



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Calidad

Planeación de la Calidad para manufacturar y mejorar la productividad de nuevos modelos de arneses eléctricos automotrices.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería de Calidad

Presenta:

Karlos Gerardo Moreno Perea

Dirigido por:

Dr. Octavio Reyes López

SINODALES

Dr. Octavio Reyes López
Presidente

Firma

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Secretario

Firma

Dr. Miguel Galván Ruíz
Vocal

Firma

MI. Martha Patricia Magaña Murguía
Suplente

Firma

M.C. Guillermo Hiyane Nashiro
Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González

Nombre y Firma

Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Nombre y Firma

Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
26/11/2015
México

Resumen

En la actualidad debido a la alta diversidad de competidores, las empresas han tenido la preocupación de mejorar sus niveles de calidad y de mantener sus costos internos lo más bajo posible para continuar siendo competitivas. Tal es el caso de la organización bajo estudio en la cual se logró obtener un contrato para la manufactura de nuevas familias de arneses eléctricos automotrices modelo 2014. Para todas las familias, pero en particular para la familia de arneses de “Clutch Jumper” se realizó una Planeación de la Calidad del Producto con el objetivo de diseñar, implementar y liberar una nueva línea para la manufactura de los nuevos arneses eléctricos considerando restricciones de tiempo, personal, área, equipos y materiales. Para su logro, se estableció como objetivo el aprovechamiento de los recursos disponibles ya que antes de la asignación del nuevo proyecto de arneses 2014, ya se manufacturaban arneses de ese tipo para el mismo cliente pero de un año y modelo diferente (2013). Con la aplicación de la metodología APQP y utilizando diferentes herramientas estadísticas-ingenieriles, se logró describir y desarrollar paso a paso un modelo de Planeación de la Calidad (MP-RL) enfocado al objetivo de implementar la nueva línea de producción que incurriera en bajo costo, optimizara recursos, mantuviera buenos niveles de calidad e incrementara la productividad. Una vez documentadas cada una de las fases del APQP propuesto, se logró validar la factibilidad de iniciar la nueva línea de producción utilizando los recursos disponibles sin afectar la calidad de los nuevos arneses y sin verse interrumpida la manufactura de los modelos anteriormente manufacturados. Mediante la aplicación de técnicas de estudios de tiempos y movimientos se optimizaron las horas de operación y se definió la cantidad de personas por estación de trabajo, mientras que con el uso de herramientas estadísticas tales como los gráficos de probabilidad, análisis de capacidad del proceso y gráficos de control se estudió el comportamiento y estabilidad de los datos para garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos por el cliente. Además de que se realizaron propuestas de mejora para incrementar la productividad a mediano plazo.

(Palabras clave: arnés eléctrico, Clutch Jumper, APQP, productividad, modelo MP-RL)

Summary

Nowadays because of the great variety of competitors, factories are worried about either increasing their quality levels or their internal costs reduction as low as possible so as to remain competitive. For instance, the factory being analyzed which got a contract in order to produce new electrical harness family's model 2014. For all the harness families but particularly for the "Clutch Jumper" family a Product Quality Planning was done so as to design, implement and release a new manufacturing line of electrical harnesses considering restrictions of time, labor, area, equipments and materials. In order to get success, an objective about using available resources was established because before getting the new project contract of harnesses 2014, similar harnesses were assembled to the same customer but with a different year model (2013). Applying the APQP methodology and using different kind of statistical-engineering tools, the development of a Quality Planning model (MP-RL) was described step by step focusing in the line implementation target of using low cost reduction, optimizing resources, having good quality rates and increasing the productivity. Once documented each of the APQP steps the feasibility of starting a new production line using the available resources without neither affecting new harnesses quality nor cutting off former production models was validated. Through the application of time and motion study techniques the operation hours were optimized and the work station labor quantity was defined, while with the use of statistical tools like probability plots, capability process analysis and control charts data behavior and stability were studied so as to guarantee client's requirements fulfillment. Moreover, improvement proposals were done in order to increase the productivity at a medium term.

(Key words: electrical harness, Clutch Jumper, APQP, productivity, MP-RL model)

Al Santo Niño Jesús de la Salud

Por los buenos y malos momentos vividos durante esta nueva experiencia de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Octavio Reyes y Sinodales

Agradezco a mí director de tesis el Doctor Octavio Reyes López y a cada uno de mis sinodales por el tiempo y recursos invertidos en la revisión del presente trabajo de investigación.

Que Dios los bendiga y les siga dando más.

Tía

Agradezco tu preocupación, tus esperas por las noches y tus oraciones. Estoy y siempre estaré en deuda contigo.

Mamá

Gracias por creer, apoyarme y motivarme en cada momento. Me faltarían palabras para expresar lo importante que eres para mí.

Hermanas

Gracias por creer en mí y considerarme una persona importante en sus vidas. Este logro también es de ustedes.

Involucrados

Mi más sincero agradecimiento para quien creyó, ayudó, motivó, inició y terminó conmigo este proyecto tan importante. Se encuentren en donde se encuentren el día de hoy o el día de mañana, mil pero mil gracias.

ÍNDICE

Resumen	1
Summary	3
AGRADECIMIENTOS.....	5
Índice de figuras	10
Índice de tablas.....	13
Índice de ecuaciones	16
I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Justificación del proyecto.....	20
1.3 Limitantes	21
1.4 Problemática planteada.....	22
1.5 Pregunta de investigación.....	23
1.6 Alcance del proyecto.....	23
1.7 Objetivo general	23
1.8 Objetivos específicos.....	24
1.9 Hipótesis	24
II. REVISIÓN DE LITERATURA	25
2.1 MARCO TEÓRICO FUNDAMENTAL SOBRE SISTEMAS DE CALIDAD	25
2.1.1 Definición de producto.....	25
2.1.2 Definición de calidad.....	25
2.1.3 Definición de clientes.....	26
2.1.3.1 Los clientes externos e internos.....	26
2.1.3.2 Los clientes como proveedores	26
2.1.3.3 Los clientes y usuarios	26
2.1.4 Definición de la calidad del producto.....	27
2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL SOBRE ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD	28
2.2.1 Definición de planeación	28
2.2.2 Planificación de la calidad.....	29
2.2.3 La trilogía de Juran	31
2.2.4 El mapa de carreteras para la planificación de la calidad.....	32

2.2.5	Implementación de una planeación de la calidad	34
2.2.6	Relación entre calidad, productividad y optimización	36
2.3	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL SOBRE APQP	37
2.3.1	Planeación y definición del problema.....	39
2.3.2	Diseño y desarrollo del producto	40
2.3.3	Diseño y desarrollo del proceso.....	40
2.3.3.1	Línea de producción	42
2.3.4	Validación del producto y proceso.....	44
2.3.5	Producción.....	49
2.3.6	Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas	50
2.3.7	Casos prácticos de aplicación.....	51
2.3.7.1	Delphi Powertrain Application.....	51
2.3.7.2	Empresa productora de válvulas para los sistemas de agua.....	52
2.3.7.3	Caso Munjal Auto Components (MAC).....	57
2.3.7.4	Sistema inteligente para asistir en la toma de decisiones en el proceso de planeación y diseño avanzado del producto.	60
2.4	MARCO TEÓRICO SITUACIONAL SOBRE LA EMPRESA BAJO ESTUDIO..	62
2.4.1	La industria automotriz	62
2.4.1.1	Sector terminal.....	62
2.4.1.1.1	Vehículos ligeros:.....	62
2.4.1.1.2	Vehículos pesados:	63
2.4.1.2	Sector autopartes	64
2.4.1.2.1	Sector arneses eléctricos	65
2.4.2	Arnés eléctrico automotriz	65
2.4.2.1	Plataforma y familias de arneses eléctricos automotrices	66
2.4.2.2	Clutch y arnés de Clutch jumper	67
2.4.3	Empresa bajo estudio	68
III.	METODOLOGÍA.....	69
3.1	Enfoque de la investigación.....	69
3.2	Metodología desarrollada para la recolección y tratamiento de información. ...	69
3.2.1	<i>Planeación e identificación de las necesidades del cliente</i>	73
3.2.1.1.	Definición del equipo y líder del proyecto.....	73

3.2.1.2.	Gráfico de actividades	74
3.2.1.3.	Descripción del producto.....	75
3.2.1.4.	Descripción del proceso	77
3.2.1.5	Información histórica de garantías y calidad.....	79
3.2.1.6	Diagrama de flujo preliminar.....	80
3.2.1.7	Lista de materiales preliminar.....	81
3.2.1.8	Características especiales del producto y proceso.....	82
3.2.1.9	Expectativas y requerimientos del cliente	83
3.2.2	<i>Diseño e interpretación de las características del producto</i>	86
3.2.2.1	Especificaciones de diseño para manufactura y ensamble.....	86
3.2.2.2	Diseño de modo de falla y análisis de efectos (DFMEA)	90
3.2.2.3	Características especiales del producto y proceso.....	91
3.2.2.4	Especificaciones de los componentes	92
3.2.2.5	Dibujos de ingeniería	93
3.2.2.6	Equipo, herramientas y maquinaria nueva.....	94
3.2.2.7	Gages o equipos de medición.....	95
3.2.3	<i>Diseño y desarrollo del proceso</i>	96
3.2.3.1	Diagrama de flujo del proceso.....	96
3.2.3.2	Análisis de modos y efectos de falla (PFMEA) de proceso.....	97
3.2.3.3	Operaciones o sub-procesos de producción.....	98
3.2.3.3.1	Corte y aplicación de cables, sellos térmicos y terminales.....	99
3.2.3.3.2	Aplicación de soldadura ultrasónica y colocación de Poliken.....	100
3.2.3.3.3	Trenzado de circuitos.....	101
3.2.3.3.4	Ensamble de circuitos en conectores (Pre-ensambles)	103
3.2.3.3.5	Armado de arnés	105
3.2.3.3.6	Prueba dimensional.....	107
3.2.3.3.7	Prueba eléctrica	108
3.2.3.3.8	Comparación y GP12.....	109
3.2.3.3.9	Amarres y empaque	110
3.2.3.4	Análisis de capacidad y cálculo de personal directo	112
3.2.3.4.1	Diseño y desarrollo de la línea de producción	114
3.2.3.4.2	Equipo y maquinaria requerida.....	116

3.2.3.4.3	Evaluación ergonómica.....	117
3.2.3.4.4	Evaluación de aspectos e impactos ambientales.....	130
3.2.3.5	Instrucciones de proceso	136
3.2.3.6	Plan de control.....	137
3.2.4	<i>Probar capacidad del proceso</i>	137
3.2.4.1	Liberaciones de seguridad y diseño de proceso	138
3.2.4.2	Corrida de producción significativa	138
3.2.5	<i>Producción de arneses</i>	141
3.2.6	<i>Seguimiento a problemas de calidad y mejora continua</i>	142
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	143
4.1	Diseño y desarrollo del proceso de producción.....	143
4.1.1	Análisis de capacidad del proceso	143
4.1.2	Diagrama de flujo definitivo	154
4.1.3	PFMEA de proceso	156
4.1.4	Layout de proceso.....	159
4.1.5	Estudios ergonómicos	163
4.1.6	Evaluaciones ambientales	167
4.1.7	Métodos e instrucciones de trabajo.....	172
4.1.8	Plan de control.....	179
4.2	Prueba de capacidad del proceso de producción	180
4.2.1	Preparación y primera corrida de producción.....	180
4.2.2	Estudios de habilidad del sistema de medición.....	189
4.2.3	Estudios de capacidad del proceso.....	194
4.2.4	Control estadístico del proceso.....	202
4.2.5	Pruebas de homogeneidad de varianzas	207
4.3	Seguimiento a problemas de calidad y mejora continua	213
4.3.1	Problemas de calidad reportados	219
4.3.2	Propuestas de mejora y reducción de costos internos.....	224
	CONCLUSIONES.....	248
	LITERATURA CITADA.....	250
	ANEXOS.....	254

Índice de figuras

Figura	Página
1. Trilogía de Juran	31
2. Carretera de la calidad.....	33
3. Modelo APQP de la AIAG	38
4. Arnés Delphi con sensor de amoniaco.....	51
5. Metodología adaptada <i>Munjaj Auto Components</i>	58
6. Planeación y proceso de diseño avanzado del producto y proceso.....	60
7. Principales fabricantes de automóviles	63
8. Arnés de Body e IP automotriz	66
9. Instalación de arneses en automovil	67
10. Arnés y brake pedal	68
11. Modelo MP-RL de Planeación de la Calidad	71
12. Esquema del proceso arneses	72
13. Gráfico de Gantt del proyecto 2014.....	75
14. Gráfico de cantidad de componentes entre familias 2013-2014.....	77
15. Diagrama de flujo del proceso preliminar	81
16. Casa de la calidad	85
17. Actividades de etapa de diseño y desarrollo del producto.....	86
18. Circuito con sello y terminal	88
19. Cintas de tela y de identificación.....	88
20. Conectores para ensamble de circuitos.....	88
21. Plugs para ensamble en conector	89
22. Clips encintados.....	89
23. Cintillos.....	89
24. Empalme y trenzado	89
25. Canaleta para arnés.....	90
26. Etiqueta de prueba eléctrica	90
27. Característica de alto de cobres.....	92
28. Diagramas de ensamble.....	94
29. Micrómetro digital	95
30. Diagrama de flujo de operaciones	98
31. Circuito gris/negro	99
32. Ayuda visual de empalme sónico.....	100
33. Empalme ultrasónico.....	100
34. Aplicación de cinta Poliken	101
35. Trenzado de circuitos.....	101
36. Método de validación de trenzado	102
37. Rack de colocación de circuitos en modelo 2013	103
38. Estación de Pre-ensamble	104
39. Carrusel eléctrico automotriz	105

40. Pre-ensambles necesarios para la manufactura	106
41. Pre-ensamble números chicos	106
42. Tablero estacionario.....	107
43. Prueba dimensional.....	108
44. Tablero de prueba eléctrica	109
45. Tablero de amarres	110
46. Elaboración de amarre de arneses.....	111
47. Tina plástica de empaque	111
48. Acomodo de arneses en contenedor.....	112
49. Layout familia 2013	115
50. Layout modelo 2014.....	115
51. Equipos para procesos nuevos	117
52. Posiciones del brazo	119
53. Posiciones que modifican la puntuación del brazo.	120
54. Posiciones del antebrazo	121
55. Posiciones que modifican la puntuación del antebrazo.....	122
56. Posiciones de la muñeca.....	122
57. Desviación de la muñeca.	123
58. Giro de la muñeca	123
59. Posiciones del cuello.....	124
60. Posiciones que modifican la puntuación del cuello.....	125
61. Posiciones del tronco.....	125
62. Posiciones que modifican la puntuación del tronco	126
63. Posición de las piernas.....	127
64. Curva de aprendizaje.....	140
65. Gráfico de tiempos estándar por número de parte.....	147
66. Gráfico de tiempos estándar por año modelo	148
67. Valores de RPN's mensuales.....	158
68. Distribución de planta global.....	159
69. Distribución 3D de línea de manufactura "Clutch Jumper"	160
70. Distribución 3D de preparación y pre-ensambles.....	160
71. Vista superior de estación de pre-ensambles	161
72. Layout de estación de armado	161
73. Vista 3D de estación de pruebas finales.....	162
74. Vista superior estación de pruebas finales.....	162
75. Valores obtenidos por método LEST.....	164
76. Valores individuales obtenidos por método LEST.....	164
77. Puntuaciones obtenidas de miembros derechos.....	165
78. Puntuaciones obtenidas de miembros Izquierdos.....	166
79. Resultados de IMDS	172
80. Método de ensamble de circuitos	173
81. Método de armado de arneses.....	174

82. Método de aplicación de empalmes	175
83. Método de prueba dimensional	176
84. Auxiliar grafico de trenzados.....	177
85. Ayuda visual de trenzados	177
86. Criterio de empalmes ultrasónicos.....	178
87. Hoja de instrucción e inspección.....	179
88. Curva de aprendizaje obtenida.....	182
89. Diagrama hombre-máquina (trenzadora)	189
90. Medición del alto de cobres	190
91. Componentes de variación	191
92. Gráfico de Rangos.....	192
93 Gráfico de medias.....	192
94. Distribución de mediciones	193
95. Distribución de operadores	193
96. Grafica de interacción	194
97. Distribución de mediciones de altos de cobres.....	196
98. Run chart de mediciones de altos de cobres	196
99. Análisis de capacidad de altos de cobres.....	197
100. Empalme ETA4042.....	198
101. Prueba de Tensión de empalme	199
102. Gráfico de distribución de las tensiones de empalmes	200
103. Run chart de valores de tensión de empalmes	201
104. Capacidad potencial y real del proceso de ultrasonido.....	202
105. Gráfico X de alto de cobres	203
106. Gráfico R de alto de cobres	204
107. Gráfico S de alto de cobres	204
108. Gráfico de medias de tensión de empalme.....	206
109. Gráfico de rangos de tensión de empalme	206
110. Gráfico de desviación estándar de tensión de empalme	207
111. Prueba de Bartlett alto de cobres	209
112. Prueba de Bartlett aplicación por ultrasonido	212
113. Gráfico de Pareto de problemas de calidad mes de Abril.....	214
114. Problemas por semana mes de Abril	215
115. Problemas por operador mes de Abril	216
116. Diagrama de pescado problemas mes de Abril.....	217
117. Problemas de calidad mes de Julio.....	219
118. Diagrama de caja clip 15473936	222
119. Diagrama de caja clip 15497753	222
120. Diagrama de caja clip 15304748	223
121. Gráfico de balanceo de número 26131847	238
122. Gráfico de balanceo de número 26131850.....	239
123. Layout carrusel y estacionarios.....	242

Índice de tablas

Tabla	Página
1. Actividades para el proyecto “Clutch Jumper”.....	73
2. Características diferenciales entre modelos 2013 – 2014	75
3. Resumen de componentes de familias Clutch Jumper	77
4. Procesos de manufactura de arneses 2013-2014.....	78
5. Tabla resumida de diferencias entre modelos	79
6. Componentes de arneses “Clutch Jumper 2014”	82
7. Volúmenes “Clutch Jumper 2014”	83
8. Unidades de medida y sensores	84
9. Cantidad de componentes totales por arnés.....	87
10. Equipos y herramientas incorporados.....	95
11. Códigos de trenzados	102
12. Volúmenes diarios modelo 2014.....	112
13. Cantidad de personas requeridas para armado de arneses modelo 2014	113
14. Personal indirecto necesario.....	114
15. Aspectos y variables consideradas en la implementación del método.....	118
16. Sistema de puntuación del método LEST	118
17. Puntuación del brazo	120
18. Modificaciones sobre la puntuación del brazo.....	120
19. Posiciones del antebrazo	121
20. Modificación de la puntuación del antebrazo	122
21. Puntuación de la muñeca.....	123
22. Modificación de la puntuación de la muñeca	123
23. Puntuación del giro de la muñeca.....	124
24. Puntuación del cuello.....	124
25. Modificación a la puntuación del cuello.....	125
26. Puntuación del tronco	126
27. Modificación de la puntuación del tronco.....	126
28. Puntuación de las piernas	127
29. Puntuación global para el grupo “A”	128
30. Puntuación global para el grupo “B”	128
31. Puntuación para la actividad muscular y las fuerzas ejercidas	129
32. Puntuación final	130
33. Niveles de actuación según la puntuación obtenida.....	130
34. Criterios ambientales de evaluación.....	131
35. Aspectos e impactos ambientales definidos	132
36. Categorías generales de aspectos	132
37. Tabla de ponderaciones 1	133
38. Tabla de ponderaciones 2.....	134
39. Criterios de calificación.....	135

40. Volúmenes para corrida de producción	139
41. Tiempos de corte	143
42. Tiempos de SONIC	144
43. Tiempos de Polikenado	144
44. Tiempos de trenzado	144
45. Tiempos de ensamble.....	144
46. Tiempos de Armado de arnés	144
47. Tiempos de dimensión.....	145
48. Tiempos de prueba eléctrica.....	145
49. Tiempos de comparación	145
50. Tiempos de operación GP12.....	145
51. Tiempos de amarrar arnés.....	145
52. Tiempos de empacar	145
53. Tiempo estándar número de parte 26131849.....	146
54. Tiempos predeterminados familia “Clutch Jumper”	146
55. Tiempos estándar familias 2013 y 2014	148
56. Tiempos estándar por operación y número de parte.....	149
57. Cantidad de personal modelo 2014.....	150
58. Personal por año modelo	150
59. Recursos materiales necesarios	151
60. Precio de recursos materiales	153
61. Diagrama de flujo del proceso.....	154
62. RPN’s obtenidos.....	157
63. Acciones recomendadas	158
64. Metros cuadrados utilizados por áreas de trabajo	163
65. Puntuación y colores asignados método LEST	164
66. Puntuaciones finales método Rula	166
67. Principales aspectos ambientales.....	167
68. Impactos y categorías disponibles.....	168
69. Cálculo de puntuaciones	169
70. Puntuaciones finales	170
71. Controles y resultados obtenidos.....	171
72. Programa de arranque y cierre de año modelo	180
73. Requerimientos de producción por turno.....	181
74. Datos obtenidos en curva de aprendizaje	182
75. Piezas por hora promedio	183
76. Minutos estándar 26131849	184
77. Número de operarios 26131849.....	185
78. Cuello de botella 26131849	185
79. Tiempos de trenzado	187
80. Tiempos Hombre-Máquina.....	188
81. Mediciones de altos de cobres obtenidas.....	190

82. Análisis de varianza de altos de cobres.....	190
83. Valores de repetibilidad y reproducibilidad de altos de cobres	191
84. Valores de altos de cobres.....	195
85. Valores de tensión por calibre	198
86. Valores de tensión obtenidos	199
87. Datos por subgrupos.....	205
88. Alto de cobres en variable ángulo.....	208
89. Datos de energía	210
90. Problemas de calidad mes de Abril	213
91. Problemas por semana.....	215
92. Problemas de calidad por operador.....	215
93. Resultados Obtenidos.....	218
94. Tensión de clips cintillos	221
95. Consumos de cinta M4206004.....	224
96. Consumos de cinta M4206007	225
97. Costos de cintas M4206004 y M4206007	225
98. Precios de arneses con cambio de cinta	227
99. Longitudes de circuitos	228
100. Costo de circuitos	228
101. Números de parte aplicables por circuito	229
102. Contenidos de cobre.....	230
103. Usos de cable anuales	230
104. Costos actuales de circuitos	231
105. Costos de circuitos reducidos.....	232
106. Precio con reducción de cable	233
107. Volúmenes de producción.....	234
108. Arnesees por estación de trabajo	236
109. Tiempos número de parte 26131847	237
110. Tiempos por número actualizados.....	237
111. Comparativo de tiempos estándar.....	239
112. Personal requerido por número de parte.....	240
113. Personal directo.....	240
114. Personal indirecto.....	241
115. Mano de obra directa e indirecta	242
116. Consumo de energía eléctrica 2 turnos.....	244
117. Consumo de energía eléctrica 1 turno.....	244
118. Inversión en estacionarios	246
119. Recuperación de inversión	246

Índice de ecuaciones

Ecuación	Página
1. Índices de capacidad.....	45
2. Índice Cpm.....	46
3. Hipótesis de homogeneidad de varianzas.....	47
4. Estadístico de Hartley.....	48
5. Estadístico de Bartlett.....	48
6. Ecuación lineal modelo MP-RL.....	72
7. Productividad invirtiendo recursos nuevos.....	153
8. Productividad utilizando materiales disponibles.....	154
9. Productividad de mano de obra inicial.....	243
10. Productividad de mano de obra final.....	243
11. Productividad de energía a dos turnos de trabajo.....	245
12. Productividad de uso de energía en un turno de trabajo.....	245
13. Productividad global dos turnos.....	247
14. Productividad global un turno.....	247

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

De acuerdo con Juárez (2012), la calidad se define como un conjunto de cualidades que instituyen en la manera de ser de una persona o cosa. Aunque suele decirse que el término “*calidad*” es un concepto moderno (Siglo XX), desde que el hombre es hombre, se aprecia una preocupación por el trabajo bien hecho. Lo cual se puede concluir que siempre ha existido un concepto intuitivo de la calidad. Desde el significado inicial de calidad, como atributo del producto, hasta el actual, aplicado a todas las actividades de las organizaciones y por tanto a su gestión.

La evolución del concepto de calidad en el siglo XX ha sido muy dinámica. Se ha ido acomodando a la evolución de la industria, habiéndose desarrollado diversas teorías, conceptos y técnicas, hasta llegar a lo que hoy se conoce como “*calidad total*”. En la actualidad se han desarrollado teorías sobre la calidad, principalmente en países más avanzados y emprendedores como Estados Unidos de América y Japón, siendo este último donde se inició la implementación en las empresas de la *calidad total*, su cultura, técnicas y herramientas (Juárez, 2012).

En la actualidad se puede decir que la calidad se encuentra en una etapa denominada “*excelencia empresarial*” de la cual se puede concluir que el modelo de excelencia no es más que una adaptación del modelo de *calidad total* (de origen japonés) a las costumbres occidentales. En estos momentos existen dos modelos ampliamente aceptados, que son el Baldrige en los Estados Unidos y el EFQM (European Foundation for Quality Management). Ambos son un complemento a las normas ISO 9000, añadiendo la importancia de las relaciones con todos los clientes de la empresa y los resultados de la misma (SENA, 2009).

Munro (2003) establece que con la ayuda del Grupo de Acción Industrial Automotriz (AIAG) y la Sociedad Americana para la Calidad (ASQ), el grupo fuerza – hoy conocido como Daimler Chrysler, Ford Motor Company, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force (SQRTF) — empezaron a trabajar bajo varios procedimientos y un nuevo estándar de calidad con el propósito de elaborar el enfoque que iba ser usado en el desarrollo de los procesos comunes. El resultado fue el estándar QS-9000 que es requerido por las tres OEMs y las ocho manufactureras de camiones, más la serie de manuales de apoyo en temas relacionados. Este grupo de manuales son hoy en día conocidos colectivamente como “*el paquete siete QS*”. Con el desarrollo del QS-9000, los proveedores de empresas manufactureras finalmente fueron permitidos a comenzar a armonizar sus estructuras internas a través de un único sistema de calidad.

En la actualidad de acuerdo con Ostadi, Aghdasi y Kazemzadeh (2010), la ISO/TS 16949 es una especificación técnica de ISO. ISO/TS 16949 alcanza los objetivos que son continuamente establecidos para mejorar la producción de partes automotrices y de servicios relacionados, y para fortalecer la competencia internacional en el mundo de la industria automotriz y sus proveedores. Aplicando este sistema de calidad estándar, las manufactureras automotrices pueden ofrecer productos superiores y mejores servicios para el cliente.

De acuerdo con la AIAG (2008), el grupo de acción automotriz industrial, también conocido como AIAG, es una asociación no lucrativa con sede en el estado de Southfield, Michigan originalmente creada para el desarrollo de recomendaciones y marcos para el desarrollo de la calidad en la Industria Automotriz Norte Americana. La organización fue fundada en 1982 por representantes de los tres grandes fabricantes automotrices de Norte América; Ford, General Motors y Chrysler. La afiliación ha ido creciendo hasta incluir compañías japonesas como Toyota, Honda, Nissan, manufactureras de camiones pesados y removedores de tierra como Caterpillar Inc. y Navistar

International, y muchos de sus proveedores de servicios. El alcance de la organización ha ido creciendo desde su comienzo con el propósito de que la AIAG moderna sea concebida como una organización con una misión global evidenciada por su frase “AIAG es un catalizador de esfuerzos para las industrias automotrices globales que establecen una des-costura eficiente y una responsable cadena de suministros”.

La AIAG promueve sus principales objetivos a través de la publicación de estándares y ofreciendo conferencias y entrenamiento educacional. Entre ellos se encuentran:

- Análisis de Modos y Efectos de Falla Potenciales (PFMEA)
- Análisis de Sistemas de Medición (MSA)
- Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP y PPAP)
- Control Estadístico de Procesos (SPC)
- Diagrama de Flujo (DF), KCD's y los Requisitos Específicos del Cliente.
- ISO TS16949.

Estos documentos se han convertido en un estándar en Norte América que tiene que ser cumplido por todos los proveedores Tier uno (AIAG, 2008).

De acuerdo con el autor Stohr (2012), la Planeación Avanzada de la Calidad del Producto no es una herramienta reciente, pero ha estado siendo refinada y en algunos casos ligada al nuevo sistema estándar ISO 9001:2000. Este sistema de Planeación Avanzada de la Calidad tiene un conjunto de herramientas entendibles las cuales son diferentes y se encuentran disponibles para guiar a las compañías al éxito a través del ciclo de vida del producto terminado. Desarrollado por Ford, GM y Chrysler, el APQP son guías diseñadas para producir un plan que apoye en el desarrollo de un nuevo producto o servicio que va a satisfacer a un cliente. Este plan provee herramientas especializadas que ofrecen la oportunidad de sobre poner los problemas y solucionarlos antes de que estos puedan afectar al consumidor.

De acuerdo con Johnson (2002), el ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) es bien conocido como un modelo continuo de mejoramiento del proceso. Este modelo enseña a las organizaciones a planear acciones, llevarlas a cabo, revisar en qué nivel se cumple con el plan y actuar en lo que se aprendió.

Las cuatro etapas del ciclo de planeación son: Planear, Hacer, Revisar y Actuar. Dentro de las primeras tres etapas se encuentra el desarrollo de la planeación de la calidad del producto a través del proceso de validación del producto / proceso. En el último paso, “*el actuar*” se desarrolla en la fase de implementación, la cual consiste en enfocarse a la satisfacción de los clientes y a la mejora continua (AIAG, 2008).

1.2 Justificación del proyecto

En la actualidad uno de los sectores que ha obtenido un gran auge a nivel internacional es el sector automotriz. Debido a que este sector se encuentra muy competido por diversos proveedores nacionales e internacionales, uno de los caminos para lograr ser más competitivos, poder obtener y conservar negocios es la reducción de los costos y el mejoramiento de la calidad.

En estos días la mayoría de las empresas y proveedoras automotrices tienen nuevos conocimientos e incluso siguen lineamientos globales que les ayudan a alcanzar sus objetivos. En la historia el sector automotriz se ha destacado por ser un sector en el cual se tiene innovación, diseño y desarrollo y un gran nivel de tecnología constante.

En toda organización se tiene como objetivo buscar el crecimiento a través de metodologías, herramientas y procedimientos aplicados dentro de sus procesos con la finalidad de generar una rentabilidad superior.

Dentro de la organización bajo estudio se compitió y ganó la concesión de ser proveedores de una nueva plataforma la cual contenía diferentes familias de arneses eléctricos para automóviles modelos 2014. Con la finalidad de cumplir con el proyecto y satisfacer los requerimientos de los clientes se requirió la instalación de diversas líneas de producción para la fabricación de dichos arneses eléctricos.

Como requisito del cliente para cumplir con sus objetivos se tuvo la necesidad de realizar una Planeación de la Calidad del Producto la cual sirvió como estrategia para garantizar la producción de arneses eléctricos funcionales y conformes con lo estipulado por el cliente. Además de que la estrategia ayudó a la optimización de recursos y al incremento en la productividad durante cada etapa del desarrollo y ejecución del proyecto.

1.3 Limitantes

Dentro de la organización bajo estudio, los diversos clientes a los que se les manufacturan arneses eléctricos son generalmente muy celosos de sus diseños, herramientas e información técnica, por lo cual se debió tener cuidado en no utilizar información la cual se considerara como confidencial o propiedad de alguno de ellos. Durante el presente proyecto de investigación, se expuso información ejemplificada utilizando documentación no controlada por el cliente u organización bajo estudio y referenciada correctamente.

Por otro lado, es importante mencionar que de la variedad de arneses de la que estuvo compuesta la plataforma, únicamente se documentó la de una familia.

1.4 Problemática planteada

Cuando se asigna un proyecto de fabricación de arneses eléctricos se debe de cumplir con cada una de las etapas de la Planeación de la Calidad del Producto. Cada una de las etapas debe ser desarrollada en su totalidad.

Durante la aplicación del APQP en la organización bajo estudio se desarrollaron las problemáticas generadas en las fases de diseño y desarrollo del proceso, validación del proceso, producción, retroalimentación - evaluación y acciones correctivas.

Como principales retos a desarrollar en el presente trabajo bajo estudio estuvieron; el cumplimiento del diseño e implementación óptimo de la línea de producción considerando restricciones de tiempo (Instalar y liberar la línea de producción en menos de 4 semanas), espacio (Instalar y liberar la línea de producción utilizando la misma línea existente del modelo anterior y no más de 36 metros cuadrados adicionales), equipo (Liberar y fabricar arneses utilizando máquinas trenzadoras de circuitos y máquinas sónicas actualmente disponibles en la empresa), materiales (Instalar y liberar la línea de producción utilizando los materiales actualmente disponibles, almacenados, o adecuarlos), recursos humanos (Instalar y liberar la línea de producción para no más de treinta y cinco personas) y turnos disponibles (Utilizar únicamente para el arranque el primero y el segundo turno de trabajo para no invertir recursos en un tercer turno) con el objetivo de optimizar recursos y disminuir los costos lo más posible.

Las evidencias de las problemáticas desarrolladas de la etapa de retroalimentación – evaluación y acción correctiva se mostrarán más adelante en el presente proyecto de investigación.

1.5 Pregunta de investigación

En una línea de manufactura en donde se producen arneses eléctricos automotrices, será posible diseñar, implementar y producir un nuevo modelo de arnés eléctrico utilizando al menos los mismos recursos de espacio, equipo, materiales, mano de obra, turnos de trabajo y tiempos de producción.

1.6 Alcance del proyecto

El alcance establecido para el presente proyecto de investigación fue del tipo exploratorio, descriptivo y correlacional, en donde se estableció el desarrollo y aplicación de entregables de las fases de diseño y desarrollo del proceso, así como la etapa de validación, su etapa de producción y la etapa de retroalimentación de la familia de arneses de Clutch Jumper nuevo modelo. De las primeras dos etapas del APQP solo se mencionarán sus objetivos y algunas definiciones.

1.7 Objetivo general

Generar un modelo de Planeación de la Calidad para diseñar e implementar una nueva línea de producción de arneses eléctricos automotrices a través de la optimización de los costos del diseño y desarrollo del proceso de la organización, garantizando la satisfacción del cliente.

1.8 Objetivos específicos

- Diseñar, implementar y liberar una línea de producción de arneses eléctricos de la familia Clutch Jumper utilizando menos del 30% de espacio adicional al disponible y considerando como restricción la manufactura en dos turnos de trabajo de 8 horas.
- Diseñar, implementar, liberar y producir arneses eléctricos de la familia Clutch Jumper utilizando equipos de aplicación disponibles (Sin inversión) y considerando un Lead Time menor a 4 semanas.
- Diseñar, implementar y liberar una línea de producción de arneses eléctricos de la familia Clutch Jumper utilizando menos de \$50,000 pesos de inversión en herramientas, soportes, bases y pre-ensambles.
- Diseñar, implementar y producir arneses eléctricos considerando la restricción de no incremento de mano de obra en más del 100% con respecto a la familia existente (26 personas + 1 líder) por turno de trabajo.
- Realizar propuesta para garantizar a mediano plazo la disminución de recursos humanos en al menos 15% entre los dos turnos de trabajo.

1.9 Hipótesis

La optimización de recursos de espacio, equipos, materiales, mano de obra, turnos de trabajo y tiempo de producción en el diseño y desarrollo de una nueva línea de manufactura es posible lograrla mediante la aplicación de un modelo de planeación de la calidad en una línea de manufactura existente que produce arneses eléctricos automotrices de la misma familia pero modelo diferente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO FUNDAMENTAL SOBRE SISTEMAS DE CALIDAD

2.1.1 Definición de producto

La palabra producto se puede utilizar de manera genérica para todo aquello que se produce, tanto bienes como servicios. Los bienes son objetos físicos, mientras que el servicio es el trabajo realizado para otra persona (Juran, 1990).

2.1.2 Definición de calidad

De acuerdo con Medina & Ballester (1990), la calidad tiene múltiples significados, entre los cuales se encuentran:

- *La calidad es adecuación al uso* del usuario, cliente o consumidor.
- *La calidad es el comportamiento del producto* resultado de las características del producto que crean satisfacción con el mismo y hacen que los clientes compren el producto.
- *La calidad es la ausencia de deficiencias* en el producto que generan insatisfacción y hacen que los clientes se quejen.

De acuerdo con Gálvez (2005), el concepto de calidad es ante todo subjetivo, ya que cada consumidor o usuario tiene una idea distinta de lo que se entiende por él. Sin embargo, todo el mundo está de acuerdo en que se habla de la calidad cuando se ven cubiertas todas las expectativas, tanto si se trata de un producto o de un servicio.

2.1.3 Definición de clientes

La palabra cliente es cualquiera que se ve afectado por el servicio, el producto o el proceso (Gryna, Chua, Defeo, & Magaña, 2007).

2.1.3.1 Los clientes externos e internos

El término cliente externo incluye a los usuarios finales (reales y potenciales) y también a los procesadores intermediarios, así como minoristas (Gryna *et al.*, 2007). Mientras que el término cliente interno quiere decir personas u organizaciones que forman parte de una empresa.

2.1.3.2 Los clientes como proveedores

De acuerdo con Medina & Ballester (1990), entre los proveedores y clientes existe una comunicación de doble vía ya que los clientes suministran a sus proveedores las solicitudes, especificaciones, retroalimentación sobre el comportamiento del producto y así sucesivamente. En cuanto a tal comunicación, están invertidos los papeles convencionalmente. El cliente se convierte en proveedor y el proveedor se convierte en el cliente.

2.1.3.3 Los clientes y usuarios

Para Medina & Ballester (1990), la palabra cliente tiene un atractivo popular. Por eso se adoptó para designar aquellas personas sobre las que repercuten los procesos y productos, incluso aunque no sean compradores. En cuanto a los usuarios, se designa que es cualquier persona que realiza acciones positivas con respecto al producto. Acciones tales como posteriores procesos, venta, uso último entre otros.

2.1.4 Definición de la calidad del producto

El desarrollo de un nuevo producto es esencial para la manufactura de muchas compañías debido a que puede proveer implicaciones potenciales en cuanto a crecimiento y desarrollo. El diseño de nuevos productos puede ayudar a las organizaciones a seleccionar la estrategia y decisiones a tomar para el lanzamiento del nuevo producto, guiar al éxito el diseño en el mercado y ser participe en el logro del desarrollo financiero de la compañía (Sun, Keung Yau, & Ming Suen, 2010).

De acuerdo con el autor Sun *et al.* (2010), el desarrollo de un nuevo producto se encuentra en un punto central de atención para los competidores, guiado con el objetivo de tener un mejor nivel de calidad. Por consecuencia, la calidad del producto debe ser considerada como una pieza clave en el indicador de desarrollo de nuevos productos.

La calidad del producto es uno de los más importantes factores de competitividad organizacional y sustentabilidad económica de crecimiento. Para una alta calidad de los productos y para lograr la satisfacción del cliente, un sistema de gestión debe ser implementado y continuamente mejorado dentro de la organización. La satisfacción del cliente es en gran parte dependiente en esta parte de la gestión del sistema de calidad, el cual oferta con la etapa de pre-producción (Vykydal, Plura, Halfarova, Fabik, & Klaput, 2013).

2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL SOBRE ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

2.2.1 Definición de planeación

De acuerdo con Gallardo (2004), la planeación es el proceso de determinar los objetivos y definir la mejor manera de alcanzarlos. Se ocupa de los medios (cómo se debe hacer) y de los fines (qué es lo que se tiene que hacer). Cualquier persona realiza planes, pero estos pueden ser de tipo informal, es decir no están por escrito. Esto suele suceder también en los negocios pequeños que no se le dan a conocer los objetivos de la empresa a los empleados. Cuando existe una planeación formal, existen objetivos específicos, y por lo general están por escrito y disponibles para todos los miembros de la empresa cubriendo un periodo de tiempo (Gallardo, 2004). Al planear se define en forma clara la ruta que se requiere tomar para ir de donde están hasta donde quieren llegar.

De acuerdo con Vélez (2012), la planeación consiste básicamente en elegir y fijar las misiones y objetivos de la organización. Después, determinar las políticas, proyectos, programas, procedimientos, métodos, presupuestos, normas y estrategias necesarias para alcanzarlos, incluyendo además la toma de decisiones al tener que escoger entre diversos cursos de acción futuros. En pocas palabras, es decidir con anticipación lo que se quiere lograr en el futuro y el cómo se lo va a lograr.

Lo primero que debe hacerse es planear. La planeación incluye seleccionar las personas adecuadas para participar en el proyecto y organizarlas de manera que éste tenga éxito; definir las metas del proyecto, y determinar las actividades que forman el proyecto, sus interrelaciones, el tiempo y los recursos necesarios para llevarlas a cabo (Sipper & Bulfin, 1998).

2.2.2 Planificación de la calidad

El proceso de planeación de la calidad es una actividad importante para el aseguramiento de la calidad. Su objetivo es determinar procesos de manufactura con capacidad de procesos apropiados para producir las características del producto. El QFD (Quality Function Deployment) es una herramienta poderosa para la planeación de la calidad, la cual comienza con identificar las necesidades del cliente y termina con la determinación de los planes del proceso (Zheng & Chin, 2005). El QFD es una metodología estructurada para traducir los requisitos del cliente en diseño del producto o características de ingeniería, y subsecuentemente en características de partes, planes de proceso, y requerimientos de producción asociados con los de su manufactura.

De acuerdo con Farsi & Hakiminezhad (2012), el QFD (Quality Function Deployment) es una herramienta para traducir los requerimientos de los clientes en características técnicas de un producto o servicio “un método para desarrollar un diseño de calidad con el objetivo de satisfacer al cliente y traducir la demanda de los consumidores en objetivos de diseño y mejores puntos de aseguramiento de calidad usados en la fase de producción”.

El método del QFD es conocido por diversos nombres, los más comunes son la voz del cliente (VOC) y la casa de la calidad. La casa de la calidad es una matriz para obtener los requisitos del cliente en la metodología QFD (Farsi & Hakiminezhad, 2012).

De acuerdo con Farsi & Hakiminezhad (2012), las etapas de la casa de la calidad son las siguientes:

- i) Casa de la calidad
- ii) Despliegue de partes
- iii) Planeación del proceso
- iv) Planeación de la producción

El QFD es una metodología diseñada para manejar el desarrollo del producto y proceso desde la concepción hasta la manufactura. La casa de la calidad es una herramienta grafica que está asociada con el QFD y es usado para mostrar el resultado del análisis de la etapa de diseño: la correlación entre los deseos del cliente y las especificaciones de ingeniería del producto; la percepción del cliente acerca del producto con respecto a los productos competidores; y las áreas de oportunidad para el diseño (Farsi & Hakiminezhad, 2012).

De acuerdo con Alamillo (2012), una de las herramientas principales para alcanzar la calidad y la productividad en procesos institucionales es el círculo de Deming, el cual consiste en cuatro pasos como se menciona a continuación:

- a) **Planear.** Mejorar primeramente las operaciones encontrando que cosas se están haciendo mal (identificar los problemas) y sugerir ideas de cómo resolver los problemas.
- b) **Hacer.** Realizar los cambios deseados para resolver los problemas que tengan más impacto. Estos pueden ser en cambios pequeños.
- c) **Verificar o Estudiar.** Medir los cambios analizando si los cambios están funcionando, fueron positivos y esperados. Y si no replantear el o los problemas o bien incluir nuevos problemas.
- d) **Actuar.** Implantar los cambios a largo plazo si los cambios surgidos tuvieron éxito y en caso contrario abandonarlo. Involucrar a todos los miembros de la organización que sean afectados por estos cambios para que tengan conocimiento de ellos.

2.2.3 La trilogía de Juran

De acuerdo con Medina & Ballester (1990), la planificación de la calidad es uno de los procesos básicos de gestión por medio de los cuales gestionamos la calidad. Los tres procesos (la trilogía de Juran) están interrelacionados.

La trilogía de Juran comienza con la planeación de la calidad. El objeto de planificar la calidad es de suministrar a las fuerzas operativas los medios para producir productos que puedan satisfacer las necesidades de los clientes, productos tales como facturas, película de polietileno, contratos de ventas, llamadas de asistencia técnica, y nuevos diseños para los bienes (Juran, 1990). Una vez que se ha completado la planificación, el plan se pasa a las fuerzas operativas. Su trabajo es producir el producto. Bajo patrones convencionales de responsabilidad, las fuerzas operativas son incapaces de eliminar esa pérdida crónica planificada. En vez de ello, lo que hacen es realizar el control de calidad para evitar que las cosas empeoren. El control incluye apagar incendios para evitar que las cosas empeoren. La figura 1 muestra de manera ilustrativa el proceso realizado a través de la trilogía de Juran.

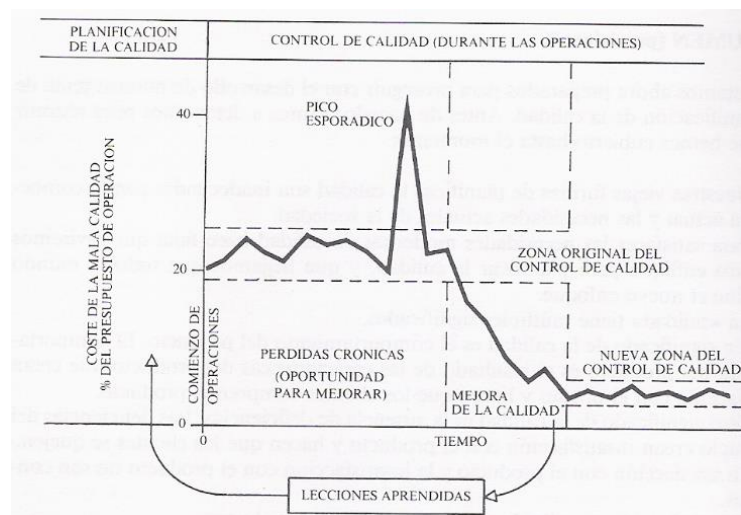


Figura 1. Trilogía de Juran

Fuente. Juran y la planificación para la calidad. Medina & Ballester

2.2.4 El mapa de carreteras para la planificación de la calidad

De acuerdo con Medina & Ballester (1990), en sentido amplio la planificación de la calidad consiste en desarrollar los productos y servicios necesarios para satisfacer las necesidades de los clientes. Más concretamente, la planificación de la calidad comprende las siguientes actividades:

- Identificar los clientes y sus necesidades
- Desarrollar un producto que responda a esas necesidades
- Desarrollar un proceso capaz de producir ese producto

Cuando miramos más de cerca, resulta que podemos generalizar un mapa de carreteras para planificar la calidad en una secuencia invariable de etapas como sigue:

- Identificar las necesidades de los clientes
- Determinar las necesidades de esos clientes
- Traducir esas necesidades a nuestro lenguaje
- Establecer en unidades de medida las necesidades de los clientes
- Desarrollar un producto que pueda responder a esas necesidades
- Optimizar las características del producto de forma que satisfaga nuestras necesidades, así como las de los clientes
- Desarrollar un proceso que sea capaz de producir el producto
- Optimizar el proceso
- Demostrar que el proceso puede producir el producto bajo las condiciones operativas.
- Transferir el proceso a las fuerzas operativas

De manera gráfica la figura 2 muestra el mapa de carreteras para la planificación de la calidad.

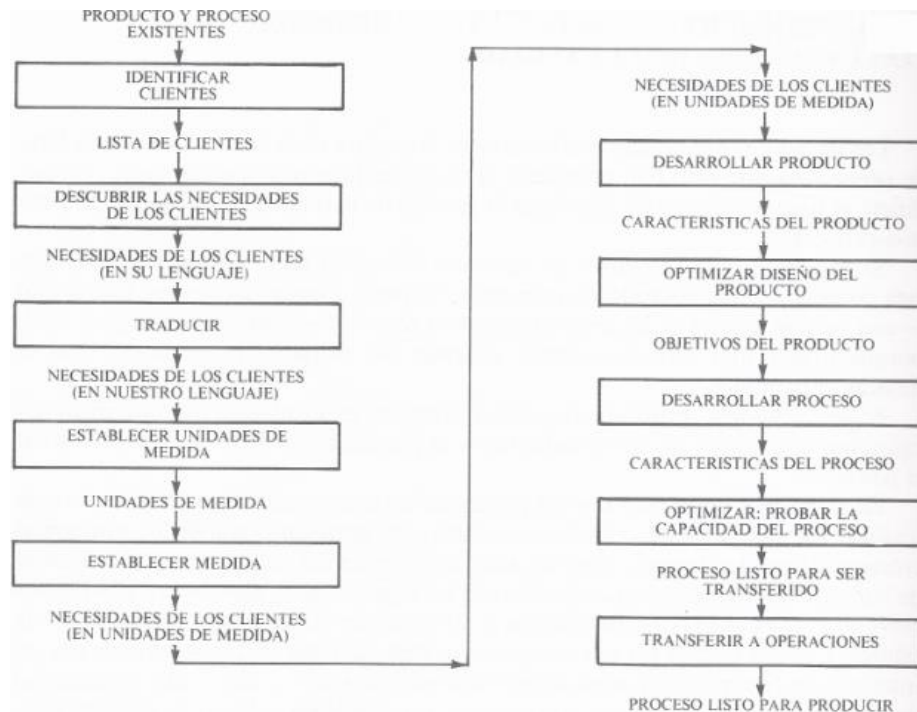


Figura 2. Carretera de la calidad

Fuente. Juran y la planificación para la calidad. Medina & Ballester

El gráfico de la carretera de la calidad muestra que la secuencia entre las etapas se mantiene unida a través de varios rasgos comunes:

- La cadena de entrada-salida de unión, en la cual la salida de cualquier etapa se convierte en la entrada de la siguiente.
- El concepto de triple papel, bajo el cual cualquier actividad juega el triple papel de cliente, procesador y proveedor
- El establecimiento de unidades comunes de medida para evaluar la calidad.
- El establecimiento de medios para evaluar la calidad en función de esas unidades de medida (Juran, 1990).

2.2.5 Implementación de una planeación de la calidad

Una estrategia de implementación es una aplicación que toma recursos en consideración. La estrategia de implementación es una acción de proceso de planeación. De acuerdo con Agung & Management (2011), con la estrategia de implementación se responderá como una estrategia que se pondrá en operación. El éxito de una estrategia de organización depende de su éxito en su implementación. El éxito de la implementación depende de factores como el nivel de autonomía de dirección, nivel de contribución funcional e instalaciones, así como la recompensa.

De acuerdo con Gutiérrez & Quirarte (2007), la planeación de la calidad establece que es un proceso estructurado para desarrollar productos (tanto artículos materiales como servicios) que asegura que las necesidades del cliente son satisfechas por el resultado final. Asimismo, sustenta que: la planeación de la calidad es la actividad para a) fijar objetivos de la calidad y b) desarrollar los productos y procesos requeridos para alcanzar esos objetivos.

