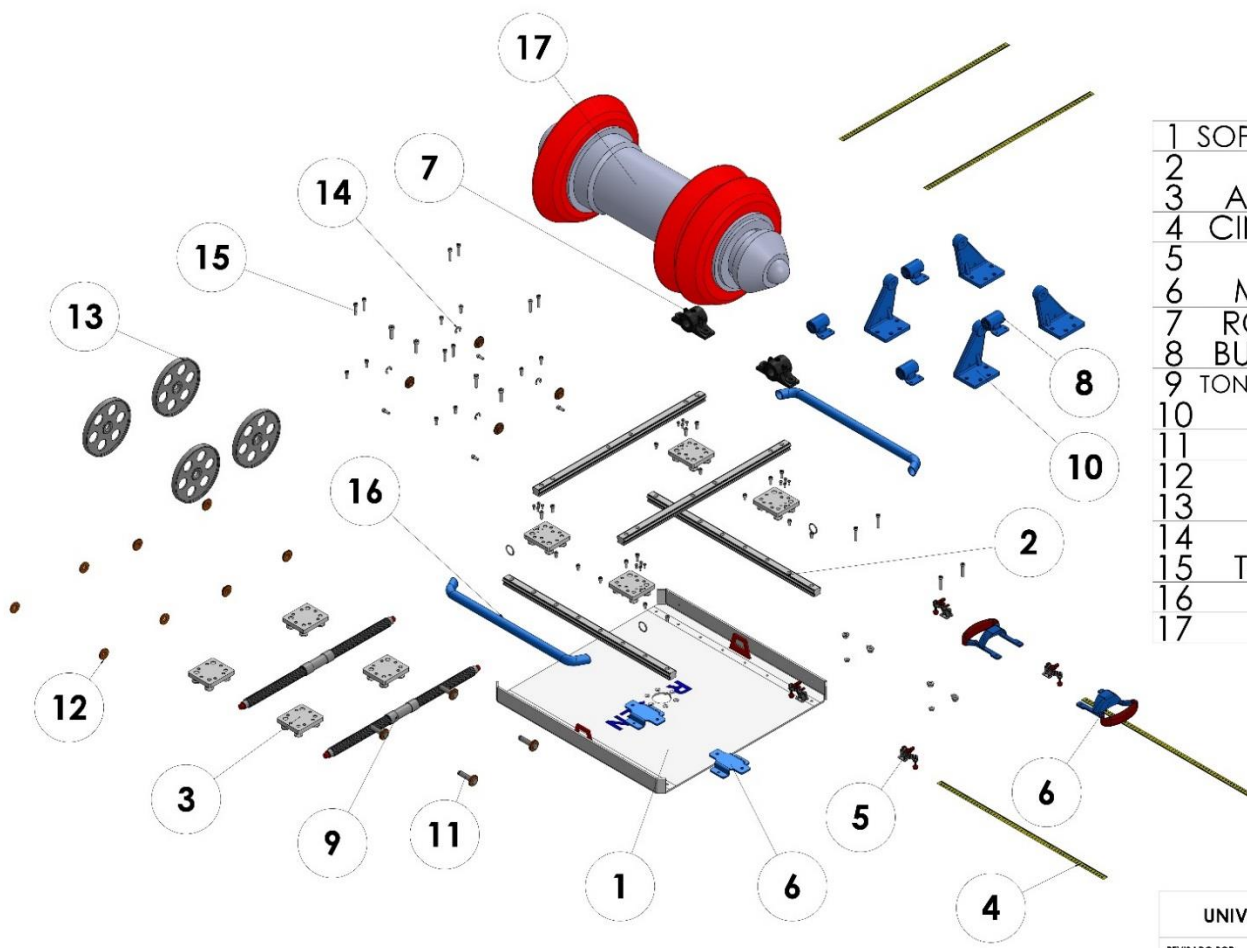
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
REVISADO POR:	TÍTULO:
PhD. JAVIER MARTINEZ	Ens_AMSILIT
DISEÑADO POR:	AO
DIANA MILENA BUENAHORA LOPEZ	HOJA 1 DE 1
ESCALA 1: 2.5	



1	TORNILLERIA	46
2	CHAVETA	1
3	MEDIDOR DE ÁNGULO	1
4	SOPORTE BANDEJA	1
5	DISCO ROD1	1
6	EJE PRINCIPAL	1
7	DISCO ROD2	1
8	PEDAL 1	1
9	CIRCLIP	5
10	EJE SECUNDARIO	1
11	ARANDELA ABIERTA	12
12	RODAMIENTO SKF 6003	8
13	ROD SKF 51207	1
14	SISTEMA FRENO	1
15	GUAYA	1
16	PALANCA DE SEGURO	1
17	SOPORTE EJE	1
18	TUERCAS	6

