

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



**Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora en la línea de ensamble del
proceso de producción de grupos electrógenos utilizando las
herramientas de la metodología TLS (Teoría de las restricciones “TOC” –
Lean Manufacturing – Six Sigma)**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE OPERACIONES**

AUTOR

José Luis Espinoza Ramírez

ASESOR

Dr. Cesar Augusto Stoll Quevedo

Julio, 2018

RESUMEN

La aplicación de la metodología TLS (Teoría de las restricciones “TOC” – Lean Manufacturing – Six Sigma) se realiza a una fábrica dedicada a la producción de grupos electrógenos, carrocerías para ómnibus; así como, a la prestación de servicios de reparación y mantenimiento en talleres especializados. La planta de grupos electrógenos se dedica al diseño y manufactura de generadores, tableros eléctricos y maquinaria industrial a base de motores diésel, permitiéndose lograr consolidación y prestigio en el mercado internacional, conservándose entre las 200 mayores empresas del Perú en los últimos 10 años, manteniendo sus procesos con certificado ISO 9001. Según indicadores financieros de los últimos años, el rubro de grupos electrógenos ha obtenido un mayor margen de utilidad bruta comparada a los otros rubros, 25% en promedio, motivo por el cual se debemos enfocarnos en mejorar los procesos de esta, para no malgastar recursos en costos de no-calidad, para de esta manera obtener mayores utilidades. Ahora, dentro de esta planta existen 3 líneas de ensamble bien definidas: Línea de menor potencia, Línea potencia media, Línea de mayor potencia; la cantidad de grupos electrógenos producidos en la Línea menor suma alrededor del 60%, representando una facturación superior al 35% de la planta; esta Línea de grupos electrógenos de menor potencia a su vez se divide internamente en: Línea de fabricación de metal/mecánica, Línea de fabricación de pintura, Línea de ensamble mecánico/Eléctrico, observando en el ensamble mecánico/eléctrico un bajísimo porcentaje de valor agregado en el tiempo de entrega, cerca del 20%, esto incidía en la entrega del producto terminando, tomándose más de 7 días en terminar de fabricar un grupo electrógeno, teniendo en cuenta un horario laboral de 9 horas, razón por la cual nuestro principal objetivo es incrementar este porcentaje. Aplicando la metodología TLS, partiendo con los pasos del TOC como solución global, empleando formatos DMAIC del Six Sigma y herramientas del Lean Manufacturing dentro de este, se rediseñó y balanceó la línea de ensamble mecánico/eléctrico consiguiendo elevar el valor agregado del ensamble en un 80%, permitiendo entregar los grupos electrógenos en menos de 4 días, logrando obtener considerables ahorros y mayores oportunidades para la empresa, los cuales se evidencian en la evaluación económica.

Palabras claves: TLS, TOC, DMAIC, Six Sigma, Lean Manufacturing, Línea de ensamble, Diseño de la Línea de ensamble, Balanceo de la Línea de ensamble, Valor agregado, Kaizen, Estandarización, Jidoka, VSM, Kanban, POUS, Fabricación celular, 5'S

ABSTRACT

The application of the TLS methodology (Theory of the restrictions "TOC" - Lean Manufacturing - Six Sigma) is carried out to a factory dedicated to the production of gen set, bus bodies; as well as, the provision of repair and maintenance services in specialized workshops. The manufacturing plant of generator set is dedicated to the design and manufacture of generators, electrical panels and industrial machinery based on diesel engines, resulting as consolidation and prestige in the international market, remaining among the 200 largest companies in Peru in the last 10 years, maintaining their processes with ISO 9001 certificate. According to financial indicators of recent years, the generator set area has obtained a higher margin of gross profit compared to the others areas, 25% on average, which is why we should focus on improving processes of this, so as not to waste resources on non-quality costs, in order to obtain higher profits. Now, within this plant there are 3 well-defined assembly lines: low power line, medium power line, high power line; the amount of generator sets produced in the low power line adds up to around 60%, representing a income of more than 35% of the plant; this line of low power generator sets is internally divided into: Metal/ mechanical manufacturing line, Paint manufacturing line, Mechanical / Electrical assembly line, observing in the mechanical / electrical assembly a very low percentage of added value in the delivery time, close to 20%, this affected the delivery of the finished product, taking more than 7 days to finish manufacturing a generator set, taking into account a 9-hour work schedule, which is why our main objective is increases this percentage. Applying the TLS methodology, starting with the steps of the TOC as a global solution, using DMAIC formats of Six Sigma and tools of Lean Manufacturing in this solution, the mechanical / electrical assembly line was redesigned and balanced, increasing the added value of the assembly in a 80%, allowing to deliver the generator sets in less than 4 days, achieving considerable savings and greater opportunities for the company, which is evident in the economic evaluation.