Para Ishikawa, la planeación de la calidad del producto se requiere porque existen problemas de calidad como: fallas y deficiencias de diseño y falta de previsión de fallas de los productos que no se resuelven si sólo se aplica el control de procesos. Para solucionar estos problemas la garantía de calidad se aplica al desarrollo de nuevos productos y comprende de los siguientes aspectos: planificación, diseño, pruebas de confiabilidad, pruebas de producción, pruebas de calidad, administración desde la producción inicial hasta la producción normal, mercadeo y servicio después de la venta (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

La industria automotriz, en particular la de Estados Unidos consolidó la planeación de la calidad del producto, con base en los conceptos expresados antes. Ahí donde la APQP se fortaleció a través del llamado Automotive Industry

Action Group (AIAG), conformado por Chrysler, Ford y General Motors (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

Para la implementación de una Planeación Avanzada de la Calidad del Producto, el manual del APQP establece de acuerdo con Gutiérrez & Quirarte (2007) los siguientes pasos/etapas:

- Fase 1. Planear y definir el programa. Esta fase describe como determinar las necesidades del cliente y sus expectativas, con la idea de que sean la base para definir los objetivos del diseño. Aquí será clave apoyarse en metodologías para escuchar la voz del cliente en forma adecuada.
- Fase 2. Diseño y desarrollo del producto. En esta etapa se establecen las características del producto y se desarrolla casi en su forma final. Asegurándose que se cumple con los requerimientos y expectativas del cliente (objetivos de diseño).
- Fase 3. Diseño y desarrollo del proceso. Aquí se desarrolla un proceso que sea capaz de hacer con calidad el producto diseñado, junto con sus planes de control correspondientes.
- Fase 4. Validación del producto y proceso. Esta etapa se centra en validar el producto y el proceso de manufactura, a través de corridas de producción de prueba y todas las actividades relacionadas. Aquí se pueden detectar requerimientos adicionales, que deben ser incorporados antes de iniciar producción.
- Fase 5. Retroalimentación, evaluación y acción correctiva. Aquí se evalúan todos los resultados respecto a causas comunes y especiales de variación. En esta etapa se conoce la efectividad de la aplicación de la planeación de la calidad del producto.

La aplicación del APQP es una herramienta poderosa para prever problemas y resolverlos antes de que el producto llegue al cliente. Pero su aplicación no está exenta de problemas y dificultades. Si el proceso no es bien conducido, puede ser algo frustrante y en sí mismo un problema (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

De acuerdo con Gutiérrez & Quirarte (2007), la asociación alemana de fabricantes de automóviles Verband der Automotive Industrie (la VDA, por sus siglas en alemán) también ha contribuido al desarrollo y aplicación de la planeación de la calidad del producto. Su modelo se presenta en los manuales: VDA libro 2, VDA libro 4/parte 1, VDA libro 4/parte 3, VDA libro 6/parte 1.

2.2.6 Relación entre calidad, productividad y optimización

De acuerdo con los autores Daghani, Nasr & Khanbeigi (2011), se define la productividad como: “la optimización en la utilización y administración de todos los recursos disponibles, el desarrollo de investigaciones sobre los recursos mejor conocidos, la generación de nuevos recursos a través del pensamiento creativo e innovación tecnológica, así como su búsqueda y desarrollo. Esto combina de mejor manera el uso de todas las áreas del conocimiento, técnicas de mejoramiento, métodos y acercamientos para la producción y distribución de bienes de calidad y servicios a un mínimo costo unitario en una ética y legal con su debido cuidado del medio ambiente”.

Generalmente, los términos productividad y calidad son conceptos utilizados uno en lugar del otro. Pero existen algunas diferencias entre los dos conceptos visualizadas desde los puntos de vista organizacionales, de dirección y de los clientes (Daghani *et al.*, 2011). Actualmente existen diferentes puntos de vista sobre calidad y productividad, esto debido a que la productividad es una vista interna de las organizaciones, mientras que la calidad cubre la parte interna y externa de las organizaciones. La dirección entiende el término productividad, pero el término calidad es más fácil de entender por la mano de obra y los

clientes. No es posible obtener uno sin el otro. La mayoría de los negocios de excelencia tienen sus raíces en la productividad, pero sus salidas son la calidad.

La calidad necesita ser estrictamente definida. En un proyecto, el uso básico de costos de calidad es primario para reportar a la alta dirección con una herramienta para evaluar tendencias de los mismos (Daghani *et al.*, 2011).

De acuerdo con Daghani *et al.* (2011), existen muchos modelos y métodos para medir el nivel de productividad que es ofrecido por economistas, ingenieros, líderes de proyectos y matemáticos, nombrados; enfoque de índice, función de producción, enfoque utilitario, enfoque de proporción financiera, enfoque de costo unitario y los modelos matemáticos.

2.3 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL SOBRE APQP

La Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP) es un método estructurado para definir y establecer los pasos necesarios para asegurar que los productos o servicios satisfacen los requisitos de los clientes (Chacón, 2005). A demás de que tiene como principal objetivo el lograr una mejora continua a través de la eficacia del desarrollo y control del proceso, desde las primeras etapas del concepto del producto, hasta los embarques de producción regular. La planeación de la calidad del producto se inicia con el compromiso de la dirección para la prevención de “*no conformidades y mejora continua*” a través de las políticas y objetivos de la compañía (Chacón, 2005).

De acuerdo con Chacon (2005), los principales fundamentos en los que se basa la Planeación Avanzada de la Calidad del Producto son:

- Organizar al equipo
- Definir el alcance
- Establecer relaciones Equipo-Equipo

- Desarrollar el entrenamiento
- Involucramiento con cliente y proveedor
- Programación de las actividades de la Planeación de la Calidad.

Las principales fases o etapas de la aplicación de un APQP son las siguientes:

- Planeación y definición del problema
- Diseño y desarrollo del producto
- Diseño y desarrollo del proceso
- Validación del producto y proceso
- Producción
- Retroalimentación, evaluación y acción correctiva

En la figura 3 se muestra de manera más detallada la interrelación de cada una de las etapas las cuales se explicarán más adelante.

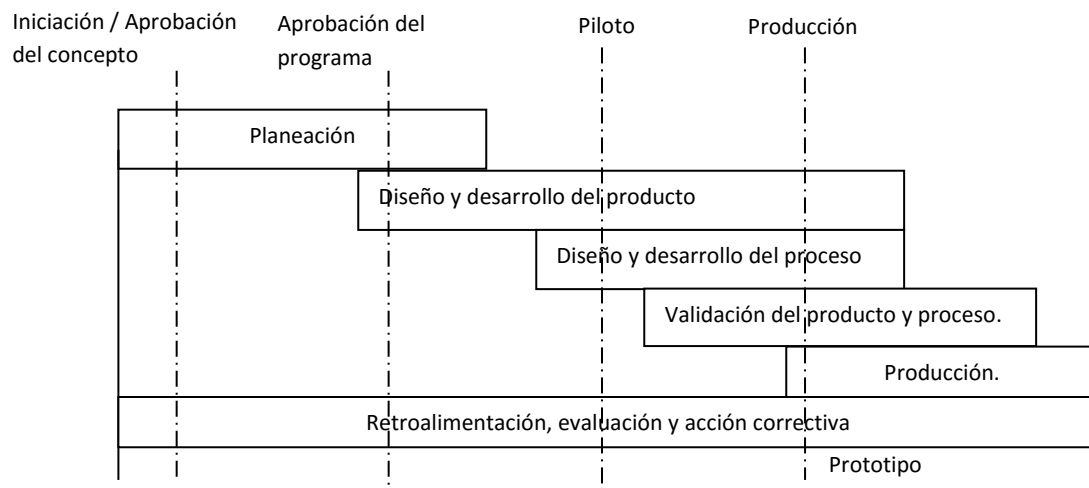


Figura 3. Modelo APQP de la AIAG

Fuente: Etapas del APQP. J.Chacón. 2005

2.3.1 Planeación y definición del problema

De acuerdo con la AIAG (2008), la etapa de planeación y definición del problema consiste en la determinación de necesidades, requisitos y expectativas de los clientes usando las herramientas que permitan definir y fijar las entradas y las salidas. Esta etapa se diseña para asegurarse de que las necesidades y expectativas del cliente están entendidas claramente.

Los requisitos de entrada para esta etapa son de acuerdo con la AIAG (2008):

- La voz del cliente
- El plan del negocio/estrategia de comercialización
- La información de comparación competitiva del producto o proceso
- Suposiciones sobre el producto o proceso
- Estudios de confiabilidad del producto
- Información del cliente

Las salidas de esta etapa son principalmente:

- Metas del diseño
- Metas de confiabilidad y calidad
- Lista preliminar de materiales
- Diagrama preliminar de flujo de proceso
- Listado preliminar de las características especiales del producto y proceso
- Plan de aseguramiento del diseño del producto
- Soporte administrativo
- El establecimiento de objetivos
- Las metas de calidad y confiabilidad
- Las listas preliminares de materiales
- El diagrama de flujo de proceso preliminar
- El plan de aseguramiento del producto.

2.3.2 Diseño y desarrollo del producto

La etapa de diseño y desarrollo del producto consiste en repasar las entradas y ejecutar las salidas, se incluyen los análisis de medios y efectos de falla, las verificaciones y revisiones del diseño, los materiales y las especificaciones de ingeniería (AIAG, 2008).

Esta área abarca una revisión cuidadosa de los requisitos del diseño del producto y concluye con un *sign-off* en la confiabilidad del diseño (AIAG, 2008).

Las salidas de esta etapa de acuerdo con AIAG (2008), son principalmente:

- Requisitos de equipos nuevos, herramientas e instalaciones
- Características especiales del producto y proceso
- Requisitos para calibradores y equipos de prueba
- Compromiso de factibilidad del equipo y soporte administrativo
- El PFMEA de diseño producto
- Las especificaciones de ingeniería
- Los dibujos de ingeniería
- Las características especiales del producto y proceso
- Un prototipo de plan de control
- La fabricación del primer prototipo
- Los gages y los equipos de prueba
- Los dibujos y cambios de ingeniería

2.3.3 Diseño y desarrollo del proceso

Agregando características para desarrollar sistemas de manufactura y controladores relacionados, estas tareas son dependientes en la terminación acertada de las fases uno y dos. En esta fase se asegura de que las

expectativas del cliente y los requisitos del diseño estén incorporados cuidadosamente en el proceso de fabricación (AIAG, 2008).

Las salidas de esta etapa son principalmente:

- Normas y especificaciones de empaque
- Revisión del sistema de calidad del producto y proceso
- Diagrama de flujo del proceso
- Plano de distribución de la planta
- Matriz de características
- PFMEA de procesos
- Instrucciones de proceso
- Plan de control de pilotos
- Plan de análisis del sistema de medición
- Plan de estudio preliminar de la capacidad del proceso (AIAG, 2008).

De acuerdo con Dudek (2011), el PFMEA es un método que las organizaciones usan para prevenir y eliminar defectos que pueden aparecer en la manufactura de procesos. El PFMEA es la mejor técnica analítica, porque permite el establecimiento de enlaces entre causas y efectos de los defectos, así como la búsqueda, solución y obtención de las mejores decisiones relativas a aplicaciones de acción adecuadas.

El PFMEA es una manera fácil de usar y una manera proactiva de método de calidad ingenieril que ayuda como identificar y contrarrestar los puntos débiles en la fase preliminar de concepción de productos y procesos. En otras palabras, este método puede reducir errores de desastres que pueden causar daños severos a la organización. Cuando se aplica el PFMEA, cada componente es examinado para identificar posibles fallas. Tres medidas consideradas son: la probabilidad de la falla de ocurrencia (O), el impacto o severidad de la falla (S), y la capacidad de detectar la falla antes de que ocurra (D). La multiplicación de

estas mediciones generan el Risk Priority Number (RPN) (Bahrami, Hadizadeh, & Sajjadi, 2012).

De acuerdo con Bahrami *et al.* (2012), para calcular el número RPN, el equipo de elaboración de PFMEA debe multiplicar la Severidad (S), Ocurrencia (O) y la Detección (D) después de obtener estos valores. A continuación, se muestra la forma de cálculo: $RPN=(S) \times (O) \times (D)$.

El valor del RPN puede variar entre 1 y 1000 y los errores o fallas priorizarán de acuerdo con los números. Los errores o fallas con un alto número de prioridad analiza los recursos y el equipo debe de enfocarse en los errores que tienen un número mayor de RPN. Los RPN actualmente son un marcador de separación de riesgos aceptables e inaceptables para considerar el sistema (Bahrami *et al.*, 2012).

2.3.3.1 Línea de producción

Definición

Una línea de producción es el conjunto armonizado de diversos subsistemas como son: neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software entre otros. Todos estos con una finalidad en común: transformar o integrar materia prima en otros productos (Muñoz, 2008).

Características de una línea de producción

De acuerdo con Muñoz (2008), las líneas de producción deben de cumplir con las siguientes características:

- Deben tener mínimo tiempo ocioso en las estaciones

- Deben tener alta calidad (tiempo suficiente para que los operadores terminen el trabajo).
- Deben de tener costo de capital mínimo
- Deben tener transporte entre estaciones sin medio de transportación
- Deben tener velocidades de transportación diferente entre estaciones
- Deben de tener almacenes entre las operaciones o transportaciones.

Conformación de una línea de producción

De acuerdo con Muñoz (2008), una línea de producción se conforma de las siguientes partes:

- Recepción de materias primas
- Intervención de mano de obra requerida
- Transformación de la materia prima
- Etapa de inspección y prueba
- Almacenamiento y Transporte

De acuerdo con Niebel & Freivalds (2004), el séptimo paso en el proceso sistemático de desarrollar un centro de trabajo eficiente es establecer los tiempos estándar. Tres elementos ayudan a determinarlos: las estimaciones, los registros históricos y los procedimientos de medición del trabajo.

La realización de un estudio de tiempos es tanto una ciencia como un arte. Para asegurar el éxito, el analista debe poder inspirar confianza, aplicar su juicio y desarrollar un enfoque de acercamiento personal con quienes tenga contacto. Además, sus antecedentes y capacitación deben prepararlo para entender a

fondo y realizar las distintas funciones relacionadas con el estudio. Estos elementos incluyen; seleccionar al operario, analizar el trabajo y desglosarlo en sus elementos, registrar los valores elementales de tiempos transcurridos, calcular la calificación del operario y asignar los suplementos adecuados (Niebel & Freivalds, 2004). Se puede usar una de dos técnicas para registrar los tiempos elementales durante el estudio. El método de tiempos continuos, como su nombre lo indica, permite que el cronometro trabaje durante todo el estudio. En la técnica de regresos a cero, después de leer el cronómetro en el punto terminal de cada elemento, el tiempo se restablece en cero; cuando se realiza el siguiente elemento el tiempo avanza a partir de cero. (Niebel & Freivalds, 2004)

2.3.4 Validación del producto y proceso

Esta etapa consiste en la validación del proceso de manufactura seleccionado y de sus mecanismos de control mediante una evaluación del proceso en funcionamiento teniendo de manera imperativa las condiciones de producción y los requerimientos identificados por los requerimientos de salida (AIAG, 2008).

Las salidas de esta etapa de acuerdo con la AIAG (2008), son principalmente:

- Corridas de pruebas de producción
- Evaluación de sistemas de medición
- Estudio preliminar de la capacidad del proceso
- Aprobación de partes de producción
- Prueba de validación de la producción
- Evaluación del empaque
- Plan de control de producción
- Autorización final de la planeación de calidad y soporte administrativo

De acuerdo con Rezaie, Ostadi & Taghizadeh (2006), cada proceso es una combinación única de máquinas, herramientas, métodos y personal involucrado en proveer un producto o servicio. La salida de un proceso puede ser una característica de producto o parámetro de proceso. Los principales índices de capacidad de proceso que proveen una métrica común para evaluar y predecir el desempeño de los procesos son el Cp, Cpk y el Cpm.

Adicional a la medición de la capacidad del proceso, el establecimiento de índices para el desempeño del proceso es útil cuando el control del proceso no puede ser evaluado. Los principales índices son los siguientes; Pp, Ppk y Ppm. (Rezaie *et al.*, 2006)

De acuerdo con Abdolshah, Yusuff, Hong & Yusof (2009), una línea de producción es una secuencia de operaciones establecidas en serie, paralelo o una combinación de formas. En una línea de producción, cada proceso tiene su propia capacidad de manufactura que repercute en la capacidad global de la línea de producción.

Abdolshah (2009), refiere que Kane (1986) desarrolló los índices Cp y Cpk, los cuales son comúnmente usados en la industria para evaluar una característica de calidad individual. Los índices de capacidad del proceso asumen que la característica de calidad está distribuida de manera normal la cual se expresa a continuación:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}; \quad C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma} \mid \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad [\text{Ecuación 1. Índices de capacidad}]$$

Donde, USL y LSL representan el límite superior e inferior de especificación, respectivamente; μ representa la media del proceso y σ es la desviación estándar del proceso (Abdolshah *et al.*, 2009).

Debido a que los índices Cp y Cpk no toman en cuenta la diferencia entre la media del proceso y su valor objetivo, el índice que desarrolla una diferencia es el siguiente:

$$Cpm = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

[Ecuación 2. Índice Cpm]

Donde, T representa el valor objetivo de la característica de calidad. Los parámetros del proceso μ y σ^2 son estimados desde una muestra con media \bar{x} y varianza s^2 , cuando μ y σ^2 son desconocidos (Abdolshah *et al.*, 2009).

Durante el proceso de producción todos los productos son manufacturados más o menos en condiciones similares. Es posible que algunas características de los productos individuales puedan ser ligeramente diferentes tomando en cuenta la aparición de errores aleatorios que interrumpen el proceso. De cualquier manera, el tamaño de estos errores no son lo suficientemente grandes para que el control de cada elemento producido deba ser necesario. Los gráficos de control son una forma de determinar estadísticamente las mediciones de las propiedades de los productos que son registradas como resultado de una inspección tomando muestras aleatorias de productos en determinadas fases del proceso. Los gráficos de control pueden ser de una sola vía (solo se evalúa un parámetro estadístico), de dos vías (cuando se evalúan dos parámetros) o de múltiples vías (cuando más de dos parámetros se evalúan) (Burlikowska, 2011).

De acuerdo con Pulido & De la Vara (2009), existen dos tipos generales de cartas de control: para atributos y variables. Las cartas de control por variables se aplican a características de calidad del tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición para medirse (pesos, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencias, temperaturas o humedad). Las cartas para variables continuas más comunes son:

- \bar{X} : Carta de promedios
- R: Carta de rangos
- S: Carta de desviaciones estándar
- X: Carta de medidas individuales

Por otro lado, existen muchas características de calidad que no son medidas con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una escala numérica. En estos casos, el producto se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee ciertos atributos, y al producto se le podrá contar el número de defectos o no conformidades que posee el mismo (Pulido & De la Vara, 2009). La variabilidad y tendencia central de este tipo de características de calidad de tipo discreto serán analizadas a través de las cartas de control para atributos:

- p : Carta de proporción o fracción de artículos defectuosos
- np : Carta de número de unidades defectuosas
- c : Carta de número de defectos
- u : Carta de número de defectos por unidad

El control estadístico de calidad de un proceso para la organización significa prevenir la ocurrencia de defectos, permitiendo la minimización de pérdidas gracias a la identificación sistemática y al análisis de procesos clave y de control directo (Burlikowska, 2011).

De acuerdo con Castaño & Domínguez (2010), para probar de manera formal la hipótesis de igualdad de varianzas existen varios estadísticos propuestos entre los cuales se encuentran el método Hartley, Bartlett y Levene. Ante la presencia de heterogeneidad algunos ajustes a los datos, o la aplicación de otros procedimientos, se deben emplear para su análisis. El planteamiento estadístico es realizar la prueba de hipótesis sobre la igualdad de varianzas, esto es:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2 \quad [\text{Ecuación 3. Hipótesis de homogeneidad de varianzas}]$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2, \text{ para alguna } i \neq j.$$

En cuanto a uno de los estadísticos propuestos y utilizado durante el presente trabajo de investigación, fue el de Hartley descrito a continuación:

$$H = \frac{\max(S_1^2 S_2^2 \dots S_k^2)}{\min(S_1^2 S_2^2 \dots S_k^2)} \quad [\text{Ecuación 4. Estadístico de Hartley}]$$

La decisión es rechazar H_0 si $H > H_{tablas}$ para algún valor establecido de α , considerando el número de tratamientos y los grados de libertad para el error. Los valores de H aparecen en las tablas generadas por Hartley (Castaño & Domínguez, 2010).

Al igual que el estadístico de Hartley, se utilizó el estadístico propuesto por Bartlett:

$$B = 2.3026 \frac{(\sum_{i=1}^k v_i) \log_{10}(S_p^2) - \sum_{i=1}^k v_i \log_{10} S_i^2}{1 + \left\{ \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{v_i} \right) - 1 / \sum_{i=1}^k v_i \right\} / \{3(k-1)\}} \quad [\text{Ecuación 5. Estadístico de Bartlett}]$$

Donde $v_i = n_i - 1$, $i = 1, \dots, k$. Así, si B evaluado con los datos generados resulta que:

$$B > X^2(k - 1, 1 - \alpha)$$

se rechaza la hipótesis de homogeneidad de las varianzas.

Es importante recordar que, de acuerdo con Montgomery, Hines, Goldsman & Borror (2003), una hipótesis estadística es un enunciado acerca de la distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Las hipótesis estadísticas generalmente involucran uno o más parámetros de esta distribución.

De manera adicional, las hipótesis siempre son declaraciones acerca de una población o distribución bajo estudio y no declaraciones sobre las muestras. (Montgomery *et al.*, 2003)

2.3.5 Producción

De acuerdo con Medina & Ballester (1990), durante la planificación del proceso, los planificadores adquieren muchos conocimientos prácticos sobre el proceso. Las fuerzas operativas se pueden beneficiar de esos conocimientos, pero sólo si les son transferidos. Hay varias maneras de hacer la transferencia:

- Especificaciones del proceso

Las especificaciones establecen los objetivos que tienen que cumplir el proceso. La información es vital para las fuerzas operativas, pero es el mínimo imprescindible.

- Procedimientos

Los procedimientos son una explicación oportuna. Pueden incluir las instrucciones, preocupaciones, el porqué y el cómo. Cuando están por escrito, se convierten en una referencia básica y ayuda para el adoctrinamiento de los nuevos empleados.

- Sesiones informativas

Las sesiones informativas son unas reuniones que se establecen concretamente para la transferencia de información. Cuando están bien organizadas, las sesiones informativas son muy útiles. Los planificadores hacen una presentación construida sobre una descripción escrita y completada con métodos visuales. Se favorece la discusión y las preguntas, para que la transferencia sea un poco profunda.

- Formación para el trabajo

En muchos casos los planificadores pueden participar de manera útil en la formación dada a los supervisores y a la mano de obra. Las ventajas de este enfoque son algo más que la transferencia de conocimientos; hay una retroalimentación valiosa hacia los planificadores. El proveedor aprende de los clientes.

- Curso de formación

Los cursos de formación son necesarios en los casos en que el nuevo proceso se aparta radicalmente de los del pasado.

2.3.6 Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas

Esta última etapa se enfoca en variaciones y en la mejora continua identificando las salidas y las relaciones con las expectativas de los clientes y futuros programas de productos (AIAG, 2008).

- Reducción de la variación
- Satisfacción del cliente
- Entrega y servicio.

De manera adicional, de acuerdo con Khanduja & Ranga (2014), en este punto, la salida es evaluada para encontrar todas las causas especiales y comunes de variación. En esta etapa es tiempo para evaluar la efectividad del esfuerzo de la planificación de la calidad por sí misma. En esta fase, la variación puede ser estudiada y reducida a través del tiempo. Los resultados de la filosofía del mejoramiento continuo de la organización van a ser visibles.

2.3.7 Casos prácticos de aplicación

2.3.7.1 *Delphi Powertrain Application*

De acuerdo con Abrahamian, Bevenzi, Bender, Bloink & Conklin (2010), dentro de la organización Delphi Corporation Advanced Powertrain ubicada en los Estados Unidos de América, se trabajó en un proyecto en el cual se utilizó una metodología Shainin apoyada con diversas herramientas de la Planeación Avanzada de la Calidad del Producto para mitigar el riesgo asociado con el desarrollo de un nuevo sensor situado en un arnés eléctrico para tanque de combustible diesel.

El arnés de tanque de diesel con sensor de amoníaco detecta el exceso de amoníaco emitido por el escape permitiendo una mayor y más precisa dosificación de la urea y de la funcionalidad de diagnóstico abordo. El sensor de Delphi es usualmente utilizado para detectar amoníaco entre un rango de 0 a 200 ppm.

A continuación, la figura 4 muestra el arnés Delphi con sensor de amoníaco:



Figura 4. Arnés Delphi con sensor de amoníaco

Fuente: Reducción del riesgo del producto y diseño del proceso durante el desarrollo de un nuevo producto. Abrahamian *et al.*, 2010

Durante la etapa del desarrollo del diseño, Delphi utilizó herramientas Shainin en cada una de las etapas del APQP con el objetivo de lograr minimizar los (RPN)

Risk Priority Numbers y para eso utilizo herramientas con las cuales podía obtener la ocurrencia, la detección y la severidad. (Abrahamian *et al.*, 2010)

Con el apoyo de las diferentes metodologías para la reducción del riesgo proactivo, Delphi demostró una aceleración de conocimiento en la captura en cada una de las etapas iniciales del desarrollo de un nuevo producto en donde el riesgo pudo ser fácilmente mitigado (Abrahamian *et al.*, 2010).

2.3.7.2 *Empresa productora de válvulas para los sistemas de agua*

La empresa en la que se hace el estudio sobre la situación de la planeación de la calidad del producto se dedica a la fabricación y venta de válvulas para los sistemas de agua. Sus instalaciones están en Guadalajara, México, y fue fundada en 1970. Cuenta con 200 empleados, agrupados en tres direcciones y doce departamentos. Este tipo de empresas se tipifica en México como mediana empresa, dentro de un sector tradicional como lo es el metal-mecánico (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

De acuerdo con Gutiérrez & Quirarte (2007), para conocer la situación de la planeación de la calidad del producto se analizaron con detalle todas las etapas del proceso, desde la relación con los clientes de nuevos productos, el diseño de los productos y procesos, hasta la entrega del producto. Con esto se identificaron los principales problemas en relación con la APQP. Con la idea de completar lo anterior y tener una perspectiva adicional se efectuaron una serie de entrevistas semi-estructuradas con los directivos de la empresa. Las preguntas se formularon con base en las tareas más importantes que se debían desarrollar para la planeación de la calidad del producto. Se entrevistó a: director general, director de producción, jefe de departamento de ventas y al jefe del departamento de modelos y prototipos. En cuanto a los resultados que ocasionaron las prácticas actuales de desarrollo del producto se muestran a continuación:

Excesivos cambios al diseño para solucionar problemas no previstos, con el consecuente incremento en costos de desarrollo del producto.

- Fallas de los productos en el campo cuando los está usando el cliente.
- Los productos desarrollados no cumplen con las normas aplicables al producto (técnicas y ambientales).
- Quejas del cliente y pérdida acelerada de prestigio por las fallas de los productos y falta de cumplimiento de normatividad. Esto debido a que en las actuales condiciones hay productos de procedencia extranjera de mejor calidad que cumplen con la normatividad y tiene un precio competitivo.
- Retrasos en los compromisos con el cliente para entregarles su producto.
- Falta de certeza en los plazos para concluir el desarrollo de un producto.
- Pérdida de mercados importantes que tienen mayores exigencias y en los cuales los productos de procedencia extranjera ejercen una fuerte presencia y competencia. Por ejemplo, se han perdido los clientes de ciudades importantes como Culiacán, Distrito Federal y León (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

De la misma manera para evaluar el diseño de los procesos, que es otra de las etapas críticas de la APQP, se hizo un estudio similar y se completó con una serie de entrevistas semi-estructuradas a: director general, director de producción y jefe de departamento de control de calidad. En cuanto a los resultados obtenidos de acuerdo con Gutiérrez & Quirarte (2007), se obtuvieron:

- Mala calidad y alta variabilidad en las partes maquinadas y pintadas, ya que al no existir dibujos que indiquen dimensiones y tolerancias, la fabricación se hace al criterio subjetivo del supervisor y operarios.
- Falta de métodos formales de producción: hojas de ruta, diagramas de proceso, tiempos estándar, procedimientos e instrucciones de trabajo, etcétera.

- Productos que fallan ya en las manos del cliente, debido a la alta variabilidad de los procesos y a la falta de métodos formales de producción, a pesar de que hay características críticas de fabricación.
- Quejas del cliente y pérdida acelerada de prestigio por las fallas de los productos, retrasos en la producción e incumplimiento de la norma. En contraste con las actuales condiciones de los productos de procedencia extranjera.
- Paros de producción y altas cantidades de materiales en procesos por la falta de coordinación y de métodos de programación y control de la producción.
- Retrasos graves en las entregas de pedidos.
- Costos elevados por el excesivo material en proceso.

Con base en la situación de la empresa y en las diferentes metodologías de la planeación de la calidad del producto, se procedió a definir y proponer un modelo de planeación de la calidad del producto para la empresa referida por Gutiérrez & Quirarte (2007). Las etapas de este modelo fueron:

- Definición de requerimientos del producto a desarrollar
- Análisis y toma de decisiones para iniciar el proyecto
- Estructura organizativa para desarrollo del nuevo producto
- Diseño preliminar
- Revisión inicial del diseño
- Diseño detallado
- Evaluación y pruebas 1
- Revisión final
- Evaluación y pruebas 2
- Pre-producción
- Validación del producto y de los procesos

El modelo y las actividades se presentaron a la dirección de la empresa, junto con un análisis del costo beneficio. Los mayores costos fueron relativos a

normas, equipos de medición y pruebas en laboratorios externos. Sin embargo, los beneficios potenciales que se estimaron fueron mucho mayores, porque se tomó en cuenta la existencia de un mercado amplio un tanto desatendido, al igual que tratar de recuperar clientes con buenos resultados en calidad y con cumplimiento en plazos de entrada. Además, se consideró que la documentación que se desarrollaría sobre los productos y procesos mediante el proyecto, permitiría soportar mejor los concursos públicos para proveer productos a sistemas de agua en todo México (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

Se autorizó el proyecto de implantación de la planeación avanzada de la calidad para el diseño y desarrollo del producto. El proyecto se aplicó tanto a los nuevos productos y sus procesos, como a los principales productos del catálogo de producción, para de esa forma atender la problemática establecida anteriormente.

De acuerdo con Gutiérrez & Quirarte (2007), con el trabajo intenso y en equipo de: directivos, supervisores y operarios, a ocho meses de iniciada la ejecución del proyecto, los principales beneficios y resultados fueron:

- a) Documentación técnica del producto: Especificaciones técnicas, dibujos de partes para maquinado y ensamble y listas de partes y componentes
- b) Documentación de manufactura: Diagramas de flujo de procesos, especificaciones de materiales y de control, plan de control de calidad, instrucciones para fabricación, programa para calibración de instrumentos de medición, instructivos de empaque, manejo y preservación del producto, métodos de rastreo del producto, sistema de programación y control de la producción, programa de capacitación, evaluación y calificación de proveedores.
- c) Un producto que cumple con los requerimientos del cliente y las normas vigentes (técnicas y ambientales). Una empresa certificadora tomó una muestra de productos de la producción y comprobó que sí se cumple con las especificaciones de diseño. Estas especificaciones, dado el proceso seguido de

planeación de la calidad del producto, expresan fielmente los requerimientos del cliente y de la normatividad aplicable.

d) Procesos capaces. Esto se vio a partir de los resultados de las muestras tomadas por la empresa certificadora.

e) Satisfacción y aprobación del cliente. Se enviaron muestras de producto a los principales clientes de diferentes ciudades, quienes probaron el producto. El resultado fue que las válvulas cumplieron y excedieron los requisitos de desempeño en el campo de trabajo. Como consecuencia de estos resultados se han empezado a ganar concursos que antes se llegaron a perder por problemas de calidad de los productos y por deficiencias en la documentación técnica que respaldaban la capacidad de la empresa para fabricar los productos.

Romper la inercia, trabajar con un enfoque reactivo, basado en la prueba y error, tanto de mandos como del personal, fueron los obstáculos principales que se encontraron en la ejecución del proyecto. Estos problemas no son exclusivos de esta empresa, sino más bien de índole general. También se requirió mucha labor de comunicación, supervisión y entrenamiento, para directivos y operadores; con ello se logró el inicio para desarrollar los productos y operar los procesos con base en una metodología sistemática, en lugar de los viejos hábitos de hacer el desarrollo sobre la marcha, y “corrigiendo” cuando las cosas salen mal (Gutiérrez & Quirarte, 2007). Como ya se dijo, para la capacitación de supervisores y operadores en la operación de procesos de acuerdo con los nuevos planes y documentos de control, fueron muy importantes los mismos documentos y la evidencia de la problemática en la empresa.

Al conseguir que el personal trabajara con base en procedimientos y especificaciones estándar en lugar de con sus propios criterios y de acuerdo con su experiencia, se lograron disminuciones importantes en la variabilidad del producto para así cumplir con las exigencias actuales de los clientes (Gutiérrez & Quirarte, 2007).

2.3.7.3 Caso Munjal Auto Components (MAC)

Antecedentes

De acuerdo con Khanduja & Ranga (2014), Munjal Auto Components (MAC) (una división de Munjal Auto Industries Limited) establecida en 1998 es una firma certificada en TS16949 y es parte del grupo Hero. Dirigida por el Sr. Neeraj Munjal quien es el director con buenas habilidades de liderazgo y una fuerte visión, ha tenido un fuerte crecimiento. MAC es la manufacturera más grande de engranes de transmisión y ejes, y es el mayor proveedor para M/S Hero Honda Motors Ltd. que es la mayor firma manufacturera de motocicletas en el mundo. El grupo Hero se encuentra dentro del top diez de negocios locales ubicados en la India con 18 empresas establecidas.

Definición del problema

El problema que enfrentó la industria Munjal Auto Components (MAC) tiene que ver con el nivel de rechazos del engrane M2. M2 es una notación dada a cada uno de los cuatro engranes colocados en la navaja principal, y al ensamble completo cuando es ajustado en la caja de engranes de la motocicleta. La firma es un proveedor directo de Hero Honda Motors Ltd. (HHML) el cual es la más grande manufacturera de motocicletas en el mundo. El engrane M2 es proveído a Hero-Honda como un semi producto terminado o un componente terminado. El semi producto terminado es procesado únicamente después del mecanizado y el componente terminado va dirigirse a través de un proceso de tratamiento térmico para después ser enviado al cliente que es HHML. El impacto es masivo cuando el componente terminado permite la premisa de la compañía la cual va directamente alcanzar la línea de ensamble para poder ser colocada dentro de la caja de engranes. En Hero-Honda el tiempo de ensamble para una motocicleta es de 17 segundos por lo cual un componente incorrecto que entre en la línea causaría que la línea se detuviera. El índice de rechazos de engranes desde

junio hasta diciembre para semi-componentes terminados era en promedio alrededor de 1500 partes por millón. El nivel más alto de alerta fue sondeado para reducir el nivel de rechazos de engranes a menos de 500 partes por millón. Como la observación inicial observo muy pobres resultados y el personal y la dirección deseaban reducir el índice de rechazos y estaban cooperativos en implementar el cambio, entonces la organización decidió un exhaustivo estudio en implementar un APQP (Khanduja & Ranga, 2014).

Aplicación de la metodología APQP

Para solucionar cualquier problema, la metodología adoptada debe de cubrir todas las posibles causas del problema. Si la metodología del problema a solucionar no es completamente comprensiva, la solución obtenida al final del proyecto no será la correcta y el problema reaparecerá tarde o temprano. Un diagrama de proceso es preparado para proseguir en una manera de secuencia y para presentar una imagen rápida de la metodología completa (Khanduja & Ranga, 2014). En este caso de estudio de alto índice de rechazos generados por engranes M2 las cinco etapas de la metodología APQP fueron estudiadas, como se describió con anterioridad fueron exitosamente implementadas para reducir los niveles de rechazo del producto. La metodología se muestra en la figura 5.

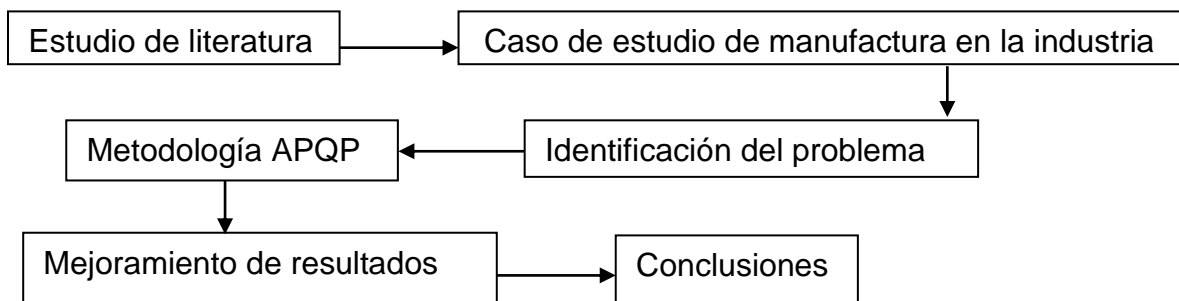


Figura 5. Metodología adaptada *Munjal Auto Components*

Fuente: APQP: A Strategy for Entrepreneurs to Improve Product Quality. Khanduja & Ranga. 2014

Importancia del estudio

Los beneficios obtenidos dentro de la industria una vez implementada la metodología APQP de acuerdo con Khanduja & Ranga (2014) fueron:

- Provee identificación para la presupuestación del capital (para el costo requerido si la planta así lo requiere en toda la organización).
- Provee aseguramiento de dirección, en la idoneidad del uso del APQP para la compañía para un mejor desarrollo del producto.
- Prueba en una pequeña manera antes de lanzar una nueva firma que pueda ayudar a reducir tiempo, esfuerzos y la falla o éxito que puedan ser juzgados y la decisión puede ser realizada por la dirección.

Conclusiones

Las herramientas y metodología del APQP han venido evolucionando utilizando varios dominios asociados con el desarrollo del producto y desarrollo del proceso. La evolución del APQP esta paralela a la evolución de los métodos de calidad. El APQP provee un sistema flexible y comprensible para maximizar el éxito del negocio. Es como sembrar buenas semillas para un mejor mañana. El APQP ha sido considerado como un enfoque revolucionario para el mejoramiento del producto y proceso. El uso de este enfoque generará una manufactura efectiva y más productiva con menos esfuerzo y rechazos (Khanduja & Ranga, 2014).

2.3.7.4 Sistema inteligente para asistir en la toma de decisiones en el proceso de planeación y diseño avanzado del producto.

De acuerdo con Kirof, Oprean & Banciu (2009), la IDDesign Project (Intelligent system for assisting decisions in advanced product and process planning and design) es un proyecto financiado por la autoridad nacional para la búsqueda científica, el programa de asociación, empezó en septiembre del año 2008. El proyecto tenía como objetivo el mejoramiento del proceso de toma de decisiones que ocurría en el producto y proceso de la planeación avanzada y en el diseño, desde la primera etapa de identificar los requerimientos del cliente, producto / planeación del proceso, validación del prototipo y producción.

En la figura 6 se muestra el modelo de planeación adoptado de acuerdo con Kirof *et al.* (2009):

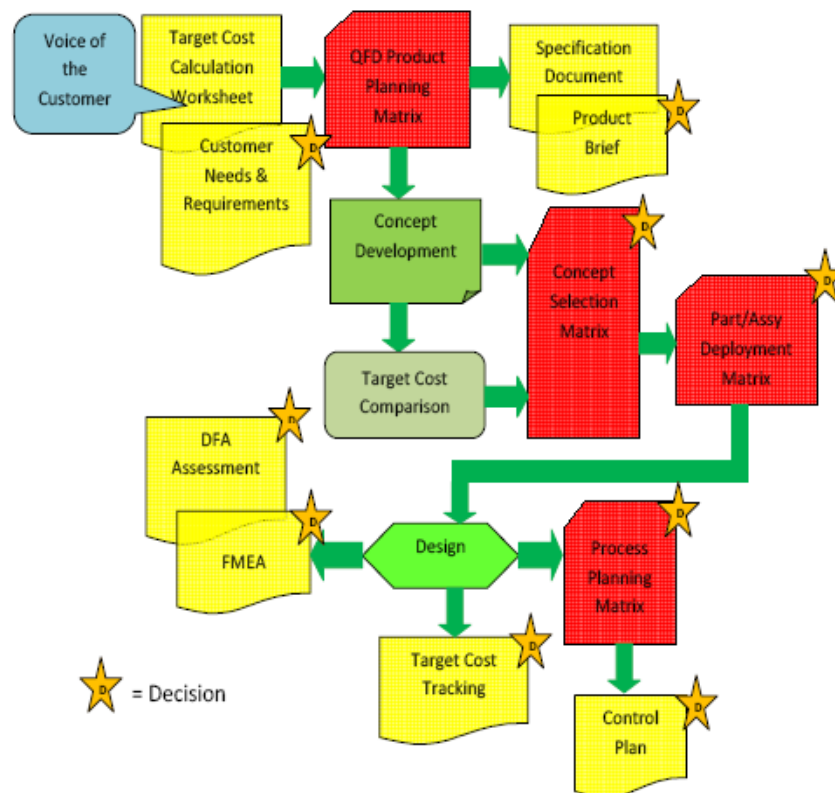


Figura 6. Planeación y proceso de diseño avanzado del producto y proceso

Fuente: Intelligent System for Assisting Decisions in Advanced Product and Process Planning and Design. Kirof *et al.* 2009.

Los principios más importantes en la implementación del APQP establecidos por Kirof *et al.* (2009), fueron:

- Organizar al equipo
- Definir el alcance
- Definir el equipo
- Proporcionar entrenamiento
- Participación del cliente y proveedor
- Establecimiento de ingeniería concurrente
- Establecimiento de planes de control
- Soluciones a los problemas
- Definición del plan de calidad del producto

Al finalizar el proyecto, se logró el propósito de usar herramientas modernas que estuvieran relacionadas con el sistema de soporte a decisiones inteligentes, e integrarlas en el proceso / planeación del producto con el objetivo de reducir o eliminar las deficiencias existentes como la distribución geográfica de las juntas entre los participantes, el subjetivismo, y el carácter dominante de algunos miembros, la presión social y las restricciones (Kirof *et al.*, 2009).

2.4 MARCO TEÓRICO SITUACIONAL SOBRE LA EMPRESA BAJO ESTUDIO

2.4.1 La industria automotriz

De acuerdo con ProMéxico (2012), La industria automotriz es aquella la cual se encarga del diseño, desarrollo, fabricación, ensamblaje, comercialización, reparación y venta de automóviles. Es una gran generadora de empleo ya que además de la mano de obra directa que requiere, genera toda una industria paralela de componentes, por lo que la mano de obra indirecta creada es sumamente grande también.

La industria automotriz se divide en dos sectores los cuales son: el sector terminal y el de autopartes (ProMéxico, 2012).

2.4.1.1 Sector terminal

El sector terminal es aquel que se encarga de la producción y ensamble de vehículos automotores. La industria terminal a nivel internacional generalmente divide la producción de vehículos automotores en dos segmentos: vehículos ligeros y vehículos pesados (ProMéxico, 2012).

2.4.1.1.1 Vehículos ligeros:

Son aquellos vehículos de motor utilizados para el transporte de pasajeros, siempre y cuando no contengan más de ocho asientos (incluyendo el del conductor) (ProMéxico, 2012).

2.4.1.1.2 Vehículos pesados:

También conocidos como vehículos comerciales, incluyen a los vehículos comerciales ligeros, los camiones pesados y autobuses (ProMéxico, 2012).

- Vehículos comerciales ligeros: son los vehículos de motor, utilizados para el transporte de productos. En esta categoría se encuentran los vehículos de entre 3.5 y 7 toneladas (ProMéxico, 2012). Así mismo en esta definición se incluyen los mini autobuses utilizados para el transporte de pasajeros, y que cuentan con más de ocho asientos, teniendo un máximo de capacidad de entre 3.5 y 7 toneladas.
- Camiones pesados: son los vehículos utilizados para el transporte de mercancías; su peso es mayor al de 7 toneladas (ProMéxico, 2012).
- Autobuses: Vehículos utilizados para el transporte de más de ocho pasajeros con una capacidad de más de 7 toneladas (ProMéxico, 2012).

Como se muestra en la figura 7, de acuerdo con ProMéxico (2012), entre los principales fabricantes de automóviles en el mundo se encuentran: Toyota Motor, General Motors, Ford Motors, Volkswagen, Chrysler, Nissan, y Renault.



Figura 7. Principales fabricantes de automóviles

Fuente: Industria Terminal Automotriz. ProMéxico. 2012

2.4.1.2 Sector autopartes

De acuerdo con ProMéxico (2012), la industria de autopartes representa un 3% de la producción del sector manufacturero a nivel mundial. La industria es muy diversa, engloba los bienes de consumo final que se utilizan para suministrar a la industria terminal de automóviles (armadoras), así como también se encarga de abastecer el mercado de reemplazo o refacciones para automóviles usados.

El sector de autopartes se encuentra organizado en tres niveles de producción:

- Tier 1: son los proveedores directos de las empresas armadoras. Entre los componentes que desarrollan encontramos partes de motor, sistemas de dirección y suspensión, sistemas de aire acondicionado, componentes electrónicos, entre otros (ProMéxico, 2012).
- Tier 2: estas empresas, son organizaciones proveedoras de los Tier 1, fabrican equipos y productos utilizados en los componentes más avanzados y especializados de la industria automotriz: partes forjadas, estampadas, partes de inyección de aluminio, partes fundidas, piezas plásticas y partes maquinadas (ProMéxico, 2012).
- Tier 3: los proveedores Tier 3, son proveedores de insumos de los Tier 2 que cumplen los requerimientos de calidad necesarios que demanda la industria automotriz (ProMéxico, 2012).

Entre algunas autopartes producidas se encuentran:

- Tapones para tanques
- Bujes
- Pernos

- Flechas
- Abrazaderas
- Bujías,
- Filtros de aire
- Pistones
- Tanque de gasolina
- Arnesees eléctricos
- Frenos de disco

2.4.1.2.1 Sector arneses eléctricos

El sector de arneses eléctricos automotrices es aquel que se encarga de la fabricación de arneses eléctricos los cuales tienen como función principal la de transmitir electricidad a los dispositivos eléctricos del automóvil (Ciemel, 2010).

2.4.2 Arnés eléctrico automotriz

Un arnés eléctrico es un conjunto de uno o más circuitos eléctricos, al que se le pueden ensamblar adicionalmente conectores, clips, terminales, cintas, espumas, cuerinas, conduits, grommets y otros productos. Su función es la de transmitir corriente a todos los dispositivos eléctricos del automóvil (Ciemel, 2010). En la figura 8 se muestra un ejemplo de arnés eléctrico automotriz.

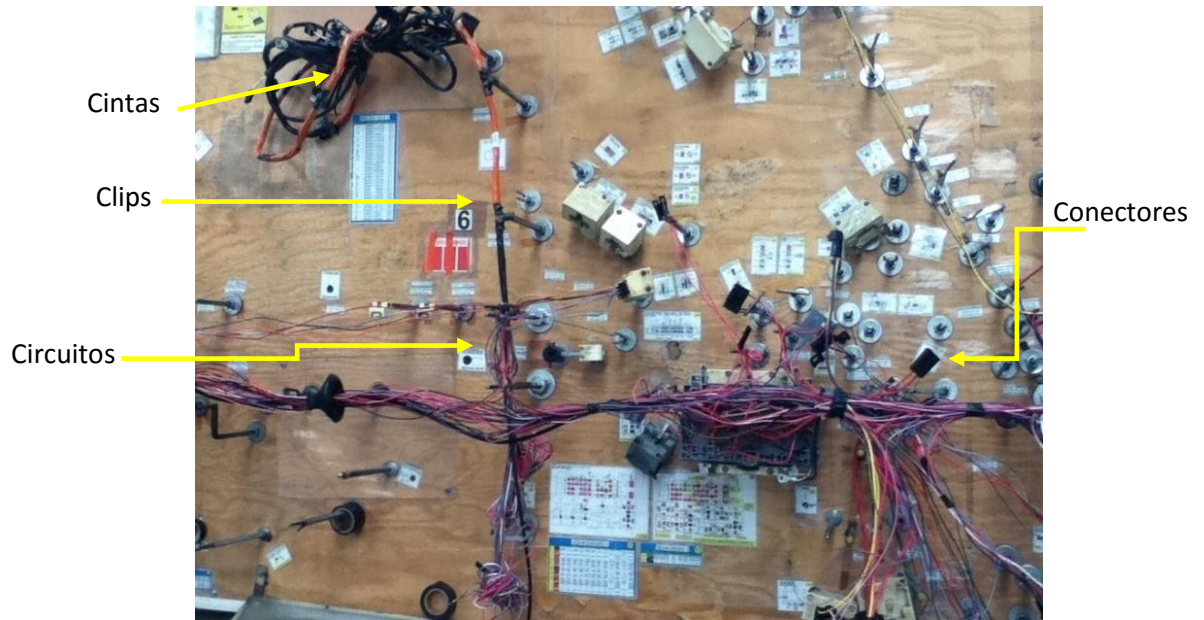


Figura 8. Arnés de Body e IP automotriz

Fuente: Arneses Eléctricos Automotrices. 2012

2.4.2.1 Plataforma y familias de arneses eléctricos automotrices

La fabricación de un automóvil requiere de la instalación de más de un arnés eléctrico automotriz para su funcionamiento. De acuerdo con Arneses (2012), algunas de las familias se mencionan a continuación:

- Arneses Rear y Front Fascia
- Arneses FTR Door LH, RH y Rear Door RH.
- Arneses Brake Clutch
- Arneses Engine
- Arneses Forward Lamp
- Arneses Chassis
- Arneses Headliner

- Arnese IP
- Arnese Pilar
- Arnese Body

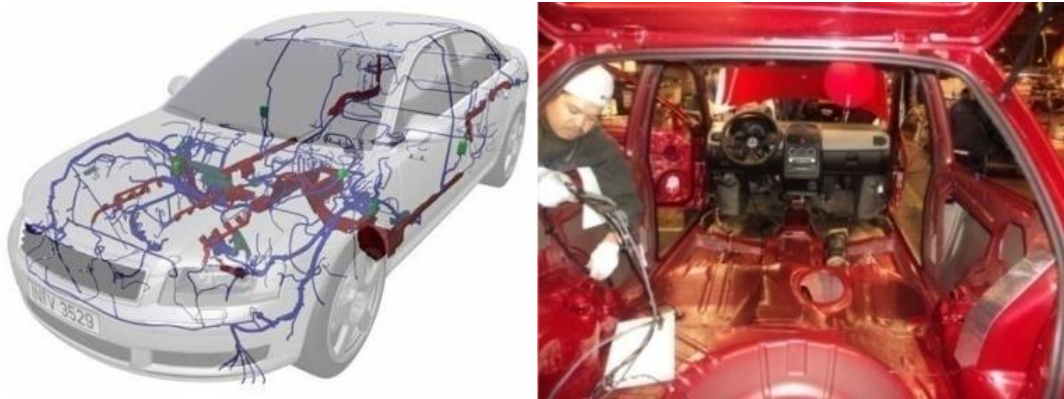


Figura 9. Instalación de arneses en automovil

Fuente: Arnese Eléctricos Automotrices. 2012

2.4.2.2 Clutch y arnés de Clutch jumper

El Clutch es un elemento maquina muy importante que juega un papel principal en la transmisión del poder (y movimiento eventualmente) desde un componente (la parte del manejo de la maquina) hasta la otra (la parte accionada). Una común y bien conocida aplicación para el Clutch es en vehículos automotrices en donde es usado para conectar el motor a la caja de engranes. Además, el Clutch es usado extensivamente en producción de maquinaria de todo tipo (Abdullah, Schlattmann, & Al-Shabibi, 2013).

El arnés del “Clutch jumper” es un arnés eléctrico el cual contiene uno o más circuitos eléctricos que se ensambla en un arnés principal a través de conectores con el objetivo de transmitir corriente eléctrica entre los diversos dispositivos (Arneses, 2012). En la figura 10 se muestra la instalación y armado del arnés.