ESCALA 1 : 2

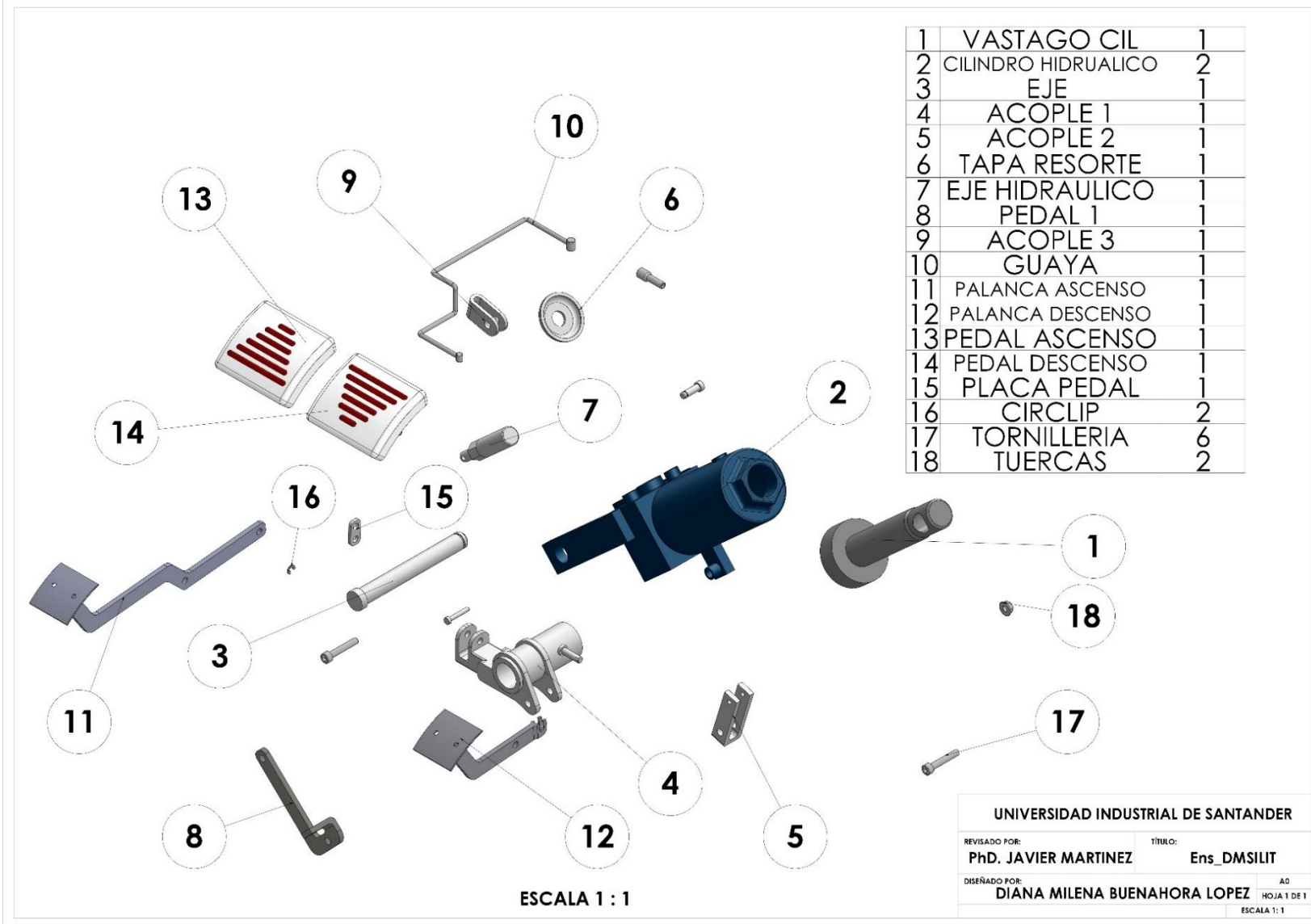
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
REVISADO POR: PhD. JAVIER MARTINEZ	TÍTULO: Ens_BMSILIT
DISEÑADO POR: DIANA MILENA BUENAHORA LOPEZ	AD HOJA 1 DE 1
ESCALA 1:2	



1	SOPORTE BANDEJA	1
2	RIEL LINER	4
3	APOYO LINER	8
4	CINTA METRICA	4
5	CLAMP	4
6	MANIJA RIEL	2
7	RODAMIENTO	4
8	BUJE TORNILLO	4
9	TONILLO DE POTENCIA	2
10	BRACKET	4
11	EJE	4
12	BUJE	12
13	RUEDA	4
14	CIRCLIP	4
15	TORNILLERIA	84
16	MANIJAS	2
17	PIG	1

ESCALA 1 : 3.5

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
REVISADO POR: PhD. JAVIER MARTINEZ	TÍTULO: Ens_CMSILIT
DISEÑADO POR: DIANA MILENA BUENAHORA LOPEZ	A0 HOJA 1 DE 1
ESCALA 1:3.5	



1	VASTAGO CIL	1
2	CILINDRO HIDRUALICO	2
3	EJE	1
4	ACOPLE 1	1
5	ACOPLE 2	1
6	TAPA RESORTE	1
7	EJE HIDRAULICO	1
8	PEDAL 1	1
9	ACOPLE 3	1
10	GUAYA	1
11	PALANCA ASCENSO	1
12	PALANCA DESCENSO	1
13	PEDAL ASCENSO	1
14	PEDAL DESCENSO	1
15	PLACA PEDAL	1
16	CIRCLIP	2
17	TORNILLERIA	6
18	TUERCAS	2

ESCALA 1 : 1

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
REVISADO POR: PhD. JAVIER MARTINEZ	TÍTULO: Ens_DMSILIT
DISEÑADO POR: DIANA MILENA BUENAHORA LOPEZ	AG HOJA 1 DE 1
ESCALA 1:1	