Figura 10. Arnés y brake pedal

Fuente: Arneses Eléctricos Automotrices. 2012

2.4.3 Empresa bajo estudio

En cuanto al presente trabajo de investigación se realizó dentro de las instalaciones de una empresa arnesera ubicada en el estado de Guanajuato, México. La organización se encuentra dedicada a la producción de arneses eléctricos automotrices para diversos clientes ya sean ensambladoras de automóviles o tears (subproveedores) 1, 2 o 3.

La organización cumplió 21 años en el mercado de autopartes y trabaja tres turnos de trabajo con los cuales acumula un total de 1200 trabajadores sindicalizados y de confianza.

En la actualidad debido al alto nivel de competidores en el sector, la organización tiene el objetivo de manufacturar arneses eléctricos con los más altos índices de calidad, funcionalidad y a un bajo costo para mantenerse competitiva.

III. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

En el presente capítulo, se estableció la metodología a utilizar para el desarrollo del proyecto en el cual se implementó una Planeación de la Calidad para manufacturar y mejorar la productividad de nuevos modelos de arneses eléctricos automotrices, a través de un enfoque de análisis cuantitativo.

3.2 Metodología desarrollada para la recolección y tratamiento de información.

En la actualidad, para la manufactura de nuevos proyectos de arneses eléctricos automotrices es necesaria la implementación de métodos, estrategias o procedimientos con el fin de garantizar la buena calidad de los productos, la optimización de recursos y el incremento de la productividad en cada una de las etapas por la cual se desarrolla el proyecto.

En algunos casos, las metodologías o procedimientos son un requisito obligatorio a cumplir por parte de los fabricantes hacia los clientes. Tal es el caso de la metodología APQP la cual es un requisito obligatorio dentro del ramo automotriz. Aunque es importante destacar que en algunas ocasiones se requiere establecer herramientas por separado para lograr ciertos objetivos no definidos en los alcances de las metodologías.

A continuación, se muestra el modelo de Planeación de Calidad desarrollado en la organización bajo estudio para la implementación del nuevo arnés eléctrico automotriz y para el mejoramiento de la productividad en el proceso de manufactura una vez establecido.

Planeación e identificación de las necesidades del cliente

- Definición del equipo y líder del proyecto
- Elaboración de grafico de actividades
- Conocimiento y estudio del producto y proceso
- Evaluación de registros históricos sobre garantías y problemas de calidad
- Diseño de diagrama de flujo preliminar
- Definición de lista de materiales preliminar
- Definición de características especiales del producto y proceso
- Conocimiento sobre expectativas y requerimientos del cliente

Diseño e interpretación de las características del producto

- Definición de especificaciones de diseño para la manufactura y ensamble
- Interpretación de PFMEA de diseño
- Definición de características especiales del producto y proceso
- Definición de especificaciones de los componentes
- Interpretación de dibujos de ingeniería
- Determinación de equipo, herramientas y maquinaria nueva
- Definición de gages o equipos de medición
- Seguimiento a eventos vendibles del cliente

Diseño y desarrollo del proceso

- Elaboración de diagrama de flujo del proceso
- Elaboración de PFMEA de proceso
- Definición y diseño de operaciones y subprocessos de producción
- Elaboración de análisis de capacidad y cálculo de personal/equipos
- Elaboración de instrucciones de proceso
- Elaboración de plan de control
- Identificar y dar cumplimiento a procesos nuevos o especiales
- Establecer equipos con capacidad disponible para ser usados en el proceso.

Validación del producto y proceso

- Liberaciones de seguridad y diseño del proceso
- Preparación de corrida de producción
- Elaboración de estudios preliminares de la capacidad del proceso
- Elaboración de pruebas de validación de la producción

Producción de arneses

- Proporcionar capacitación y entrenamiento a operadores durante los primeros meses de manufactura.

Seguimiento a problemas de calidad y mejora continúa

- Seguimiento a problemas de calidad internos y externos
- Elaboración de propuestas de mejora y reducción de costos internos.

De manera gráfica el modelo se ejemplifica en la figura 11:

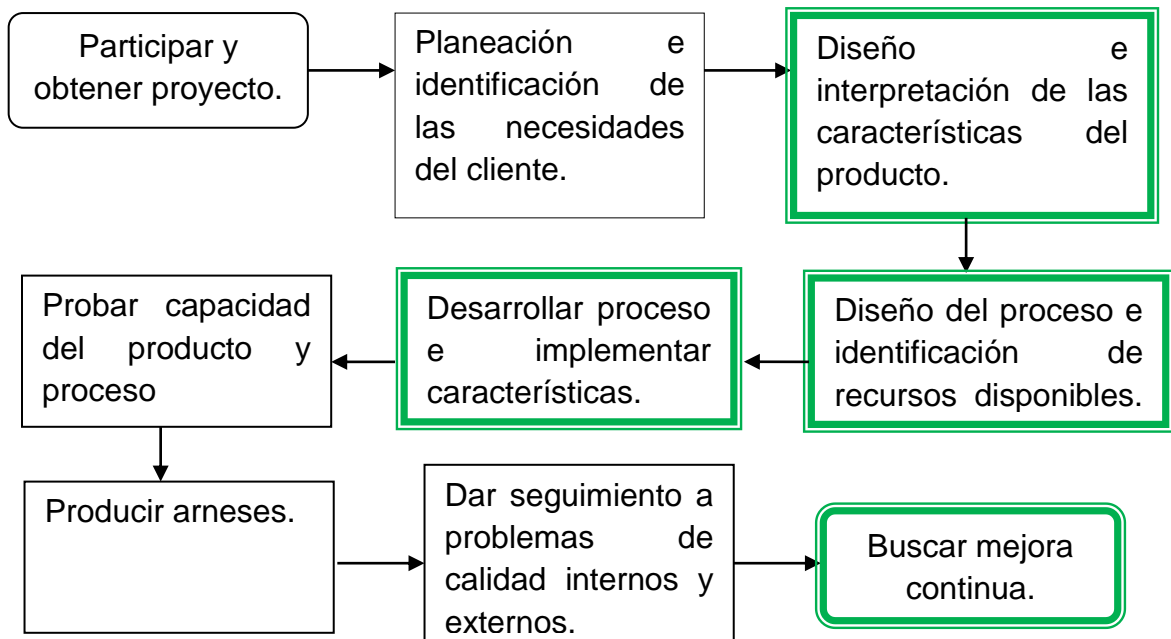


Figura 11. Modelo MP-RL de Planeación de la Calidad

De acuerdo con Reyes (2010), el modelo conceptual de Planeación de Calidad para el proyecto de Clutch Jumper se definió en el siguiente modelo lineal:

$$\begin{aligned}
 y &= \text{Variables de control} + \text{necesidades del cliente} \\
 &+ \text{características del producto} \\
 &+ \text{desarrollo y validación del proceso} + \epsilon \\
 y &= V.C + N.C + C.P + D.V.P + \epsilon
 \end{aligned}$$

[Ecuación 6. Ecuación lineal modelo MP-RL]

Donde las variables de control se obtuvieron del esquema de la figura 12:

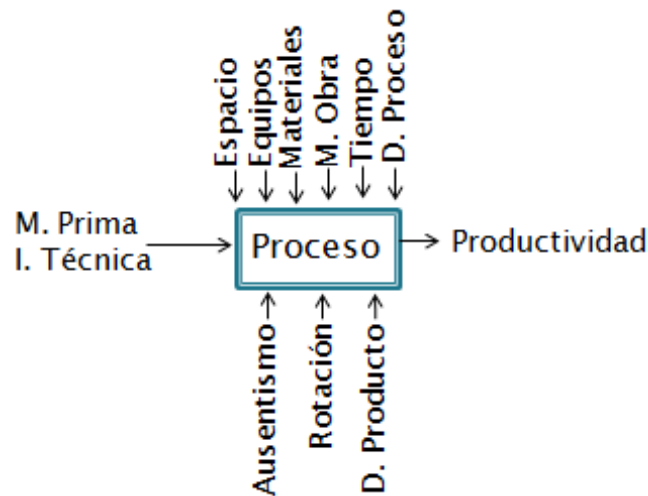


Figura 12. Esquema del proceso arneses

El esquema del proceso anterior muestra las entradas y salidas del proceso, así como las variables de control y las variables no controlables durante la elaboración del proyecto de investigación.

Una vez definido el modelo se prosiguió con la descripción de cada una de las etapas de la Planeación de la Calidad establecidas para manufacturar el nuevo modelo de arnés eléctrico de la familia Clutch Jumper para los nuevos automóviles modelos 2014.

3.2.1 Planeación e identificación de las necesidades del cliente

Durante la primera etapa de la Planeación de la Calidad para la manufactura de los arneses de la familia “Clutch Jumper” modelo 2014 se establecieron objetivos, características iniciales del producto y proceso, y se dieron a conocer las expectativas y necesidades del cliente para con el producto terminado. A continuación, se explican cada una de las actividades desarrolladas.

3.2.1.1. Definición del equipo y líder del proyecto

Para el desarrollo del proyecto se reunió un equipo multidisciplinario el cual se encargó de dar seguimiento a cada una de las actividades necesarias para el arranque satisfactorio de la línea manufacturera de arneses nuevo modelo.

Las áreas participantes y sus principales actividades se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Actividades para el proyecto “Clutch Jumper”

Área o departamento	Principales Actividades
<ul style="list-style-type: none">• Comercial• Materiales• Ing. SQA• Ing. Producto• Ing. Corte• Tableros	<ul style="list-style-type: none">• Entregar solicitud de cotización del cliente• Cotización y compra de materia prima• Liberar materia prima seleccionada• Distribuir información técnica• Cotizar y liberar área de circuitos y corrugados.• Fabricar y distribuir tableros de armado, dimensional y prueba eléctrica• Cotización y compra de maquinaria

Área o departamento	Principales Actividades
<ul style="list-style-type: none"> • Ing. Procesos • Mantenimiento • Almacenes • Seguridad • Confiabilidad • Calidad • Control de producción • Recursos Humanos • Manufactura • Embarques 	<ul style="list-style-type: none"> • Cotizar arnés, diseñar línea de producción, manejo de materiales y liberación de línea. • Instalar línea de producción y maquinaria • Abastecer materia prima en punto de uso. • Revisar cumplimiento de seguridad del diseño de la línea • Liberar y aprobar línea para producción de arneses. • Establecer controles y criterios de calidad • Difundir plan Maestro de producción • Contratar personal requerido • Dar seguimiento a programa de producción • Programar envíos de producto terminado de acuerdo a fechas solicitadas por el cliente.

Durante el desarrollo del proyecto se estableció como líder o principal responsable de la coordinación de la Planeación de la Calidad al ingeniero de procesos asignado por el área de ingeniería.

3.2.1.2. Gráfico de actividades

Para el desarrollo y seguimiento del proyecto de fabricación de arneses eléctricos automotrices de la familia “Clutch Jumper” modelo 2014 se realizó un programa en el cual se establecieron las actividades a desarrollar por cada uno de los integrantes del equipo multidisciplinario con el fin de alcanzar el objetivo de manufacturar los nuevos modelos de arneses solicitados por el cliente.

A continuación, en la figura 13 se muestra la duración del proyecto desde su planeación hasta su etapa de producción y retroalimentación de primeros embarques:

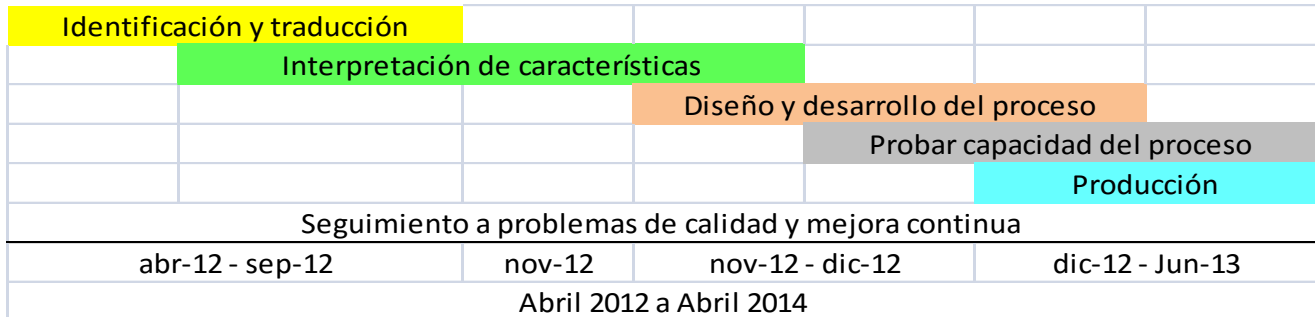


Figura 13. Gráfico de Gantt del proyecto 2014

3.2.1.3. Descripción del producto

Dentro de la organización bajo estudio, durante el año 2013 se estuvo manufacturando un arnés eléctrico para la misma familia “Clutch Jumper” pero con diferentes características al nuevo modelo de arnés 2014.

A continuación, en la tabla 2 se muestra un comparativo en cuanto a las características de cada uno de los años modelos del arnés:

Tabla 2. Características diferenciales entre modelos 2013 – 2014

Arnés “Clutch Jumper” 2013	Arnés “Clutch Jumper” 2014
<ul style="list-style-type: none"> Ocho números de parte en plano carta. Cuatro números de parte con volumen de producción Veinticinco circuitos diferentes entre el total de números de parte. 	<ul style="list-style-type: none"> Diez números de parte en plano carta. Siete números de parte con volumen de producción Cincuenta y nueve circuitos diferentes entre el total de números de parte.

Arnés "Clutch Jumper" 2013	Arnés "Clutch Jumper" 2014
<ul style="list-style-type: none"> • Cuatro clips diferentes entre el total de números de parte. • Ocho conectores diferentes entre el total de números de parte. • Una etiqueta de identificación por arnés • Un diseño de grommet entre el total de números de parte. • Un diseño de plug (sello) entre el total de números de parte. • Tres diseños de seguro diferentes entre el total de números de parte. • Un tubo corrugado entre el total de números de parte. • Tres tipos de cintillos entre el total de números de parte. • Cuatro tipos de cintas entre el total de números de parte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos clips diferentes entre el total de números de parte. • Doce conectores diferentes entre el total de números de parte. • Una etiqueta de identificación por arnés • Un diseño de plug entre el total de números de parte. • Dos diseños de seguro diferentes entre el total de números de parte. • Cinco tipos de cintillos entre el total de números de parte. • Tres tipos de cintas entre el total de números de parte. • Una canaleta entre el total de números de parte • Una aplicación de empalme ultrasónico por números de parte • Una aplicación de polikenado entre el total de números de parte. • Tres aplicaciones de trenzado entre el total de números de parte.

Como se estableció en la tabla 2, se puede observar que el nuevo modelo de arnés presenta mayor cantidad de componentes con respecto al arnés inicial.

A continuación, se muestra la tabla 3 y la figura 14 en la que se muestra de manera resumida el total de componentes.

Tabla 3. Resumen de componentes de familias Clutch Jumper

	2013	2014
Números de parte	4	7
Circuitos	25	59
Conectores	8	12
Cintas	4	3
Clips y cintillos	7	7
Etiquetas	1	1

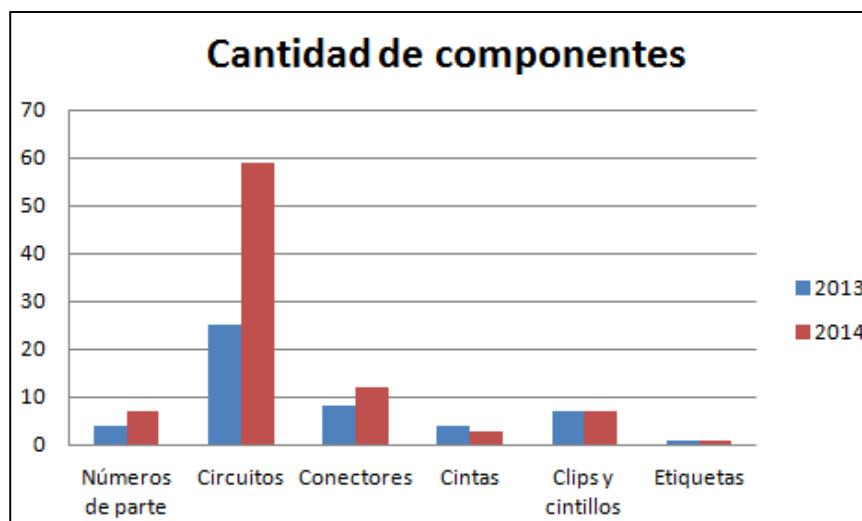


Figura 14. Gráfico de cantidad de componentes entre familias 2013-2014

3.2.1.4. Descripción del proceso

La etapa del diseño del proceso, es una de las etapas más importantes de la Planeación de la Calidad ya que de ella depende la manufactura de arneses que cumplan con las especificaciones de los clientes.

Para el diseño del proceso, con el fin de optimizar recursos se estableció como restricción la manufactura de los arneses de “Clutch Jumper 2014” utilizando la misma línea de producción con la cual se fabricaron los arneses modelos 2013.

A continuación, se muestra en la tabla 4 una comparación general sobre los cambios en el diseño del proceso entre la manufactura de ambas familias de arneses.

Tabla 4. Procesos de manufactura de arneses 2013-2014

Modelo “Clutch Jumper 2013”	Modelo “Clutch Jumper 2014”
<ul style="list-style-type: none"> • Dos máquinas cortadoras de circuitos • Un carrusel eléctrico para colocar tableros • Dieciséis tableros de armado • Un tablero de prueba dimensional • Dos tableros de prueba eléctrica • Un turno de trabajo • Fabricación de 180 piezas/hora en promedio entre todos los números de parte • Un Rack para la colocación de circuitos dentro del mismo carrusel eléctrico. • Uso de contenedores de plástico con capacidad de 40 piezas 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos máquinas cortadoras de circuitos • Un carrusel eléctrico para colocar tableros • Dieciséis tableros de armado • Dos tableros de prueba dimensional • Dos tableros de prueba eléctrica • Dos turnos de trabajo • Fabricación de 180 piezas/hora en promedio entre todos los números de parte • Un área de trabajo para la colocación de pre-ensambles afuera del carrusel eléctrico. • Uso de contenedores de plástico con capacidad de 80 piezas. • Una estación para el amarre de arneses terminados • Una máquina de aplicación de empalme Ultrasónico

Como se estableció en la tabla 4, se pudo observar que el nuevo modelo de arnés presentó más procesos con respecto al arnés 2013.

A continuación, en la tabla 5 se resume el total de equipos, herramientas, turnos y estaciones de trabajo.

Tabla 5. Tabla resumida de diferencias entre modelos

	2013	2014
Cortadoras de circuitos	1	1
Carrusel eléctrico	1	1
Tableros de armado	16	16
Tableros dimensionales	1	2
Tableros de prueba eléctrica	2	2
Turnos de trabajo	1	2
Piezas por hora	180	180
Área de pre-ensambles	0	1
Cantidad de piezas por contenedor	40	80
Estación de amarres	0	1
Máquina para aplicación de Ultrasonico	0	1
Máquina para aplicación de Poliken	0	1
Maquina trenzadora de circuitos	0	1

3.2.1.5 Información histórica de garantías y calidad

La información histórica y retroalimentación por parte del cliente es un tema muy importante el cual se consideró para el diseño de la línea de producción.

Entre los principales reportes de los clientes que se tuvieron durante la fabricación de los arneses modelo anterior se encontraron:

- Problemas de ensamble de circuitos en conectores (circuitos no ensamblados correctamente que generaban falta de continuidad eléctrica en automóvil).
- Terminales dañadas, fracturadas o desprendidas durante el ensamble en la planta armadora.
- Encintados de arneses con circuitos visibles en áreas donde deberían estar ocultos.
- Dimensiones de arneses fuera de tolerancia que generaban problemas de ensamble en automóvil.
- Clips encintados y cintillos ensamblados en posición equivocada o en sitio equivocado generando problemas de ensamble en automóvil.

Considerando estas retroalimentaciones se trabajó durante la etapa del diseño del proceso para no volver a generar los mismos problemas de calidad.

3.2.1.6 Diagrama de flujo preliminar

Una vez asignado el proyecto, para iniciar con la planeación del proyecto se realizó un diagrama de flujo del proceso preliminar (figura 15) con el fin de conocer la posible secuencia de operaciones para la manufactura de los nuevos arneses modelo 2014.

FABRICAR 	MOVER 	ALMACENAR 	INSPECCIÓN 	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN
			X	Evaluar componentes en recibo
	X			Abastecer componentes del subalmacén
	X	X		Abastecer componentes al área de producción
X			X	Cortar, desferrar, aplicar sello anti humedad y terminales
X			X	Aplicar empalmes Sonicos
X			X	Aislar empalme con cinta
X			X	Trenzar circuitos
X			X	Unir circuitos / subensambles en conectores
X			X	Colocar componentes de retención
X			X	Encintar / etiquetar
X			X	Colocar componentes de sujeción
			X	Probar dimensionalmente
			X	Probar eléctricamente
			X	Comparar arnes
X	X		X	Retrabajo
X			X	Amarrar arnés
X			X	Empacar arnés
			X	Auditar producto terminado
	X			Enviar cajas al almacén de producto terminado

Figura 15. Diagrama de flujo del proceso preliminar

3.2.1.7 Lista de materiales preliminar

Con el fin de iniciar el proyecto y de conocer la materia prima aplicable para la manufactura de los arneses modelo 2014, se realizó una lista de materiales preliminar para poder planear principalmente la etapa de diseño y desarrollo del proceso.

A continuación, se indica la cantidad de componentes totales entre el total de números de parte que se utilizaron en la fabricación de los arneses de “Clutch Jumper”.

Tabla 6. Componentes de arneses “Clutch Jumper 2014”

Componentes	Cantidad
• Clips	• 2 piezas
• Conectores	• 12 piezas
• Cintillos	• 5 piezas
• Etiquetas	• 1 pieza
• Plugs (Sellos para conector)	• 1 pieza
• Seguros	• 2 piezas
• Cintas	• 3 piezas
• Canaletas	• 1 pieza
• Circuitos (Cable + Sello + Terminal)	• 59 piezas

En la tabla 6 estableció la cantidad de componentes diferentes para poder manufacturar cualquier número de parte de los nuevos modelos de arneses. En la etapa de interpretación se mencionaron los tipos de números de parte disponibles y la configuración (cantidad de componentes) de cada uno de ellos.

3.2.1.8 Características especiales del producto y proceso

Para la fabricación del arnés, únicamente se estableció una característica especial, la cual se ubicó en la operación del corte, desforre, aplicación de sellos anti humedad y terminales. La característica crítica de calidad fue el alto de cobres y se representó por una letra *K* dentro de un círculo (K). La definición de la característica mencionada se explicará durante la etapa de interpretación de las características del producto.

3.2.1.9 Expectativas y requerimientos del cliente

Para la manufactura de los nuevos arneses, además del cumplimiento y seguimiento de los requisitos existentes, el cliente estableció nuevos requerimientos aplicables los cuales se evaluaron y dio seguimiento a su cumplimiento.

A continuación, se mencionan los requisitos solicitados por el cliente.

- Traslape de cinta de un mínimo de 50% para evitar circuitos visibles.
- Generación de un Wire dress en conectores principales para peinar circuitos.
- Trenzado de circuitos cumpliendo el requisito de entre 9 y 12 vueltas por cada 30.5 cm.
- Incorporación de un método de validación de tensión para la aplicación de empalmes ultrasónicos.

En cuanto a requerimientos de piezas a producir, en la tabla 7 se muestran las cantidades solicitadas anuales:

Tabla 7. Volúmenes “Clutch Jumper 2014”

Número de Arnés	Volumen de producción anual	Número de Arnés	Volumen de producción anual
26131843-01	0	26131848-01	50,429
26131844-01	217	26131849-01	35,420
26131845-01	0	26131850-01	85,018
26131846-01	0	26131851-01	33,837
26131847-01	102,010	26131852-01	23,480

De acuerdo con Medina & Ballester (1990), es importante establecer sensores (métodos o instrumentos) que permitan realizar la evaluación y expresar los hallazgos con números, en función de una unidad de medida.

A continuación, en la tabla 8 se muestran las unidades de medida y sensores correspondientes a cada uno de los requisitos del cliente, tanto requisitos nuevos como problemas de calidad.

Tabla 8. Unidades de medida y sensores

Requisito	Unidad	Sensor
<ul style="list-style-type: none"> • Circuitos no visibles 	Arnés (Piezas)	Operador (Comparador)
<ul style="list-style-type: none"> • Wire dress bien elaborado 	Arnés (Piezas)	Operador (Comparador)
<ul style="list-style-type: none"> • Trenzado dentro de tolerancias 	Vueltas por Pie	Registros de validación
<ul style="list-style-type: none"> • Tensión de desprendimiento correcta 	Newton	Sistema de base de datos
<ul style="list-style-type: none"> • Circuitos bien ensamblados 	Arnés (Piezas)	Banco de prueba eléctrica
<ul style="list-style-type: none"> • Terminales no dañadas 	Arnés, circuito (Piezas)	Banco de prueba eléctrica
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones dentro de tolerancias 	Centímetros	Tablero dimensional
<ul style="list-style-type: none"> • Clips y cintillos en posición correcta 	Arnés (Piezas)	Tablero dimensional

De manera adicional, con el objetivo de garantizar el entendimiento de las expectativas de los clientes, se utilizó una casa de la calidad para posteriormente establecer planes en el proceso y garantizar su cumplimiento.

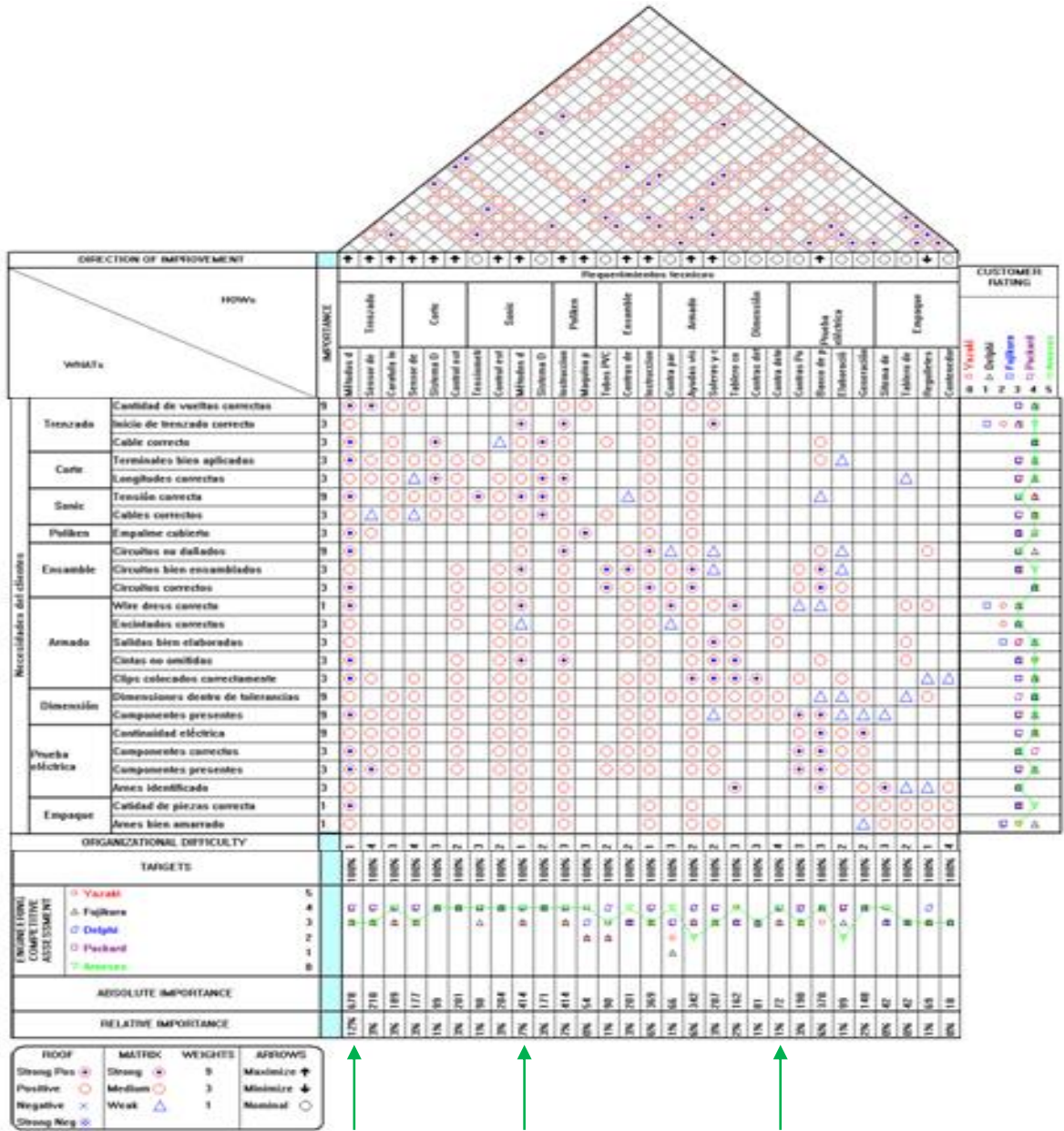


Figura 16. Casa de la calidad

Como se muestra en la figura 16, se concluye que los aspectos más importantes a considerar en el diseño y desarrollo del proceso son la elaboración de métodos, instrucciones de trabajo y un robusto banco de prueba eléctrica.

3.2.2 Diseño e interpretación de las características del producto

La etapa de interpretación de las características del producto para la fabricación del nuevo modelo consistió básicamente en revisar y traducir la información técnica proveniente del diseño del producto. Debido a que el cliente fue dueño de su diseño, únicamente se tradujeron e implementaron las especificaciones para poder continuar con su seguimiento durante la etapa de diseño y desarrollo del proceso y así garantizar una manufactura de arneses que cumpliera con los requisitos solicitados.

De manera general, las principales actividades desarrolladas en esta etapa fueron las mostradas en la figura 17.

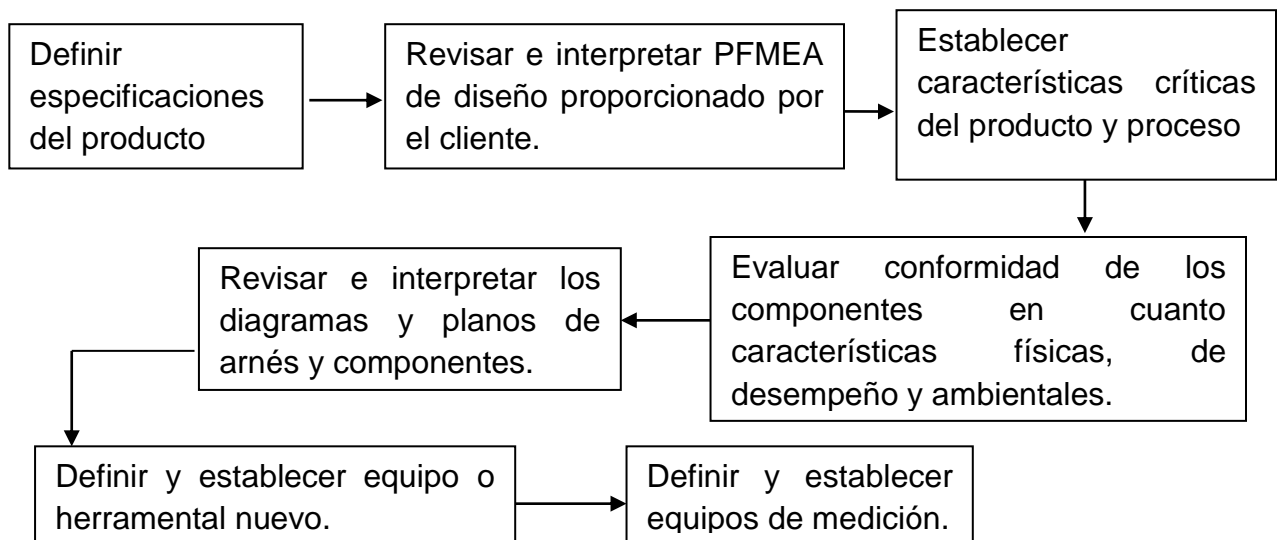


Figura 17. Actividades de etapa de diseño y desarrollo del producto

3.2.2.1 Especificaciones de diseño para manufactura y ensamble

La fase de especificación del diseño para manufactura consistió en dar a conocer los números de parte de arneses que se iban a trabajar, los componentes necesarios, su manejo y sus características, así como las tolerancias y requisitos dimensionales de cada uno de ellos.

A continuación, se muestran los números de parte a manufacturar y la cantidad de componentes por arnés.

Tabla 9. Cantidad de componentes totales por arnés

Componentes	Número de parte										Uni.
	2613 1843	2613 1844	2613 1845	2613 1846	2613 1847	2613 1848	2613 1849	2613 1850	2613 1851	2613 1852	
Cable	29.4	7.87	30.9	33.1	34.2	35.7	38.0	10.5	12.0	14.2	M.
Terminales	68	24	72	78	78	82	88	28	32	38	Pzas
Sellos	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Pzas
Circuitos	34	12	36	39	40	42	45	14	16	19	Pzas
Cinta de vinyl	1.15	0.15	1.18	1.18	0.78	0.78	0.78	0.22	0.61	0.61	M.
Cinta de tela	10.1 00	3.50	10.8 05	11.1 05	10.7 05	11.4 05	11.7 05	3.40 5	5.00 5	5.50 5	M.
Cinta de identificación	0.14	0.04	0.15	0.15	0.09	0.09	0.09	0.00	0.07	0.07	M.
Conectores	9	5	10	10	9	10	10	5	6	6	Pzas
Seguros	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Pzas
Plugs (Sellos)	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	Pzas
Clips	3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	Pzas
Cintillos	11	7	11	11	11	11	11	7	8	8	Pzas
Etiqueta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Pzas
Ensamble	2	0	2	2	3	3	3	1	1	1	Uni.
Grapa	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	Uni.
Canaleta	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Pzas

La tabla 9 mostró la cantidad de componentes de las que estaban compuestos los diferentes números de parte de la familia “Clutch Jumper” con la que inicio el proyecto. Más adelante, en la etapa de diseño y desarrollo del proceso, se ejemplificó el logro en la reducción de la cantidad de algunos de los componentes mencionados anteriormente.

A manera de ejemplificación se muestran algunos componentes utilizados en la realización del proyecto.

Circuitos (Ensamble de cable + sello térmico + terminal)

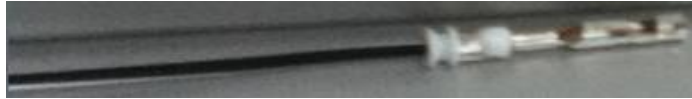


Figura 18. Circuito con sello y terminal

Cintas (de tela e identificación)

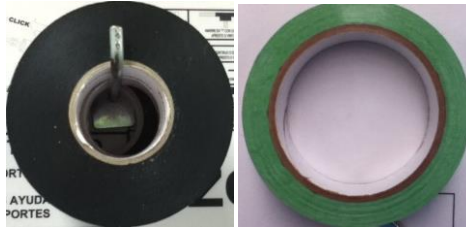


Figura 19. Cintas de tela y de identificación

Conectores



Figura 20. Conectores para ensamble de circuitos

Plugs



Figura 21. Plugs para ensamble en conector

Clips



Figura 22. Clips encintados

Cintillos



Figura 23. Cintillos

Grapa y ensamble



Figura 24. Empalme y trenzado

Canaletas



Figura 25. Canaleta para arnés

Etiqueta



Figura 26. Etiqueta de prueba eléctrica

3.2.2.2 Diseño de modo de falla y análisis de efectos (DFMEA)

Uno de los principales requisitos para poder realizar una buena etapa de diseño y desarrollo del proceso consistió en revisar los modos y efectos de falla provenientes del diseño del producto del cliente.

El PFMEA de diseño del producto fue proporcionado por el cliente y evaluado para ser considerado al momento de la realización del PFMEA de proceso.

A continuación, se muestran los principales modos de falla obtenidos del PFMEA de diseño:

- Los sellos de los cables no ensamblan en los conectores
- Sello del cable omitido
- Cavidad de sello (plug) omitida o mal ensamblada
- Aplicación de empalme o grapa incorrecta

- Localización de empalme incorrecta
- Seguro de Wire dress difícil de ensamblar
- Poca fuerza de retención del seguro del Wire dress
- Desensamble de seguro Wire dress de conector
- Cubierta de Wire dress floja
- Ensamble de seguro CPA con mucha presión
- Posición incorrecta de plugs
- Seguro CPA flojo o con movimiento
- Material de componentes fuera de especificado por las leyes ambientales
- Ruteo de arnés de manera equivocada
- Ruptura de circuitos al momento de su fabricación
- Cables cortados, pinchados o machucados
- Longitud de arnés terminando no ensambla en contra parte.

El conocimiento de los principales modos de falla proporcionados por el cliente, ayudaron a la organización a trabajar en la generación de controles operacionales para prevenir el riesgo de ocurrencia de cada uno de ellos.

3.2.2.3 Características especiales del producto y proceso

Las características especiales del producto son aquellas características que deben ser consideradas como primordiales al momento de la fabricación de un producto ya que sin ellas la calidad del producto terminado se encuentra en riesgo de no cumplimiento de la función para la cual fue realizado.

Generalmente las características del producto son proporcionadas por el cliente, pero también pueden ser establecidas por el fabricante al momento del diseño del proceso en aquellas que se consideren críticas para la calidad.

Para la planeación y desarrollo del proyecto “Clutch Jumper” modelo 2014 únicamente se consideró la característica de calidad solicitada por el cliente la cual es el alto de cobre durante la etapa de la manufactura de circuitos (ensamble de terminales + sello térmico + cable).

Dentro de la organización, para la identificación de las características críticas de calidad se utilizó el símbolo $\textcircled{\kappa}$ para su fácil identificación.

En cuanto a la característica de calidad “alto de cobres”, esta consistió en revisar con apoyo de un micrómetro la altura de los cobres contenidos en una aplicación de cable – terminal (Figura 27).

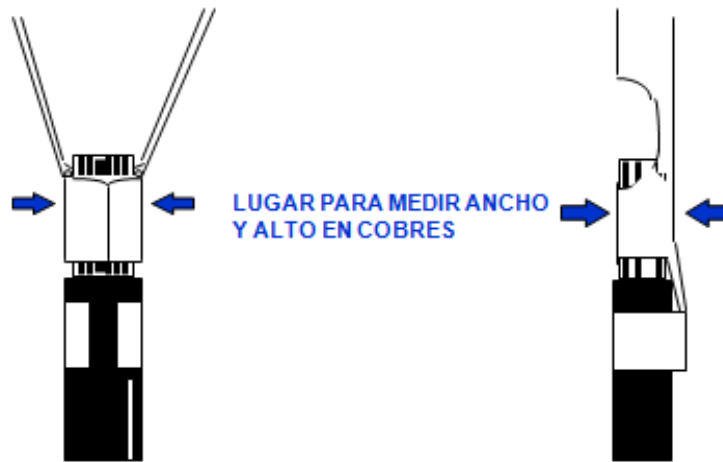


Figura 27. Característica de alto de cobres

3.2.2.4 Especificaciones de los componentes

Durante esta etapa, se realizó una validación de las características de los productos para evaluar su contenido y revisar el cumplimiento en cuanto a reglamentos legales-ambientales. Para llevar a cabo esta actividad, se utilizó el sistema internacional de datos de materiales (IMDS).

Para la evaluación de las IMDS se realizó una evaluación de los materiales de los diferentes números de partes del nuevo modelo de arnés 2014.

La evaluación se realizó y aprobó directamente con el cliente para garantizar el uso de sustancias permisibles y no dañinas al medio ambiente.

3.2.2.5 Dibujos de ingeniería

Adicionalmente a la cantidad de componentes necesarios para la manufactura de los arneses, se requirió del conocimiento de los diferentes dibujos de ensambles y planos, los cuales establecieron la forma y secuencia en la cual debieron ser unidos para la generación de un arnés terminado.

Durante esta etapa se proporcionaron los diagramas de circuitos, de ensamble de trenzado y ensamble de grapa. Esto con la finalidad de poder interpretar las configuraciones necesarias para la generación de cada uno de los números de parte solicitados por el cliente.

A manera de ejemplificación se muestran las siguientes configuraciones:

Diagrama de circuito

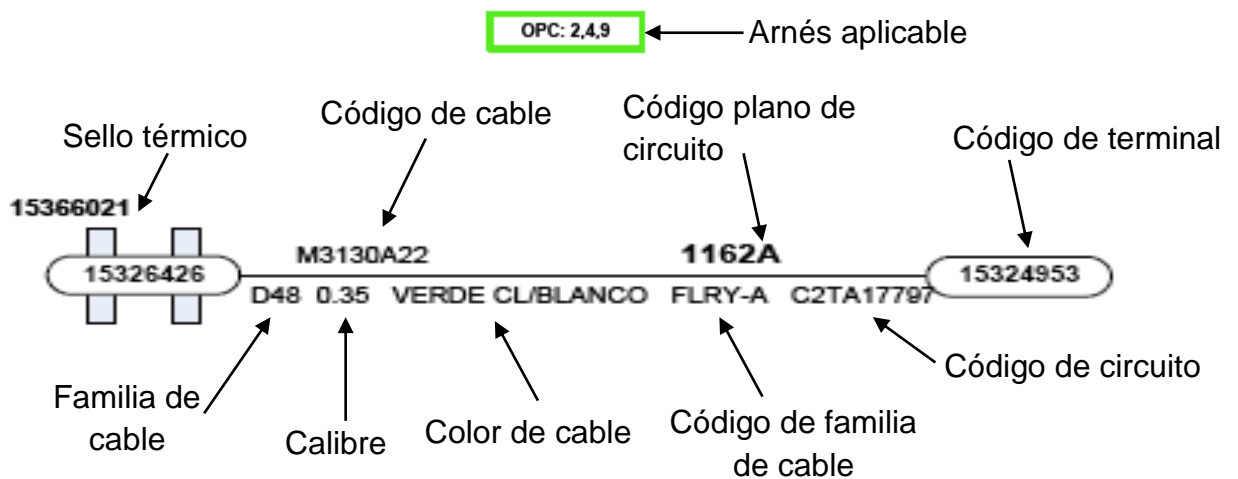


Diagrama de trenzado

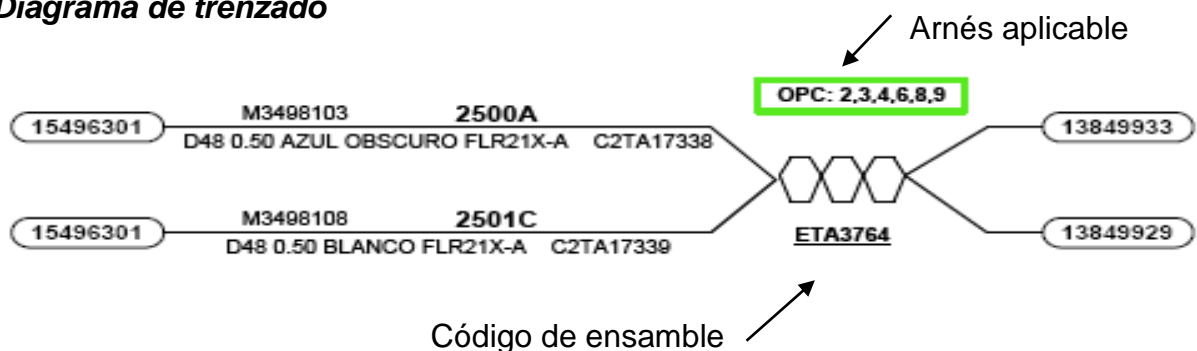


Diagrama de Grapa

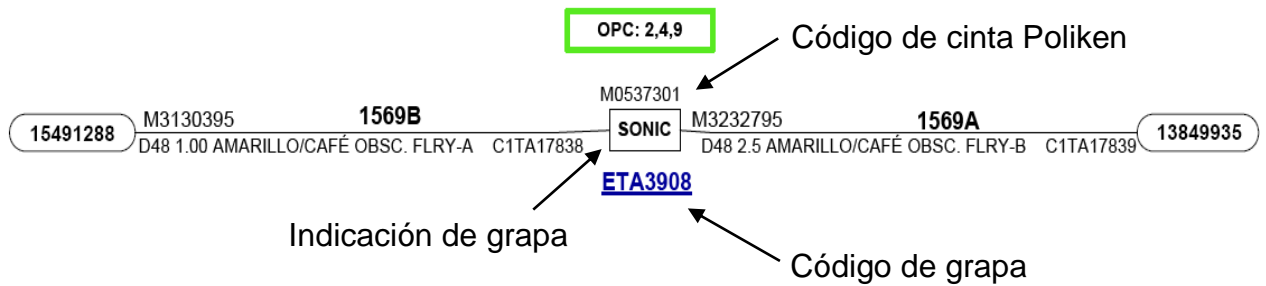


Figura 28. Diagramas de ensamblaje

Para la realización del proyecto se proporcionaron tres diagramas de ensamblaje de trenzado, un ensamblaje de grapa y de cuarenta y ocho circuitos ejemplificados en la figura 28.

3.2.2.6 Equipo, herramientas y maquinaria nueva

Durante la etapa de interpretación del producto se establecieron las nuevas características que debían ser necesarias para la fabricación de los diversos números de partes de los arneses modelo 2014. A diferencia de los arneses modelo 2013, como nuevas características se incluyeron:

- Aplicación de empalme ultrasónico y aislamiento de empalme con cinta
- Trenzado de circuitos para disminuir la interferencia en el vehículo
- Formación de Wire dress en conector principal
- Colocación de canaleta
- Amarre de arnés terminado previo a empaquetar

Adicional a estas características, se consideraron las existentes; ensamblar circuitos en conectores, realizar encintados, colocar clips, colocar cintillos y las pruebas finales (dimensión, prueba eléctrica, comparación, GP12, y empaque).

Para dar cumplimiento a las características nuevas se incluyeron los siguientes equipos y herramientas mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. Equipos y herramientas incorporados

Característica	Equipo /Herramental / Maquinaria
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de empalme ultrasónico • Aislamiento de empalme con cinta • Trenzado de circuitos • Formación de Wire dress 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina ultrasónica • Máquina cortadora de cinta • Máquina trenzadora • Contra o soporte para acomodo correcto de circuitos
<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de canaleta 	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte en tablero de armado para colocación de canaleta
<ul style="list-style-type: none"> • Amarre de arnés terminado 	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de amarres en área de pruebas finales.

3.2.2.7 Gages o equipos de medición

Para la evaluación del sistema de medición, se realizó un análisis de repetibilidad y reproducibilidad en el cual se utilizó un micrómetro digital (Figura 29) para la validación de la característica de calidad alto de cobres.

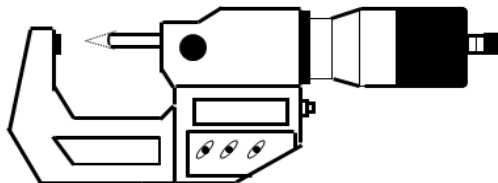


Figura 29. Micrómetro digital

La evaluación se llevó a cabo para garantizar la eficiencia y eficacia del sistema de medición.

Para la realización de la evaluación se tomaron tres operadores diferentes a los cuales se les solicito evaluar diez circuitos con un micrómetro digital en tres ocasiones por operador para obtener y evaluar los resultados de la característica del alto de cobres.

3.2.3 Diseño y desarrollo del proceso

La etapa de diseño y desarrollo del proceso consistió básicamente en plasmar los requisitos establecidos por el cliente (durante la etapa de diseño y desarrollo del producto) en un conjunto de operaciones o sub-procesos los cuales en conjunto permitieran la fabricación de un producto físico coherente con los requerimientos especificados por el cliente.

Durante la etapa de diseño y desarrollo del proceso, se realizó el diseño de la línea de producción en conjunto con todas las operaciones necesarias para poder iniciar con la manufactura de los arneses de la familia “Clutch Jumper 2014”.

3.2.3.1 Diagrama de flujo del proceso

Como parte de la etapa del diseño del proceso, se realizó un diagrama de flujo en donde se especificaron cada una de las actividades o subprocesos necesarios para lograr la manufactura de un nuevo arnés modelo 2014. El diagrama de flujo se desarrolló tomando en cuenta desde la llegada de la solicitud del embarque, hasta que el material salió de la planta liberado por el departamento de calidad.

Durante el diseño del diagrama de flujo se establecieron las operaciones que permanecían del modelo anterior (2013) y las nuevas que se incorporaban para el modelo 2014.

Para la elaboración del diagrama de flujo del proceso se utilizaron los cuatro símbolos fundamentales para indicar el tipo de actividad que se estuvo desarrollando. Para indicar una operación se estableció un círculo, para mostrar una inspección se estableció un cuadrado, para indicar un traslado (mover) se estableció una flecha y para indicar un almacenamiento se estableció un triángulo.

A manera adicional, con el fin de tener en mente las características claves del producto, se estableció una columna para indicar las posibles operaciones críticas para la manufactura de los arneses terminados.

3.2.3.2 Análisis de modos y efectos de falla (PFMEA) de proceso

Con el objetivo de detectar y disminuir los posibles modos de falla de en los nuevos arneses, se elaboró un análisis del modo y efectos de fallas de las operaciones en las cuales se requiere inspección durante su fabricación.

Para el diseño del PFMEA de proceso, se establecieron y evaluaron los siguientes requisitos:

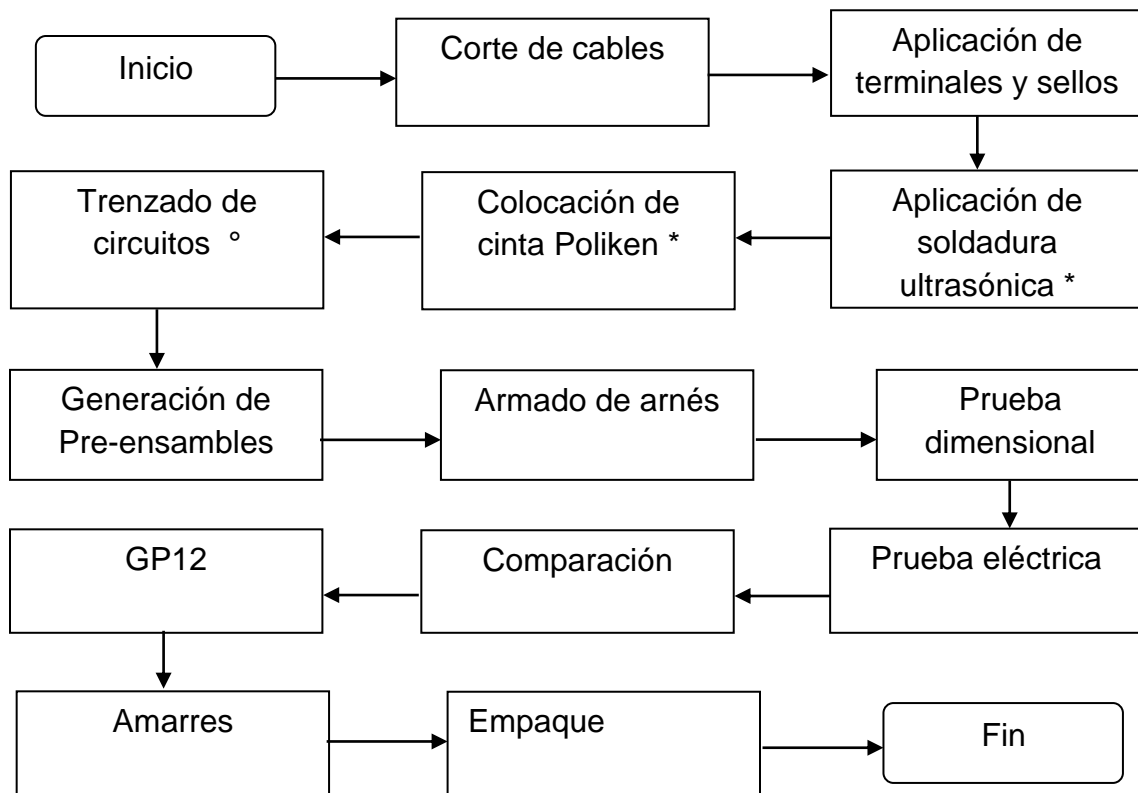
- Se estableció la función de la actividad
- Se definieron los principales modos de falla
- Se obtuvieron los principales efectos potenciales de la falla
- Se definieron las posibles causas de los posibles modos de falla
- Se definieron severidades, ocurrencias y niveles de detecciones.
- Se establecieron niveles de prevención y de detección de fallas
- Se evaluaron los RPN (Risk Priority Number) resultantes y establecieron acciones recomendadas.

Para la elaboración del PFMEA se reunió el equipo multidisciplinario identificado durante la etapa de traducción e identificación de las necesidades del cliente, para reunir ideas y establecer resultados.

3.2.3.3 Operaciones o sub-procesos de producción

Para la realización del diseño del proceso de manufactura, se establecieron cada una de las actividades u operaciones las cuales tenían que completarse para que el arnés pudiese verse de forma física terminado. Las operaciones consideradas fueron desde la aplicación de los circuitos, hasta que el arnés fue empacado en su contenedor.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo (Figura 30) para identificar las principales operaciones necesarias por la cuales debió pasar un arnés para poder completar su ciclo de manufactura.



* Aplicable para números de parte 26131847, 48 y 49

° No aplicable para número de parte 26131844

Figura 30. Diagrama de flujo de operaciones

Debido a que los diferentes números de parte establecidos durante la etapa de diseño y desarrollo del producto fueron diferentes entre ellos en cuanto a sus características, en el diagrama de flujo anterior se colocó un asterisco a las actividades exclusivas para algunos números de parte, para las operaciones sin asterisco se da por hecho que es aplicable para todos los números existentes.

3.2.3.3.1 Corte y aplicación de cables, sellos térmicos y terminales

La operación de corte consistió en liberar las máquinas cortadoras de cable, así como la verificación de la correcta colocación de los sellos térmicos y aplicación de terminales en cuanto a especificaciones solicitadas por el cliente. A continuación, se muestra en la figura 31 un circuito el cual contiene sello térmico y terminal.

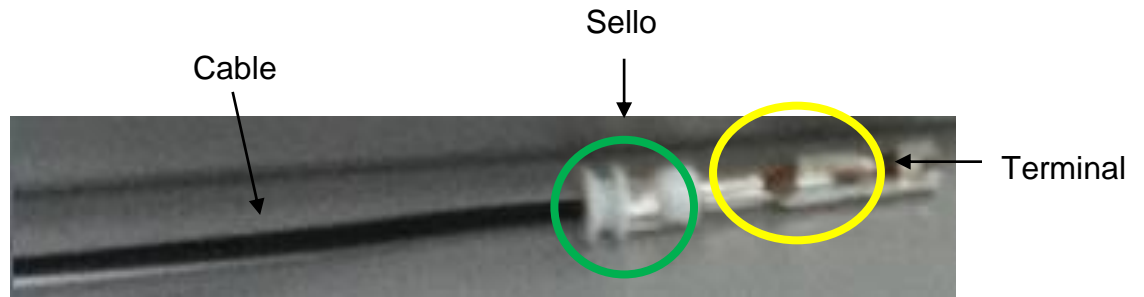


Figura 31. Circuito gris/negro

Durante la aplicación de terminales y sellos térmicos se evaluó la característica crítica de calidad “alto de cobres” mediante la aplicación de un análisis de repetibilidad y reproducibilidad, en los cuales se utilizaron treinta lecturas utilizando dos operadores diferentes y un mismo micrómetro digital.

3.2.3.3.2 Aplicación de soldadura ultrasónica y colocación de Poliken

Para los números de parte 26131847-48-49 de los arneses de la familia “Clutch Jumper” fue necesaria la unión de dos circuitos de diferentes calibres con el objetivo de cumplir con el diseño solicitado por el cliente.

En la figura 32 se muestra la representación de la configuración del empalme sónico:

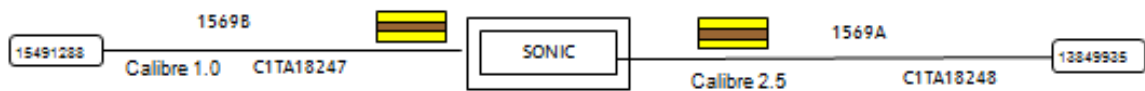


Figura 32. Ayuda visual de empalme sónico

Para el diseño de la operación de empalme sónico, se utilizó una máquina soldadora de metales por medio de ultrasonido para lograr la unión de los circuitos.

A continuación, se muestra en la figura 33 la ejemplificación de la aplicación por ultrasonido:



Figura 33. Empalme ultrasónico

Para garantizar una correcta aplicación del ultrasonido se realizaron evaluaciones de tensión para garantizar la resistencia de la soldadura con respecto a los límites establecidos.

Para medir la variable “tensión”, se consideró un criterio de mayor es mejor, en la cual se tenía un límite inferior de 16.0 kg. Mientras más grande de 16.0 kg resultará el valor obtenido de la tensión, mayor resistencia tendría el empalme.

Para la evaluación y seguimiento de esta actividad se realizaron graficas de control por variables y análisis de capacidad del proceso.

Una vez obtenido el empalme por ultrasonido y asegurado de que su variable de control se encontraba en control estadístico, se prosiguió al diseño de la estación de trabajo para el encubrimiento del empalme con una cinta plástica llamada “Cinta Poliken”, la cual tenía como principal objetivo el proteger al empalme de cualquier posible contacto con cualquier tipo de material o de su desprendimiento.

A continuación, se muestra en la figura 43 la colocación de la cinta Poliken:



Figura 34. Aplicación de cinta Poliken

Durante el diseño de las estaciones de aplicación de empalme por ultrasonido y colocación de cinta Poliken, se realizaron los métodos e instrucciones de trabajo necesarios para garantizar la correcta realización de la actividad por parte de los operadores asignados para su ejecución.

3.2.3.3.3 Trenzado de circuitos

La operación de trenzar circuitos, consistió básicamente en colocar pares de circuitos para que fueran unidos (trenzados) con el objetivo de cumplir con el diseño solicitado por el cliente.

A continuación, en la figura 35 se muestra un ejemplo del proceso de trenzado:



Figura 35. Trenzado de circuitos

Para los arneses de la familia “Clutch Jumper” modelo 2014, se incluyeron tres diferentes tipos de trenzados los cuales se indican la tabla 11:

Tabla 11. Códigos de trenzados.

Ensamble	Circuito	Código	Longitud	Número de parte
ETA3763	C2TA17357	2500E	521 MM	26131850-51-52
	C2TA17358	2501F	521 MM	
ETA3764	C2TA17338	2500A	985 MM	26131843-45-46-47-48-49
	C2TA17339	2501C	985 MM	
ETA3765	C2TA17340	2500C	960 MM	26131843-45-46-47-48-49
	C2TA17341	2501A	960 MM	

Para el cumplimiento de los requisitos de diseño y desarrollo del producto en cuanto a la cantidad de vueltas, se colocó una ayuda visual en la máquina trenzadora para la validación de las vueltas, así como la realización y difusión de métodos e instrucciones de trabajo a las personas asignadas para el desarrollo de la actividad.

A continuación, se muestra la ayuda visual (Figura 36) colocada para asegurar el cumplimiento del requisito de 9 a 12 vueltas por cada 30.5 cm.



Figura 36. Método de validación de trenzado

Para la asignación de vueltas para cada uno de los ensambles se realizaron pruebas no destructivas en la trenzadora para obtener los trenzados que cumplieran con el rango de 9 a 12 vueltas.

3.2.3.3.4 Ensamble de circuitos en conectores (Pre-ensambles)

La operación de ensamble de circuitos en conectores durante la manufactura de arneses de la familia “Clutch Jumper” no es una operación nueva ya que se realizaba durante la producción de los arneses modelo 2013.

Durante la manufactura de arneses modelo 2013, se elaboraba el ensamble de circuitos en conectores de manera directa en la estación de armado lo cual generaba mayor ocupación de espacio, tableros y personal para esta operación.

A continuación, se muestra en la figura 37 la operación de ensamble realizada en los arneses de “Clutch Jumper” modelo 2013:



Figura 37. Rack de colocación de circuitos en modelo 2013

Lo nuevo durante el diseño del proceso para los arneses modelo 2014, fue el desarrollo de estaciones de trabajo ajenas al armado en la cual el personal únicamente se dedicara al ensamble de circuitos en los conectores con el objetivo de utilizar la estación de armado únicamente para las actividades de encintado, colocación de clips, canaletas y cintillos.

Con la generación de estaciones de trabajo externas, el objetivo era mantener la misma estación de armado (carrusel) sin necesidad de aumentar la cantidad de tableros y así no extender el espacio para mayor personal. Por otro lado, con las estaciones de trabajo, se colocarían soportes para conectores los cuales apoyarían a la reducción del modo de falla de circuitos mal ensamblados, invertidos o equivocados.

A continuación, se muestra una estación de trabajo diseñada para el ensamble de circuitos en conectores:



Figura 38. Estación de Pre-ensamble

De acuerdo con la figura 38, se visualizó que cada estación de pre-ensamble contaba con contras para el ensamble de circuitos, tubos para la colocación de los circuitos, tinas para la colocación y abastecimiento de componentes y diferentes ayudas visuales para el correcto ensamble en conectores.

3.2.3.3.5 Armado de arnés

La estación de armado consistió básicamente en la activación del carrusel eléctrico utilizado para la fabricación de los arneses modelo 2013.

A continuación, se muestra en la figura 39 el carrusel eléctrico para el armado de arneses:

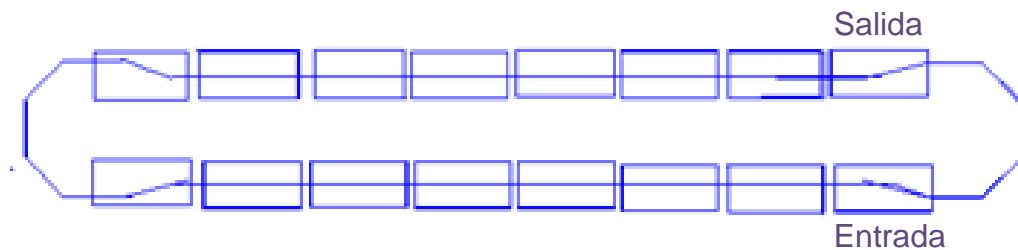
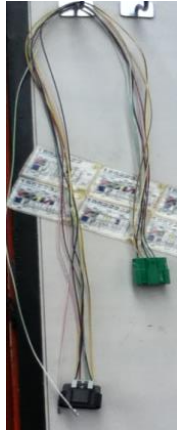


Figura 39. Carrusel eléctrico automotriz

Con el objetivo de evitar el uso de un carrusel eléctrico adicional para el armado de los arneses modelo 2014, se modificaron los tableros de tal manera que pudiesen girarse para que los nuevos arneses se colocaran en el mismo carrusel que los modelos anteriores y ambos números estuvieran disponibles en el caso que se requiriera la fabricación de alguno de ellos.

Para los números de parte 26131843-45-46-47-48-49 se generaron dos pre-ensambles los cuales se unían en el carrusel para realizar los encintados, colocación de clips, cintillos y canaletas.

A continuación, se muestran en la figura 40 los dos pre-ensambles diseñados para la fabricación de los números 26131843-45-46-47-48-49:



Pre-ensamble 1



Pre-ensamble 2

Figura 40. Pre-ensambles necesarios para la manufactura

En cuanto a los arneses número de parte 26131850-51-52, únicamente se generó un pre-ensamble por lo cual no fue necesario el ensamble de terminales de circuitos dentro del carrusel de armado.

A continuación, se muestra en la figura 41 el pre-ensamble diseñado para la fabricación de los números 26131850-51-52:

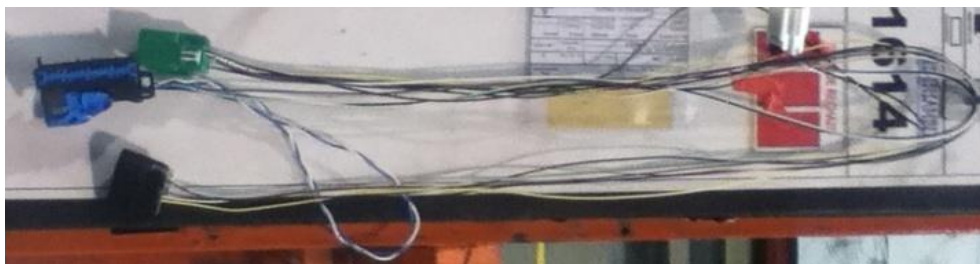


Figura 41. Pre-ensamble números chicos

Por cuestiones de volúmenes, el número de parte 26131844 se retiró del carrusel de armado y se diseñó una estación de trabajo adicional con el objetivo de evitar la pérdida de piezas debido al cambio de número de parte dentro del carrusel de armado.

En la figura 42 se muestra la estación para la fabricación del número 26131844:



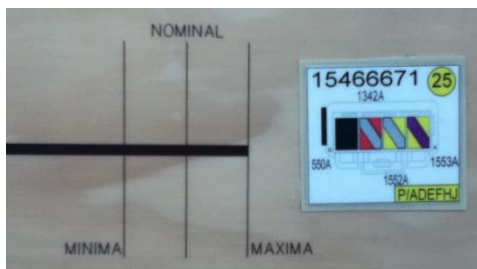
Figura 42. Tablero estacionario

Para el armado de los arneses modelo 2014, se eliminó el manejo de circuitos dentro del carrusel eléctrico ya que no se ensamblaban circuitos unitarios.

3.2.3.3.6 Prueba dimensional

Con el objetivo de garantizar que cada uno de los nuevos números de parte de la familia “Clutch Jumper” se encontrara dentro de tolerancias en cuanto a dimensiones, se realizó un tablero dimensional en el cual se establecieron tolerancias para cada uno de los ramales del arnés, además de un diseño especial de cavidades para la detección de la presencia de clips, cintillos y etiqueta de identificación verde. Esto con el objetivo de disminuir el modo de falla de enviar un arnés no funcional a la armadora automotriz correspondiente.

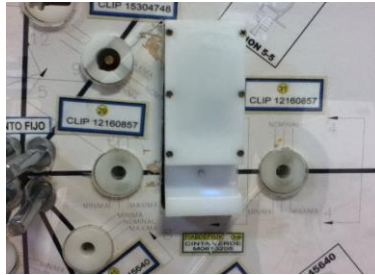
En la figura 43 se muestran unas imágenes para la validación de dimensiones:



Tolerancia de dimensiones



Cavidad de detección de clip



Cavidad de detección de cinta

Figura 43. Prueba dimensional

Al igual que en los tableros de armado, para evitar la compra de una nueva base metálica para colocar el nuevo tablero 2014, se modificó la base del modelo 2013 de tal forma que pudiera hacerse giratoria para facilitar la utilización de cada modelo de tablero cuando fuese requerido.

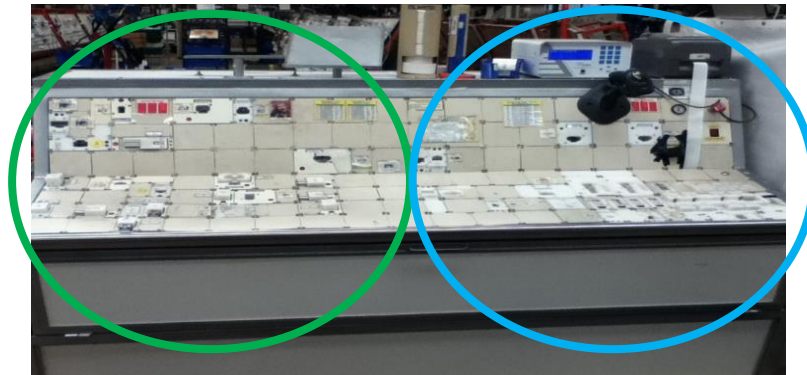
3.2.3.3.7 Prueba eléctrica

El garantizar que un arnés eléctrico cumple con su función de transmitir el paso de corriente eléctrica es fundamental para evitar quejas por parte de los clientes y el aumento de los defectos de calidad (Partes Por Millón).

Con el objetivo de dar cumplimiento a esta función, se siguió utilizando el sistema de colocación de bancos de prueba eléctrica.

Para la colocación de los bancos de prueba se trabajó con la limitante de espacio y para la colocación de los nuevos bancos 2014, se tomaron los tableros existentes del modelo 2013 y se modificaron de tal forma que de un lado pudiera trabajarse con los arneses anteriores y por el otro lado con los nuevos modelos de arneses.

A continuación se muestra el diseño de un banco de prueba eléctrica:



Lado de prueba de arnés
modelo 2013

Lado de prueba de arnés
modelo 2014

Figura 44. Tablero de prueba eléctrica

Con el diseño de banco de prueba mostrado en la figura 44 a se lograron ahorros de equipo, espacio y herramientas.

3.2.3.3.8 Comparación y GP12

La operación de comparación fue una actividad que consistió en revisar cada uno de los arneses al 100% con el objetivo de determinar posibles diferencias con respecto a una muestra maestra tomada como referencia. Las principales características o atributos verificados durante esta etapa fueron los siguientes:

- Circuitos y conectores no dañados
- Terminales bien ensambladas y no dañadas
- Seguros bien ensamblados y no omitidos
- Encintados bien elaborados (sin circuitos visibles)
- Etiqueta de prueba eléctrica legible y con información correcta
- Cintas no omitidas
- Clips y cintillos no omitidos y orientados correctamente

En cuanto a la operación de GP12, esta consistió en realizar la misma operación que la realizada en la estación de comparación pero con la diferencia de que debió ser realizada por un operador diferente a la que llevo a cabo la actividad de comparación. El objetivo de la operación GP12 consistió en realizar una inspección al 200% de los atributos evaluados en la operación de comparación del arnés.

Con la realización de estas actividades se disminuyó la probabilidad de ocurrencia de los modos de falla mencionado anteriormente.

3.2.3.3.9 Amarres y empaque

Para los arneses modelo 2014 surgió un nuevo requisito el cual consistió en realizar un amarre en el arnés previo al empaque del mismo en el contenedor. Para realizar la actividad de amarres, se colocó una estación en la cual se realizó la actividad. A continuación, se muestra la estación de amarres:



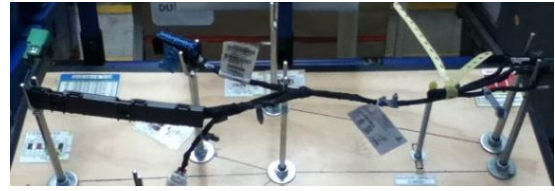
Figura 45. Tablero de amarres

Para la elaboración de los amarres, se realizó un método de trabajo en el cual se ejemplificaron los diferentes amarres dependiendo los números de parte correspondientes (Figura 45).

En la figura 46 se muestran los amarres para los diversos números de parte.



Amarre para 26131843-45-46-47-48-49



Amarre para 26131850-51-52

Figura 46. Elaboración de amarre de arneses

Una vez realizado el amarre de los arneses, la última etapa en el proceso de manufactura de los arneses de “Clutch Jumper” consistió en establecer las especificaciones de empaque (cantidad, caja, peso, volumen, etc.) necesarias para optimizar los contenedores sin afectar la calidad de los arneses.

Por otra parte, en esta etapa también se estableció la etiqueta de manufactura, la cual fue indispensable para el envío y recepción del material por parte del cliente.

Para la optimización de contenedores para los nuevos modelos de arneses 2014 se utilizó una nueva tina la cual se muestra en la figura 47.



Figura 47. Tina plástica de empaque

Utilizando este nuevo de contenedor se empacó el doble de material y se redujo el doble el consumo de tinas por pallet (tarima).

En cuanto al acomodo del material a continuación se muestra en la figura 48 el acomodo de los nuevos arneses en la nueva tina.



Figura 48. Acomodo de arneses en contenedor

3.2.3.4 Análisis de capacidad y cálculo de personal directo

Previo a la etapa de planeación, se proporcionó una solicitud de cotización en la cual se solicitó la elaboración de un análisis de capacidad para determinar la cantidad de personal necesario para la fabricación de los nuevos modelos de arneses modelo 2014.

Como estrategia para determinar la cantidad de personas necesarias se realizó un estudio de tiempos predeterminados para obtener un tiempo estándar elemental de cada actividad.

Para el cálculo del personal del análisis de capacidad se consideraron los volúmenes mostrados en la tabla 12:

Tabla 12. Volúmenes diarios modelo 2014

Número de Arnés	Volumen de producción anual	Volumen de producción diario
26131843-01	0	0
26131844-01	217	0.868
26131845-01	0	0
26131846-01	0	0

Número de Arnés	Volumen de producción anual	Volumen de producción diario
26131847-01	102,010	408,04
26131848-01	50,429	201.716
26131849-01	35,420	141.68
26131850-01	85,018	340.072
26131851-01	33,837	135.348
26131852-01	23,480	93.92

Después de la aplicación del estudio de tiempos predeterminados, se concluyó que la cantidad del personal directo fue la siguiente:

Tabla 13. Cantidad de personas requeridas para armado de arneses modelo 2014

Operación	Personal
Corte de circuitos	2
Trenzado	1
Sonic y Poliken	1
Armado	23
Dimensional	2
Prueba eléctrica	2
Comparación	1
GP12	1
Amarres	1
Empaque	1

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 13 se obtuvo un total de treinta y cinco personas por turno para poder trabajar.

En cuanto al personal indirecto, este se estableció como aquella mano de obra que se encargaba del abastecimiento de materia prima, aseguramiento de calidad y supervisión de la producción por turno de trabajo. La tabla 14 muestra los resultados.

Tabla 14. Personal indirecto necesario

Actividad	Operadores
Abastecimiento de materia prima	1 abastecedor
Abastecimiento de circuitos	1 abastecedor
Aseguramiento de la calidad	1 auditor de calidad
Re-trabajos y apoyo en producción	1 operador líder
Operador de mantenimiento	1 mecánico
Supervisión de producción	1 supervisor

3.2.3.4.1 Diseño y desarrollo de la línea de producción

Como requisito para el diseño y desarrollo de la línea de producción se tomaron como base la cantidad de personas obtenidas en el análisis de capacidad mostrado en el punto anterior.

De acuerdo con los resultados obtenidos se consideraron las siguientes estaciones de trabajo a dos turnos de trabajo:

- 2 estaciones para cortar y aplicar circuitos
- 1 estación de trenzado de circuitos
- 1 estación de aplicación de empalme ultrasónico y 1 para Poliken
- 10 estaciones para generación de pre-ensambles
- 13 estaciones para el armado de arneses
- 2 estaciones para la realización de la prueba dimensional
- 2 estaciones para la elaboración de la prueba eléctrica
- 1 estaciones para la comparación al 100% de arneses
- 1 estación para la comparación al 200% (GP12)
- 1 estación para la elaboración de amarres
- 1 estación para el empaque de arneses.

Como objetivo para evitar la compra de materiales, herramientas y maquinaria necesaria para la implementación de una línea de producción adicional a la existente que producía arneses de la misma familia modelo anterior, se realizó el diseño de la línea de tal manera que las dos familias, tanto la 2013 y 2014 pudiesen trabajar a la par en el caso que se requiriera.

A continuación, se muestra el layout disponible para la manufactura de arneses 2013:

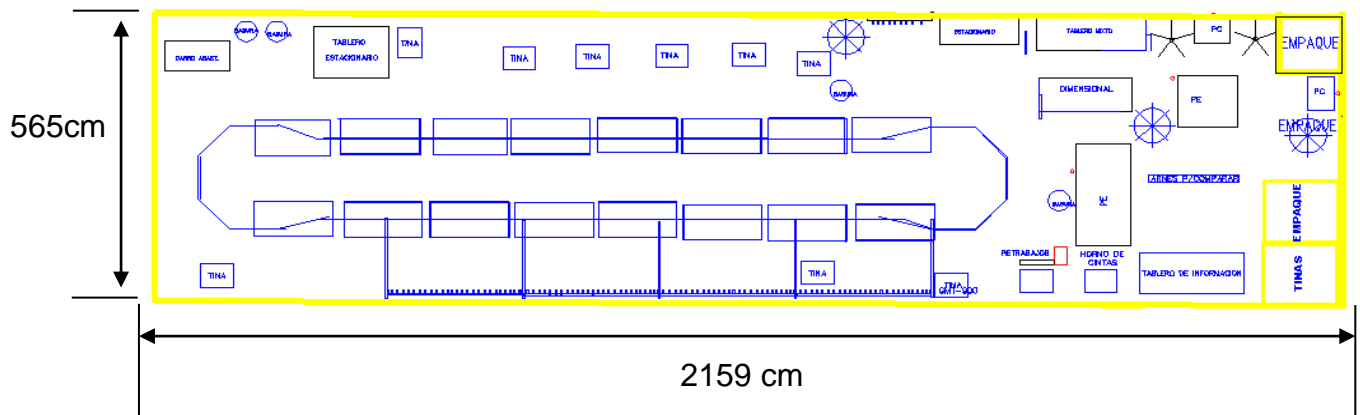


Figura 49. Layout familia 2013

Como se muestra en la figura 49, para la manufactura de arneses modelo 2013 se utilizaba un total de 122 metros cuadrados.

Utilizando la misma distribución de planta para la fabricación de arneses 2014, se realizó la siguiente propuesta de layout:

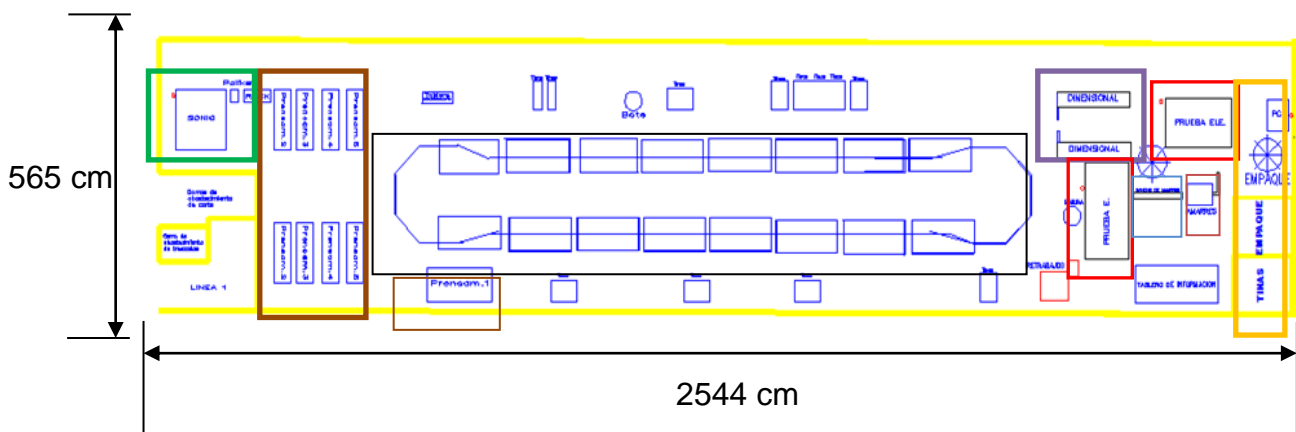


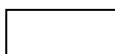







Figura 50. Layout modelo 2014

	Estación de pre-ensambles
	Estación de ultrasonido y colocación de cinta
	Estación de armado
	Estación de prueba dimensional
	Estación de prueba eléctrica
	Estación de comparación y GP12
	Estación de amarres
	Estación de empaque

Para la implementación de la línea de producción se requirió el mismo espacio que ocupaba la distribución 2013, únicamente se realizó un incremento de espacio de 22 metros cuadrados como se estableció en la figura 50.

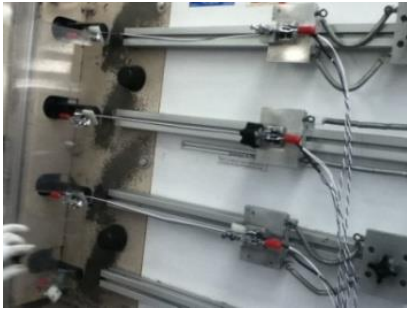
Con esta propuesta se logró que la manufactura de arneses modelo 2013 concluyera satisfactoriamente su requerimiento, y al mismo tiempo, la familia 2014 pudiese comenzar su producción. De otra manera, la otra propuesta hubiese sido realizar una nueva línea de producción en otra área de la planta.

3.2.3.4.2 Equipo y maquinaria requerida

Con la propuesta planteada de utilizar la misma línea de producción para la manufactura de arneses 2014, se lograron ahorros en equipos, maquinaria y herramientas.

De cualquier manera, los procesos de aplicación de ultrasonido, colocación de cinta poliken y el trenzado de circuitos requirieron el uso de equipos para su operación.

A continuación, se muestran los equipos requeridos para las nuevas operaciones:



Trenzadora de circuitos



Máquina de aplicación de ultrasonido

Figura 51. Equipos para procesos nuevos

Para la incorporación de los equipos mencionados en la figura 51 se realizó un análisis de cargas de trabajo para revisar la capacidad de los equipos existentes y así evitar la compra de equipos nuevos.

3.2.3.4.3 Evaluación ergonómica

Con el objetivo de evaluar las condiciones de trabajo del diseño de la línea de producción de los arneses eléctricos de la familia “Clutch Jumper” modelo 2014, se realizaron evaluaciones ergonómicas con el fin de encontrar posibles variables que influyeran en la calidad ergonómica de las estaciones de trabajo. Para las evaluaciones se tomaron como referencia los métodos LEST y RULA, los cuales evalúan las condiciones de trabajo y permiten identificar factores de riesgo que puedan ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo. A continuación, se muestran los procedimientos a seguir para la ejecución de cada una de las evaluaciones:

Método LEST

Como se mencionó con anterioridad, el método LEST, es un método de carácter global el cual considera cada aspecto de los puestos de trabajo de manera muy general. Para la evaluación de este método se consideran dieciséis variables agrupadas en cinco aspectos: entorno físico, carga física, carga mental, aspectos psicosociales y tiempo de trabajo (Valencia, 2014).

A continuación, se muestran los pasos a seguir para la ejecución del método:

a).- Considerar los aspectos y variables mostrados en la tabla 15.

Tabla 15. Aspectos y variables consideradas en la implementación del método

ENTORNO FISICO	CARGA FISICA	CARGA MENTAL	ASPECTOS PSICOSOCIALES	TIEMPOS DE TRABAJO
Ambiente térmico	Carga estática	Apremio de tiempo	Iniciativa	Tiempo de trabajo
Ruido	Carga dinámica	Complejidad	Estatus social	
Iluminación		Atención	Comunicaciones	
Vibraciones			Relación con el mando	

b).- Recopilar información de los puestos de trabajo a evaluar ergonómicamente.

c).- Mediante los datos recogidos en la observación del puesto y el empleo de las tablas de puntuaciones se obtendrán las valoraciones de cada variable y aspecto. La valoración obtenida oscilará entre 0 y 10 y la interpretación de dichas puntuaciones se realizará según la tabla 16.

Tabla 16. Sistema de puntuación del método LEST

SISTEMA DE PUNTUACIÓN	
0, 1, 2	Situación satisfactoria
3, 4, 5	Débiles molestias. Algunas mejoras podrían aportar más comodidad al trabajador
6, 7	Molestias medias. Existe riesgo de fatiga.
8, 9	Molestias fuertes. Fatiga
10	Nochividad

d).- Obtener resultados y conclusiones

Método RULA

El método RULA a diferencia del método LEST, permite evaluar de manera más precisa la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que pudiesen ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo (cintura, brazo, antebrazo, tronco, cuello y mano) (Valencia, 2014).

Para la evaluación utilizando esta metodología, se establecieron los siguientes pasos:

a).- Evaluar y establecer una puntuación para cada uno de los miembros superiores (brazos, antebrazos y muñecas) y organizarlos en un grupo llamado "A".

Puntuación del brazo

Para determinar la puntuación a asignar a dicho miembro, se deberá medir el ángulo que forma con respecto al eje del tronco, la figura 52 muestra las diferentes posturas consideradas por el método y pretende orientar a la hora de realizar mediciones necesarias.

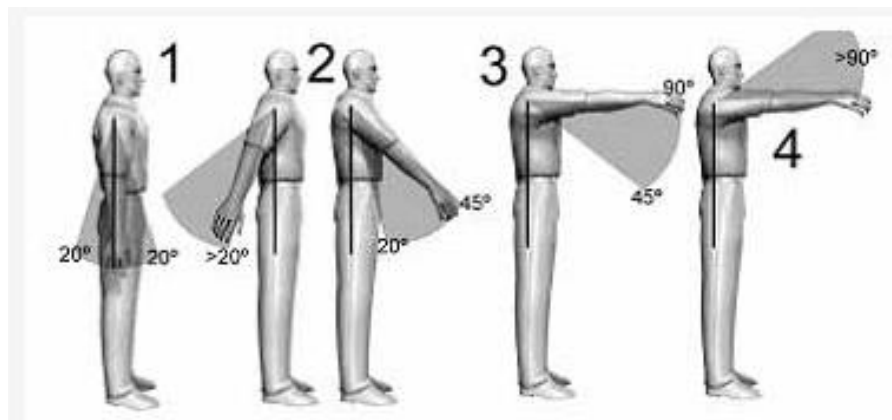


Figura 52. Posiciones del brazo

En función del ángulo formado por el brazo, se obtendrá su puntuación consultando la tabla 17.

Tabla 17. Puntuación del brazo

Puntos	Posición
1	desde 20° de extensión a 20° de flexión
2	extensión >20° o flexión entre 20° y 45°
3	flexión entre 45° y 90°
4	flexión >90°

La puntuación del brazo podrá verse modificada, aumentando o disminuyendo su valor, si el trabajador posee los hombros levantados, si presenta rotación del brazo, si el brazo se encuentra separado o abducido respecto al tronco, o si existe un punto de apoyo durante el desarrollo de la tarea. Cada una de estas circunstancias incrementará o disminuirá el valor original de la puntuación del brazo. Si ninguno de estos casos fuera reconocido en la postura del trabajador, el valor de la puntuación sería el indicado en la tabla 18 sin alteraciones.

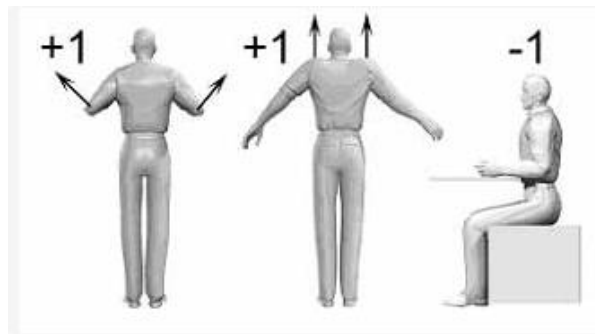


Figura 53. Posiciones que modifican la puntuación del brazo.

Tabla 18. Modificaciones sobre la puntuación del brazo.

Puntos	Posición
+1	Si el hombro está elevado o el brazo rotado.
+1	Si los brazos están abducidos.
-1	Si el brazo tiene un punto de apoyo.

Puntuación del antebrazo

La puntuación asignada al antebrazo será nuevamente función de su posición. La figura 54 muestra las diferentes posibilidades. Una vez determinada la posición del antebrazo y su ángulo correspondiente, se consultará la tabla 19 para determinar la puntuación establecida por el método.

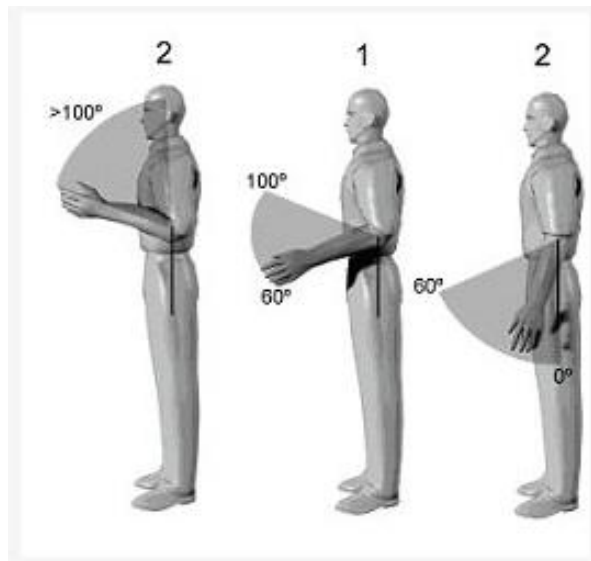


Figura 54. Posiciones del antebrazo

Tabla 19. Posiciones del antebrazo

Puntos	Posición
1	flexión entre 60° y 100°
2	flexión < 60° ó > 100°

La puntuación asignada al antebrazo podrá verse aumentada en dos casos: si el antebrazo cruzara la línea media del cuerpo, o si se realizara una actividad a un lado de éste. Ambos casos resultan excluyentes, por lo que como máximo podrá verse aumentada en un punto la puntuación original. La figura 55 muestra gráficamente las dos posiciones indicadas y en la tabla 20 se puede consultar los incrementos a aplicar.

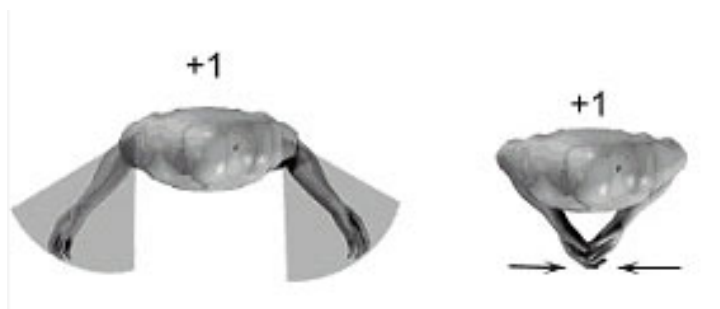


Figura 55. Posiciones que modifican la puntuación del antebrazo

Tabla 20. Modificación de la puntuación del antebrazo

Puntos	Posición
+1	Si la proyección vertical del antebrazo se encuentra más allá de la proyección vertical del codo
+1	Si el antebrazo cruza la línea central del cuerpo.

Puntuación de la muñeca

Para finalizar con la puntuación de los miembros superiores (Grupo A), se analizará la posición de la muñeca. En primer lugar, se determinará el grado de flexión de la muñeca. La figura 56 muestra las tres posiciones posibles consideradas por el método. Tras el estudio del ángulo, se procederá a la sección de la puntuación correspondiente consultando los valores proporcionados por la tabla 21.

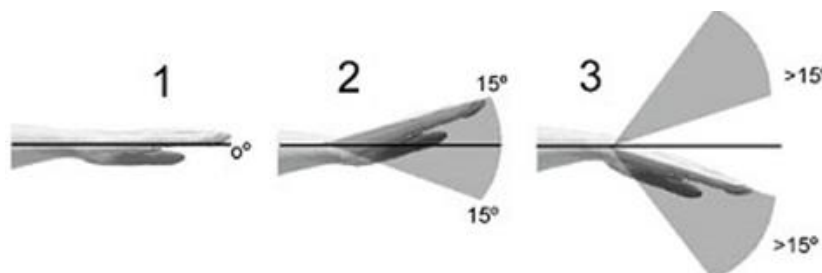


Figura 56. Posiciones de la muñeca

Tabla 21. Puntuación de la muñeca

Puntos	Posición
1	Si está en posición neutra respecto a flexión.
2	Si está flexionada o extendida entre 0° y 15°.
3	Para flexión o extensión mayor de 15°.

El valor calculado para la muñeca se verá modificado si existe desviación radial o cubica (figura 57). En este caso se incrementará en una unidad dicha puntuación.



Figura 57. Desviación de la muñeca.

Tabla 22. Modificación de la puntuación de la muñeca

Puntos	Posición
+1	Si está desviada radial o cubitalmente.

Una vez obtenida la puntuación de la muñeca se valorará el giro de la misma de considerando los valores de la tabla 23. Este nuevo valor será independiente y no se añadirá a la puntuación anterior, si no que servirá posteriormente para obtener la valoración global del grupo "A".

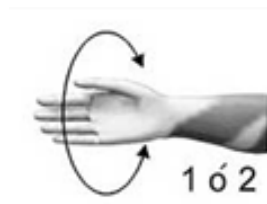


Figura 58. Giro de la muñeca

Tabla 23. Puntuación del giro de la muñeca

Puntos	Posición
1	Si existe pronación o supinación en rango medio
2	Si existe pronación o supinación en rango extremo

b).- Evaluación de los miembros superiores. (Piernas, tronco y el cuello) englobados en el grupo “B”.

Puntuación del cuello

En el cuello se evaluará inicialmente la flexión de este miembro: la puntuación asignada por el método se muestra en la tabla 24. La figura 59 muestra las tres posiciones de flexión del cuello así como la posición de extensión puntuadas por el método.

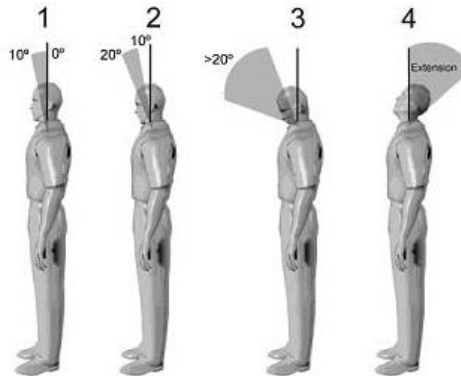


Figura 59. Posiciones del cuello

Tabla 24. Puntuación del cuello

Puntos	Posición
1	Si existe flexión entre 0° y 10°
2	Si está flexionado entre 10° y 20°.
3	Para flexión mayor de 20°.
4	Si está extendido.

La puntuación hasta el momento calculada para el cuello podrá verse incrementada si el trabajador presenta inclinación lateral o rotación, tal y como se indica en la figura 60 y tabla 25.

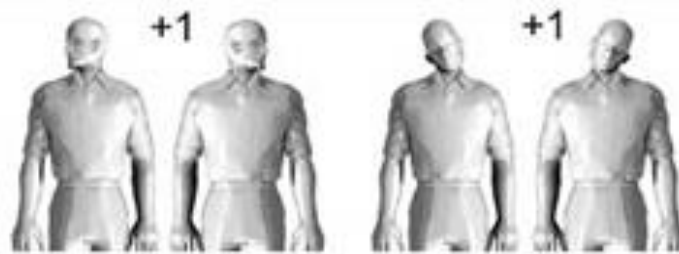


Figura 60. Posiciones que modifican la puntuación del cuello

Tabla 25. Modificación a la puntuación del cuello

Puntos	Posición
+1	Si el cuello está rotado.
+1	Si hay inclinación lateral.

Puntuación del tronco

Se deberá determinar si el trabajador realiza la tarea sentado o bien la realiza de pie, indicando en este último caso el grado de flexión del tronco de acuerdo con la figura 61. Se seleccionará la puntuación adecuada de la tabla 26.

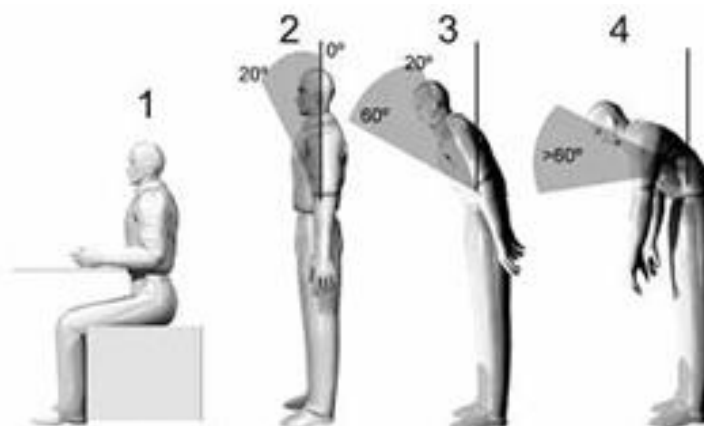


Figura 61. Posiciones del tronco

Tabla 26. Puntuación del tronco

Puntos	Posición
1	Sentado, bien apoyado y con un ángulo tronco-caderas >90°
2	Si está flexionado entre 0° y 20°
3	Si está flexionado entre 20° y 60°.
4	Si está flexionado más de 60°.

La puntuación del tronco incrementará su valor si existe torsión o lateralización del tronco de acuerdo a la figura 62 y tabla 27. Ambas circunstancias no son excluyentes y por tanto podrán incrementar el valor original del tronco hasta en 2 unidades si se dan simultáneamente.

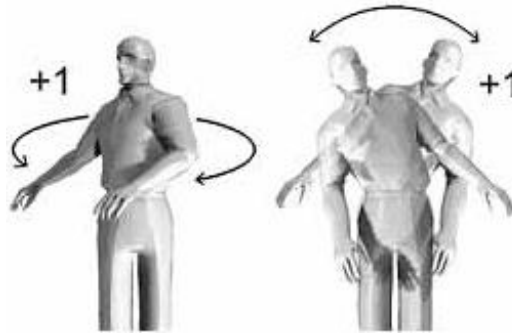


Figura 62. Posiciones que modifican la puntuación del tronco

Tabla 27. Modificación de la puntuación del tronco

Puntos	Posición
+1	Si hay torsión de tronco.
+1	Si hay inclinación lateral del tronco.

Puntuación de las piernas

En el caso de las piernas, el método no se centrará, como en los análisis anteriores, en la medición de ángulos. Serán aspectos como la distribución del peso entre piernas, los apoyos existentes y la posición sentada o de pie, los que

determinarán la puntuación asignada como se muestra en la figura 63. Con la ayuda de la tabla 28 será finalmente obtenida la puntuación.



Figura 63. Posición de las piernas

Tabla 28. Puntuación de las piernas

Puntos	Posición
1	Sentado, con pies y piernas bien apoyados
1	De pie con el peso simétricamente distribuido y espacio para cambiar de posición
2	Si los pies no están apoyados, o si el peso no está simétricamente distribuido

c).- Obtención de puntuaciones globales

Tras la obtención de las puntuaciones de los miembros del grupo “A” y del grupo “B” de forma individual, se procederá a la asignación de una puntuación global a ambos grupos.

Puntuación global para los miembros del grupo A

Con las puntuaciones de brazo, antebrazo, muñeca y giro de muñeca, se asignará mediante la tabla 29 una puntuación global para el grupo A.

Tabla 29. Puntuación global para el grupo "A"

Brazo	Antebrazo	Muñeca							
		1		2		3		4	
		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Puntuación global para los miembros del grupo A

De la misma manera, se obtendrá una puntuación general para el grupo B a partir de la puntuación del cuello, el tronco y las piernas consultando la tabla 30.

Tabla 30. Puntuación global para el grupo "B"

Cuello	Tronco											
	1		2		3		4		5		6	
	Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Puntuación del tipo de actividad muscular desarrollada y la fuerza aplicada

Las puntuaciones globales obtenidas se verán modificadas en función del tipo de actividad muscular desarrollada y de la fuerza aplicada durante la tarea. La puntuación de los grupos A y B se incrementarán en un punto si la actividad es principalmente estática o bien si es repetitiva. Si la tarea es ocasional, poco frecuente y de corta duración, se considerará actividad dinámica y las puntuaciones no se modificarán. Además, para considerar las fuerzas ejercidas o la carga manejada, se añadirá a los valores anteriores la puntuación conveniente según la tabla 31.

Tabla 31. Puntuación para la actividad muscular y las fuerzas ejercidas

Puntos	Posición
0	si la carga o fuerza es menor de 2 Kg. y se realiza intermitentemente.
1	si la carga o fuerza está entre 2 y 10 Kg. y se levanta intermitente.
2	si la carga o fuerza está entre 2 y 10 Kg. y es estática o repetitiva.
2	si la carga o fuerza es intermitente y superior a 10 Kg.
3	si la carga o fuerza es superior a los 10 Kg., y es estática o repetitiva.
3	si se producen golpes o fuerzas bruscas o repentinas.

d).- Resultados y conclusiones

La puntuación obtenida de sumar a la del grupo A la correspondiente a la actividad muscular y la debida a las fuerzas aplicadas pasará a denominarse puntuación C. De la misma manera, la puntuación obtenida de sumar a la del grupo B la debida a la actividad muscular y las fuerzas aplicadas se denominará puntuación D. A partir de las puntuaciones C y D se obtendrá una puntuación final global para la tarea que oscilará entre 1 y 7, siendo mayor cuanto más elevado sea el riesgo de lesión. La puntuación final se extraerá de la tabla 32.

Tabla 32. Puntuación final

Puntuación C	Puntuación D						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7

Por último, conocida la puntuación final, y mediante la tabla 33, se obtendrá el nivel de actuación propuesto por el método RULA. Así el evaluador habrá determinado si la tarea resulta aceptable tal y como se encuentra definida, si es necesario un estudio en profundidad del puesto para determinar con mayor concreción las acciones a realizar, si se debe planear el rediseño del puesto o si, finalmente, existe la necesidad apremiante de cambios en la realización de la tarea.

Tabla 33. Niveles de actuación según la puntuación obtenida.

Nivel	Actuación
1	Cuando la puntuación final es 1 ó 2 la postura es aceptable.
2	Cuando la puntuación final es 3 ó 4 pueden requerirse cambios en la tarea; es conveniente profundizar en el estudio
3	La puntuación final es 5 ó 6. Se requiere el rediseño de la tarea; es necesario realizar actividades de investigación.
4	La puntuación final es 7. Se requieren cambios urgentes en el puesto o tarea.

3.2.3.4.4 Evaluación de aspectos e impactos ambientales

Una actividad realizada como requisito interno con el objetivo de contribuir con el cumplimiento a la norma ISO14001, se realizó una identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales aplicables a los diferentes procesos necesarios para la manufactura de los nuevos arneses 2014.

Durante esta evaluación ambiental, se evaluaron las diferentes estaciones de trabajo con la finalidad de identificar en cuales operaciones se realizaban actividades que pudiesen generar algún impacto al medio ambiente y en su caso establecer controles de prevención.

Los principales aspectos considerados para las calificaciones se muestran en la tabla 35 y para la evaluación se establecieron los criterios de la tabla 34.

Tabla 34. Criterios ambientales de evaluación

<u>Criterios</u>	
L	Legislación ambiental
C	Costo
CO	Control
F	Frecuencia
PP	Percepción pública
I	Impacto ambiental

Se evaluaron cada una de las operaciones asignándoles una calificación total obtenida de la suma de cada uno de los criterios establecidos. Cada criterio tuvo una calificación y se consideró una operación significativa cuando la suma de criterios resultó mayor a 15.

A continuación, se muestra el procedimiento realizado para la evaluación de las actividades:

I.- Determinar los tipos de aspectos e impactos ambientales establecidos de acuerdo con la tabla 35.

Tabla 35. Aspectos e impactos ambientales definidos

<u>Aspecto ambiental</u>	<u>Impacto ambiental</u>
Emisiones a la atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de la calidad del aire exterior en emisiones conducidas • Afectación de la calidad del aire interior en emisiones no conducidas • Afectación de la calidad del aire exterior en emisiones no conducidas
Emisiones de ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del ambiente laboral
Generación de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del suelo por deposición de residuos
Uso de recursos naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en la disponibilidad del agua para otros usuarios • Reducción en la disponibilidad de combustibles para otros usuarios • Reducción en la disponibilidad de energía eléctrica para otros usuarios
Descarga de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del agua superficial por vertido

II.- Establecer categorías para la clasificación de tipo de residuo según tabla 36.

Tabla 36. Categorías generales de aspectos

<u>Categorías generales</u>	
EAR	Emisiones de aguas residuales
EA	Emisiones al aire
R	Ruido
CS	Contaminación al suelo
RP	Residuos peligrosos
RNP	Residuos no peligrosos
URN	Uso de recursos naturales

III.- Establecer criterios en los que se evaluará para determinar significancia de un aspecto ambiental de acuerdo con tablas 37 y 38.

Tabla 37. Tabla de ponderaciones 1

<u>Criterios</u>	<u>Ponderación</u>	<u>Calificación</u>
Legislación ambiental y otros requerimientos	3	<ul style="list-style-type: none"> • 1 No regulado • 2 Existe requerimiento y se cumple • 3 Existe requerimiento y no se cumple
Costo anual	2	<ul style="list-style-type: none"> • 0 Sin costo • 1 De 1 a 20,000 pesos • 2 De 20,001 a 100,000 pesos • 3 Más de 100,000 pesos
Control	2	<ul style="list-style-type: none"> • 0 Existen procedimientos implementados y dispositivos de control • 1 Existen dispositivos de control • 2 Existen solo procedimientos implementados • 3 No hay procedimientos implementados ni controles
Frecuencia	1	<ul style="list-style-type: none"> • 0 No sucede • 1 Esporádico (1 o 2 veces por año) • 2 Intermitente (Cada mes) • 3 Continuo (Diario o semanal)
Percepción pública	1	<ul style="list-style-type: none"> • 0 No ha ocurrido • 1 Esporádico (1 o 2 veces al año) • 2 Intermitente (Cada mes) • 3 Continuo (diario o semanal)

Tabla 38. Tabla de ponderaciones 2

<u>Crterios</u>	<u>Ponderación</u>	<u>Calificación</u>
Impacto al medio ambiente	3	Aire <ul style="list-style-type: none"> • 0 No contamina • 1 Contamina al medio ambiente local • 2 Es precursor de ozono • 3 Contamina al medio ambiente global
	3	Residuos no peligrosos <ul style="list-style-type: none"> • 0 Enviado a reciclaje • 1 Enviado a combustible alternativo o confinamiento autorizado • 3 Enviado a sitio no autorizado
	3	Contaminación al suelo <ul style="list-style-type: none"> • 0 Materiales no riesgosos / no contaminados • 1 Material clasificado con riesgo a la salud 1 y 2 • 2 Material clasificado con riesgo a la salud 3 • 3 Material clasificado con riesgo a la salud 4
	3	Uso de recursos naturales <ul style="list-style-type: none"> • 1 Reciclados • 2 Explotación indirecta • 3 Explotación directa
	3	Agua residual <ul style="list-style-type: none"> • 0 No se requiere tratamiento • 1 Recibe tratamiento • 2 Impacta a la operación de tratamiento • 3 Impacta la descarga excediendo los límites

<u>Criterios</u>	<u>Ponderación</u>	<u>Calificación</u>
Impacto al medio ambiente	3	Residuos peligrosos <ul style="list-style-type: none"> • 1 Enviado a incineración o combustible alterno • 2 Enviado a confinamiento • 3 Enviado a sitio no autorizado
	3	Ruido <ul style="list-style-type: none"> • 0 Menor a 86 dB • 1 De 86 A 88 dB • 2 De 88 a 90 dB • 3 Más de 90 dB
	3	RME <ul style="list-style-type: none"> • 0 Enviado a confinamiento en sitio autorizado • 3 Enviado a sitio no autorizado

IV.- Establecer condiciones para determinar significancia de un aspecto ambiental de acuerdo a tabla 39.

Tabla 39. Criterios de calificación

<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la calificación del criterio “Legislación ambiental y otros lineamientos” sea igual a nueve (9) • Cuando la calificación del criterio “Impacto ambiental” sea igual a nueve (9) • Cuando la calificación del criterio “Control” sea igual a seis (6) • Cuando la evaluación del criterio “Percepción pública” sea mayor o igual a dos (2) • Si la evaluación del impacto (L+C+CO+F+PP+I) es mayor a quince (15)
--

V.- Evaluar estaciones de trabajo implementadas en el proyecto

VI.- Establecer aspectos ambientales significativos y medios de control

VI.- Interpretar resultados y establecer medios de control interno / externo

3.2.3.5 Instrucciones de proceso

Una vez instalada la línea de producción, se prosiguió con la documentación de los métodos de trabajo, ayudas visuales, auxiliares gráficos y criterios de aceptación de las diferentes operaciones del proceso, con el objetivo de difundírselos a los operadores que fuesen a realizar las actividades y más adelante pudiesen consultarlos. Con esta finalidad se crearon carpetas técnicas para su fácil acceso.

En cuanto a las instrucciones de trabajo, su finalidad fue la siguiente:

- Métodos de trabajo: en los métodos, se estableció un procedimiento el cual debía ser seguido por el operador para realizar la actividad. Los métodos establecían en el qué, cómo y cuándo de cada operación.
- Ayudas visuales: como ayuda para un entendimiento más completo de las operaciones, se realizaron documentos con figuras gráficas, las cuales explicaban detalles más específicos de una operación.
- Auxiliares gráficos: debido a la diversa variedad de números de parte, los auxiliares ayudaron a resumir que operación o proceso le correspondía a cada número, y así los operadores podrían distinguir y evitar producir material no conforme.
- Criterios de aceptación: en los criterios, se establecieron figuras gráficas las cuales mostraban lo bueno y lo malo de un proceso o actividad. Gracias a los criterios se podían identificar desde componentes buenos de malos hasta encintados correctos de incorrectos.

3.2.3.6 Plan de control

Con la finalidad de proporcionar productos manufacturados de calidad, se utilizó la metodología del plan de control con la cual se establecieron controles para lograr una minimización en la variación del producto y proceso.

Con esta metodología, se buscó la reducción del desperdicio y el incremento de la calidad de los arneses terminados.

Como se establece en el manual del AIAG, se utilizó un formato predefinido en el cual se establecieron las siguientes características:

- Cambios en las características del producto y proceso
- Métodos de control y características de medición

3.2.4 Probar capacidad del proceso

Durante la etapa de prueba de capacidad del proceso se llevó a cabo un seguimiento de las características establecidas durante la elaboración del plan de control, así como el cumplimiento de los requerimientos del cliente a través de la ejecución de cada una de las etapas establecidas en el diagrama de flujo del proceso.

En esta etapa se validó que el diseño del proceso manufacturara arneses eléctricos automotrices cumplieran con los requisitos establecidos por el cliente en la etapa de diseño y correctamente identificados en la etapa de identificación de las características del producto.

3.2.4.1 Liberaciones de seguridad y diseño de proceso

Con el objetivo de garantizar la seguridad y el cumplimiento de los requisitos de funcionalidad de la línea de producción, durante esta etapa se realizaron evaluaciones para verificar el cumplimiento en cuanto a ergonomía, seguridad y controles ambientales.

En cuanto a evaluaciones para la revisión del diseño de producción, se realizaron con el objetivo de garantizar el cumplimiento de acuerdo al diagrama de flujo de proceso. Esto para asegurar en el diseño de la línea la existencia desde un componente, hasta un método de trabajo que sirviera como referencia a cualquier operador para la ejecución de su actividad.

De manera general, en esta etapa se realizaron dos hojas de verificación (una de seguridad y una de liberación de línea) en las cuales se establecían el cumplimiento de los requisitos internos para poder autorizar el inicio de la manufactura de arneses eléctricos del “Clutch Jumper” modelo 2014.

3.2.4.2 Corrida de producción significativa

Una vez cumplida la restricción de la liberación de línea, se prosiguió con la demostración de que la línea de producción era capaz de manufacturar la cantidad de piezas solicitadas por día y con buena calidad.

A continuación, se muestran en la tabla 40 los requerimientos de producción solicitados por el cliente y la interpretación de los requisitos para el proceso por semana, día y hora del total de números de parte.

Tabla 40. Volúmenes para corrida de producción

Número de Arnés	Volumen de producción anual	Volumen de producción diario	Volumen de producción por hora	Volumen de producción por hora más 15%
26131843-01	0	0	0	0
26131844-01	217	0.868	1	1
26131845-01	0	0	0	0
26131846-01	0	0	0	0
26131847-01	102,010	408.04	27	31
26131848-01	50,429	201.716	13	15
26131849-01	35,420	141.68	10	11
26131850-01	85,018	340.072	22	26
26131851-01	33,837	135.348	9	11
26131852-01	23,480	93.92	7	7
Totales	330,411	1321.644	85.26	98.05

De acuerdo con la tabla de requerimientos se tenía que comprobar la manufactura de 98 piezas por hora en 5.5 días, de 2 turnos por día, con un total de 15.5 horas disponibles.

Para la demostración del cumplimiento de piezas por hora, se diseñó una curva de aprendizaje en la cual se estableció el tiempo necesario requerido por el personal para alcanzar el objetivo de producción por hora.

Como restricción para el diseño de la curva de aprendizaje se consideraron 20,000 piezas máximo de producción.

A continuación, se muestra un ejemplo de la curva de aprendizaje desarrollada:

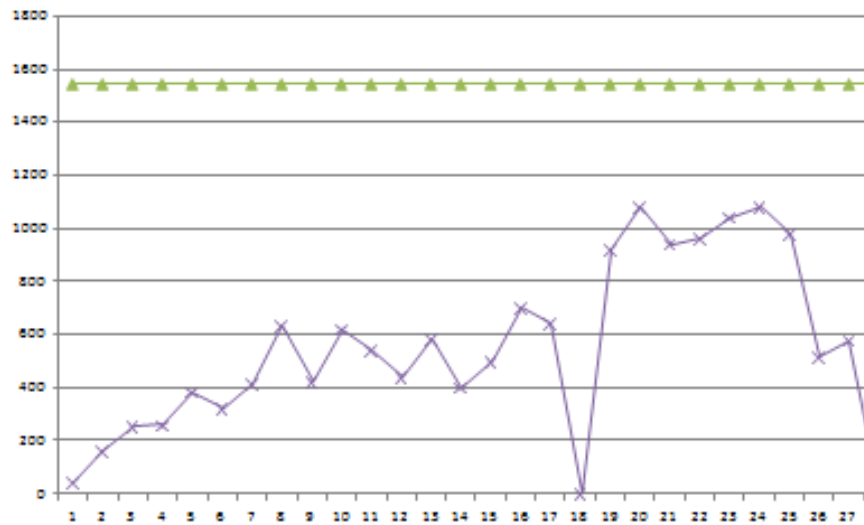


Figura 64. Curva de aprendizaje

Una vez diseñada la curva de aprendizaje (Figura 64), se prosiguió con la difusión de las instrucciones de trabajo en la línea de producción para comenzar con el armado de piezas.

En cuanto se logró el objetivo de producción, el siguiente paso fue demostrar al cliente la manufactura de la cantidad de piezas solicitadas en un turno de trabajo de 8 horas en lo que se le nombro “Run at Rate” para poder dar comienzo con la producción regular del nuevo modelo de arnés 2014.

3.2.4.3 Estudios preliminares de la capacidad del proceso

Durante la etapa de validación, una vez comenzada la curva de aprendizaje se comenzó con la recolección y tratamiento de datos con el fin de obtener estadísticas las cuales mostrarán el comportamiento de los diferentes procesos u operaciones.

En esta etapa se utilizaron herramientas para verificar que el proceso se encontrara en control estadístico, así como también que fuera capaz de producir las piezas de acuerdo con los requerimientos del cliente.

Adicional, se comenzó con la determinación de los RPNs más altos encontrados en el PFMEA y su correspondiente acción correctiva para disminuir su ocurrencia.

3.2.4.4 Pruebas de validación de la producción

Con la finalidad de garantizar la manufactura de arneses eléctricos dentro de las especificaciones del cliente, se desarrollaron pruebas destructivas a cierta cantidad de arneses eléctricos para validar el cumplimiento de las siguientes características:

- Cantidad de circuitos correcta
- Longitud de circuitos correcta
- Uso de cinta correcta
- Cantidad de cinta correcta
- Cantidad de conectores correcta
- Dimensiones de ramales dentro de tolerancias
- Cantidad de seguros correcta

3.2.5 *Producción de arneses*

La etapa de manufactura o producción de arneses eléctricos de “Clutch Jumper” modelo 2014 inicio cuando se terminó de manufacturar los modelos 2013.

Una vez demostrado al cliente el cumplimiento de la cuota de producción, se logró dar comienzo con la manufactura al 100% de los nuevos arneses 2014.

Durante la etapa de producción se realizaron actividades de difusión de instrucciones de trabajo, así como actividades de identificación de áreas de oportunidad para lograr la mejora continua de la calidad en los nuevos arneses modelo 2014.

La etapa de producción dio inicio una vez que se entregó la línea liberada al supervisor de manufactura para dar comienzo con el cumplimiento de los nuevos pedidos solicitados por el cliente.

3.2.6 Seguimiento a problemas de calidad y mejora continua

Como última etapa de la Planeación de la Calidad del Producto, se dio seguimiento a las diferentes áreas de oportunidad encontradas de manera interna en el proceso, así como las diferentes retroalimentaciones y quejas proporcionadas por el cliente que utilizaría los arneses eléctricos como materia prima para algunos de sus procesos.

Adicional a las retroalimentaciones, en esta etapa se propusieron e implementaron diferentes mejoras sugeridas con el objetivo de alcanzar ahorros en recursos humanos, materiales y económicos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño y desarrollo del proceso de producción

Durante la etapa de resultados se expusieron las actividades realizadas para dar cumplimiento al objetivo de diseñar, implementar y liberar la nueva línea de producción considerando las restricciones de recursos existentes y tomando en cuenta la manufactura de arneses para que cumplieran con los requisitos establecidos por cliente.

4.1.1 Análisis de capacidad del proceso

El análisis de capacidad del proceso se desarrolló para poder determinar la cantidad de recursos humanos y materiales requeridos para el comienzo de la fabricación de los nuevos arneses eléctricos de la familia “Clutch Jumper”.

Como primer paso se utilizó la técnica de tiempos predeterminados para establecer los tiempos establecidos para cada uno de los números de parte de la nueva familia de arneses.

A continuación, se mostrará el procedimiento realizado para determinar el tiempo estándar en minutos de cada una de las operaciones del arnés con mayor cantidad de circuitos y componentes.

Corte y aplicación de circuitos (45 circuitos y 90 terminales)

Tabla 41. Tiempos de corte

1.18	1.24	1.20	1.22	1.18	1.23	1.20	1.19	1.25	1.23
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Aplicación de soldadura ultrasónica (1 empalme)

Tabla 42. Tiempos de SONIC

0.21	0.16	0.17	0.20	0.17	0.19	0.20	0.23	0.25	0.22
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Aplicación de cinta Poliken (1 aplicación por empalme)

Tabla 43. Tiempos de Polikenado

0.15	0.22	0.21	0.23	0.22	0.21	0.20	0.21	0.22	0.19
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Trenzado de circuitos (2 pares de 985 milímetros de longitud)

Tabla 44. Tiempos de trenzado

0.24	0.19	0.27	0.25	0.30	0.28	0.26	0.27	0.27	0.28
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Pre-ensamble de circuitos (45 circuitos ensamblados en 9 conectores)

Tabla 45. Tiempos de ensamble

8.20	7.92	7.87	7.93	7.97	7.87	7.97	7.89	7.94	7.98
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Armado de arnés

Tabla 46. Tiempos de Armado de arnés

- Encintado de arnés

4.15	4.40	4.28	4.26	4.3	4.19	4.25	4.17	4.14	4.8
------	------	------	------	-----	------	------	------	------	-----

- Colocación de clips (11 clips cintillos y 3 clips encintados)

1.68	1.72	1.65	1.70	1.74	1.71	1.68	1.70	1.67	1.69
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

- Canaleta, cinta de identificación (1 canaleta y 1 amarre de color)

3.03	2.97	3.12	2.94	2.99	3.07	3.18	3.01	2.88	3.26
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Prueba Dimensional

Tabla 47. Tiempos de dimensión

0.55	0.56	0.60	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.53	0.56
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Prueba eléctrica (45 circuitos en 9 conectores)

Tabla 48. Tiempos de prueba eléctrica

0.53	0.54	0.54	0.50	0.55	0.54	0.52	0.49	0.51	0.55
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Comparación (9 conectores)

Tabla 49. Tiempos de comparación

0.54	0.55	0.53	0.54	0.55	0.53	0.51	0.50	0.53	0.52
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

GP12

Tabla 50. Tiempos de operación GP12

0.53	0.52	0.54	0.55	0.53	0.51	0.50	0.54	0.53	0.52
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Amarres (1 cintillo)

Tabla 51. Tiempos de amarrar arnés

0.42	0.45	0.46	0.42	0.44	0.46	0.45	0.44	0.43	0.40
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Empaque

Tabla 52. Tiempos de empacar

0.19	0.20	0.22	0.17	0.19	0.16	0.22	0.18	0.21	0.17
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 53. Tiempo estándar número de parte 26131849

Operación	Tiempo normal	Calificación	Suplementos	Tiempo estándar
Corte	1.21	100%	10%	1.33
Sonic	0.20	95%	10%	0.21
Poliken	0.20	95%	10%	0.21
Trenzado	0.26	100%	10%	0.29
Pre-ensamble	7.95	95%	10%	7.18
Armado	9.03	95%	10%	8.58
Dimensional	0.56	100%	10%	0.58
Prueba eléctrica	0.52	100%	10%	0.54
Comparación	0.53	100%	10%	0.58
GP12	0.53	100%	10%	0.58
Amarres	0.44	100%	10%	0.48
Empaque	0.19	100%	10%	0.21
			Total:	20.77

De acuerdo con la tabla 53, se pudo concluir que el tiempo de armado de un arnés 26131849 fue de 20.77 minutos.

A continuación de manera general se muestran en la tabla 54 los tiempos predeterminados obtenidos para el total de números de parte:

Tabla 54. Tiempos predeterminados familia "Clutch Jumper"

Números de parte	Total de circuitos	Tiempos estándar
26131843-01	34	18.77
26131844-01	12	9.12
26131845-01	36	18.67
26131846-01	39	19.34

Números de parte	Total de circuitos	Tiempos estándar
26131847-01	40	20.60
26131848-01	42	20.68
26131849-01	45	20.77
26131850-01	14	11.28
26131851-01	16	16.41
26131852-01	19	17.03

Los tiempos de manera gráfica son los siguientes:

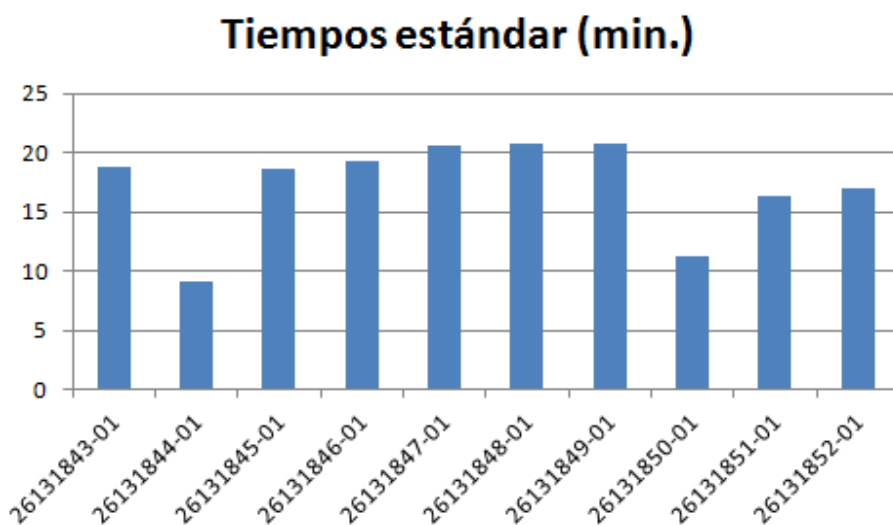


Figura 65. Gráfico de tiempos estándar por número de parte

Como se pudo visualizar en la figura 65, los números de parte que requirieron mayor tiempo fueron los números 26131849 y 26181848. Por otro lado, la gráfica de manera adicional indica los números de parte que llevarían menor tiempo para su manufactura, los cuales fueron el 26131850, 26131844 y 26131851.

Con respecto a la familia de arneses de la plataforma 2013, a continuación, se muestran en la tabla 55 los tiempos de manufactura de cada uno de los números de parte de arneses.

Tabla 55. Tiempos estándar familias 2013 y 2014

Números de parte modelo 2014	Total de circuitos	Tiempos estándar	Números de parte modelo 2013	Total de circuitos	Tiempos estándar
26131843-01	34	18.77	23958752-01	17	6.4
26131844-01	12	9.12	23958753-01	12	5.3
26131845-01	36	18.67	23958754-01	25	11.02
26131846-01	39	19.34	23958755-01	20	10.06
26131847-01	40	20.60			
26131848-01	42	20.68			
26131849-01	45	20.77			
26131850-01	14	11.28			
26131851-01	16	16.41			
26131852-01	19	17.03			

De manera gráfica también se muestra la diferencia entre cada uno de los tiempos por arnés de las familias 2013-2014.

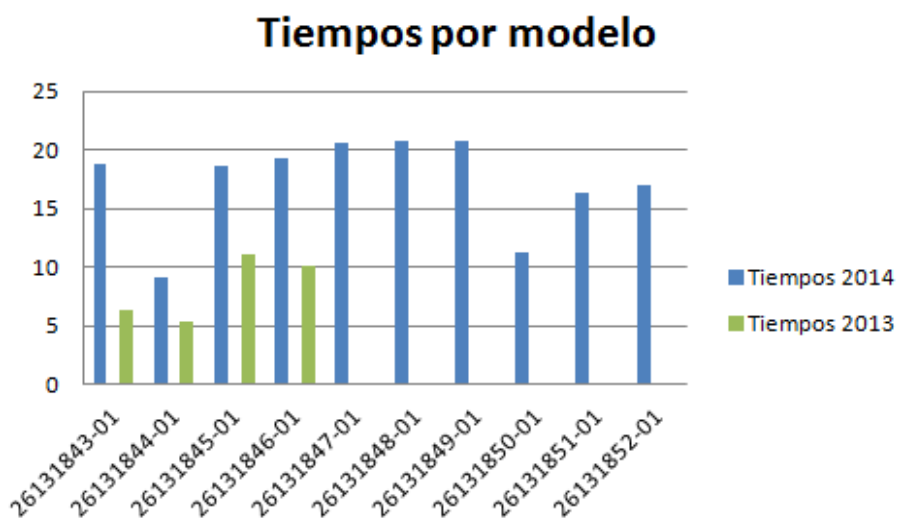


Figura 66. Gráfico de tiempos estándar por año modelo

De acuerdo con los tiempos observados en cada una de las barras mostradas en la figura 66, se pudo visualizar que los arneses de la familia 2014 requirieron mayor tiempo de manufactura. Tomando como referencia el número de parte con mayor cantidad de circuitos en cada uno de los modelos de arneses, se pudo concluir que para el modelo 2014, se incrementó en un 80% la cantidad de circuitos en esos arneses de la familia de “Clutch Jumper”.

Una vez obtenidos los tiempos para cada una de las actividades de los diferentes números de parte, se prosiguió con el cálculo del número de operadores y maquinaria a utilizar para el desarrollo del proceso.

Tabla 56. Tiempos estándar por operación y número de parte

Arnés	Corte	Preparación	Pre-ensamble / Armado	Pruebas finales	Tiempo total
26131843-01	0.70	0.30	15.47	2.30	18.77
26131844-01	0.32	0.00	6.50	2.30	9.12
26131845-01	0.77	0.30	15.30	2.30	18.67
26131846-01	0.80	0.30	15.47	2.77	19.34
26131847-01	1.25	0.71	15.67	2.97	20.60
26131848-01	1.28	0.71	15.72	2.97	20.68
26131849-01	1.33	0.71	15.76	2.97	20.77
26131850-01	0.38	0.25	8.35	2.30	11.28
26131851-01	0.43	0.25	13.43	2.30	16.41
26131852-01	0.51	0.25	13.97	2.30	17.03

De esta forma, una vez obtenidos los tiempos por operación de cada uno de los números de parte correspondientes de acuerdo con la tabla 56, se definió la cantidad de operadores requeridos para trabajar de manera directa con la fabricación de los arneses de “Clutch Jumper” modelo 2014

En la tabla 57 se muestran los recursos humanos requeridos para la manufactura de las 1520 piezas por día.

Tabla 57. Cantidad de personal modelo 2014

Operación	Operadores 1er turno	Operadores 2do turno
Corte	2	2
Sonic	0.5	0.5
Poliken	0.5	0.5
Trenzado	1	1
Pre-ensamble	10	10
Armado	13	13
Dimensional	2	2
Prueba eléctrica	2	2
Comparación	1	1
GP12	1	1
Amarres	1	1
Empaque	1	1
	35	35

A diferencia de la manufactura de los arneses del año modelo 2013, se utilizaron 169% más recursos humanos como se muestra en la tabla 58:

Tabla 58. Personal por año modelo

Operación	Operadores Modelo 2014	Operadores Modelo 2013
Corte	4	2
Sonic	1	0
Poliken	1	0
Trenzado	2	0
Pre-ensamble	20	0
Armado	26	18

Operación	Operadores Modelo 2014	Operadores Modelo 2013
Dimensional	4	1
Prueba eléctrica	4	2
Comparación	2	1
GP12	2	1
Amarres	2	0
Empaque	2	1
	70	26

En cuanto a la maquinaria y herramientas, en la siguiente 59 se muestran los recursos necesarios y los totales en dólares para la fabricación de la nueva línea de manufactura:

Tabla 59. Recursos materiales necesarios

Maquina	Disponible	No disponible	Requiere modificación	Cantidad necesaria	Precio (USD)	Total
Sónica				1	\$25,000	
Polikenadora				1	\$7,500	
Trenzadora				1	\$12,500	
Carrusel				1	\$25,000	
Tableros de armado				16	\$442	\$7,072
Tableros dimensionales				2	\$5,203	\$10,406
Bancos de prueba				2	\$13,715	\$27,430
Tablero de amarres				1	\$45	\$45
Base de dimensional				1	\$550	\$550

Maquina	Disponible	No disponible	Requiere modificación	Cantidad necesaria	Precio (USD)	Total
Soporte de re-trabajos				1	\$35	
Equipo de manejo de materiales				10	\$15	
Tapetes				10	\$81.30	\$813
Bajadas de aire, luz, red				7	\$230	
PC de empaque				1	\$2,800	
Tablero de información				1	\$200	
Pistola corta cintillos				2	\$92	\$184
Reguiletes				4	\$40	
Estación de pre-ensambles				11	\$192.31	\$2,115.41
Tinas para empaque				250	\$84	\$21,000
Espacio en m^2				22	-	-
					Total:	\$69,615.41

Como se muestra en la tabla 59, el precio total para la compra de herramientas y equipo fue de \$69,615.41, en caso de no haberse utilizado el mismo espacio y recursos disponibles de la línea de producción, los costos hubiesen resultado en:

Tabla 60. Precio de recursos materiales

Maquina	Cantidad necesaria	Precio (USD)	Total
Sónica	1	\$25,000	\$25,0
Polikenadora	1	\$7,500	\$7,50
Trenzadora	1	\$12,500	\$12,5
Carrusel	1	\$25,000	\$25,0
Tableros de armado	16	\$442	\$7,07
Tableros dimensionales	2	\$5,203	\$10,4
Bancos de prueba	2	\$13,715	\$27,4
Base de dimensional	2	\$550	\$1,10
Tablero de amarres	1	\$45	\$45
Soporte de re-trabajos	1	\$35	\$35
Equipo de manejo de materiales	10	\$15	\$150
Tapetes	26	\$81.30	\$2,11
Bajadas de aire, luz, red	7	\$230	\$1,61
Reguiletes	4	\$40	\$160
Estación de Pre-ensambles	11	\$192.31	\$2,11
PC de empaque	1	\$2,800	\$2,80
Tablero de información	1	\$200	\$200
Pistola corta cintillos	2	\$92	\$184
Tinas para empaque	250	\$84	\$21,0
Espacio en m^2	145	-	-
Total:		\$146,421.2	

De acuerdo con la información obtenida en las tablas 59 y 60, se pudo denotar una diferencia de \$ 76,805.79 dólares si no se hubiesen utilizado los mismos recursos de la línea de producción actual.

En cuanto a la productividad, se tiene el siguiente valor:

$$Productividad = \frac{Producción}{Materiales} = \frac{330,411 \text{ pzs/año}}{146,421.2 \text{ USD}} = 2.25 \text{ uni}$$

Ecuación 7. Productividad invirtiendo recursos nuevos

$$Productividad = \frac{Producción}{Materiales} = \frac{330,411 \text{ pzs/año}}{69,615.41 \text{ USD}} = 4.74 \text{ uni}$$

Ecuación 8. Productividad utilizando materiales disponibles

4.1.2 Diagrama de flujo definitivo

Para el establecimiento del flujo del proceso se establecieron treinta y dos operaciones las cuales se resumen a continuación en la tabla 61:

Tabla 61. Diagrama de flujo del proceso

Operación	Fabricar	Mover	Almacenar	Inspección	Descripción
	○	⇒	△	□	
5	X				Recibir documentos de embarque
10		X			Bajar materia prima a área de recibo
15	X				Dar de alta materia prima
20				X	Evaluar componentes en recibo
25		X	X		Ubicar componentes en almacén
30		X			Abastecer componentes al subalmacén
35	X				Capturar sistema de acuerdo a PEPS
40	X	X			Colectar componentes del almacén
45		X	X		Abastecer componentes a producción
75	X			X	Cortar, desferrar, aplicar sello y terminales
125	X			X	Aplicar empalmes Sónicos
130	X			X	Aislar empalmes con cinta
160	X			X	Trenzar circuitos
185	X			X	Unir circuitos en conectores / hacer prensables
190	X			X	Colocar componentes de retención
200	X			X	Encintar arnés

Operación	Fabricar	Mover	Almacenar	Inspección	Descripción
	○	⇨	△	□	
205	X			X	Colocar componentes de sujeción
210				X	Probar dimensionalmente
220				X	Probar eléctricamente
240				X	Comparar arnés
245				X	GP12
247	X	X		X	Retrabajo
250	X			X	Amarrar arnés
260	X			X	Empacar arnés
270				X	Auditar producto terminado
275		X			Enviar cajas al almacén de producto terminado
280	X				Capturar producto terminado en sistema
285		X	X		Ubicar en almacén de producto terminado
290	X				Elaborar programa de embarques
295	X				Emitir factura
300		X			Preparar material en rampa
305		X		X	Auditoria de rampa

Una vez establecido el diagrama de flujo y cada una de sus operaciones, se prosiguió con la elaboración del PFMEA de proceso.

4.1.3 PFMEA de proceso

Con la finalidad de obtener las funciones, los principales modos de falla, efectos, causas, severidades, controles y niveles de detección, se realizó un PFMEA de proceso en el cual se utilizaron únicamente las diecisiete operaciones que se establecieron en el diagrama de flujo de proceso con requerimiento de inspección.

A manera adicional, se realizó un listado de los principales RNP's (Risk Priority Numbers) obtenidos y sus respectivas acciones correctivas realizadas para los valores sombreados en color rojo mayores a 100.

En el *Anexo 1* se muestra a manera de ejemplificación, la evaluación realizada a las operaciones 160 y 210.

Una vez elaborado el PFMEA de proceso, se prosiguió con la evaluación de las RPN's para el establecimiento de controles para la solución de posibles problemas suscitados. A continuación, se muestra en la tabla 62 la evaluación realizada durante los meses marzo y abril.

Tabla 62. RPN's obtenidos

Número de operación	RPN combinado	Números de causas totales	# de causas > 100	RPN individual más alto	RPN combinado Marzo	RPN combinado Abril
20	168	2	0	84	168	168
75	3262	59	0	80	3262	3262
125	956	13	0	98	956	956
130	864	9	0	96	864	864
160	480	5	0	96	480	480
185	1066	15	3	192	1066	1066
190	288	4	0	96	288	288
200	540	6	0	96	540	540
205	432	6	1	144	360	432
210	208	4	0	60	208	208
220	704	8	0	96	704	704
240	1058	11	0	98	1058	1058
245	98	1	0	98	98	98
247	196	2	0	98	196	196
250	544	6	0	96	544	544
260	672	7	0	96	672	672
270	96	1	0	96	96	96
305	192	2	0	96	192	192
TOTAL		161	0	192	11752	11824

Una vez evaluados los RPN's de cada una de las operaciones, se seleccionaron los de mayor valor (color rojo) para establecer actividades con el objetivo de reducir la ocurrencia y las posibles PPMs como se muestra en la tabla 63.

Tabla 63. Acciones recomendadas

Item	# operación	Valor de RPN	Función y modo de falla	Acciones recomendadas	Fecha de ejecución	Responsabilidad
1	185	192	Unir circuitos / Subensambles en conectores	Dar seguimiento al programa de tarjetas amarillas. Difundir método de trabajo.	18-Feb-13	Ing. Procesos
2	185	120	Unir circuitos / Subensambles en conectores	Modificar método de trabajo.	11-Mar-13	Ing. Procesos
3	185	128	Unir circuitos / Subensambles en conectores	Revisar ayudas visuales y herramientas para ensamble.	10-May-13	Ing. Proceso
3	205	144	Colocar componentes de sujeción	Estudio de prueba de tensión de clips y colocación de criterios de aceptación.	15-Abr-13	Ing. Procesos

A continuación, se muestran en la figura 67 los diferentes niveles de RPN's obtenidos durante los meses marzo y abril.

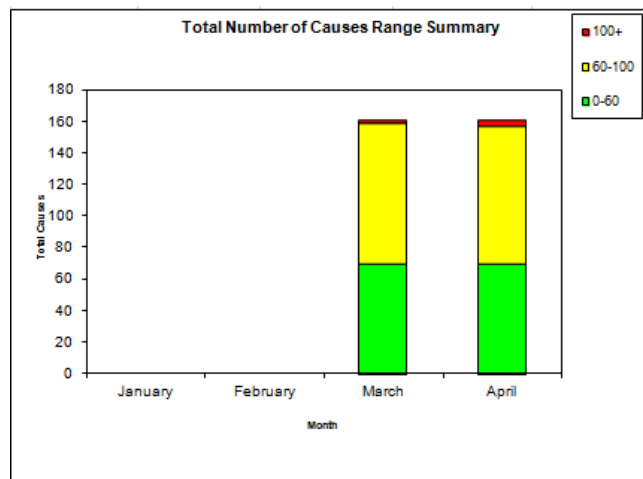


Figura 67. Valores de RPN's mensuales

4.1.4 Layout de proceso

Para la liberación previa al arranque de la línea se realizó una distribución de planta en la cual se visualizaron las estaciones de preparación, pre-ensamble, armado y pruebas finales de arneses. A continuación, en la figura 68 se muestra una distribución de planta en donde se indica el área asignada para la línea de armado de arneses de “Clutch Jumper modelos 2013 y 2014”:

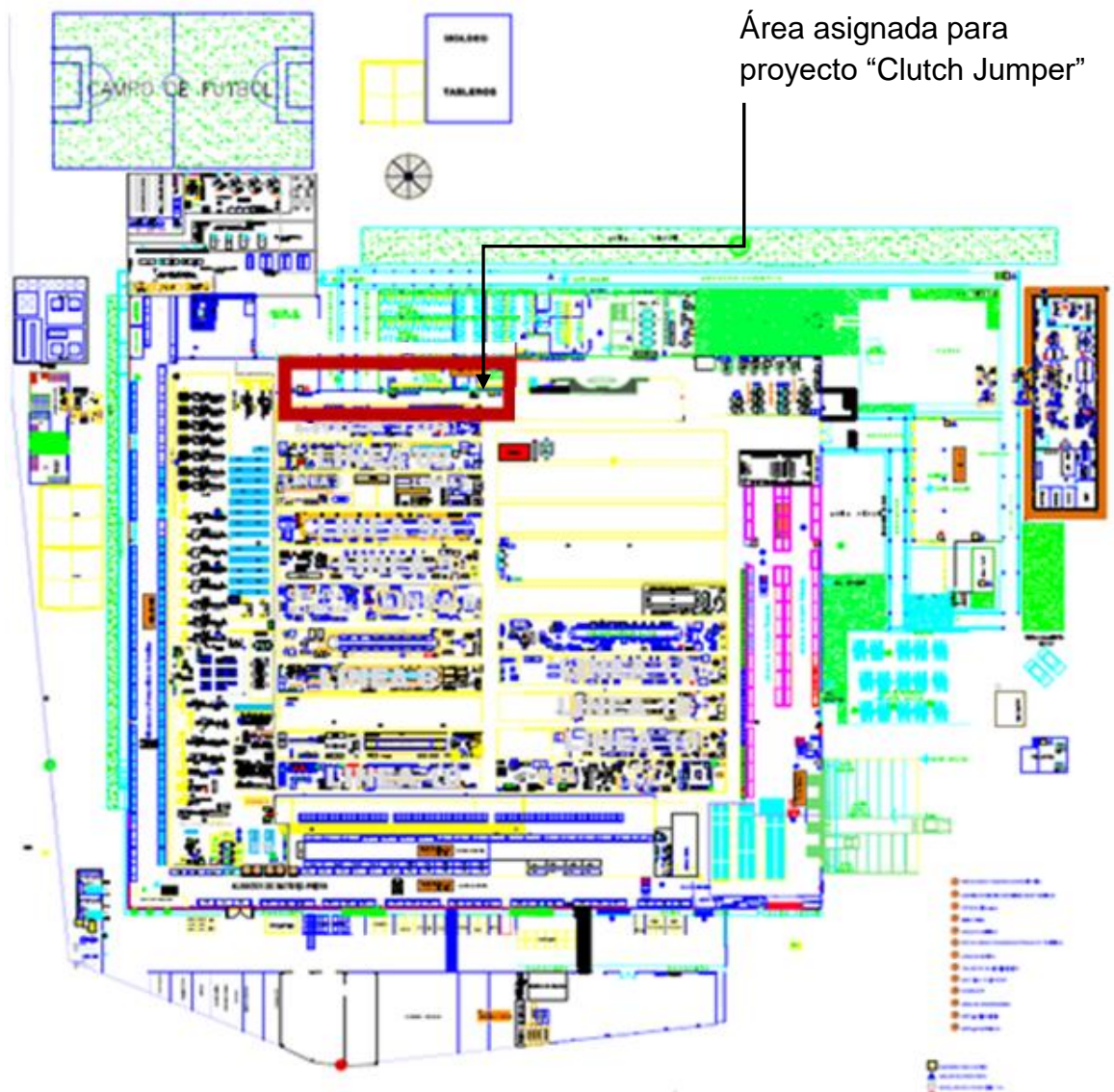


Figura 68. Distribución de planta global

En cuanto a la distribución general y a las distribuciones individuales de cada una de las estaciones, estas se muestran en las siguientes figuras:

- Distribución de planta de línea

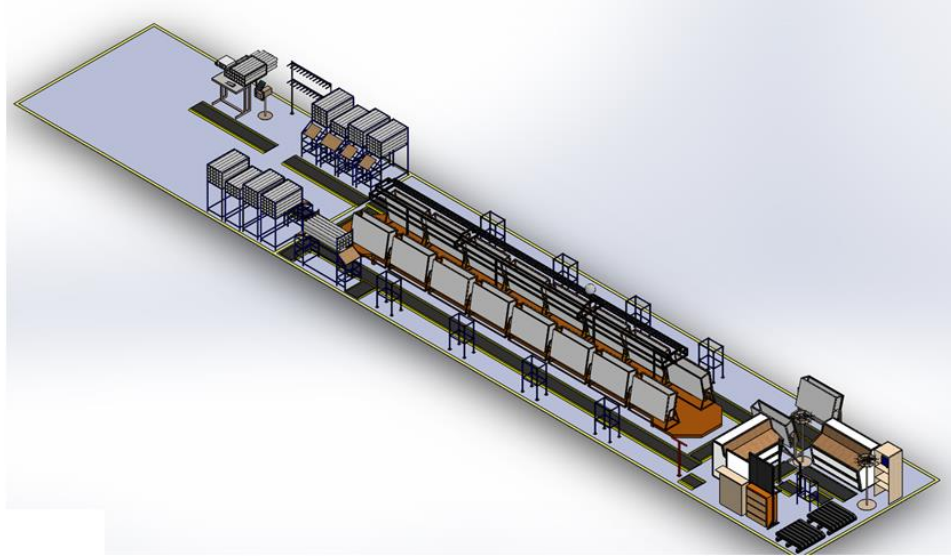


Figura 69. Distribución 3D de línea de manufactura “Clutch Jumper”

- Layout de estaciones de preparación y pre-ensambles

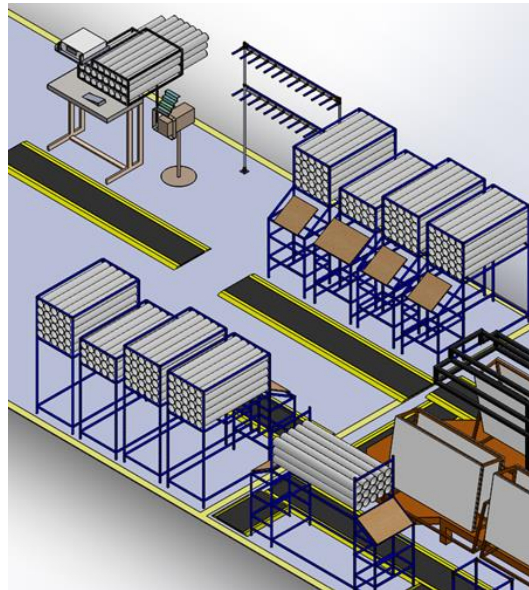


Figura 70. Distribución 3D de preparación y pre-ensambles

- Vista aérea de estación de pre-ensambles

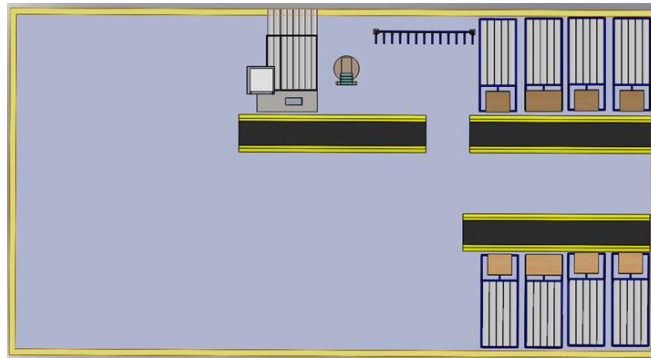


Figura 71. Vista superior de estación de pre-ensambles

- Layout de estación de armado

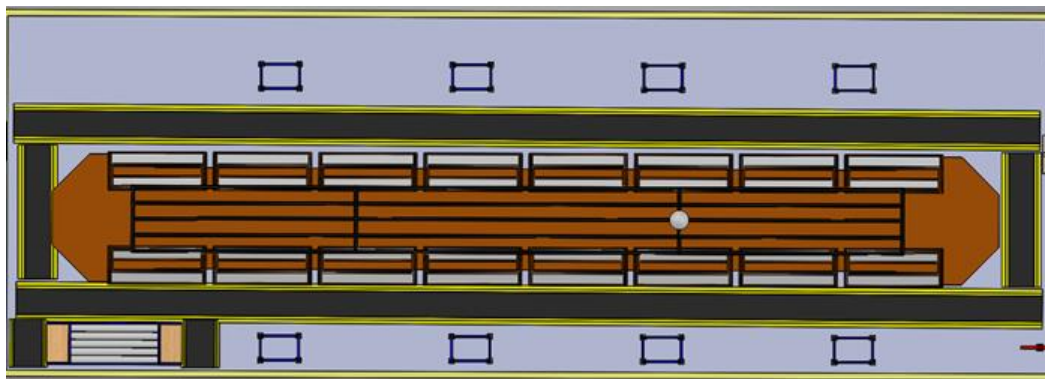
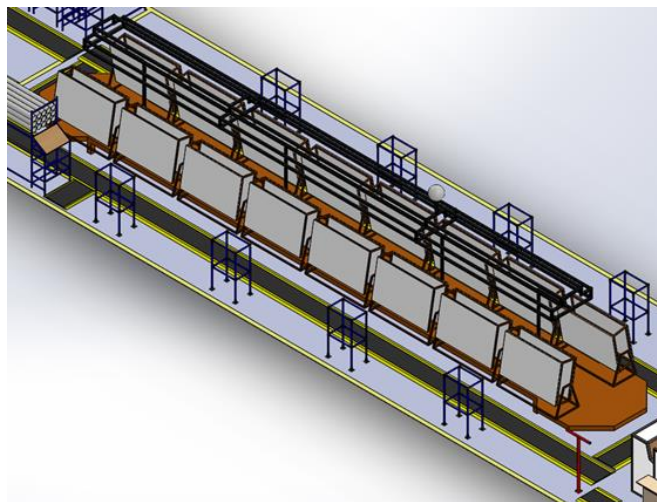


Figura 72. Layout de estación de armado

- Layout de estación de pruebas finales

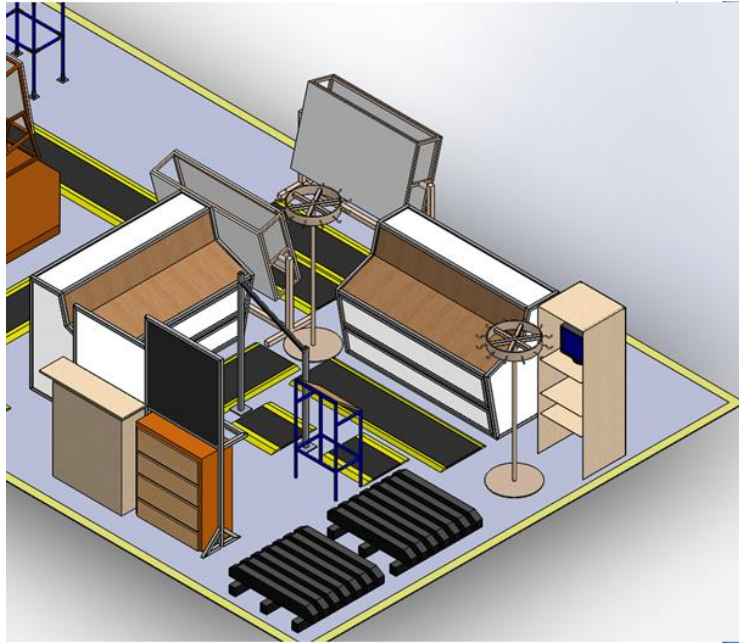


Figura 73. Vista 3D de estación de pruebas finales

- Vista aérea de estación de pruebas finales

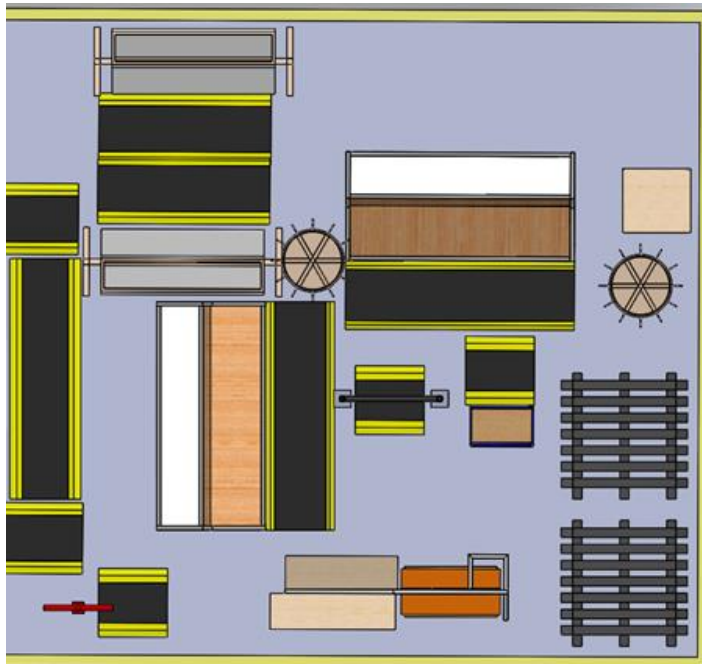


Figura 74. Vista superior estación de pruebas finales

Para la distribución de planta actual, se utilizaron los siguientes metros cuadrados de área:

Tabla 64. Metros cuadrados utilizados por áreas de trabajo

Estación	Metros cuadrados
Pre-ensambles	22 m ²
Armado	90 m ²
Pruebas finales	32 m ²

Como se estableció en la tabla 64, únicamente se incrementó en un 18% el espacio disponible para la manufactura de los nuevos modelos de arneses eléctricos 2014.

4.1.5 Estudios ergonómicos

Como se mencionó en la etapa de metodología y con el objetivo de garantizar unas condiciones laborales adecuadas para los trabajadores, se realizaron evaluaciones ergonómicas haciendo uso de los sistemas LEST y RULA. A continuación, se muestra el desarrollo de cada uno de los métodos:

Método LEST

El primer método utilizado fue el método LEST, el cual calificó de manera general cada una de las estaciones de trabajo incluidas en la línea de manufactura de arneses modelo 2014. Para el uso de este método, se hizo uso del software LEST obtenido en la página web ergonautas.com. Después de introducir los valores observados y calculados solicitados por el software en cuanto a los aspectos; carga física, entorno físico, carga mental, aspectos psicosociales y tiempos de trabajo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 65. Puntuación y colores asignados método LEST

Color	Explicación
0,1,2	Situación satisfactoria.
3,4,5	Débiles molestias. Algunas mejoras podrían aportar más comodidad al trabajador.
6,7	Molestias medias. Existe riesgo de fatiga.
8,9	Molestias fuertes. Fatiga
10	Nocividad.

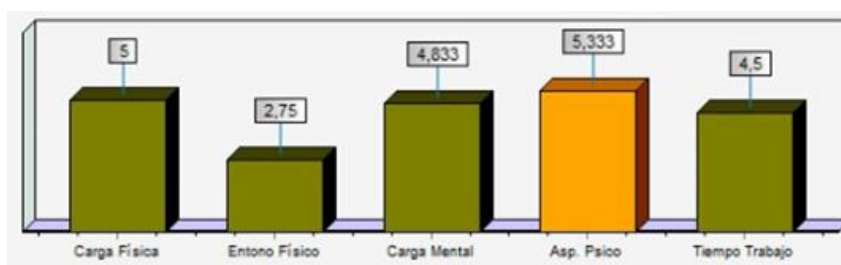


Figura 75. Valores obtenidos por método LEST

Como se pudo observar en la tabla 65 y figura 75, en los resultados obtenidos para los aspectos de carga física, entorno físico, carga mental y tiempo de trabajo se encontraron molestias débiles pero satisfactorias para los trabajadores. Aunque resultaría conveniente el mejorar las estaciones de trabajo si la organización así lo necesitara. Por otro lado, se pudo observar que el valor para los aspectos psicosociales resulto un poco elevado lo cual significó que era posible que se llegaran a tener riesgos de fatiga en los trabajadores como se observó en la siguiente figura.

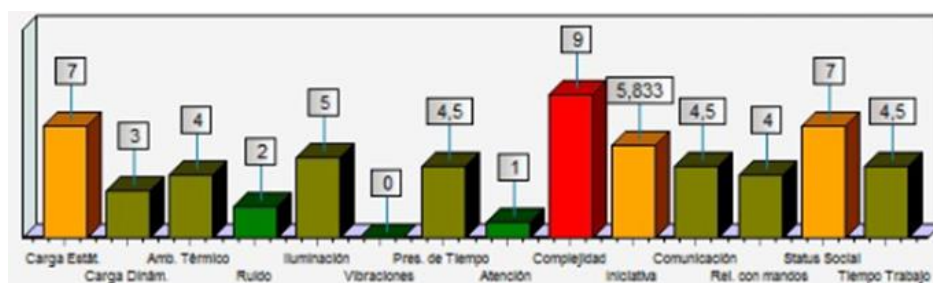


Figura 76. Valores individuales obtenidos por método LEST

En la figura 76 se mostró claramente que la variable complejidad del aspecto carga mental se localizó en un estado de molestias fuertes y esto debido a que la actividad de ensamble de circuitos en conectores y aplicación de empalme sónico fueron actividades que requirieron de mucha concentración. De igual manera, las variables status social e iniciativa se encontraron con molestias medias debido a la complejidad de las operaciones.

Método RULA

El método LEST realizado con anterioridad mostró de manera general las condiciones de las diferentes áreas de trabajo pero no estableció los principales riesgos físicos a los que se encontraban expuestos los trabajadores. Para poder conocer dichos riesgos, se hizo uso del método RULA el cual evaluó los principales miembros superiores e inferiores del cuerpo.

Al igual que en el método LEST, se hizo uso del software RULA incluido en la página web ergonautas.com.

Una vez introducidos los datos solicitados para cada uno de los grupos A (brazo, antebrazo y muñeca) y B (Cuello, tronco y piernas) se obtuvieron los siguientes resultados:

Grupo A

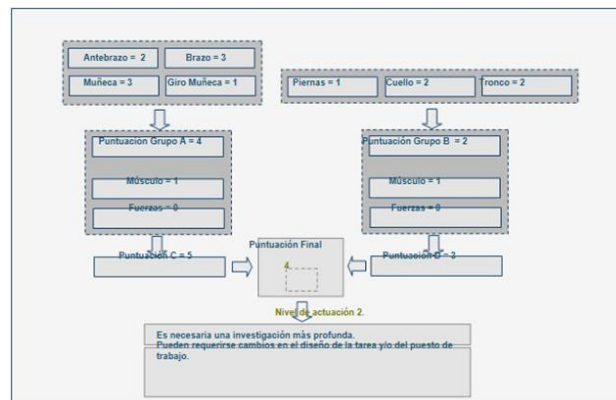


Figura 77. Puntuaciones obtenidas de miembros derechos

Grupo B

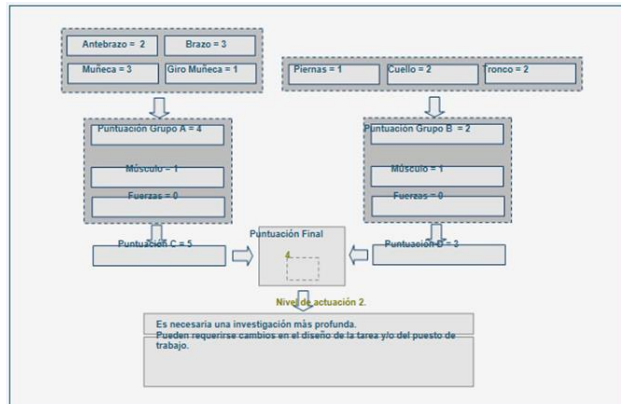


Figura 78. Puntuaciones obtenidas de miembros Izquierdos

De acuerdo con las puntuaciones obtenidas en las figuras 77 y 78, se concluyó que las puntuaciones totales para los miembros derechos e izquierdos fueron de 4.

Tabla 66. Puntuaciones finales método Rula

Zona corporal	Postura	Uso muscular	Fuerza	Puntuaciones C y D	Puntuación Total	Nivel de Actuación	
Grupo A	Derecho	4	1	0	5	4	<p>Es necesaria una investigación más profunda. Pueden requerirse cambios en el diseño de la tarea y/o del puesto de trabajo.</p> <p>Es necesaria una investigación más profunda. Pueden requerirse cambios en el diseño de la tarea y/o del puesto de trabajo.</p>
	Izquierdo	4	1	0	5	4	
Grupo B	2	1	0	3			

Por lo cual de acuerdo con los resultados de la tabla 66, se concluyó en recomendar una investigación más profunda de las estaciones de trabajo, aunque las actuales no se consideraron insatisfactorias para el desarrollo de las actividades de los trabajadores.

4.1.6 Evaluaciones ambientales

Con el objetivo de garantizar el cumplimiento del cuidado del medio ambiente, se realizó una evaluación de aspectos e impactos ambientales para determinar posibles aspectos significativos y así poder establecer acciones y medios de control. A continuación, se muestra el procedimiento y los resultados obtenidos:

A).- Establecer los principales aspectos ambientales de las operaciones de manufactura del modelo 2014 de acuerdo con la tabla 67.

Tabla 67. Principales aspectos ambientales

Operación	Aspectos ambientales	
Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de ruido • Generación de residuos • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruido de máquinas cortadoras • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica
Sonic	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica
Polikenado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico
Trenzado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica
Pre-ensambles	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico
Armado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica
Dimensional	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica
P. eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica
Comparación	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
GP12	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Amarres	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica

B).- Establecer los posibles impactos ambientales de las operaciones de manufactura del modelo 2014 y establecer los tipos de categorías de acuerdo con la tabla 68.

Tabla 68. Impactos y categorías disponibles

Operación	Impacto ambiental	Categoría
Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del ambiente laboral • Afectación del suelo por residuos • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • R • CS • URN
Sonic	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del suelo por residuos • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • CS • URN
Polikenado	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del suelo por residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • CS
Trenzado	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del suelo por residuos • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • CS • URN
Pre-ensambles	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del suelo por residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • CS
Armado	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación del suelo por residuos • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • CS • URN
Dimensional	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • URN
P. eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • URN
Comparación	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
GP12	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Amarres	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de disponibilidad de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • URN

C).- Establecer criterios de calificación y obtener las puntuaciones individuales por criterio y cálculo de puntuaciones totales de acuerdo a tabla 69.

Tabla 69. Cálculo de puntuaciones

Operación	Categoría	L	C	CO	FI	PP	I	Total
Corte	• R	6	2	0	1	1	3	13
	• CS	6	2	0	0	0	3	11
	• URN	6	2	0	0	0	3	11
Sonic	• CS	6	2	0	0	0	3	11
	• URN	6	2	0	0	0	3	11
Polikenado	• CS	6	2	0	0	0	3	11
Trenzado	• CS	6	2	0	0	0	3	11
	• URN	6	2	0	0	0	3	11
Pre-ensambles	• CS	6	2	0	0	0	3	11
Armado	• CS	6	2	0	0	0	3	11
	• URN	6	2	0	0	0	3	11
Dimensional	• URN	6	2	0	0	0	3	11
P. eléctrica	• URN	6	2	0	0	0	3	11
Comparación	• N/A	0	0	0	0	0	0	0
GP12	• N/A	0	0	0	0	0	0	0
Amarres	• N/A	0	0	0	0	0	0	0
Empaque	• URN	6	2	0	0	0	3	11

D).- Establecer aspectos ambientales significativos y medios de control de acuerdo a tabla 70.

Tabla 70. Puntuaciones finales

Operación	Categoría	Total
Corte	• R	13
	• CS	11
	• URN	11
Sonic	• CS	11
	• URN	11
Polikenado	• CS	11
Trenzado	• CS	11
	• URN	11
Pre-ensambles	• CS	11
Armado	• CS	11
	• URN	11
Dimensional	• URN	11
P. eléctrica	• URN	11
Comparación	• N/A	0
GP12	• N/A	0
Amarres	• N/A	0
Empaque	• URN	11

Como se pudo observar en las tablas 69 y 70, no se contó con alguna operación en la cual la suma de cada uno de los criterios o cada criterio individual cumpliera con la condición establecida en la tabla 39. En otras palabras, la nueva línea de manufactura no generó aspectos los cuales se consideraran significativos o que afectarían al medio ambiente.

E).- Interpretar resultados y establecer medios de control interno / externo de acuerdo con la tabla 71.

A pesar de la ausencia de aspectos significativos, se definieron algunos controles internos para el manejo de los aspectos no significativos existentes.

Tabla 71. Controles y resultados obtenidos

Operación	Aspecto ambiental	Controles
Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Ruido de máquinas • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios mensuales de ruido • Uso de contenedores ecológicos • Concientización del personal
Sonic	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de contenedores ecológicos • Concientización del personal
Polikenado	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de contenedores ecológicos
Trenzado	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de contenedores ecológicos • Concientización de personal
Pre-ensambles	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de contenedores ecológicos
Armado	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de papel y plástico • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de contenedores ecológicos • Concientización del personal
Dimensional	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización del personal
P. eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización del personal
Comparación	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
GP12	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Amarres	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización del personal

La tabla 71 indicó los controles internos utilizados para el control de los diferentes aspectos ambientales los cuales ayudaron a la contribución del cuidado del medio ambiente.

Con la evaluación ambiental realizada, se pudo concluir que se respetó el sistema de gestión ambiental y se conservaron los controles para los diferentes aspectos ambientales existentes.

En cuanto al cumplimiento legal (IMDS) de la manufactura de los componentes, los resultados se muestran a continuación:

Tipo	Nombre	ID/Versión	Número interno	Número externo	transmitido	a la empresa (unidad org.) [N.º ID]	Estado	Último estado de modificación
7	WRG ASM CLUTCH JUMPER All GADSL substance...	407992362 / 1	23131843-01	23131843	25/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	26/02/2013
7	WRG ASM -BRAKE CLUTCH K2XX All GADSL subst...	462238072 / 1	23131844-03	23131844	5/12/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	6/12/2013
7	WRG ASM-BRAKE CLUTCH JUMPER All GADSL sub...	405993097 / 1	23131846-01	23131846	25/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	
7	WRG ASM-BRAKE CLUTCH JUMPER All GADSL subst...	406091742 / 1	23131848-01	23131848	25/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	
7	WRG ASM-BRAKE CLUTCH JUMPER All GADSL subst...	406032357 / 1	23131847-01	23131847	25/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	
7	WRG ASM-BRAKE CLUTCH K2XX All GADSL subst...	408651875 / 1	23131851-01	23131851	21/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	
7	WRG ASM-BRAKE CLUTCH K2XX All GADSL subst...	407551394 / 1	23131852-01	23131852	20/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	
7	WRG ASM-BRAKE CLUTCH K2XX All GADSL subst...	407474062 / 1	23131850-01	23131850	20/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	
7	WRG ASM -BRAKE CLUTCH K2XX All GADSL subst...	407432469 / 1	23131849-01	23131849	20/02/2013	General Motors-NA Vehicle Operations...	aceptado	

Figura 79. Resultados de IMDS

Como se observó en la figura 79, se pudo visualizar en la columna “Estado” el resultado obtenido de la evaluación de cada uno de los componentes de los diferentes números de parte. Por lo cual al aparecer la leyenda “aceptado” se concluyó que los arneses cumplieron en cuestiones legales y ambientales.

4.1.7 Métodos e instrucciones de trabajo

La siguiente etapa una vez diseñada e instalada la línea de manufactura del nuevo año modelo de arneses 2014, consistió en elaborar y documentar las diferentes instrucciones de trabajo que sirvieran tanto para difusión a los operadores como para consultas futuras por parte de los mismos. Las principales instrucciones realizadas fueron; métodos de trabajo, ayudas visuales, auxiliares gráficos, criterios de aceptación y hojas de instrucción e inspección. A continuación, se muestran algunas instrucciones de trabajo elaboradas:

Métodos de trabajo

SECUENCIA DE ARMADO													
CÓDIGO:				POSICIÓN									
GM K2XX ZG 1614				1		Método de Trabajo. Ingeniería de procesos		26131843	26131845	26131846	26131847	26131848	26131849
CLAVE	MTCJ001	REV.: 1	FECHA: 25/06/13	PÁG.: 1 DE: 6	NIVEL:		01	01	01	01	01	01	
No.	ACTIVIDAD			COMPONENTE	COLOR:	CONTRA:							
	AL COMENZAR TU TRABAJO DEBES USAR TU EQUIPO DE SEGURIDAD SIGUIENTE: UNIFORME												
	Tomar y ensamblar conector			13507433		7	X	X	X	X	X	X	X
	Tomar y ensamblar circuitos			1274A	Café obscuro / Rojo		X	X	X	X	X	X	X
				1162A	Verde Claro / Blanco		X	X	X	X	X	X	X
				1272A	Negro / Morado		X	X	X	X	X	X	X
				1164A	Blanco / Rojo		X	X	X	X	X	X	X
				1161A	Amarillo / Blanco		X	X	X	X	X	X	X
				1271A	Negro / Azul Oscuro		X	X	X	X	X	X	X
	Tomar y ensamblar conector			15326829		15	X	X	X	X	X	X	X
	Tomar y ensamblar circuitos			1274A	Café Oscuro / Rojo		X	X	X	X	X	X	X
				1162A	Verde Claro / Blanco		X	X	X	X	X	X	X
				1272A	Negro / Morado		X	X	X	X	X	X	X
				1164A	Blanco / Rojo		X	X	X	X	X	X	X
				1161A	Amarillo / Blanco		X	X	X	X	X	X	X
				1271A	Negro / Azul obscuro		X	X	X	X	X	X	X
	Cerrar seguro interno						X	X	X	X	X	X	X
	Tomar conector ensamblado			13507433		7		X	X	X	X	X	X
	Tomar y ensamblar circuitos			5360A	Negro / Café obscuro			X	X				
				5359A	Blanco			X	X				
				5361A	Azul obscuro / Amarillo			X	X				
				7478A	Amarillo / Negro						X	X	X
				7477A	Blanco/Rojo						X	X	X
				7479A	Blanco / Verde claro						X	X	X
	Cerrar seguro interno						X	X					

Figura 80. Método de ensamble de circuitos

Como se observó en la figura 80, el método de trabajo de pre-ensambles establece los pasos y secuencia necesaria para el ensamble de los conectores 13507433 y 15326829 de los números de parte 26131843-46-47-48 y 49.

Con la elaboración y documentación de este tipo de método de trabajo, fue factible la manufactura de los dos tipos de pre-ensambles necesarios para el armado de los números de parte mostrados.


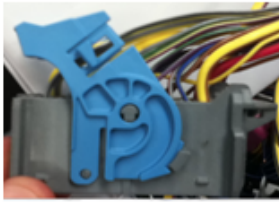

SECUENCIA DE ARMADO									
CÓDIGO:				POSICIÓN					
GM K2XX ZG 1614				1		Método de Trabajo. Ingeniería de procesos		26131843	26131844
								26131845	26131846
								26131847	26131848
								26131849	26131850
								26131851	26131852
CLAVE:	REV.:	FECHA:	PÁG.:	DE:	NIVEL:				
MTCJ003	3	23/05/13	1	15		01	01	01	01
N.º	ACTIVIDAD	COMPONENTE	COLOR:	CONTRA:					
AL COMENZAR TU TRABAJO <small>DEBES USAR TU EQUIPO DE SEGURIDAD SIGUIENTE: UNIFORME</small>									
1-	Tomar Preensamble 1 de gancho y rutear					X	X	X	X
						X	X	X	X
2-	Tomar y colocar seguro (Bracket) en conector 135	15521354				X	X	X	X
						X	X	X	X
2-	Tomar y colocar seguro (Bracket) en conector 135	15521354				X	X	X	X

Figura 81. Método de armado de arneses

De acuerdo con la figura 81, se estableció la primera posición del método de armado de arneses en el cual se establecieron los diferentes pasos para el ruteo, encintado y colocación de clips en los arneses 26131843-45-46-47-48 y 49.

AREA	OPERACION	LINEA	METODO DE TRABAJO
PREPARACION	APLICAR EMPALMES SONICOS		INGENIERIA DEL PROCESO
CLAVE: MTCJ015	REVISION: 1	FECHA: 04/04/2013	PAG: 1 DE 2
NO.	ACTIVIDAD		
1	<p>AL COMENZAR TU TRABAJO</p> <p>Debes usar el equipo de seguridad que te indique la información de seguridad dentro de la carpeta técnica.</p> <p>"Al iniciar tu trabajo en la estación, debes de llenar el formato FMT-063 Set-up"</p> <p>DURANTE TU TRABAJO</p> <p>De acuerdo al empalme a realizar, consulta la ayuda visual AVCJ010 y el auxiliar gráfico AGCJ003 (en la carpeta técnica) para determinar el número de programa, configuración y tipo de aislamiento para esa aplicación. Cada vez que cambie el número de parte, localiza la ayuda visual del nuevo empalme a fabricar.</p> <p>Programa la máquina sónica (con el número de programa que te marca la ayuda visual del empalme o carga de máquina) y verifica que los parámetros de operación de la máquina sean los correctos contra la carta de operación (la programación de la máquina sólo debes hacerla con el primer empalme o cuando cambies a un empalme con diferente programa).</p> <p>En caso de que los parámetros de operación no sean los correctos, avisa al personal de mantenimiento.</p> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <p>Tomar los circuitos requeridos para la unión, retirar el semi-desforre, alinea y acomode los filamentos de los circuitos conforme a las ayudas visuales de configuración de empalme y colócalos en el aplicador o yunque (ver imagen).</p> <p>NOTA: verifícos que todos los cables tengan semi-desforre al realizar la aplicación.</p>  <p>2 Una vez alineados los circuitos para el empalme, acciona el pedal de la máquina para unir los circuitos; verifica visualmente la aplicación contra el criterio de aceptación CACJ007.</p> <p>Nota: Cada inicio de turno o cambio de programa realiza una prueba de tensión en la estación del dinamómetro utilizando tres piezas. Para conocer la tensión que debe soportar el empalme utiliza el auxiliar gráfico AGCJ005.</p>		
EMITIDO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	
INGENIERO DE PROCESOS	INGENIERO DE PROCESOS	SUPERVISOR DE INGENIERIA	

PI-0038 Rev 03

Figura 82. Método de aplicación de empalmes

El método de trabajo de aplicación de empalmes sónicos mostrado en la figura 82, indicó la secuencia de pasos de manera escrita y visual de la forma en la que se debió de aplicar los empalmes ultrasónicos para su realización de manera correcta.

AREA LINEA FINAL	OPERACION: PRUEBA DIMENSIONAL	LINEA	MÉTODO DE TRABAJO INGENIERIA DEL PROCESO
CLAVE: MICJ018	REVISION: 0	FECHA: 23/02/12	PAG: 1 DE: 2
NO. ACTIVIDAD			
AL COMENZAR TU TRABAJO DEBES USAR EL EQUIPO DE SEGURIDAD QUE SE INDICA EN LAS HOJAS DE SEGURIDAD. DURANTE TU TRABAJO			
1	ENCIENDE EL TABLERO DE PRUEBA DIMENSIONAL 		
2	SELECCIONA EL NUMERO DE PARTE QUE SE VA A TRABAJAR Y CONFIGÚRALO EN EL MONITOR.  		
3	RUTEA EL ARNÉS EN EL TABLERO DE PRUEBA PARA COMENZAR LA PRUEBA. 		
EMITIDO POR: INGENIERO DE PROCESOS	REVISADO POR: ING. DE PROCESOS	APROBADO POR: SUPERVISOR DE INGENIERIA	
FII-003B REV(0)			

Figura 83. Método de prueba dimensional

De acuerdo con la figura 83, se visualizó el método de trabajo para la elaboración de la prueba dimensional para la familia de arneses de “Clutch Jumper”. El método de trabajo propuesto estableció de manera escrita y grafica los pasos a seguir para realizar una prueba dimensional de manera correcta. En el método se estableció desde el encendido del tablero hasta su apagado en caso de no ser utilizado.

Al igual que para la prueba dimensional, se realizaron métodos de trabajo para las operaciones de prueba eléctrica, comparación, GP12, amarres y empaque.

En las figuras 84 y 85, se ejemplificaron un auxiliar gráfico y una ayuda visual. En el auxiliar se establecieron los códigos de trenzados que se requirieron para cada número de parte a fabricar y la cantidad de vueltas a programar para cumplir con el requisito del cliente en cuanto a vueltas. Por otro lado, la ayuda visual mostró de manera gráfica la configuración que debió de tener un trenzado para que fuera realizado de manera correcta. La ayuda visual estableció los componentes y los números de parte a los que aplicó cada tipo de configuración o código.

Crterios de aceptación

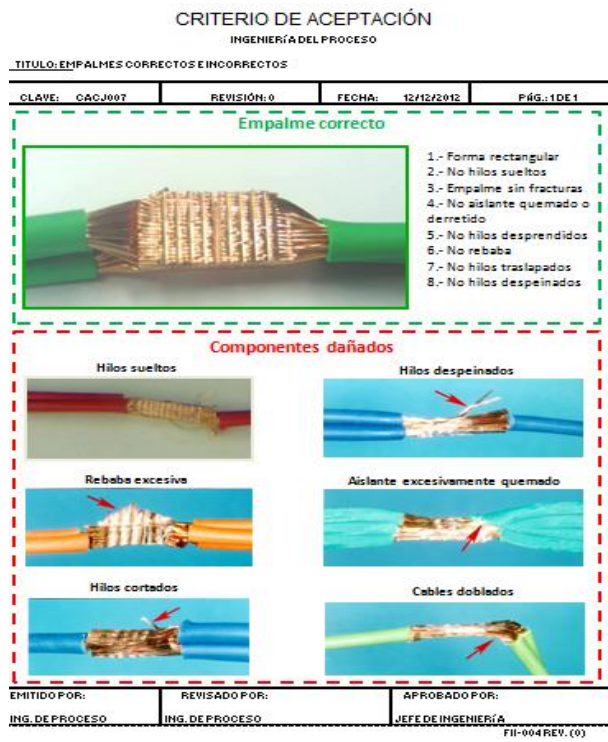


Figura 86. Criterio de empalmes ultrasónicos

El criterio de aceptación mostrado en la figura 86, estableció de manera visual lo que fue bueno (correcto) y lo que fue malo (Incorrecto) para la calidad de un producto. Lo correcto pasó a la siguiente estación de trabajo y lo incorrecto se envió a desperdicio o re-trabajo según fue el caso.

Hojas de instrucción e inspección

HOJA DE INSTRUCCIÓN DE INSPECCIÓN						
OPERACIÓN 280 AMARRAR ARNES						
NOMBRE DE LA OPERACIÓN	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	MATERIALES	HERRAMIENTAS	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
AMARRAR ARNES						

COPIA CONTROLADA
No. 1
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

Figura 87. Hoja de instrucción e inspección

Las hojas de instrucción e inspección como la mostrada en la figura 87, fueron procedimientos que debieron de llevar a cabo los operadores con el objetivo de garantizar la calidad de los productos.

4.1.8 Plan de control

Una vez definido el diagrama de flujo del proceso y establecidos los modos de falla en el PFMEA de procesos se comenzó con la elaboración de un plan de control en donde se definieron las especificaciones o tolerancias del producto y proceso con el fin de diseñar e implementar métodos de control y planes de reacción que fuesen necesarios de acuerdo a cada actividad realizada por estación de trabajo. Por otro lado, de manera adicional, se realizó una elección del tipo de técnica a utilizar para realizar la evaluación del sistema de medición de las estaciones involucradas en el proyecto “Clutch Jumper” 2014. En el Anexo 2 se estableció un ejemplo del plan de control para las operaciones 160 (trenzado) y 210 (prueba dimensional).

4.2 Prueba de capacidad del proceso de producción

Durante la etapa de validación se realizaron evaluaciones a las diferentes estaciones de trabajo para garantizar el cumplimiento del proceso de manufactura y de los arneses terminados con respecto a los requisitos establecidos por el cliente. A continuación, se documenta el seguimiento realizado.

4.2.1 Preparación y primera corrida de producción

Una vez colocada la línea de producción y difundidas las diferentes instrucciones de trabajo necesarias para la correcta manufactura de los nuevos arneses eléctricos, se prosiguió con el diseño y preparación del personal para alcanzar los objetivos de producción contratados con el cliente. A continuación, en la tabla 72 se muestran las fechas establecidas para la preparación del personal para la fabricación del nuevo año modelo.

Tabla 72. Programa de arranque y cierre de año modelo

Producción regular modelo 2013										
Fabricación de eventos modelo 2014										
Curva de aprendizaje modelo 2014										
Demostración con el cliente										
Inicio de producción 2014										
	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13

En cuanto a los objetivos de producción contratados por el cliente estos se muestran a continuación:

Tabla 73. Requerimientos de producción por turno

ARNES	CLIENTE	LOTE ANUAL	LOTE SEM	LOTE X DIA	PZAS X HORA	1er TURNO	2do TURNO
26131844-01	23005	250	5	1	0	1	1
26131847-01	23005	117,250	2,345	469	30	235	235
26131848-01	23005	58,000	1,160	232	15	116	116
26131849-01	23005	40,750	815	163	11	82	82
26131850-01	23005	97,750	1,955	391	25	196	196
26131851-01	23005	39,000	780	156	10	78	78
26131852-01	23005	27,000	540	108	7	54	54
				Total x día	1,520	98	760

De acuerdo con los datos obtenidos de la tabla 73, se pudo observar que el volumen de producción a cubrir por día fue de 1520 piezas, mientras que para alcanzar este objetivo fue necesario trabajar en dos turnos de trabajo los cuales debieron de producir 760 piezas cada uno. Es importante resaltar que la columna lote anual contiene un 15% de incremento solicitado por el cliente que se debió de cubrir de acuerdo con sus requisitos.

Con el objetivo de dar cumplimiento a los objetivos del cliente, se preparó una curva de aprendizaje la cual consistió de 30 días hábiles o 20,000 piezas armadas para poder alcanzar el objetivo de 98 piezas por hora por turno de trabajo. Dentro de este lapso de tiempo o piezas, fue necesario alcanzar el objetivo para poder presentar al cliente la línea de trabajo y demostrar el cumplimiento con sus requerimientos.

A continuación, se muestran en la tabla 74 los resultados obtenidos después de 30 días de trabajo junto con el personal operativo para lograr el objetivo de producción de 98 piezas por hora:

Tabla 74. Datos obtenidos en curva de aprendizaje

TURNO	FECHA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	REQ. X DIA	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520
	OBJETIVO:PZAS. X HR	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50	50	55	55	60	60
	PZAS. X HR. Cliente	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
PRIMERO	PIEZAS. X HR. 1ER TURNO	5	19	29	29	44	36	47	72	48	71	62	50	66	46	57
	TOTAL DE PZAS	42	162	253	258	383	319	412	632	420	620	540	440	580	400	500
SEGUNDO	PIEZAS. X HR. 2DO TURNO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	15
	TOTAL DE PZAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PRODUCCION ESPERADA DIA	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520
	PRODUCCION REAL DIA	42	162	253	258	383	319	412	632	420	620	540	440	580	400	500
	ACUMULADO ESPERADO	1520	3040	4560	6080	7600	9120	10640	12160	13680	15200	16720	18240	19760	21280	22800
	ACUMULADO REAL	42	204	457	715	1098	1417	1829	2461	2881	3501	4041	4481	5061	5461	5961

TURNO	FECHA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA	DIA
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	REQ. X DIA	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520
	OBJETIVO:PZAS. X HR	60	65	65	70	70	70	75	75	80	80	85	90	95	100	100
	PZAS. X HR. Cliente	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
PRIMERO	PIEZAS. X HR. 1ER TURNO	80	64	70	75	68.571	77	79	79	80	75	84	77	89	94	98
	TOTAL DE PZAS	700	560	612.5	656.3	600	673.8	691.3	691.3	700	656.3	735	673.8	778.8	822.5	857.5
SEGUNDO	PIEZAS. X HR. 2DO TURNO	20	25	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
	TOTAL DE PZAS	0	193.8	0	310	348.75	387.5	426.3	465	503.8	542.5	581.3	620	658.8	697.5	736.3
	PRODUCCION ESPERADA DIA	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520
	PRODUCCION REAL DIA	700	753.8	612.5	966.3	948.75	1061	1118	1156	1204	1199	1316	1294	1438	1520	1594
	ACUMULADO ESPERADO	24320	25840	27360	28880	27360	28880	30400	28880	30400	31920	30400	31920	33440	31920	33440
	ACUMULADO REAL	6661	7415	8027.3	8994	9942.3	11004	12121	13277	14481	15680	16996	18290	19727	21247	22841

De manera visual, en la figura 88 se muestra una gráfica en la cual se indica el comportamiento de la curva de aprendizaje para lograr el cumplimiento de los objetivos:

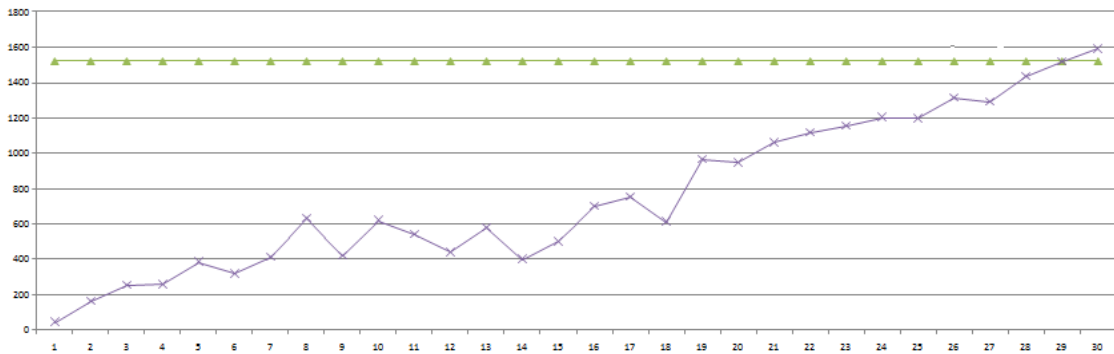


Figura 88. Curva de aprendizaje obtenida

De manera gráfica, se muestra en la figura de color amarillo oscuro el objetivo de producción por día solicitado por el cliente (1520 piezas), mientras que de color morado se muestran las piezas producidas por día de producción. De manera visual se pudo observar que el objetivo de producción fue alcanzado hasta después del día veintiocho en el cual fue alcanzada la producción.

Para lograr el objetivo de producción deseado se utilizaron las técnicas de estudios de tiempos y movimientos y balanceo de líneas de ensamble.

A continuación, se muestra en la tabla 75 la distribución de piezas por hora de cada número de parte la cual debió ser cumplida para alcanzar la producción promedio de 98 piezas por hora.

Tabla 75. Piezas por hora promedio

	Velocidad de inversor	Velocidad en minutos	Pzs/hora	Requerimiento diario	1er turno	2do turno	Producción 1ro	Producción 2do
26131843	-	-	-	0	0	0	0	0
26131844	17	0.36	167	1	0.05	0	8	0
26131845	-	-	-	0	0	0	0	0
26131846	-	-	-	0	0	0	0	0
26131847	9.5	0.6	95	469	3.2	2	304	190
26131848	8.5	0.63	90	232	2.75	0	248	0
26131849	8.5	0.63	90	163	2	0	180	0
26131850	18	0.5	140	391	0	3	0	420
26131851	12.5	0.57	110	156	0	1.5	0	165
26131852	12.5	0.57	110	108	0	1	0	110
				1520	8	7.5	740	885
					15.5		1625	

En cuanto al método de balanceo de la línea de armado, a continuación, se muestra el procedimiento aplicado para lograr la producción del número 26131849 con el personal obtenido.

1. Información preliminar

Turno de trabajo (y) = 2.0 horas = 120 minutos

Requerimiento = 90 piezas / hora = 180 piezas / turno

2. Cálculo de los arneses por minuto

$$\frac{120 \text{ min}}{180 \text{ arneses/turno}} = 0.67 \text{ "Producir 1 arnés cada 0.62 minutos"}$$

3. Determinación de los minutos estándar para cada actividad.

Tabla 76. Minutos estándar 26131849

Actividad	Minutos estándar
Sonic	0.20
Polikenado	0.14
Trenzado	0.29
Pre-ensamble	7.18
Armado	8.58
Dimensional	0.81
Prueba eléctrica	0.59
Comparación	0.65
GP12	0.64
Amarres	0.46
Empaque	0.24

4. Cálculo del número de operarios de acuerdo a la eficiencia deseada

Eficiencia= 100%

$$N = \frac{196}{120} * \frac{19.82}{1} = 32.37 \text{ personas}$$

Eficiencia= 90%

$$N = \frac{196}{120} * \frac{19.82}{.9} = 35.9 \text{ personas}$$

Eficiencia= 80%

$$N = \frac{196}{120} * \frac{19.82}{.8} = 40.46 \text{ personas}$$

5. Llenado de tabla 77.

Tabla 77. Número de operarios 26131849

Actividad	Minutos estándar	<i>Minutos estándar</i>	#	#	#
		$\frac{Min}{unidad}$	Operarios 100%	Operarios 90%	Operarios 80%
Sonic	0.20	0.29	0.5	0.5	0.5
Polikenado	0.14	0.20	0.5	0.5	0.5
Trenzado	0.29	0.43	0.5	0.5	0.5
Pre-ensamble	7.18	10.71	11	12	13
Armado	8.58	12.8	13	13	14
Dimensional	0.81	1.20	2	2	2
Prueba eléctrica	0.59	0.88	1	1	1
Comparación	0.65	0.97	1	1	1
GP12	0.64	0.95	1	1	1
Amarres	0.46	0.68	1	1	1
Empaque	0.24	0.35	0.5	0.5	0.5
			32	33	35

6. Determinación de la línea más lenta o cuello de botella

Tabla 78. Cuello de botella 26131849

Actividad	Min. estándar	100%	90%	80%
Sonic	0.20	0.4	0.4	0.4
Polikenado	0.14	0.28	0.28	0.28
Trenzado	0.29	0.58	0.58	0.58
Pre-ensamble	7.18	0.65	0.59	0.55
Armado				
Dimensional	8.58	0.66	0.66	0.61
	0.81	0.40	0.40	0.40
Prueba eléctrica	0.59	0.59	0.59	0.59

Actividad	Min. estándar	100%	90%	80%
Comparación	0.65	0.65	0.65	0.65
GP12	0.64	0.64	0.64	0.64
Amarres	0.46	0.46	0.46	0.46
Empaque	0.24	0.48	0.48	0.48

7. Cálculo de producción por turno

Al 100% se tiene una producción de:

$$Producción = \frac{1 \text{ hombre} * 60 \text{ min}}{0.66 \text{ min. estandar}} = 90.9 \text{ piezas} * \text{ hora}$$

Al 90% se tiene una producción de:

$$Producción = \frac{1 \text{ hombre} * 60 \text{ min}}{0.66 \text{ min. estandar}} = 90.9 \text{ piezas} * \text{ hora}$$

Al 80% se tiene una producción de:

$$Producción = \frac{1 \text{ hombre} * 60 \text{ min}}{0.65 \text{ min. estandar}} = 92 \text{ piezas} * \text{ hora}$$

Como conclusión se pudo obtener que con 32 trabajadores distribuidos como se indica en la tabla 77, se cumplía con la meta establecida de 90 piezas / hora del número de parte 26131849.

En cuanto a la operación de trenzado, se realizó de manera adicional un diagrama hombre máquina para conocer el tiempo activo y el tiempo ocioso que tuviese el operador de la maquina con el objetivo de balancear su carga de trabajo.

A continuación, se muestran los tiempos en minutos:

Tabla 79. Tiempos de trenzado

#	Carga de máquina (Acomodo de circuitos)	Tiempo de máquina	Descarga de máquina (Retiro de circuitos)
1	0.431	0.04	0.110
2	0.448	0.04	0.110
3	0.408	0.04	0.086
4	0.458	0.04	0.098
5	0.571	0.04	0.100
6	0.435	0.04	0.111
7	0.395	0.04	0.098
8	0.401	0.04	0.101
9	0.525	0.04	0.106
10	0.385	0.04	0.111
11	0.488	0.04	0.090
12	0.541	0.04	0.105
13	0.450	0.04	0.111
14	0.481	0.04	0.105
15	0.503	0.04	0.108
16	0.476	0.04	0.106
17	0.498	0.04	0.103
18	0.480	0.04	0.100
19	0.551	0.04	0.093
20	0.460	0.04	0.103
21	0.465	0.04	0.101
22	0.480	0.04	0.105
23	0.491	0.04	0.103
24	0.470	0.04	0.096
25	0.443	0.04	0.101

En cuanto a los resultados obtenidos, estos se muestran a continuación:

Tabla 80. Tiempos Hombre-Máquina

#	Tiempo de máquina	Tiempo hombre
1	0.04	0.541
2	0.04	0.558
3	0.04	0.494
4	0.04	0.556
5	0.04	0.671
6	0.04	0.546
7	0.04	0.493
8	0.04	0.502
9	0.04	0.631
10	0.04	0.496
11	0.04	0.578
12	0.04	0.646
13	0.04	0.561
14	0.04	0.586
15	0.04	0.611
16	0.04	0.582
17	0.04	0.601
18	0.04	0.580
19	0.04	0.644
20	0.04	0.563
21	0.04	0.566
22	0.04	0.585
23	0.04	0.594
24	0.04	0.566
25	0.04	0.544
Promedio		0.5718

Una vez calculado el promedio de los datos, se agregó el 10% de suplementos por fatiga y se obtuvo un tiempo estándar de 0.6289 minutos.

Tomando el tiempo estándar (redondeado) de 0.63 minutos y un costo de \$8.00 por hora, se realizó el siguiente diagrama hombre-máquina:

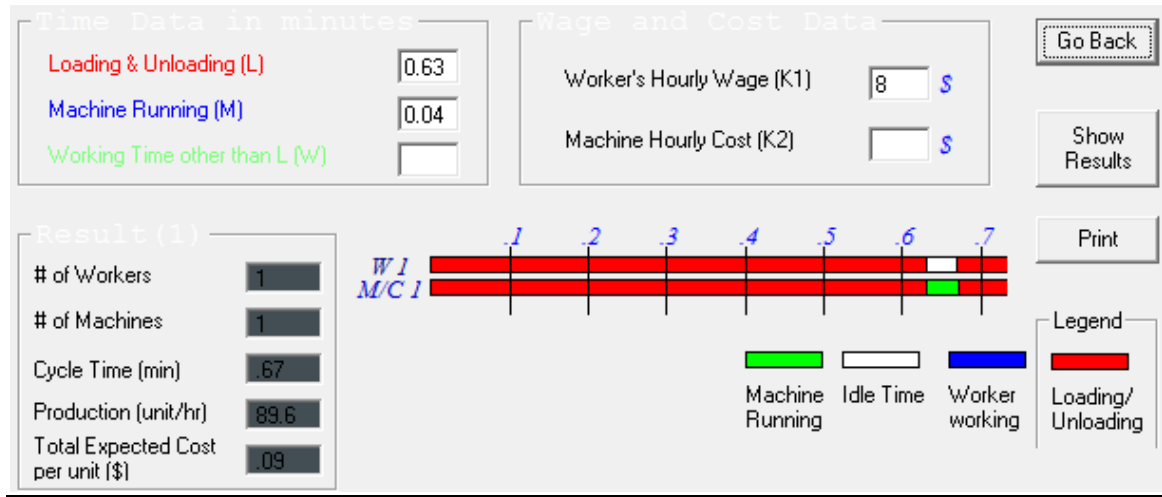


Figura 89. Diagrama hombre-máquina (trenzadora)

Interpretando el diagrama hombre-máquina mostrado en la figura 89, se pudo concluir que el operador llevó la mayor parte de su tiempo realizando carga y descarga de la máquina, mientras que su tiempo ocioso fue muy pequeño ya que el tiempo de operación de la máquina era muy corto.

4.2.2 Estudios de habilidad del sistema de medición

Con el objetivo de validar el sistema de medición y garantizar el cumplimiento de la característica crítica de calidad “Alto de cobres”, se realizó un estudio R&R para validar la repetibilidad y la reproducibilidad de los operadores e instrumento de medición seleccionados.

Para llevar a cabo esta evaluación se tomaron tres operadores diferentes (Janet, Edith, Liliana), se tomaron diez circuitos (cable + terminal) con diferentes altos de cobre y se midieron con el uso de un micrómetro digital.

El área a medir de la característica de calidad se indica en la figura 90:

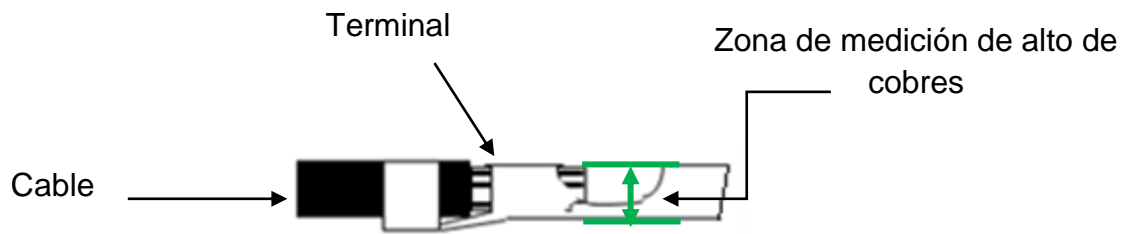


Figura 90. Medición del alto de cobres

A continuación, se muestran en la tabla 81 las mediciones obtenidas con una resolución de 0.001 milímetros.

Tabla 81. Mediciones de altos de cobres obtenidas

INTENTOS	PARTES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OP. Janet 1	1.047	1.740	1.100	0.788	2.353	1.874	1.348	2.159	0.852	2.048
2	1.052	1.738	1.096	0.782	2.358	1.869	1.344	2.154	0.849	2.051
3	1.046	1.742	1.101	0.786	2.351	1.871	1.347	2.157	0.855	2.044
OP. Edith 1	1.038	1.750	1.104	0.792	2.350	1.866	1.345	2.148	0.856	2.039
2	1.042	1.744	1.101	0.787	2.348	1.868	1.350	2.155	0.861	2.044
3	1.040	1.747	1.108	0.785	2.354	1.872	1.348	2.152	0.858	2.041
OP. Liliana 1	1.055	1.749	1.091	0.791	2.344	1.870	1.341	2.150	0.862	2.039
2	1.055	1.745	1.088	0.787	2.341	1.864	1.346	2.148	0.859	2.045
3	1.049	1.742	1.094	0.795	2.348	1.872	1.338	2.154	0.864	2.041

En cuanto a los resultados obtenidos, estos se muestran a continuación:

Análisis de varianza:

Source	DF	SS	MS	F	P
Pieza	9	26.4743	2.94159	46519.7	0.000
Operador	2	0.0000	0.00001	0.2	0.842
Pieza * Operador	18	0.0011	0.00006	6.5	0.000
Repeatability	60	0.0006	0.00001		
Total	89	26.4761			

Tabla 82. Análisis de varianza de altos de cobres

Como se pudo observar en el análisis de varianza de la tabla 82, se tuvo un valor de P menor a 0.05 lo cual significó que el factor pieza fue significativo mientras que para el factor operador se obtuvo un valor de P mayor a 0.05 lo cual indicó que el factor no fue significativo. De manera adicional se mostró que la interacción entre los operadores y piezas fue significativa o contribuía.

En esta etapa se pudo concluir que los operadores no influyeron en las mediciones mientras que el que más influyó fue el instrumento de medición.

Por otro lado, para conocer los porcentajes de contribución de los operadores e instrumento de medición, se utilizó el software Minitab para obtener sus valores:

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000028	0.01
Repeatability	0.000010	0.00
Reproducibility	0.000018	0.01
Operador	0.000000	0.00
Operador*Pieza	0.000018	0.01
Part-To-Part	0.326837	99.99
Total Variation	0.326864	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.005248	0.03149	0.92
Repeatability	0.003113	0.01868	0.54
Reproducibility	0.004225	0.02535	0.74
Operador	0.000000	0.00000	0.00
Operador*Pieza	0.004225	0.02535	0.74
Part-To-Part	0.571696	3.43018	100.00
Total Variation	0.571720	3.43032	100.00

Number of Distinct Categories = 153

Tabla 83. Valores de repetibilidad y reproducibilidad de altos de cobres

Como se pudo observar en la tabla 83, los valores de la repetibilidad y de la reproducibilidad fueron menores al 10%, por lo cual se concluyó que la contribución del sistema de medición fue efectiva ya que generó muy poca variación.

De manera grafica, los resultados se muestran a continuación:

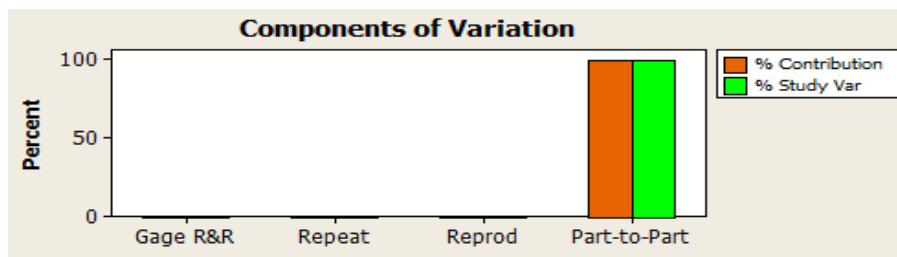


Figura 91. Componentes de variación

La figura 91 de componentes de variación estableció los porcentajes de contribución de cada uno de los factores que influyeron en el sistema de medición. Visualmente se concluyó la efectiva contribución del sistema.

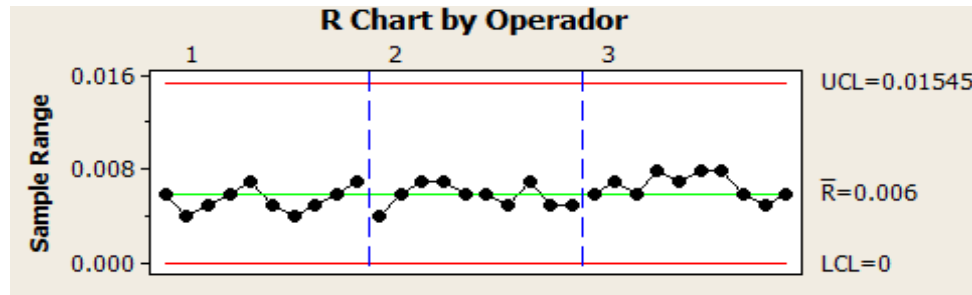


Figura 92. Gráfico de Rangos

La figura 92 de rangos mostró la variación con respecto al rango de cada una de las partes por operador. Visualmente se concluyó que las mediciones se obtuvieron dentro de los límites de especificación y muy próximos a la media. Por otro lado, se muestra que los tres operadores generaron muy poca variación que hasta se podría apreciar como similar.

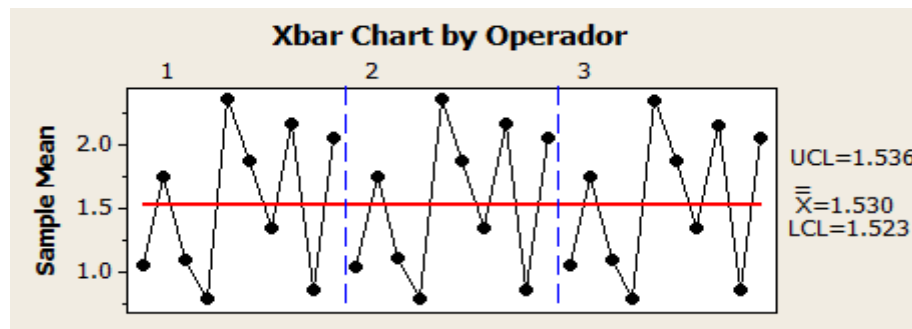


Figura 93 Gráfico de medias

La figura 93 de medias visualizó los promedios aritméticos entre subgrupos por operador. En la gráfica se mostró la separación de cada uno de los subgrupos con respecto a la media y se pudo concluir que debido a que más del 50% de los

datos se encontró fuera de los límites de control, el sistema de medición fue adecuado para detectar la variación Parte-Parte.

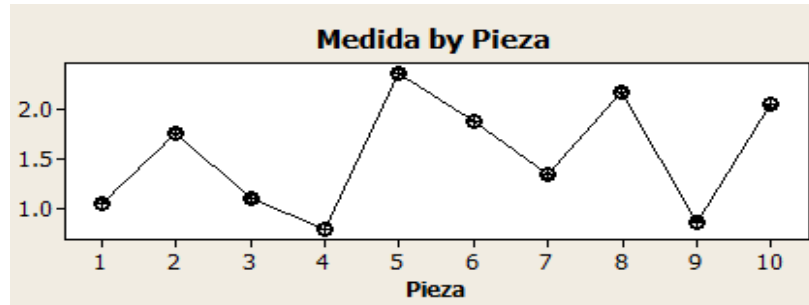


Figura 94. Distribución de mediciones

La figura 94 de mediciones por pieza muestra el promedio total obtenido de los tres operadores por cada una de las diez piezas medidas. De manera visual se concluyó la existencia de variación entre las mediciones obtenidas entre los operadores, aunque no se descartó la repetibilidad del instrumento de medición.

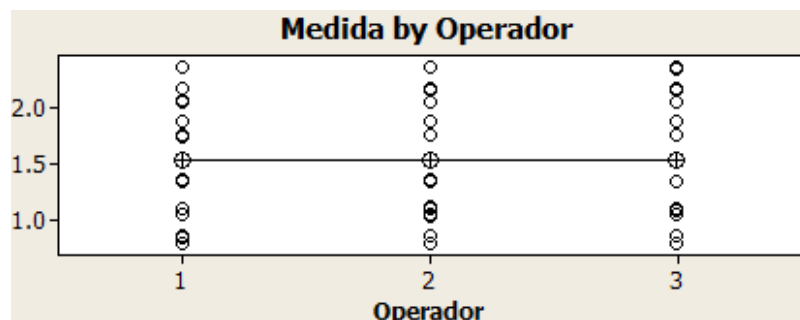


Figura 95. Distribución de operadores

La figura 95 de valores individuales indica la separación y el promedio de cada conjunto de datos generado por los tres operadores involucrados. De manera visual se concluyó que básicamente los tres operadores tuvieron una desviación

similar en cuanto a sus datos al igual que en su promedio muestral entre ellos, indicando reproducibilidad.

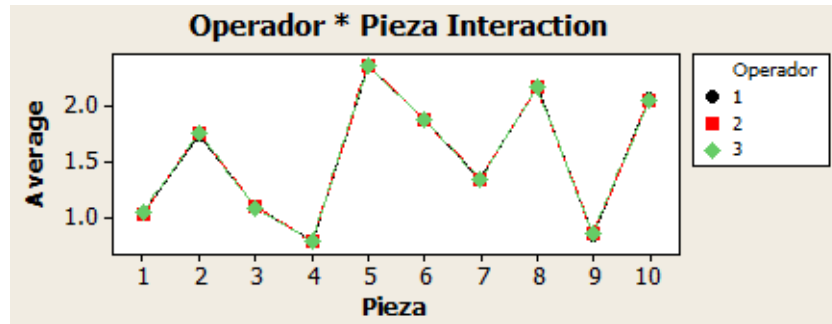


Figura 96. Grafica de interacción

La figura 96 de interacción Operador / Pieza, muestra la localización de las medias de cada uno de los subgrupos por operador y pieza. Visualmente se concluyó que existió muy poca diferencia entre los promedios obtenidos por cada uno de los operadores en sus respectivos subgrupos indicando repetibilidad y reproducibilidad.

4.2.3 Estudios de capacidad del proceso

La primera estación evaluada con el objetivo de cumplir con la característica crítica de calidad “alto de cobres” establecida en la etapa de diseño y desarrollo del producto fue la de corte y aplicación de terminales.

A continuación, se muestra en la tabla 84 el seguimiento y los resultados obtenidos aplicados a una terminal con código 13912189 de la cual se tomó una muestra aleatoria de 100 piezas agrupadas en 20 subgrupos de 5 piezas cada uno:

Tabla 84. Valores de altos de cobres

Subgrupo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
# 1	1.001	1.000	0.994	1.007	1.000
# 2	1.002	1.004	1.010	1.006	0.993
# 3	1.006	1.000	0.994	0.996	1.003
# 4	0.998	1.000	0.999	1.012	0.998
# 5	0.998	0.985	0.989	1.001	0.995
# 6	1.008	0.994	0.994	1.000	0.993
# 7	0.992	0.992	0.997	0.999	1.004
# 8	0.999	1.001	1.003	1.025	0.996
# 9	1.001	0.993	1.011	1.005	1.001
# 10	0.996	1.000	1.008	1.001	0.998
# 11	1.000	1.008	1.005	1.002	1.001
# 12	1.006	0.992	1.002	1.000	0.998
# 13	1.001	1.011	1.018	0.995	0.997
# 14	1.005	1.000	1.006	1.004	0.997
# 15	0.990	0.999	0.993	0.995	1.004
# 16	1.004	0.999	1.010	0.999	0.999
# 17	1.003	0.999	1.002	0.995	0.994
# 18	1.001	0.995	1.009	0.990	0.994
# 19	1.009	1.006	1.010	1.014	0.993
# 20	0.999	1.000	1.001	0.999	0.995

Es de importancia mencionar que los valores de los altos de cobres mostrados en la tabla anterior se encuentran en milímetros y fueron obtenidos mediante el uso de un micrómetro digital. Por otro lado, las especificaciones técnicas de la terminal en estudio fueron las siguientes:

Límite inferior: 0.950 mm

Valor objetivo (Nominal): 1.000 mm

Límite Superior: 1.050 mm

Una vez obtenidas las lecturas de la muestra seleccionada, se realizó un gráfico de probabilidad para verificar normalidad:

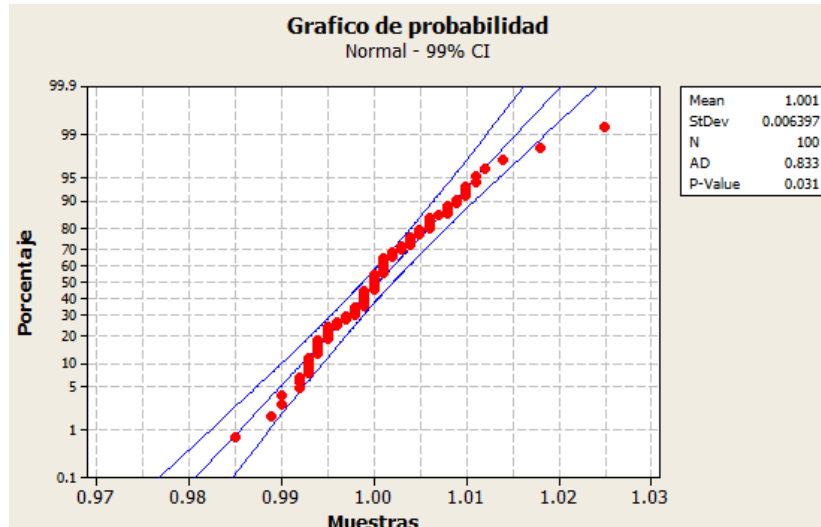


Figura 97. Distribución de mediciones de altos de cobres

De acuerdo con el valor del P-Value de la figura 97 y considerando un $\alpha = 0.01$, se concluyó que no había evidencia suficiente para afirmar que los datos no seguían una distribución aproximadamente normal.

Por otro lado, con el objetivo de verificar estabilidad se realizó un Run chart para ver el comportamiento de los datos. A continuación, se muestra el gráfico:

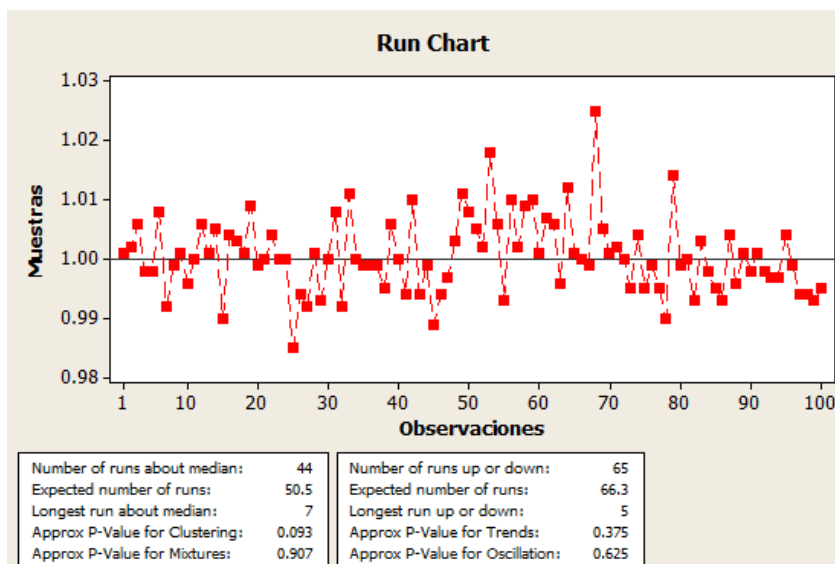


Figura 98. Run chart de mediciones de altos de cobres

Como se muestra en el Run chart realizado de la figura 98 se concluyó con un valor de P-Value de 0.907 que los datos tuvieron un comportamiento en el cual se visualizaron combinaciones entre los datos.

Una vez conocidas la forma y la estabilidad de los datos se prosiguió con el análisis de capacidad del proceso. A continuación se muestra la gráfica obtenida.

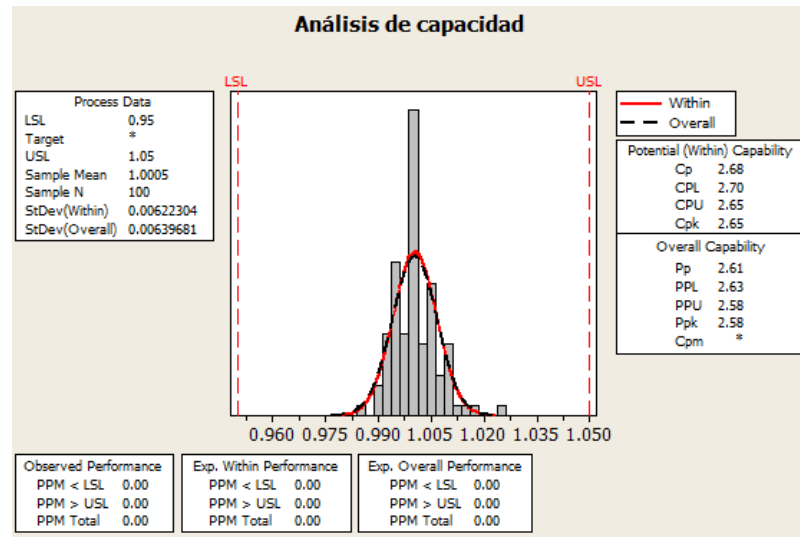


Figura 99. Análisis de capacidad de altos de cobres

Observando los valores del Cp y Cpk de la figura 99, se concluyó que el proceso fue adecuado y se encontró produciendo piezas que cumplían con las especificaciones. Para el cálculo del índice Cpm, a continuación, se muestra la fórmula:

$$cpm = \frac{ES - EI}{6\tau}$$

Donde τ es la raíz cuadrada de

$$\tau^2 = \sigma^2 + (\mu - N)^2,$$

De donde:

$$\tau^2 = 0.00622304^2 + (1.0005 - (0.5 * (1.050 + 0.950)))^2$$

$$\tau^2 = 0.0000389762$$

$$cpm = \frac{1.050 - 0.950}{6(0.00624309)} = 2.6696$$

Lo que significó que el proceso se encontró produciendo piezas dentro de especificaciones, además de que la media se localizó dentro de la quinta parte media del rango de especificaciones.

Estudio de empalme ultrasónico

El empalme ultrasónico fue otra característica que debió evaluarse para garantizar su cumplimiento y evitar problemas de satisfacción con el cliente. Para evaluar esta característica se realizaron treinta pruebas de tensión al empalme de construcción 1x1. A continuación se muestra el procedimiento desarrollado:

I.- Establecer construcción de empalme

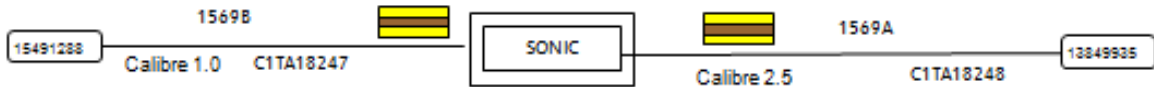


Figura 100. Empalme ETA4042

Como se muestra en la figura 100, el empalme tuvo una construcción de 1X1 ya que constó únicamente de dos cables de calibres 1.0 (17 AWG) y 2.5 (13 AWG).

II.- Determinar la fuerza de tensión

Para determinar la fuerza de tensión requerida por el empalme se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 85. Valores de tensión por calibre

Wire Cross Section [mm ²]	0,35	0,50	0,60	0,75	0,80	1,00	1,40	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	10,0
Pull Out Force [N]	60	80	85	120	125	160	180	200	245	250	343	350	392	500	550	800 4000

En la tabla 85 se indicó la cantidad de tensión que debieron resistir los empalmes con un área seccional de 1.0 (cable más delgado). Por lo cual el empalme al realizarle las pruebas de tensión correspondientes debió de superar el límite inferior de 160 N equivalente a 16 Kg.

III.- Realizar prueba de tensión

El siguiente paso consistió en colocar el empalme en un dispositivo para poder determinar su fuerza de tensión. A continuación, en la figura 101 se ejemplifica el resultado esperado de la prueba realizada:



Figura 101. Prueba de Tensión de empalme

Los datos obtenidos de la tensión realizada a los treinta empalmes fueron los siguientes:

Tabla 86. Valores de tensión obtenidos

Fecha	Empalme	Programa	Construcción	Tensión (Kg)		Operador
				Requiere	Presenta	
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.59	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	24.34	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	24.03	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	25.36	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	27.67	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	24.97	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.7	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.14	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	19.5	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	22.2	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	19.75	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.04	0765

Fecha	Empalme	Programa	Construcción	Tensión (Kg)		Operador
				Requiere	Presenta	
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	22.47	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	22.47	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	22.07	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	22.34	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	21.54	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	22.41	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	24.00	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.77	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.00	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	19.33	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	24.30	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	20.47	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	20.07	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	19.9	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	20.03	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	23.33	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	19.37	0765
Dic-12	ETA4042	3	1X1	16.00	20.46	0765

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

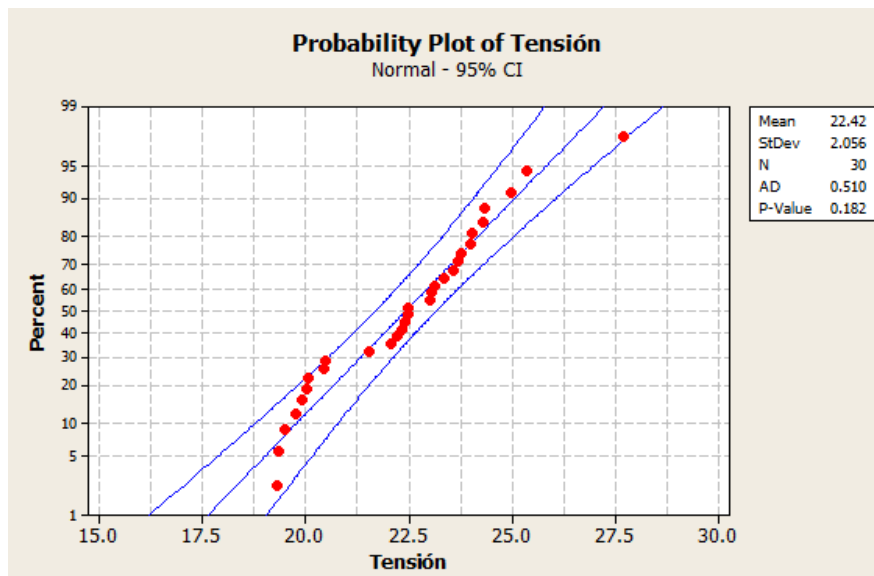


Figura 102. Gráfico de distribución de las tensiones de empalmes

De acuerdo con lo mostrado en la gráfica de probabilidad de la figura 102, se pudo visualizar claramente que los datos obtenidos siguieron una distribución de probabilidad aproximadamente normal, por lo cual no hubo problema para realizar un análisis de capacidad del proceso.

De manera adicional y previo al cálculo de los índices correspondientes, se realizó un gráfico “Run chart” con el objetivo de determinar la estabilidad de los datos. A continuación, se muestra el resultado:

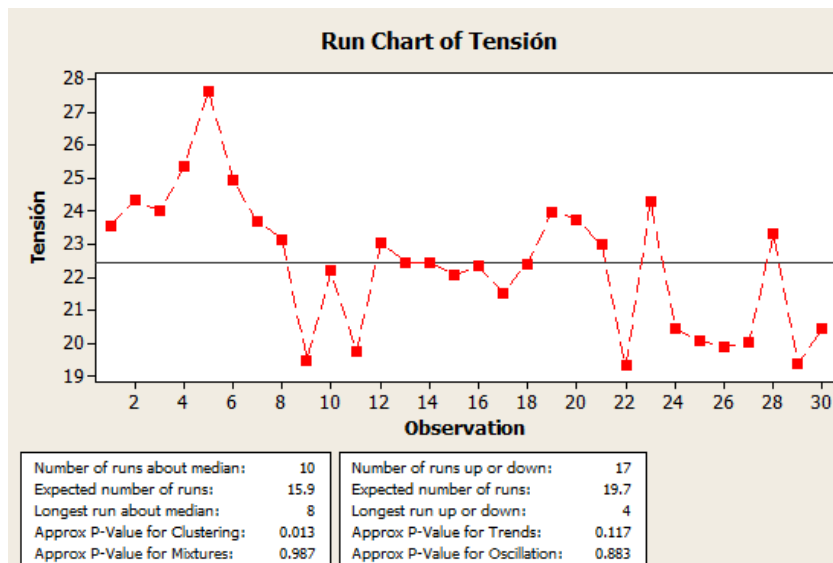


Figura 103. Run chart de valores de tensión de empalmes

Tomando como referencia el Run chart mostrado en la figura 103, se concluyó de manera visual que los datos obtenidos presentan agrupamientos (Clustering) además de que con el valor obtenido del P-Value menor a 0.05 se corroboró lo observado de manera matemáticamente.

Una vez conocidos el tipo de distribución y la estabilidad de los datos, se prosiguió al cálculo de la capacidad del proceso.

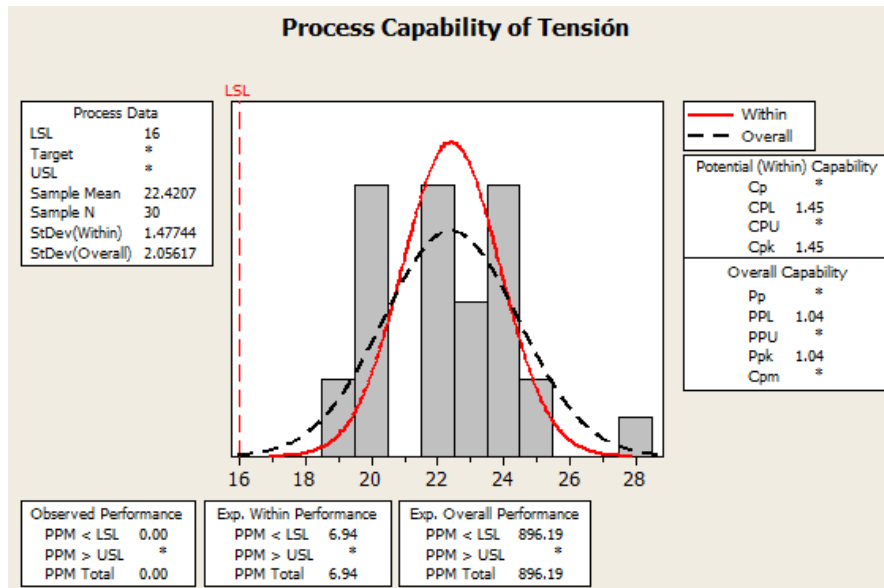


Figura 104. Capacidad potencial y real del proceso de ultrasonido

Los resultados obtenidos en la figura 104 indicaron claramente que el proceso se encontró generando empalmes correctos ya que el Cpk del proceso fue mayor que 1. Por otro lado, el índice de capacidad real Ppk afirmó lo anterior ya que se obtuvo por arriba del 1. El histograma mostrado indicó el único límite de control establecido (ya que es una característica mayor es mejor). Los datos se pudieron visualizar del lado derecho del límite de especificación lo cual indicó que se estuvo cumpliendo con las especificaciones. Por otro lado, se pudo concluir que el proceso se encontró generando pocos productos defectuosos por las PPM obtenidas.

4.2.4 Control estadístico del proceso

Una vez que se comenzó con la difusión y la manufactura del primer arnés se inició con el seguimiento del proceso con el objetivo de mantener la calidad de los arneses y garantizar la satisfacción de los clientes. Durante la etapa del control estadístico se realizaron gráficos de control por variables para

verificar que las diferentes operaciones evaluadas se encontraran cumpliendo con las especificaciones. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las estaciones de trabajo evaluadas:

Característica crítica “Alto de cobres”

Para verificar que los datos obtenidos de la medición de altos de cobre se mantuvieran en control estadístico, se realizaron las siguientes cartas de operación tomando como referencia la tabla 84:

Gráfico \bar{X}

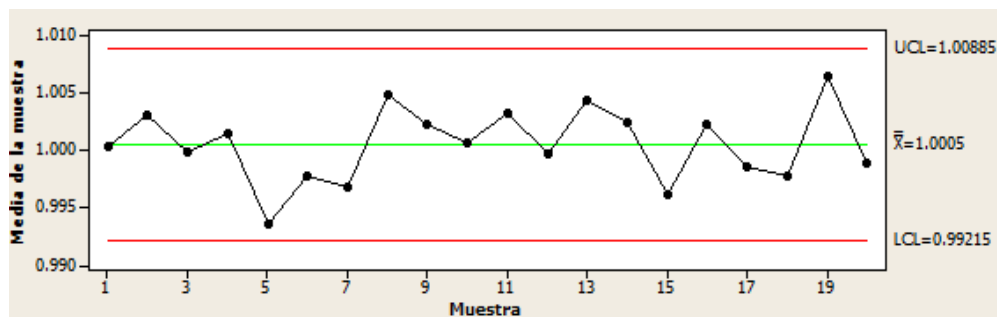


Figura 105. Gráfico X de alto de cobres

Interpretando la información del gráfico X de la figura 105, se concluyó que las medias de cada uno de los subgrupos mostraron un comportamiento dentro de los límites de especificación y sin ningún patrón de variabilidad.

Gráfico R

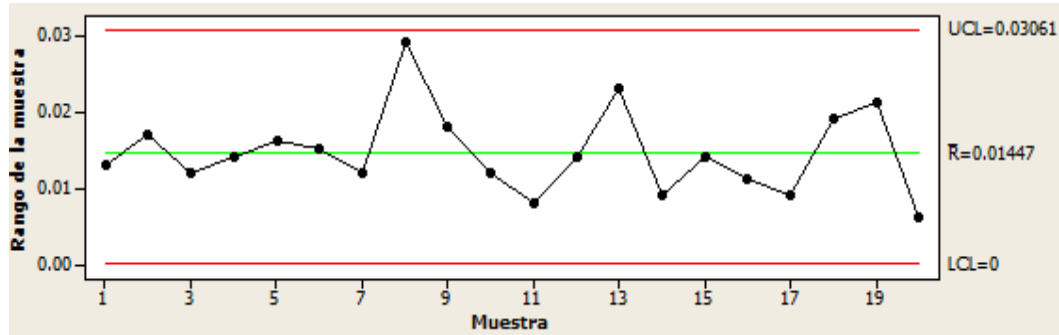


Figura 106. Gráfico R de alto de cobres

De acuerdo con la figura 106, el gráfico *R* indicó un pico en el subgrupo 8 aunque aun así se concluyó que los datos no presentaron algún patrón de variabilidad.

Gráfico S

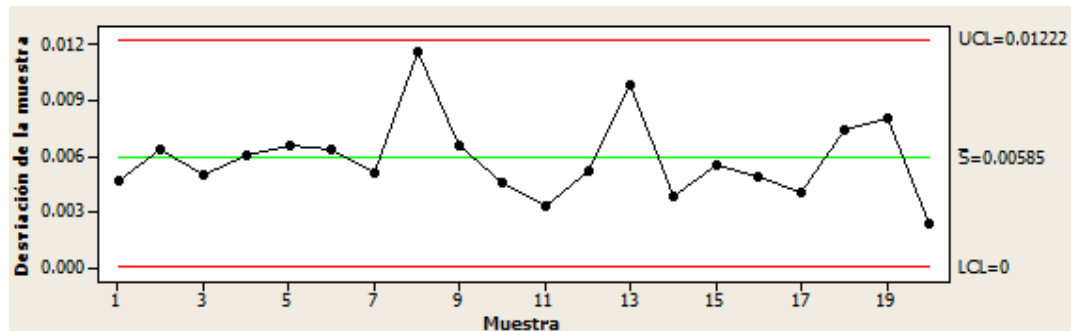


Figura 107. Gráfico S de alto de cobres

Por último, el gráfico de desviaciones estándar mostrado en la figura 107, indicó el promedio de las desviaciones estándar por subgrupos y de acuerdo con la imagen se visualizó un comportamiento estable y dentro de los límites de especificación.

Característica especial “Soldado por ultrasonido”

En la estación de ultrasonido la característica de calidad a controlar fue la resistencia a la tensión del empalme ETA4042 (mayor que 16 Kg). Para esta característica del tipo continuo, se realizaron gráficos de control $\bar{X} - R$ para evaluar su comportamiento mes con mes. A continuación, se muestra el seguimiento realizado durante el tercer mes de iniciada la producción.

Mayo

Para la elaboración de las cartas de control se utilizaron 54 datos agrupados en subgrupos de 3 datos los cuales se agrupan en la tabla 87.

Tabla 87. Datos por subgrupos

Dato	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1	24.02	22.20	23.70
2	23.70	23.07	23.39
3	22.68	22.60	22.79
4	22.76	22.49	22.84
5	22.58	21.20	23.50
6	23.43	23.40	23.03
7	22.87	21.17	22.47
8	21.65	23.40	21.16
9	22.33	22.73	23.24
10	22.43	23.00	22.67
11	22.17	21.90	23.23
12	22.10	22.48	22.53
13	21.63	22.67	21.89
14	22.12	22.73	23.20
15	22.65	22.20	23.54
16	23.62	23.60	22.67
17	23.40	22.89	21.84
18	22.47	22.07	21.54

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

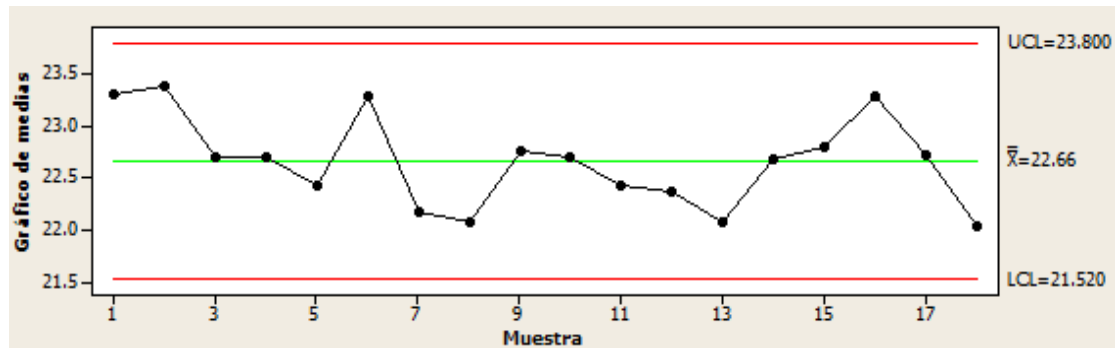


Figura 108. Gráfico de medias de tensión de empalme

El gráfico de medias mostrado en la figura 108, estableció el comportamiento de los datos con respecto a la media de medias de los datos. De acuerdo con la gráfica se concluyó que cada una de las medias de los subgrupos se mantuvo dentro de control estadístico ya que no se visualizaron comportamientos anormales.

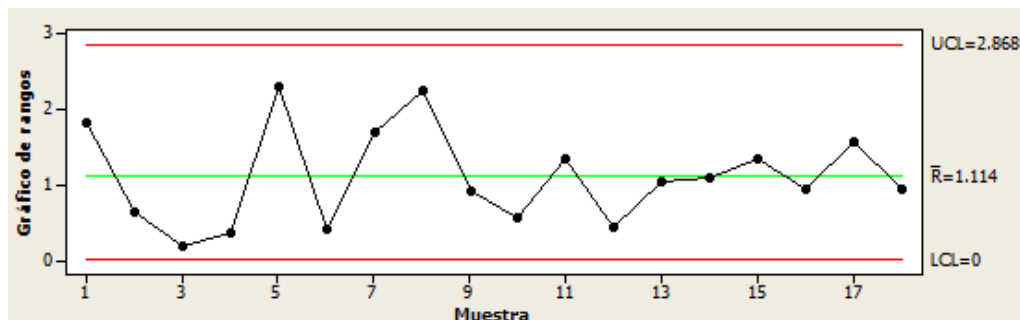


Figura 109. Gráfico de rangos de tensión de empalme

Al igual que en el gráfico de medias, en el gráfico de rangos de la figura 109 se visualizó que las medias de los rangos se encontraron en control estadístico debido a que no se mostraron comportamientos anormales en los datos.

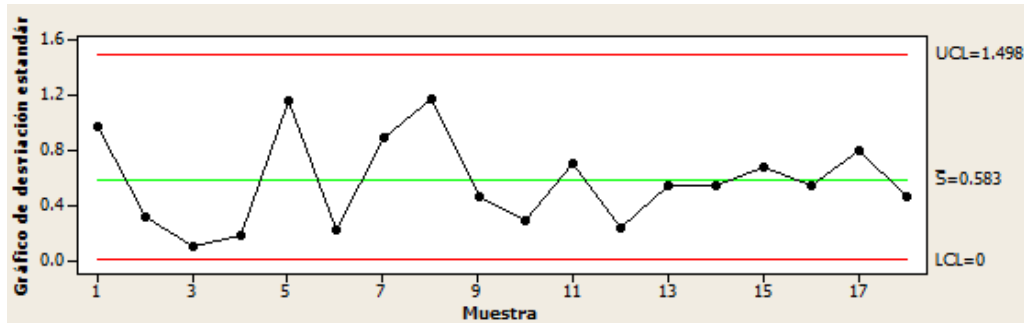


Figura 110. Gráfico de desviación estándar de tensión de empalme

El gráfico de desviaciones estándar de la figura 110 visualizó el comportamiento del promedio de las desviaciones estándar dentro de control estadístico ya que no se observaron tendencias ni datos fuera de los límites de control.

4.2.5 Pruebas de homogeneidad de varianzas

Durante la etapa de validación del proceso además de la evaluación de la capacidad y del control estadístico, se llevó a cabo un análisis de homogeneidad de varianzas con la finalidad de establecer varianzas similares y así garantizar la reducción de variabilidad.

Característica crítica “Alto de cobres”

A continuación, se muestra el análisis de varianza realizado a la aplicación de alto de cobres realizado tomando como referencia la variable ángulo de herramienta de la máquina para la aplicación de la terminal. En la tabla 88 se evaluó el ángulo en 4 posibles niveles: 45, 43, 40, 38.

Tabla 88. Alto de cobres en variable ángulo

Tratamientos					
	1	2	3	4	$\bar{y}_{..}$
Ángulo de herramienta	45	43	40	38	
	1.007	1.001	0.994	1.000	1.0005
	1.006	1.002	1.001	1.004	1.0032
	1.000	1.006	0.994	0.996	0.999
	1.012	1.003	0.999	1.000	1.0035
	1.001	1.014	0.989	0.985	0.9972
	1.007	1.008	0.994	0.994	1.0007
	0.999	0.992	0.997	0.992	0.995
	1.025	1.004	1.003	0.999	1.0077
	1.005	1.001	0.998	0.993	0.9992
	1.001	1.006	1.008	0.996	1.0027
\bar{y}_i	1.0063	1.0037	0.9977	0.9959	1.0009
S_i^2	5.934E-05	3.223E-05	2.934E-05	2.832E-05	

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2, \text{ para alguna } i \neq j.$$

$$H = \frac{\max(S_1^2 S_2^2 \dots S_K^2)}{\min(S_1^2 S_2^2 \dots S_K^2)}$$

$$H = \frac{\max(5.934E - 05, 3.223E - 05, 2.932E - 05, 2.832E - 05)}{\min(5.934E - 05, 3.223E - 05, 2.932E - 05, 2.832E - 05)}$$

$$H = \frac{5.934E - 05}{2.832 - 05}$$

$$H = 2.10$$

La decisión es rechazar H_0 si $H > H_{tablas}$ para algún valor establecido de $\alpha = 0.05$, considerando el número de tratamientos y los grados de libertad para el error.

$$2.10 > H_{tablas}(4, (40 - 4), 0.95)$$

$$2.10 > 2.55$$

De acuerdo con el estadístico de prueba obtenido, se concluyó que no existió evidencia suficiente para afirmar la no homogeneidad de varianza.

De manera adicional y con apoyo del software Minitab se obtuvo el valor del estadístico de prueba de Bartlett:

$$B = 2.3026 \frac{(\sum_{i=1}^k v_i) \log_{10}(S_p^2) - \sum_{i=1}^k v_i \log_{10} S_i^2}{1 + \left\{ \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{v_i} \right) - 1 / \sum_{i=1}^k v_i \right\} / \{3(k - 1)\}}$$

$$B = 1.70$$

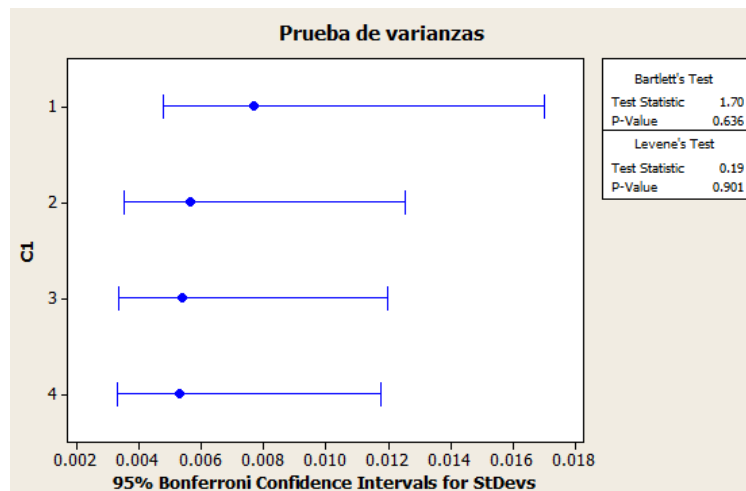


Figura 111. Prueba de Bartlett alto de cobres

Donde $v_i = n_i - 1$, $i = 1, \dots, k$. Así, si B evaluado con los datos generados resultó que:

$$B > X^2(k - 1, 1 - \alpha)$$

La decisión fue rechazar H_0 si $B > X^2(k - 1, 1 - \alpha)$ para algún valor establecido de $\alpha = 0.05$, considerando el número de tratamientos y los grados de libertad para el error.

$$1.70 > X^2(4 - 1, 1 - .05)$$

$$1.70 < 7.81$$

Tomando como referencia el intervalo de confianza del 95% y el estadístico de prueba de Bartlett se concluyó que no existió evidencia para afirmar una desigualdad de varianzas.

Característica especial “Soldado por ultrasonido”

A continuación, se muestra el análisis de varianza realizado a la aplicación de empalme por ultrasonido elaborado considerando la variable energía necesaria a configurar a la máquina para la aplicación del empalme. En la tabla 89 se evaluó la energía en 5 posibles niveles: 430, 410, 400, 390, 380.

Tabla 89. Datos de energía

	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	$\bar{y}_{..}$
Energía en Watts.	430	410	400	390	380	
	24.02	23.7	22.2	21.63	21.89	
	23.7	23.07	23.39	22.12	21.76	
	23.54	23.2	22.6	22.65	21.85	
	22.76	22.49	22.64	22.62	22.67	
	23.62	23.5	22.84	21.4	21.2	
	23.43	23.4	23.03	22.47	21.54	
	22.87	23.23	22.47	21.67	21.12	
	22.73	22.65	22.5	22.74	22.53	
$\bar{y}_{i.}$	23.33	23.155	22.708	22.162	21.826	22.637
S_i^2	0.2353	0.1697	0.1372	0.2834	0.3029	

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2, \text{ para alguna } i \neq j.$$

$$H = \frac{\max(S_1^2 S_2^2 \dots S_k^2)}{\min(S_1^2 S_2^2 \dots S_k^2)}$$

$$H = \frac{\max(0.2353, 0.1697, 0.1372, 0.2834, 0.3029)}{\min(0.2353, 0.1697, 0.1372, 0.2834, 0.3029)}$$

$$H = \frac{0.3029}{0.1372}$$

$$H = 2.208$$

La decisión fue rechazar H_0 si $H > H_{tablas}$ para algún valor establecido de $\alpha = 0.05$, considerando el número de tratamientos y los grados de libertad para el error.

$$2.208 > H_{tablas}(5, (40 - 5), 0.95)$$

$$2.208 > 2.75$$

De acuerdo con el estadístico de prueba obtenido, se concluyó que no existió evidencia suficiente para afirmar la no homogeneidad de varianza.

De manera adicional y con apoyo del software Minitab se obtuvo el valor del estadístico de prueba de Bartlett:

$$B = 2.3026 \frac{(\sum_{i=1}^k v_i) \log_{10}(S_p^2) - \sum_{i=1}^k v_i \log_{10} S_i^2}{1 + \left\{ \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{v_i} \right) - 1 / \sum_{i=1}^k v_i \right\} / \{3(k-1)\}}$$

$$B = 1.53$$

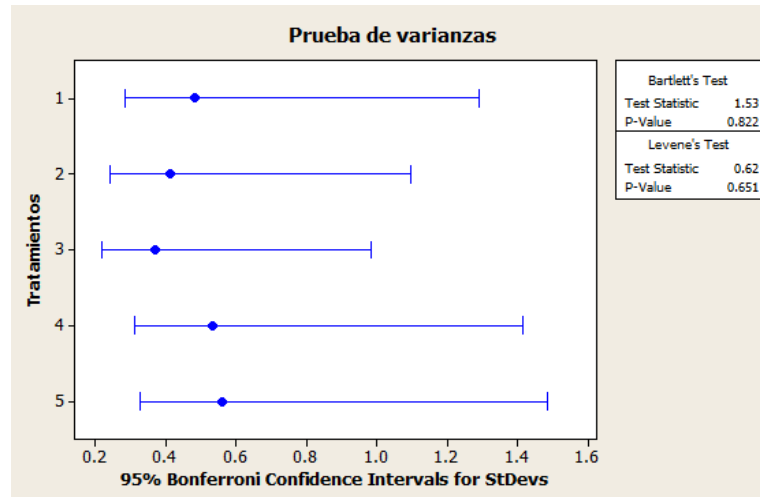


Figura 112. Prueba de Bartlett aplicación por ultrasonido

Donde $v_i = n_i - 1$, $i = 1, \dots, k$. Así, si B evaluado con los datos generados resultó que:

$$B > X^2(k - 1, 1 - \alpha)$$

La decisión fue rechazar H_0 si $B > X^2(k - 1, 1 - \alpha)$ para algún valor establecido de $\alpha = 0.05$, considerando el número de tratamientos y los grados de libertad para el error.

$$1.53 > X^2(5 - 1, 1 - .05)$$

$$1.53 < 9.49$$

Tomando como referencia el intervalo de confianza del 95% y el estadístico de prueba de Bartlett se concluyó que no existió evidencia para afirmar una desigualdad de varianzas. Por otra parte, el valor de P es mayor a 0.05 lo cual respaldó la afirmación inicial.

4.3 Seguimiento a problemas de calidad y mejora continua

La última etapa de la planeación de la calidad del producto consistió en dar seguimiento y solución a los diferentes problemas reportados por el cliente o áreas de oportunidad encontradas internamente.

Estación de línea final

En la estación de línea final la cual comprendía los pre-ensambles, el carrusel de armado y de las estaciones de pruebas finales, se realizó una revisión de su cumplimiento en cuanto a producción de piezas nuevas mediante la aplicación de hojas de verificación y diagramas de Pareto. Para la verificación del cumplimiento de fabricación de piezas buenas, se asignó una persona auditora de calidad la cual reportaría los principales problemas de calidad encontrados en la manufactura de piezas por turno de trabajo para su seguimiento.

En la tabla 90 se muestran los diferentes problemas encontrados durante el mes de Abril:

Tabla 90. Problemas de calidad mes de abril

Problema	Cantidad
Circuitos en cavidad errónea	4
Circuitos omitidos	1
Circuitos repetidos	2
Clips desplazados	1
Conector mal cerrado	1
Seguros omitidos	1
Encintado mal elaborado	3

Lo cual en el mes de abril generó la siguiente cantidad de PPM's:

$$PPM = \frac{13}{32500} \times 1,000,000$$

$$PPM = 400$$

Durante el mes de abril como se observa, el nivel de PPM's fue alto para lo cual se requirió una evaluación a detalle de las posibles causas y acciones de solución.

Para determinar los problemas más importantes se realizó un diagrama de Pareto en el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

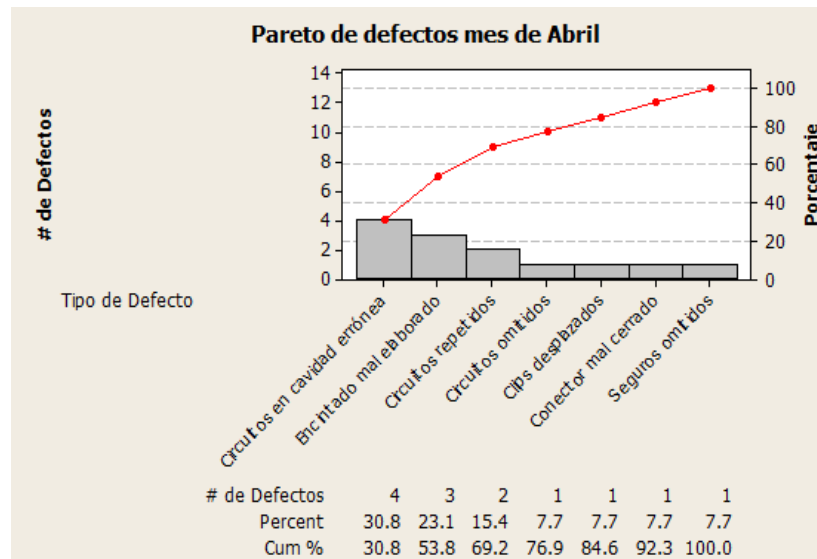


Figura 113. Gráfico de Pareto de problemas de calidad mes de abril

Interpretando la información del diagrama de Pareto de la figura 113, se concluyó que los problemas más repetidos por los operadores fueron los circuitos en cavidad errónea y los encintados mal elaborados ya que entre las dos características se obtuvo un 53.8% acumulado.

A manera adicional se realizó un diagrama de Pareto para determinar las semanas en las que suscitaron la mayor cantidad de problemas:

Tabla 91. Problemas por semana

Fecha	Cantidad
8-12 de Abril	6
15-19 de Abril	3
22-26 de Abril	2
29-30 de Abril	2

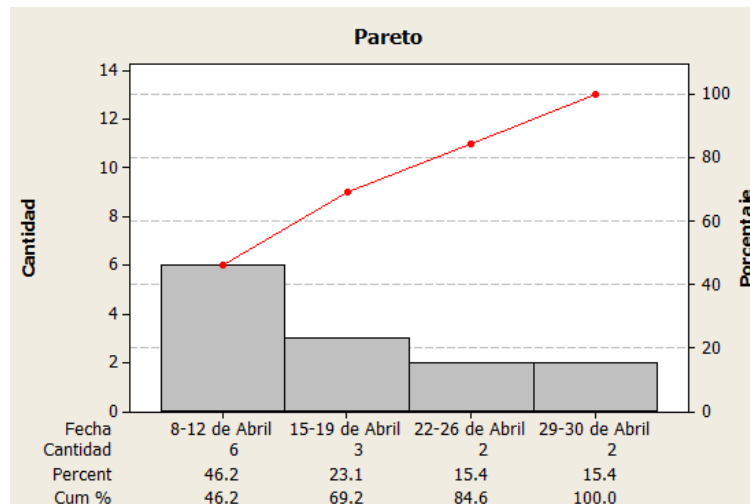


Figura 114. Problemas por semana mes de abril

El diagrama de Pareto de la figura 114 expone que los problemas más importantes se dieron en la primera y segunda semana del mes de abril.

Por último, se realizó un diagrama de Pareto para conocer las personas que se encontraban generando la mayor cantidad de problemas. A continuación, se muestran en la tabla 92 los resultados obtenidos.

Tabla 92. Problemas de calidad por operador

Ficha	Errores
12142	1
12548	1
14700	3
15927	2
16184	1
16431	1

Ficha	Errores
16521	1
17750	3

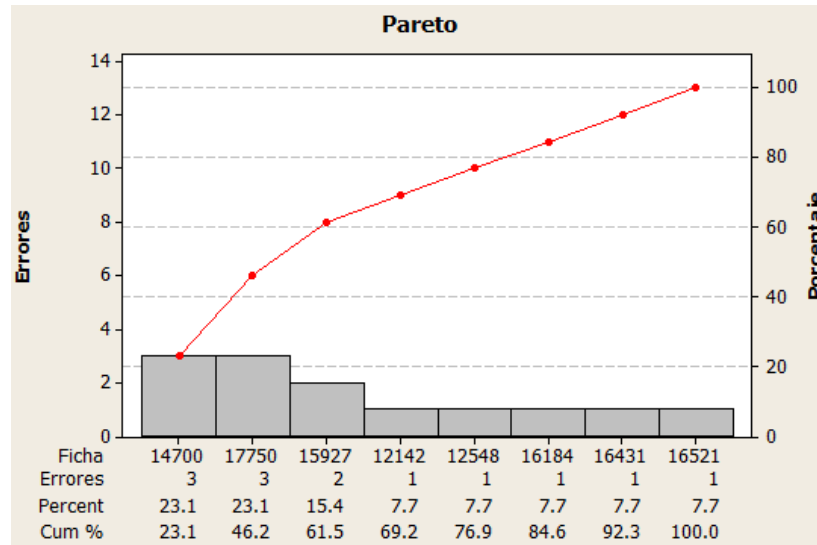


Figura 115. Problemas por operador mes de abril

De acuerdo con el diagrama de Pareto de la figura 115 se concluyó que los operadores 14700, 17750 y 15927 son los que contribuyeron con la mayor cantidad de errores de calidad.

Una vez conocidos los principales problemas, se realizó una lluvia de ideas para poder establecer las posibles causas por las que ocurrían. A continuación, se muestra en la figura 116 el diagrama de pescado realizado a la causa más contribuyente de circuitos en cavidad errónea o invertidos.

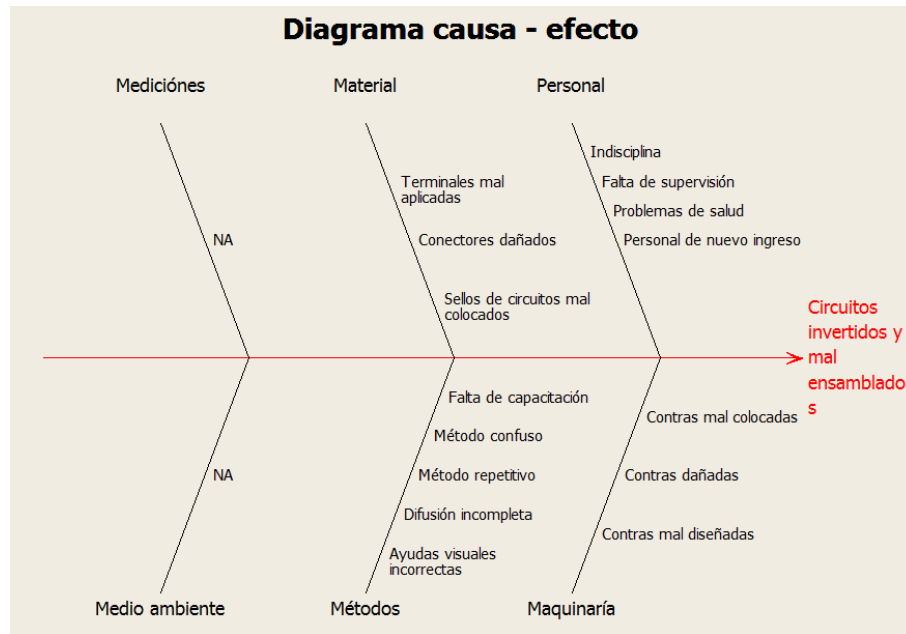


Figura 116. Diagrama de pescado problemas mes de abril

Por último y con el objetivo de dar seguimiento a la reducción del problema de circuitos colocados de manera errónea, se realizaron las siguientes actividades que se incluyeron en el PFMEA de proceso:

- Volver a difundir método de trabajo para que fuera más explícito para los trabajadores y evitar posibles confusiones sobre su actividad de trabajo.
- Revisar ayudas visuales y herramientas instaladas para facilitar el ensamble de los conectores y circuitos.
- Definir nuevos criterios de aceptación para actividades de ensamble de circuitos.
- Proporcionar capacitación a los operadores en general, pero dando un seguimiento especial al personal con mayor incidencia de circuitos invertidos y mal ensamblados.

De manera general se muestran en la tabla 93 los resultados obtenidos en el mes de Julio después del seguimiento realizado durante los meses de mayo-junio.

Tabla 93. Resultados Obtenidos

Problema	Cantidad
Circuitos en cavidad errónea	5
Circuitos repetidos	1
Seguros omitidos	1
Salidas mal elaboradas	1
Encintados omitidos	1
Clips repetidos	2

Lo cual generó la siguiente cantidad de PPM's para el mes de julio:

$$PPM = \frac{11}{31254} \times 1,000,000$$

$$PPM = 351.95$$

Como se pudo observar, las diversas acciones realizadas durante los meses de mayo y junio generaron una reducción significativa en las partes por millón obtenidas durante el mes de abril, manteniendo dentro del objetivo organizacional las PPM's ya que se obtuvo un valor menor a 475 partes por millón. De la misma manera se siguió trabajando en conjunto con el PFMEA de proceso y el cálculo de los RPN's para disminuir la ocurrencia y obtener la menor cantidad de piezas defectuosas durante los meses posteriores.

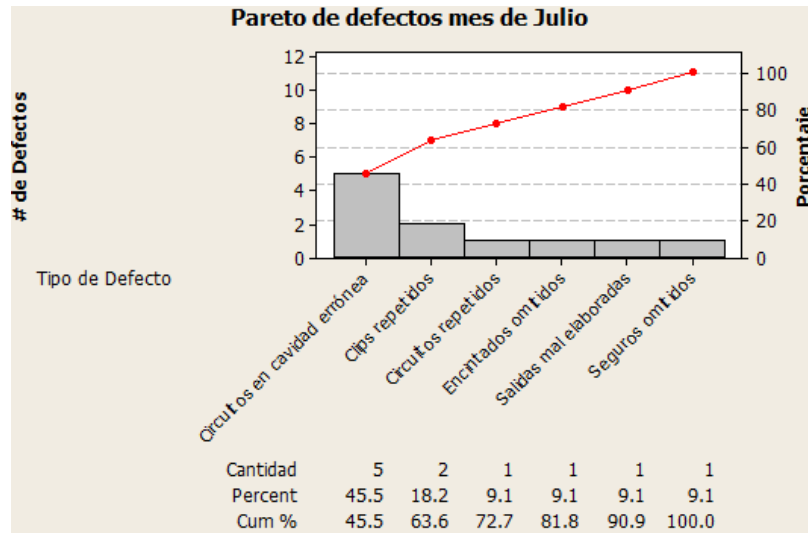


Figura 117. Problemas de calidad mes de Julio

Como se observa en la figura 117, se pudo concluir que los problemas de circuitos en cavidad errónea y encintados mal elaborados disminuyeron considerablemente, aunque se siguió trabajando para disminuir aún más su ocurrencia, aparte de trabajar con el nuevo problema de clips repetidos que surgió.

Por otro lado, en esta etapa de manera adicional se realizaron propuestas de mejora de procesos y de reducción de costos con el objetivo de tener mejor calidad en los arneses y de generar mayor rentabilidad dentro de la organización.

4.3.1 Problemas de calidad reportados

Problemas de corte de sobrante de cintillos

Uno de los principales problemas reportados en el proceso fue la dificultad de cortar los sobrantes de los clips cintillos 15473936.

A consecuencia del problema suscitado y con el fin de proteger al cliente de posibles rupturas de clips, se solicitó realizar un análisis para verificar que todos

los clips cintillos colocados en los arneses de “Clutch Jumper” estuvieran cumpliendo con la especificación requerida de 160 Newton de fuerza de tensión. Para llevar a cabo la validación, se realizó una prueba destructiva de quince clips para obtener su resistencia obtenida y se concluyó mediante el uso de una prueba de hipótesis estadística unilateral en la cual se estableció una hipótesis nula de resistencia a la tensión mayor a 160 N contra una alterna de resistencia a la tensión menor a 160 N.

A continuación, se muestra el procedimiento y las conclusiones obtenidas de cada uno de los clips utilizados:

I. Establecer hipótesis nula

$$H_0: \mu = 160 N$$

II. Seleccionar una hipótesis alternativa

$$H_1: \mu < 160 N$$

Se desea rechazar H_0 si el valor de la tensión es menor a 160 N.

III. Seleccionar nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Se desea un nivel de confianza del 95%

IV. Seleccionar estadístico de prueba

$$T_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

El cual tiene una distribución t con $n-1$ grados de libertad si la hipótesis nula $H_0: \mu = \mu_0$ es verdadera.

V. Establecer región de rechazo para el estadístico

Se rechaza H_0 si: $t_0 < -t_{\alpha, n-1}$

$$t_0 < -t_{0.05, 15-1}$$

$$t_0 < -1.761$$

VI. Calcular el valor de los estadísticos de prueba

Para el cálculo de los estadísticos de prueba, se tomó una muestra aleatoria de 15 clips y se tensionaron hasta obtener los valores mostrados en la tabla 94.

Tabla 94. Tensión de clips cintillos

Tensión / Clip	15473936	15497753	15304748
1	220.0	197.0	238.0
2	207.0	209.0	245.0
3	211.0	211.5	233.0
4	221.0	216.5	221.5
5	207.5	228.0	224.0
6	214.0	216.5	232.0
7	211.5	212.0	225.0
8	214.5	204.0	221.5
9	215.5	209.5	226.0
10	215.0	213.0	234.5
11	189.0	215.0	241.0
12	204.0	219.0	228.0
13	216.0	206.0	221.5
14	215.0	210.0	230.0
15	205.0	211.0	236.0
Media muestral	211.07	211.87	230.47
Desviación muestral	7.91	7.07	7.43

Clip 15473936

Puesto que: $\bar{x} = 211.07$ y $s = 7.91$

Se tiene que:

$$T_0 = \frac{211.07 - 160}{\frac{7.91}{\sqrt{15}}} = 25.005$$

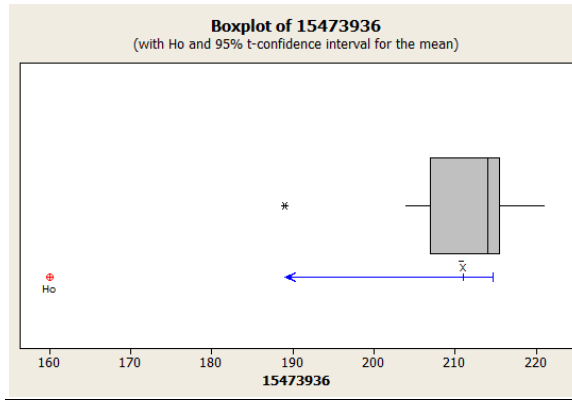


Figura 118. Diagrama de caja clip 15473936

$$25.005 > -1.761$$

Se acepta H_0

Clip 15497753

Puesto que: $\bar{x} = 211.87$ y $s = 7.07$

Se tiene que:

$$T_0 = \frac{211.87 - 160}{7.07 / \sqrt{15}} = 28.414$$

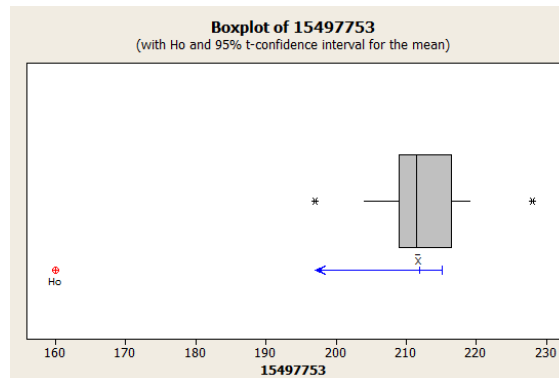


Figura 119. Diagrama de caja clip 15497753

$$28.414 > -1.761$$

Se acepta H_0

Clip 15304748

Puesto que: $\bar{x} = 230.47$ y $s = 7.43$

Se tiene que:

$$T_0 = \frac{230.47 - 160}{7.43 / \sqrt{15}} = 36.733$$

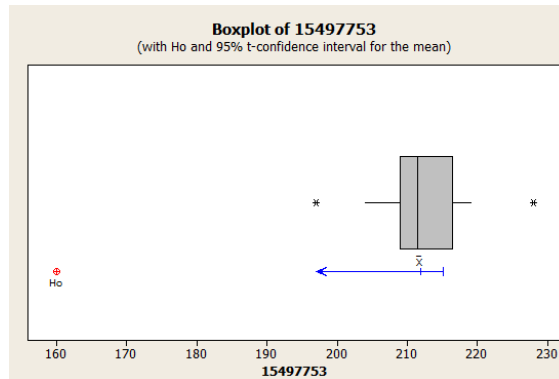


Figura 120. Diagrama de caja clip 15304748

$$36.733 > -1.761$$

Se acepta H_0

VII. Decidir si aceptar o rechazar la hipótesis nula

Tomando como referencia los valores obtenidos de los estadísticos de prueba y haciendo uso de las gráficas mostradas, se concluyó que el problema de dureza de los clips no afectaba la resistencia a la tensión de ninguno de los tres tipos de clips cintillos. Por otro lado, para dar solución al problema, se reportó al proveedor el detalle del problema con el corte de los sobrantes debido a la poca dureza del mismo y se evaluó el problema en la planta del proveedor el cual realizó una recomendación de uso de bolsa de plástico para cubrirlos en caso de no utilizarse para que se mantuvieran las condiciones de humedad de los mismos y así evitar las pérdidas de sus propiedades físicas que generaban la fragilidad y ruptura de los mismos.

4.3.2 Propuestas de mejora y reducción de costos internos

- Propuesta de reducción de consumo de cintas

Con la finalidad de disminuir los tiempos de proceso, se realizó una propuesta de cambio de cinta debido a que la cinta original (M4206004) era de un ancho de 19 mm lo cual generaba más tiempo para la operación de encintado. Para optimizar el proceso de encintado, se propuso el uso de una cinta (M4206007) de 32 mm de ancho. Es importante mencionar que la longitud de cinta por rollo no se vio afectada ya que las dos cintas contenían 26 metros y en lo único que variaban era en su anchura.

A continuación, se muestran en la tabla 95 los consumos de cintas M4206004 anuales de cada número de parte en metros y en cantidad de cintas.

Tabla 95. Consumos de cinta M4206004

Número de parte	Consumo de cinta M4206004 (m)	Volumen anual	Cantidad de cinta anual en metros	Cantidad de cintas por pieza
26131843	10.100	0	0	0
26131844	3.500	217	759.5	29
26131845	10.805	0	0	0
26131846	11.105	0	0	0
26131847	10.705	102,010	1,092,017	42,000
26131848	11.405	50,429	575,142.7	22,120
26131849	11.705	35,420	414,591.1	15,945
26131850	3.405	85,018	289,486.3	11,134
26131851	5.005	33,837	169,354.2	6,513
26131852	5.505	23,480	129,257.4	4,971

En cuanto a los consumos de las cintas M4206007, estos se muestran en la tabla 96.

Tabla 96. Consumos de cinta M4206007

Número de parte	Consumo de cinta M4206007 (m)	Volumen anual	Cantidad de cinta anual en metros	Cantidad de cintas unitarias
26131843	5.250	0	0	0
26131844	1.905	217	413.385	16
26131845	5.540	0	0	0
26131846	5.540	0	0	0
26131847	5.250	102,010	535,552.5	20,599
26131848	5.540	50,429	279,376.66	10,746
26131849	5.540	35,420	196,226.8	7,548
26131850	2.030	85,018	172,586.54	6,638
26131851	3.000	33,837	101,511	3,905
26131852	3.000	23,480	98,733.4	2,710

Los costos anuales por cinta se muestran en la tabla 97:

Tabla 97. Costos de cintas M4206004 y M4206007

Número de parte	Cantidad de cintas M4206004	Total (\$0.03561)	Cantidad de cintas M4206007	Total (\$0.06134)
26131843	0	\$0.00	0	\$0.00
26131844	29	\$1.032	16	\$0.98
26131845	0	\$0.00	0	\$0
26131846	0	\$0.00	0	\$0

Número de parte	Cantidad de cintas M4206004	Total (\$0.03561)	Cantidad de cintas M4206007	Total (\$0.06134)
26131847	42,000	\$1495.62	20,599	\$1,263.54
26131848	22,120	\$787.69	10,746	\$659.16
26131849	15,945	\$567.80	7,548	\$462.99
26131850	11,134	\$396.48	6,638	\$407.17
26131851	6,513	\$231.92	3,905	\$239.53
26131852	4,971	\$177.01	2,710	\$166.23
Totales	102,712	\$3,657.57	69,368	\$3,199.62

En cuanto a la productividad por consumo de cinta se obtuvo el siguiente valor:

$$Productividad = \left| \frac{Valor\ Periodo\ 2 - Valor\ Periodo\ 1}{Valor\ periodo\ 1} \right|$$

$$\% Productividad = |Productividad| * 100$$

$$Productividad = \left| \frac{\$3,199.62 - \$3,657.57}{\$3,657.57} \right| = 0.125\ uni$$

$$\% Productividad = 0.125 * 100 = 12.5\%$$

De esta manera se concluyó que con el cambio de cinta se logró un incremento de productividad del 12.5% anual lo que equivale a \$457.95 dólares por año.

En cuanto a los precios de los diferentes números de parte con las reducciones unitarias, se muestran a continuación.

Tabla 98. Precios de arneses con cambio de cinta

Número de parte	Precio Inicial de arnés	Precio final con ahorro de cinta
26131843	\$12.782 USD	\$12.74 USD
26131844	\$5.196 USD	\$5.19 USD
26131845	\$12.782 USD	\$12.74 USD
26131846	\$12.782 USD	\$12.73 USD
26131847	\$12.782 USD	\$12.72 USD
26131848	\$13.693 USD	\$13.63 USD
26131849	\$13.693 USD	\$13.62 USD
26131850	\$6.820 USD	\$6.82 USD
26131851	\$7.980 USD	\$7.97 USD
26131852	\$7.980 USD	\$7.97 USD

De acuerdo con la tabla 98, se muestra una pequeña reducción en el precio de cada uno de los arneses terminados.

- Propuesta de reducción de consumo de cable

La propuesta de reducción de consumo de cable se desarrolló internamente con el objetivo de generar ahorros internos sin afectar la calidad de los arneses. La idea de la propuesta surgió debido a que se observaron circuitos largos a los cuales reduciéndoles de longitud generarían la misma funcionalidad.

A continuación, se muestra el procedimiento establecido para determinar el ahorro generado con la reducción de cable:

I.- Diseñar la carta de longitudes.

Las longitudes de los circuitos quedaron de la siguiente manera:

Tabla 99. Longitudes de circuitos

Circuito	Código Plano	Longitud original (m)	Circuito	Código Plano	Nueva Longitud (m)
C2TA17355	1552 A	0.955	C2TA16588	1552 A	0.945
C2TA17034	5359 A	0.640	C2TA18482	5359A	0.630
C2TA17036	5361 A	0.635	C2TA18483	5361A	0.625
C2TA17351	5360 A	0.637	C2TA18489	5360A	0.627
C2TA17359	5129 A	0.755	C2TA18121	5219A	0.740
C2TA17360	5952 A	0.752	C2TA18122	5952A	0.737
C2TA17361	5130 A	0.760	C2TA18123	5130A	0.745
C2TA17362	6207 A	0.750	C2TA18124	6207A	0.735
C2TA17363	6206	0.765	C2TA18125	6206	0.750
C2TA17364	6109 A	0.660	C2TA17964	6109A	0.656
C2TA17365	6110 A	0.660	C2TA17965	6110A	0.656
C2TA17366	6111 A	0.662	C2TA17966	6111A	0.658

En la tabla 99, se muestran las longitudes originales de los circuitos que iniciaron en producción regular, así como los circuitos con las longitudes propuestas para generar un ahorro sin afectar las dimensiones de los arneses.

II.- Establecer los costos unitarios de circuitos

En cuanto a los costos de cada uno de los circuitos para su análisis se muestran en la tabla 100:

Tabla 100. Costo de circuitos

Circuito	Longitud original	Costo (Dólares)	Circuito	Nueva Longitud	Costo (Dólares)
C2TA17355	0.955	0.3634	C2TA16588	0.945	0.3604
C2TA17034	0.640	0.0583	C2TA18482	0.630	0.0579
C2TA17036	0.635	0.0581	C2TA18483	0.625	0.0577
C2TA17351	0.637	0.0582	C2TA18489	0.627	0.0578

Circuito	Longitud original	Costo (Dólares)	Circuito	Nueva Longitud	Costo (Dólares)
C2TA17359	0.755	0.1207	C2TA18121	0.740	0.1189
C2TA17360	0.752	0.0635	C2TA18122	0.737	0.0628
C2TA17361	0.760	0.1213	C2TA18123	0.745	0.1195
C2TA17362	0.750	0.0663	C2TA18124	0.735	0.0657
C2TA17363	0.765	0.0670	C2TA18125	0.750	0.0663
C2TA17364	0.660	0.0643	C2TA17964	0.656	0.0641
C2TA17365	0.660	0.0643	C2TA17965	0.656	0.0641
C2TA17366	0.662	0.0644	C2TA17966	0.658	0.0642

III.- Establecer números de parte aplicables

Con el objetivo de determinar la cantidad de cable reducida por arnés, se realizó un análisis de los números de parte en los que aplicaban cada uno de los circuitos y se restó la longitud eliminada. El análisis se muestra en la tabla 101.

Tabla 101. Números de parte aplicables por circuito

Circuito actual	Circuito nuevo	# 43	# 44	# 45	# 46	# 47	# 48	# 49	# 50	# 51	# 52
C2TA17355	C2TA16588	X		X	X	X	X	X			
C2TA17034	C2TA18482	X		X	X	X	X	X	X	X	X
C2TA17036	C2TA18483	X		X	X	X	X	X	X	X	X
C2TA17351	C2TA18489	X		X	X	X	X	X	X	X	X
C2TA17359	C2TA18121			X	X		X	X		X	X
C2TA17360	C2TA18122				X			X			X
C2TA17361	C2TA18123			X	X		X	X		X	X
C2TA17362	C2TA18124				X			X			X
C2TA17363	C2TA18125				X			X			X
C2TA17364	C2TA17964		X								
C2TA17365	C2TA17965		X								
C2TA17366	C2TA17966		X								

IV.- Contenidos de cable

Una vez establecidos los números de parte a los que aplicaban cada circuito se prosiguió a documentar la resta del contenido original menos cada uno de los circuitos aplicables. El análisis se muestra en la tabla 102.

Tabla 102. Contenidos de cobre

Numero de parte	Contenido de cobre original (m)	Contenido de cobre con nueva longitud (m)
26131843	29.40	28.2816
26131844	7.877	7.6846
26131845	30.915	29.7966
26131846	33.182	32.0636
26131847	34.277	33.1586
26131848	35.792	34.6736
26131849	38.059	36.9406
26131850	10.511	10.3376
26131851	12.026	11.7337
26131852	14.293	14.0007

V.- Determinar cantidad anual a utilizar

En la tabla 103 se muestran las cantidades en metros de cable utilizados por cada número de parte de manera anual y sus respectivos totales.

Tabla 103. Usos de cable anuales

Numero de parte	Volumen anual	Contenido de cable actual (m)	Total de cable anual	Contenido de cable nuevo (m)	Total de cable anual
26131843	0	29.40	0	28.2816	0
26131844	217	7.877	1,709.31	7.6846	1,667.56
26131845	0	30.915	0	29.7966	0
26131846	0	33.182	0	32.0636	0
26131847	102,010	34.277	3,496,596.77	33.1586	3,382,508.79

Número de parte	Volumen anual	Contenido de cable actual (m)	Total de cable anual	Contenido de cable nuevo (m)	Total de cable anual
26131848	50,429	35.792	1,804,954.77	34.6736	1,748,554.97
26131849	35,420	38.059	1,348,049.78	36.9406	1,308,436.05
26131850	85,018	10.511	893,624.20	10.3376	878,882.08
26131851	33,837	12.026	406,923.76	11.7337	397,033.21
26131852	23,480	14.293	335,599.64	14.0007	328,736.44
			8,287,458.23		8,045,819.09

VI.- Cálculo de costo de consumos anuales

Una vez obtenidos los consumos anuales y los costos unitarios de cada uno de los circuitos originales y reducidos, se prosiguió con el cálculo de los totales anuales y de la productividad.

En las tablas 104 y 105 se muestran los consumos y costos totales anuales de los circuitos originales y de los propuestos:

Tabla 104. Costos actuales de circuitos

Circuito actuales	Precio unitario	Números de parte	Consumo anual	Total
C2TA17355	0.3634	43,45,46,47,48,49	187,859	\$68,267.96
C2TA17034	0.0583	43,45,46,47,48,49,50,51,52	330,194	\$19,250.31
C2TA17036	0.0581	43,45,46,47,48,49,50,51,52	330,194	\$19,184.27
C2TA17351	0.0582	43,45,46,47,48,49,50,51,52	330,194	\$19,217.29
C2TA17359	0.1207	45,46,48,49,51,52	143,166	\$17,280.13
C2TA17360	0.0635	46,49,52	58,900	\$3,740.15
C2TA17361	0.1213	45,46,48,49,51,52	143,166	\$17,366.03
C2TA17362	0.0663	46,49,52	58,900	\$3,905.07
C2TA17363	0.0670	46,49,52	58,900	\$3,946.3
C2TA17364	0.0643	44	217	\$13.9531
C2TA17365	0.0643	44	217	\$13.9531
C2TA17366	0.0644	44	217	\$13.9748
				\$172,199.406

Tabla 105. Costos de circuitos reducidos

Circuito nuevos	Precio unitario	Números de parte	Consumo anual	Total
C2TA16588	0.3604	43,45,46,47,48,49	187,859	\$67,704.38
C2TA18482	0.0579	43,45,46,47,48,49,50,51,52	330,194	\$19,118.23
C2TA18483	0.0577	43,45,46,47,48,49,50,51,52	330,194	\$19,052.19
C2TA18489	0.0578	43,45,46,47,48,49,50,51,52	330,194	\$19,085.21
C2TA18121	0.1189	45,46,48,49,51,52	143,166	\$17,022.43
C2TA18122	0.0628	46,49,52	58,900	\$3,698.92
C2TA18123	0.1195	45,46,48,49,51,52	143,166	\$17,108.33
C2TA18124	0.0657	46,49,52	58,900	\$3,869.73
C2TA18125	0.0663	46,49,52	58,900	\$3,905.07
C2TA17964	0.0641	44	217	\$13.9097
C2TA17965	0.0641	44	217	\$13.9097
C2TA17966	0.0642	44	217	\$13.9098
				\$170,606.268

VII.- Cálculo de la productividad

En cuanto a la productividad por reducción de cable se obtuvo el siguiente resultado:

$$Productividad = \left| \frac{Valor\ Periodo\ 2 - Valor\ Periodo\ 1}{Valor\ periodo\ 1} \right|$$

$$\% Productividad = |Productividad| * 100$$

$$Productividad = \left| \frac{\$170,606.268 - \$172,199.406}{\$172,199.406} \right| = 0.0092\ uni$$

$$\% Productividad = 0.0092 * 100 = 0.92\%$$

De esta manera se concluyó que con el cambio de longitud se logró un incremento en la productividad del 0.92% anual lo que equivale a \$1594.95 dólares por año.

A continuación, se muestra la tabla con los nuevos precios de cada uno de los arneses con los ahorros obtenidos con el cable.

Tabla 106. Precio con reducción de cable

Número de parte	Precio inicial con ahorro de cinta	Precio final con ahorro de cable
26131843	\$12.74 USD	\$12.736 USD
26131844	\$5.19 USD	\$5.189 USD
26131845	\$12.74 USD	\$12.732 USD
26131846	\$12.73 USD	\$12.720 USD
26131847	\$12.72 USD	\$12.716 USD
26131848	\$13.63 USD	\$ 13.622 USD
26131849	\$13.62 USD	\$ 13.610 USD
26131850	\$6.82 USD	\$ 6.819 USD
26131851	\$7.97 USD	\$7.965 USD
26131852	\$7.97 USD	\$7.963 USD

De acuerdo con la tabla 106, se muestra una reducción significativa en el precio de cada uno de los arneses terminados.

- Propuesta de producción en un turno de trabajo

Una vez iniciada la línea de producción se planteó como objetivo a mediano plazo el diseño e implementación de una propuesta de reducción de personal y de optimización de uso de recursos. Para lograr esto se estableció como objetivo el eliminar el segundo turno de trabajo y concentrar el total de mano de obra en un único turno de trabajo.

Para eliminar el segundo turno de trabajo se revisó la posibilidad de separar los arneses con menor volumen o con misma similitud en cuanto a cantidad de componentes. Para eso se evaluaron los volúmenes por número de parte considerando un único turno de trabajo más un 15% de producción adicional.

A continuación, se indican los pasos necesarios utilizados para realizar el cambio de turno en la línea de “Clutch Jumper”:

I.- Cálculo de volúmenes de producción

Como primer paso se revisaron los volúmenes y piezas a producir durante dos y un turno de trabajo. A continuación, se muestran las piezas necesarias:

Tabla 107. Volúmenes de producción

Número de Arnés	Volumen de producción anual	Volumen de producción diario	Volumen de producción por hora	Volumen de producción por hora más 15% (2 turnos)	Volumen de producción por hora más 15% (1 turno)
26131843-01	0	0	0	0	0
26131844-01	217	0.868	1	1	1
26131845-01	0	0	0	0	0
26131846-01	0	0	0	0	0

Número de Arnés	Volumen de producción anual	Volumen de producción diario	Volumen de producción por hora	Volumen de producción por hora más 15% (2 turnos)	Volumen de producción por hora más 15% (1 turno)
26131846-01	0	0	0	0	0
26131847-01	102,010	408.04	27	31	59
26131848-01	50,429	201.716	13	15	29
26131849-01	35,420	141.68	10	11	23
26131850-01	85,018	340.072	22	26	49
26131851-01	33,837	135.348	9	11	21
26131852-01	23,480	93.92	7	7	15
Totales	330,411	1321.644	85.26	98.05	196

De acuerdo con la tabla 107, se observa que para cumplir la producción en dos turnos de trabajo se trabajó con un promedio de 98 piezas por hora, mientras que para trabajar con un turno de trabajo se requirió de 196 piezas por hora.

II.- Propuesta de separación de arneses

Para poder fabricar la cantidad de 196 piezas por hora sin la necesidad de invertir en un nuevo carrusel eléctrico se propuso la instalación de una estación de trabajo adicional en la cual se pudieran fabricar exclusivamente los arneses con menor cantidad de componentes en cuanto a circuitos y conectores. Para lograr la manufactura en un turno de trabajo, los volúmenes quedaron de la siguiente manera dentro de la nueva estación de trabajo (tableros estacionarios) y en la estación de trabajo existente (carrusel) de acuerdo con la tabla 108.

Tabla 108. Arnese por estación de trabajo

Número de Arnés	Volumen de producción en carrusel eléctrico	Volumen de producción en tableros estacionarios
26131843-01	0	0
26131844-01	0	1
26131845-01	0	0
26131846-01	0	0
26131847-01	59	0
26131848-01	29	0
26131849-01	23	0
26131850-01	0	49
26131851-01	21	0
26131852-01	0	15
Totales	132	65

Tomando como referencia los volúmenes obtenidos para lograr la producción del carrusel y de los estacionarios se prosiguió con el diseño de la estación de trabajo.

III.-Cantidad de operadores por estaciones de trabajo

Tomando como referencia el objetivo propuesto de llevar la línea de producción de 90 piezas por hora a 130 piezas se comenzó con un análisis de estudio de tiempos y movimientos para validar y en caso de ser posible reducir el tiempo de fabricación de los arneses obtenido durante la etapa de la curva de aprendizaje del arnés.

A continuación, se muestran en la tabla 109 los tiempos obtenidos del número de parte de mayor volumen, el cual se consideró como referencia para la definición del tiempo de ciclo de los arneses.

Tabla 109. Tiempos número de parte 26131847

Operación	Tiempo
Corte	1.25
Sonic	0.21
Poliken	0.15
Trenzado	0.31
Pre-ensamble	4.85
Armado	5.91
Dimensional	0.53
Prueba eléctrica	0.63
Comparación	0.42
GP12	0.42
Amarres	0.31
Empaque	0.30
	15.29

En la tabla 110 se muestran los resultados obtenidos del estudio de tiempos y movimientos obtenido.

Tabla 110. Tiempos por número actualizados

Arnés	Corte	Preparación	Pre-ensamble	Armado	Pruebas finales	Tiempo total
*26131843-01	0.70	0.30	9.01	6.46	2.30	18.77
26131844-01	0.32	0.00	2.94	2.5	2.30	8.06
*26131845-01	0.77	0.30	8.94	6.36	2.30	18.67
*26131846-01	0.80	0.30	8.5	6.97	2.77	19.34
26131847-01	1.25	0.67	4.87	5.91	2.19	14.89

Arnés	Corte	Preparación	Pre-ensamble	Armado	Pruebas finales	Tiempo total
26131848-01	1.28	0.67	5.04	6.02	2.19	15.20
26131849-01	1.33	0.67	5.09	6.02	2.19	15.30
26131850-01	0.38	0.13	2.56	3.86	2.01	8.94
26131851-01	0.43	0.13	2.84	4.78	2.15	10.33
26131852-01	0.51	0.13	3.19	4.78	2.15	10.76

Como se puede visualizar los tiempos estándar de los diferentes números de parte disminuyeron considerablemente conforme el personal operativo fue obteniendo mayor habilidad y gracias al cambio de cinta propuesto.

*Los números de parte con asterisco no tienen volumen por lo cual no se pudo validar su tiempo real, debido a esto se mantuvo su tiempo predeterminado.

Las gráficas del balanceo realizado a los números de parte de mayor volumen se muestran a continuación:

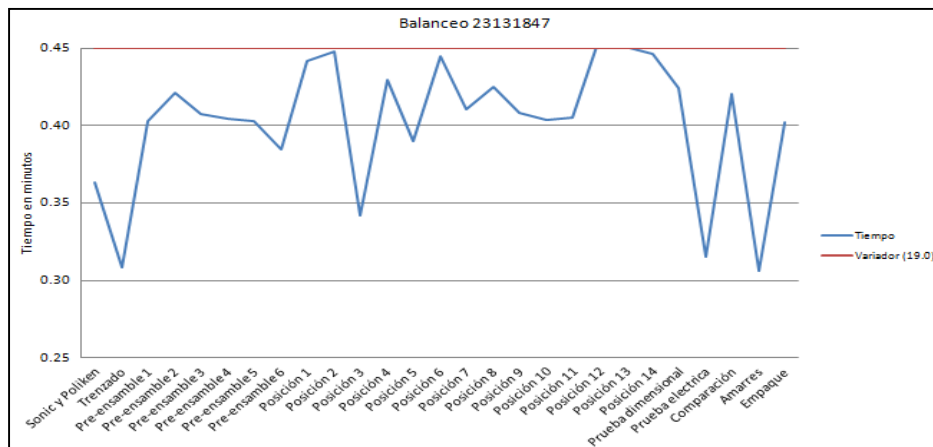


Figura 121. Gráfico de balanceo de número 26131847

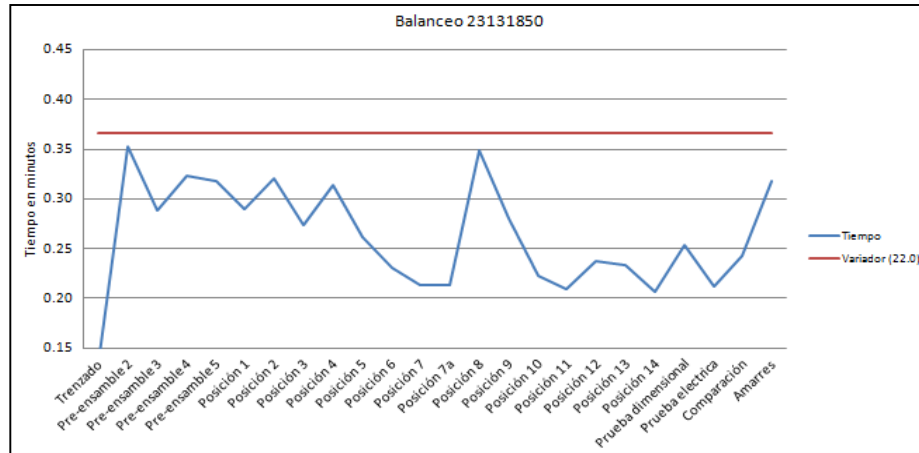


Figura 122. Gráfico de balanceo de número 26131850

De acuerdo con las gráficas mostradas anteriormente, se visualizó que los números de parte se mantuvieron dentro de los límites de producción de piezas requeridos (26131847 – 130 pzs/hr, 26181850 – 160 pzs/hr).

A continuación, se muestra un comparativo entre los tiempos iniciales y los actualizados:

Tabla 111. Comparativo de tiempos estándar

Arnés	Tiempo anterior	Tiempo actual
26131843-01	18.77	18.77
26131844-01	9.12	8.06
26131845-01	18.67	18.67
26131846-01	19.34	19.34
26131847-01	20.60	14.89
26131848-01	20.68	15.20
26131849-01	20.77	15.30
26131850-01	11.28	8.94
26131851-01	16.41	10.33
26131852-01	17.03	10.76

De acuerdo con la tabla 111 se visualizó que se obtuvo una reducción de 6 minutos promedio por número de parte.

Una vez actualizados los tiempos, se continuó con la evaluación de la cantidad de personal necesaria para lograr una producción de 130 piezas por hora (27 segundos por pieza). El análisis se muestra en la tabla 112.

Tabla 112. Personal requerido por número de parte

Arnés	Pre-ensamble	Personal necesario	Armado	Personal necesario
26131844-01	2.94	1	2.5	1
26131847-01	4.87	12	5.91	14
26131848-01	5.07	12	6.02	14
26131849-01	5.09	12	6.02	14
26131850-01	2.56	7	3.86	2
26131851-01	2.84	8	4.78	15
26131852-01	3.19	8	4.78	2

A continuación, se muestra en la tabla 113 y 114 la distribución final del personal en la línea de trabajo por estación:

Personal directo

Tabla 113. Personal directo

Operación	Carrusel (130 pzs)	Estacionarios
Corte	2	2
Sonic	0.5	0
Poliken	0.5	0
Trenzado	1	0
Pre-ensamble	12	5
Armado	14	2
Dimensional	1.25	0.5
Prueba eléctrica	2	0.5
Comparación	1	1
GP12	0	0
Amarres	1	0.5
Empaque	0.75	0.5
	36	12

Personal indirecto

Tabla 114. Personal indirecto

Actividad	Operadores
Abastecimiento de materia prima	1 abastecedor
Abastecimiento de circuitos	1 abastecedor
Aseguramiento de la calidad	1 auditor de calidad
Re-trabajos y apoyo en producción	1 operador líder
Operador de mantenimiento	1 mecánico
Supervisión de producción	1 supervisor

IV.- Layout y equipo de armado de arneses

En cuanto al espacio u área disponible para la fabricación e instalación de los nuevos tableros estacionarios, se habilitaron 39 metros cuadrados adicionales en la parte de atrás de la línea existente para su localización. Esto para la fabricación de los arneses con menor cantidad de componentes, además de la incorporación de dos estaciones de pre-ensamble adicionales para el carrusel.

En cuanto al área se distribuyó como se indica en la figura 123.

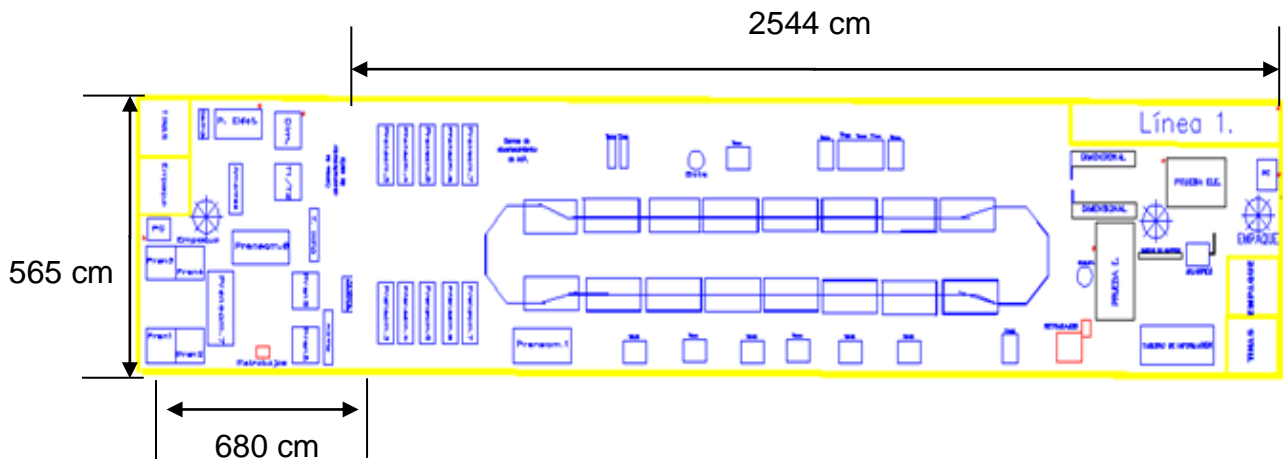




Figura 123. Layout carrusel y estacionarios

5.- Resultados obtenidos

Una vez diseñada, implementada y liberada la línea de producción se obtuvieron los siguientes ahorros:

- Mano de obra

Con la eliminación del segundo turno de trabajo se logró la reducción mostrada en la tabla 115.

Tabla 115. Mano de obra directa e indirecta

Directa

Actividad	Operadores
Sónica y poliken	1 operador
Trenzadora	1 operador
Pre-ensambles	3 operadores
Armado	10 operadores
Dimensión	2 operadores
Prueba eléctrica	1 operador
GP12	2 operadores
Empaque	2 operadores
	22 operadores

Indirecta

Actividad	Operadores
Abastecimiento de materia prima	1 abastecedor
Abastecimiento de circuitos	1 abastecedor
Aseguramiento de la calidad	1 auditor de calidad
Re-trabajos y apoyo en producción	1 operador líder
Supervisión de producción	1 supervisor
Operador de mantenimiento	1 mecánico
	6 operadores

En cuanto a la productividad obtenida considerando la reducción de operadores directos en dos y un turno de trabajo se muestra a continuación:

$$P_{2turnos} = \frac{\text{Producción}}{\text{Mano de obra}} = \frac{1322 \text{ pzs/día}}{70 \text{ persona} * 15.5 \text{ horas}} = 1.21 \text{ horas/hombre}$$

Ecuación 9. Productividad de mano de obra inicial

$$P_{1turno} = \frac{\text{Producción}}{\text{Mano de obra}} = \frac{1322 \text{ pzs/día}}{48 \text{ persona} * 8.5 \text{ horas}} = 3.24 \text{ horas/hombre}$$

Ecuación 10. Productividad de mano de obra final

Como se muestra en la ecuación anterior, se puede observar que la productividad en los operadores directos aumentó en 2.23 horas/hombre (\$4,400.0 USD/mes considerando \$50.0 USD el sueldo promedio semanal por operador) eliminando el segundo turno de trabajo.

- Recursos naturales

Con la eliminación del segundo turno de trabajo se logró una reducción en cuanto al uso de electricidad en un 66% diario ya que se mantuvo detenido el motor del carrusel eléctrico de 5 hp durante 5.5 días de trabajo. A continuación, se muestra el desglose del uso de electricidad de la línea.

Uso de electricidad en dos turnos

Tabla 116. Consumo de energía eléctrica 2 turnos

1er turno			2do turno		
Equipo	Cantidad	Kw/hr	Equipo	Cantidad	Kw/hr
PC	1	0.6kw	PC	1	0.6kw
Banco de prueba	2	4 kw	Banco de prueba	1	2 kw
Tablero	2	3.0 kw	Tablero	1	1.5 kw
Carrusel	1	5 kw	Carrusel	1	5 Kw
Sónica	1	1.2 kw	Sónica	1	1.2
Trenzadora	1	0.75kw	Trenzadora	1	0.75kw
	Total	14.55		Total	11.05
		Total			25.6 kw/hr

Uso de electricidad en un turno de trabajo

Tabla 117. Consumo de energía eléctrica 1 turno

1er turno		
Equipo	Cantidad	Kw/hr
PC	2	1.2
Banco de prueba	3	3.75
Tablero dimensional	3	4.5
Carrusel	1	5.0
Sónica	1	1.2
Trenzadora	1	0.75
	Total	16.4 kw

Como se muestra en las tablas 116 y 117, se observa una disminución en el consumo de energía eléctrica del 36% por hora lo que equivale a un ahorro económico de \$14,608.0 pesos por mes considerando un precio de kw de \$2.5 pesos durante una jornada de trabajo de 5.5 días por 4 semanas al mes.

En cuanto a la productividad en el uso de energía a dos y un turno de trabajo se muestra a continuación:

$$P_{2turnos} = \frac{\textit{Producción}}{\textit{Energía}} = \frac{1322 \textit{ pzs/día}}{396.8 \textit{ kw/día}} = 3.33 \textit{ pzs/kw}.$$

Ecuación 11. Productividad de energía a dos turnos de trabajo

$$P_{1turno} = \frac{\textit{Producción}}{\textit{Energía}} = \frac{1322 \textit{ pzs/día}}{131.2 \textit{ kw/día}} = 10.07 \textit{ pzs/kw}.$$

Ecuación 12. Productividad de uso de energía en un turno de trabajo

- Inversión

Para la instalación de la nueva estación de trabajo se invirtió en los recursos mostrados en la tabla 118:

Tabla 118. Inversión en estacionarios

Máquina	Cantidad	Precio (USD)	Total
Tableros de armado	2	\$510.89	\$1021.78
Tab. dimensionales	1	\$9,229.33	\$9,229.33
Bancos de prueba	1	\$11,810.16	\$11,810.16
Tablero de amarres	1	\$45	\$45
Base de dimensional	1	\$550	\$550
Soporte de re-trabajos	1	\$35	\$35
Equipo de manejo de	5	\$15	\$75
Tapetes	14	\$81.30	\$1,138.2
Bajadas de aire, luz	3	\$230	\$690
PC de empaque	1	\$2,800	\$2,800
Tab. de información	1	\$200	\$200
Pistola corta cintillos	3	\$92	\$276
Reguiletos	1	\$40	\$40
Est. de Pre-ensambles	8	\$192.31	\$1538.48
Espacio en m^2	39	-	
Total:			\$29,448.95 USD

La estrategia para recuperar la inversión (Tabla 119) se obtuvo a mediano plazo con el ahorro de los siguientes recursos a lo largo de la duración del periodo de vida del proyecto.

Tabla 119. Recuperación de inversión

Recursos	Cantidad	Costo / semana	Total/semana
Operadores directos	22	\$ 50.0	\$1,100.0
Abastecedores	2	\$50.0	\$100.0
Auditor de calidad	1	\$70.0	\$70.0
Operador líder	1	\$70.0	\$70.0
Supervisor	1	\$250.0	\$250.0
Mecánico	1	\$70.00	\$70.0
Electricidad	265.6 kw/día	\$0.19	\$280.92
Total:			\$1,940.92 USD
			\$7,763.68 USD/mes

Considerando un pronóstico de vida de la nueva plataforma de arneses “Clutch 1Jumper” hasta el año 2008, se concluyó que durante el año 2014-2015 se pagaría la inversión y a partir del año 2015-2018 se obtendrían ahorros pronosticados en \$372,656.64 dólares.

Como indicador de productividad global se consideró el siguiente:

$$P_{2turnos} = \frac{\text{Producción}}{\text{Mano de obra}} = \frac{330,411 \text{ pzs/anales}}{70 \text{ personas} \cdot 15.5 \text{ horas} \cdot 250 \text{ días}}$$

$$= 1.21 \text{ horas/hombre}$$

Ecuación 13. Productividad global dos turnos

$$P_{1turno} = \frac{\text{Producción}}{\text{Mano de obra}} = \frac{330,411 \text{ pzs/anales}}{48 \text{ personas} \cdot 8 \text{ horas} \cdot 250 \text{ días}} = 3.44 \text{ horas/hombre}$$

Ecuación 14. Productividad global un turno

De acuerdo con la ecuación de productividad global, se concluyó que la productividad alcanzada reduciendo la cantidad de turnos de trabajo fue de 2.23 horas/hombre lo que equivaldría a un ahorro anual de \$52,800 USD.

CONCLUSIONES

En la actualidad, la optimización de recursos es directamente proporcional a la cantidad de negocios nuevos obtenidos por alguna empresa de cualquier giro o sector. El reducir los costos ayuda a ser más competitivos y a ofrecer mejores precios a los clientes activos o potenciales. Tal es el caso de la organización bajo estudio en la cual se logró instalar y manufacturar un nuevo modelo de arnés eléctrico automotriz en una línea que producía arneses de la misma familia pero de un modelo diferente.

Mediante la unificación de la manufactura del modelo 2013 con el modelo 2014 se logró la optimización de recursos materiales para la instalación de la línea de manufactura en un 54.45% lo que equivalió a un ahorro en inversión de \$76,805.79 USD durante la etapa de diseño y desarrollo del proceso. Adicional a la optimización de materiales, se logró la reducción de costos los cuales ayudaron a generar ahorros internos en consumos de cintas, cantidad de cable, número de operadores y consumo de electricidad que contribuyeron a proporcionar costos de producción más bajos a nuevos clientes y aumentar la productividad en 2.23 horas/hombre lo que equivaldría a \$52,800 USD/año en costo de mano de obra directa.

Con respecto a la hipótesis establecida, se logró concluir que mediante un modelo de planeación de la calidad es posible producir arneses eléctricos utilizando recursos disponibles de la misma familia, pero modelo anterior. En cuanto al espacio se logró utilizar el mismo espacio para el arranque del proyecto, mientras que para la reducción del segundo turno de trabajo se adquirió un 21% ($38.42m^2$) de espacio adicional a los $182.15 m^2$ inicialmente utilizados. Para la variable turno de trabajo se llevó a cabo el arranque de la línea de manufactura en dos turnos de trabajo como se había establecido, y posteriormente se logró la eliminación del segundo turno obteniendo así una reducción del 30% (22 operadores) de personal operativo, 36% (\$14,608.0) en consumos de energía eléctrica y un 50%(6 personas) en mano de obra indirecta.

De manera general es posible afirmar que mediante la aplicación del modelo MP-RL de Planeación de la Calidad se logró optimizar la productividad del nuevo modelo de arnés eléctrico automotriz en su etapa de diseño y desarrollo del proceso.

Considerando la interrogante establecida en la pregunta de investigación planteada, se concluye que en una línea de manufactura en donde se producen arneses eléctricos automotrices, es posible diseñar, implementar y producir nuevos modelos de arneses eléctricos utilizando los mismos recursos disponibles a través del modelo de planeación de la calidad MP-RL.

Por último, se concluye que durante la elaboración del presente trabajo de investigación se logró el objetivo establecido de generar un modelo de planeación de la calidad para diseñar e implementar un nuevo modelo de arnés eléctrico optimizando recursos disponibles de un modelo previo aunque para su cumplimiento se haya tenido que utilizar un área extendida para la elaboración de una estación de trabajo adicional. Como propuesta para futuros proyectos de investigación se consideraría como sugerencia el uso del modelo MP-RL para manufacturar arneses eléctricos para un sector aún más exigente como lo es el de la aviación.

LITERATURA CITADA

Abdolshah, M., Yusuff, R. M., Hong, T. S., & Yusof, M. (2009). Overall Processes Capability Index for Assembly Production Lines. *Journal of Applied Sciences* , 9, 3764-3769.

Abdullah, O., Schlattmann, J., & Al-Shabibi, A. M. (2013). Stresses and deformations analysis of a dry friction clutch system. *Tribology in Industry* , 35, 155-162.

Abrahamian, J., Bovenzi, P., Bender, D., Bloink, R., & Conklin, M. (2010). Risk Reducing Product and Process Design During New Product Development. *SAE International* , 1, 1-8.

AIAG, A. (1995). *Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan*. Troy, MI, USA: AIAG.

Alamillo, A. A. (2012). Ciclo de Deming: El ITCJ hacia la Calidad. *Temática y alcance* , 1, 8-12.

Arneses, A. E. (2012). *Arneses eléctricos automotrices [condumex.com.mx]*. Obtenido de http://www.grupocondumex.com.mx/ES/sector_autopartes_grupo_condumex/Paginas/arneses_electricos_automotrices.aspx

Bahrami, M., Hadizadeh, B. D., & Sajjadi, M. S. (2012). Innovation and improvements in project implementation and management; using FMEA technique. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* , 41, 418-425.

Burlikowska, M. D. (2011). Using Control Charts X-R in monitoring a chosen production process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* , 49, 487-498.

Castaño, T. E., & Domínguez, D. J. (2010). *Diseño de experimentos: estrategias y análisis en ciencia y tecnología*. Querétaro, México: U.A.Q.

Chacon, J. E. (2005). *Manual de APQP (Advanced Product Quality Planning) [Ilustrados.com]*. Obtenido de <http://www.ilustrados.com/tema/7468/Manual-APQP-Advanced-Product-Quality-Planning.html>

Ciemel, Y. (2010). *¿Qué es un arnés? [Yazaki.com]*. Obtenido de <http://www.yazaki.com.co/services/services.htm>

Corinne, J. (2002). The Benefits of PDCA. *Quality Progress* , 35, 120.

- Daghani, R., Nasr, M., & Khanbeigi, M. A. (2011). Productivity, New Paradigm for Management, Accountant and Business Enviroment. *International Journal of Business and Management* , 6, 247-262.
- Dudek, B. M. (2011). Application of FMEA method in enterprise focused on quality. *Journal of Achivements in Materials and Manufacturing Engineering* , 45, 89-102.
- Farsi, J. Y., & Hakiminezhad, N. (2012). The integration of QFD technique, value engineering and design for manufacture and assembly (DFMEA) during the product design stage. *Advances in Environmental Biology* , 6, 2096-2104.
- Gallardo, L. A. (2004). *Apuntes de administración*. Guanajuato, México: ITC.
- Gálvez, I. E. (2005). Reflexiones en torno a la evaluación de la calidad educativa. *Tendencias Pedagógicas* , 10, 17-28.
- Gryna, F., Chua, R., Defeo, J., & Magaña, J. (2007). *Método Juran "Análisis y planeación de la calidad"*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Gutiérrez, P. H., & Quirarte, T. A. (2007). Planeación avanzada de la calidad del producto (APQP): conceptos básicos y un caso práctico. *e-Gnosis* , 5, 1-15.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Juárez, R. M. (2012). Evolución de la Calidad. *Apuntes de Sistema de Gestión de la calidad* , 1-28. Querétaro, México.
- Juran, J. M. (1990). *Juran y la planificación para la calidad*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
- Khanduja, D., & Ranga, N. (2014). APQP: A Strategy for Entrepreneurs to Improve Product Quality. *International Conference on Technology and Business Management* , 24, 376-381.
- Kirof, C. V., Oprean, C., & Banciu, D. M. (2009). Intelligent system for assisting decisions in advanced product and process planning and design. *Studies in Informatics and Control* , 18, 247-254.
- Montgomery, D. C., Hines, W. W., Goldsman, D. M., & Borror, C. M. (2008). *Probability and Statistics In Engineering*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Munro, R. A. (2002). Future of APQP and PPAP in doubt. *Quality* , 41, 28.

- Muñoz, H. (2008). *Líneas de Producción [Blogspot.mx]*. Obtenido de <http://productionlines.blogspot.mx/2008/06/lineas-de-produccion.html>
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2004). *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Alfaomega.
- Ostadi, B., Aghdasi, M., & Kazemzadeh, B. R. (2010). The Impact of ISO/TS 16949 on automotive industries and created organizational capabilities from its implementation. *Journal of industrial Engineering and Management* , 3, 494-511.
- ProMéxico. (2012). Industria Terminal Automotriz. *Pro México Inversión y Comercio* , 1, 1-46.
- Pulido, H. G., & De la Vara, S. R. (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México, D.F.: Mc. Graw Hill.
- Reyes, L. O. (2010). Factores que explican la Competitividad Agrícola Sustentable de las unidades de producción rural del sector agrícola que cultivan gramíneas en tres municipios del Bajío mexicano. *Tesis de Doctorado no publicada* . Universidad de Celaya, Celaya, México.
- Rezaie, K., Ostadi, B., & Taghizadeh, M. (2006). Applications of process capability and process performance indices. *Journal of Applied Sciences* , 6, 1186-1191.
- Rufenacht, R. L. (2002). *A Study For Implementing Collaborative Product Commerce In The Advance Product Quality Planning (APQP) Process*. Tesis de maestría publicada, Bowling Green State University, Ohio, U.S.A.
- Salgado, E. G. (2012). Guías para elaborar citas y referencias en formato APA. *ULACIT (Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología de Costa Rica)* , 1, 1-11.
- SENA, S. N. (2009). Evolución de la calidad. *SENA* , 1, 1-17.
- Sipper, D., & Bulfin, R. (1998). *Planeación y Control de la Producción*. México: McGrawHill.
- Stohr, D. (2012). *APQP [qcinspect.com]*. Obtenido de <http://www.qcinspect.com/article/apqp.htm>
- Sun, H., Keung Yau, H., & Ming Suen, E. K. (2010). The Simultaneous impact of supplier and customer Involvement on New Product Performance. *Journal of Technology Management and Innovation* , 5, 70-82.

- Valencia, U. P. (2014). *Evaluación ergonomica de puestos de trabajo [Ergonautas.com]*. Obtenido de <http://www.ergonautas.upv.es/>
- Velez, D. (2012). *Planear, Organizar, Dirigir, Controlar [Blogspot.mx]*. Obtenido de <http://bienadministrar.blogspot.mx/2012/09/esta-definicion-se-subdivide-en-cinco.html>
- Vykydal, D., Plura, j., Halfarova, P., Fabik, R., & Klaput, P. (2013). Use of quality planning methods in optimizing welding wire quality characteristics. *Metalurgija* , 4, 529-532.
- Widodo, W. (2011). Bulding Strategy Quality. *International Journal of Business and Management* , 6, 180-192.
- Zheng, L. Y., & Chin, S. K. (2005). QFD based optimal process quality planning. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 26, 831-841.

ANEXOS

Anexo 1. PFMEA de proceso

Función	Requerimiento	Modo de falla potencial	Efectos de modo de falla	Clase	Severidad	Causas potenciales	Ocurrencia	Controles vigente	Detección	RPN
160. Trenzar circuitos	Final de trenzado parejo	Final de trenzado disparejo	Generación de loop en el circuito al ser ensamblado.		6	No se sigue método de trabajo	2	Difusión del método de trabajo. Criterios de aceptación.	8	96
	Número de vueltas correctas	Número de vueltas incorrectas	Problemas de interferencia en los sistemas del vehículo (estática)		6	Elección de programa equivocado	2	Carta de operación, auxiliar gráfico y método de trabajo.	8	96
	Circuitos correctos	Circuitos equivocados	Problemas de ensamble en conector		6	No sigue método de trabajo	2	Método de trabajo y ayudas visuales.	8	96

Función	Requerimiento	Modo de falla potencial	Efectos de modo de falla	Clase	Severidad	Causas potenciales	Ocurrencia	Controles vigente	Detección	RPN
	Terminal no dañada	Terminal dañada	Problemas de ensamble en conector		6	Colocación de dispositivo de sujeción inadecuado	2	Criterios de aceptación y programa de mantenimiento.	8	96
210. Prueba dimensional	Arnés con dimensiones correctas	Dimensiones incorrectas	Problemas de ensamble en la unidad		6	Uso inadecuado de herramienta	2	Método de trabajo y tablero de prueba dimensional.	5	60
	Presencia de clips	Ausencia de clips	Problemas de ensamble en la unidad		6	No se sigue método de trabajo	2	Contras para colocar clips en tableros de armado. Tablero de prueba dimensional.	5	60
	Amarre con cinta verde presente	Ausencia de cinta verde	Problemas de identificación en la unidad		4	No se sigue método de trabajo	2	Resorte de colocación de cinta, Tablero de dimensión.	5	40

Anexo 2. Plan de control

# de operación	Nombre del proceso	Máquina, dispositivo, herramienta	Característica			Métodos				Plan de reacción
			No.	Producto	Proceso	Método de evaluación	Muestra (tamaño)	Muestra (frecuencia)	Método de control	
160	Trenzar circuitos	Trenzadora	160a	Final de trenzado parejo		Control Visual. Criterio de aceptación	100%	Toda la producción	Registro de inspección y realizar validación de primeras muestras	Detener proceso e identificar con cinta roja el material no conforme y colocarlo en el gancho o contenedor de rechazo. Reportar al supervisor y al inspector de calidad de la no conformidad.
			160b	Número de vueltas correcto		Contador electrónico de vueltas.	100%	Toda la producción		
			160c	Circuitos correctos		Control visual. Auxiliar grafico	100%	Toda la producción		
			160d	Terminal no dañada		Control Visual. Criterio de aceptación	100%			

# de operación	Nombre del proceso	Máquina, dispositivo, herramienta	Característica			Métodos				Plan de reacción
			No.	Producto	Proceso	Método de evaluación	Muestra (tamaño)	Muestra (frecuencia)	Método de control	
210	Prueba dimensional	Tablero dimensional	210a	Dimensiones correctas		De acuerdo a método de trabajo y tablero de dimensión	100%	Toda la producción	Registro de inspección y realización de validación de primeras muestras	Detener proceso e identificar con cinta roja el material no conforme y colocarlo en el gancho o contenedor de rechazo. Reportar al supervisor y al inspector de calidad de la no conformidad.
			210b	Presencia de clips			100%	Toda la producción		
			210c	Cinta verde presente			100%	Toda la producción		
			210d	Presencia de etiqueta de prueba			100%	Toda la producción		
			210e	Etiqueta con información correcta			100%	Toda la producción		
			210f	Colocación de etiqueta correcta			100%	Toda la producción		