Keywords: TLS, TOC, DMAIC, Six Sigma, Lean Manufacturing, Assembly Line, Assembly Line Design, Assembly Line Balancing, Added Value, Kaizen, Standardization, Jidoka, VSM, Kanban, POUS, Cell Manufacturing , 5'S.

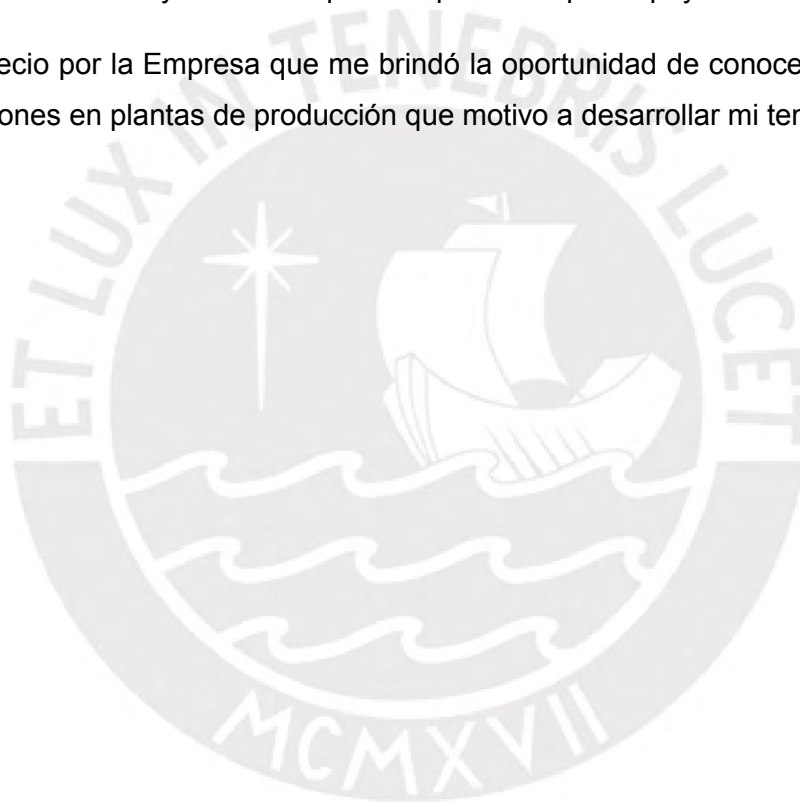
AGRADECIMIENTOS

Agradecer ante todo a Dios, que siempre guía mi camino y me permite seguir adelante.

Reconocer el profesionalismo de mi asesor, el Dr. Cesar Stoll, agradecerle su motivación y tiempo dedicado que me permitió culminar la presente tesis. Así mismo, agradecer a la Escuela de Posgrado y a la Institución que facilitan continuar con mis logros académicos.

Consideración muy especial a mi madre, Julia, a mi esposa, Geraldine, y a mi madrina, Aurea, que me brindaron consejos muy importantes a lo largo de todo este periodo; además de mis hermanos y familiares que siempre están para apoyarme

Gratitud y aprecio por la Empresa que me brindó la oportunidad de conocer los principios de las operaciones en plantas de producción que motivo a desarrollar mi tema de tesis.



INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE GENERAL.....	V
LISTA DE TABLAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XV
PRIMERA PARTE: MARCO TEÓRICO DEL CASO DE ESTUDIO.....	1
CAPÍTULO I: DISEÑO Y SELECCIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	1
1.1. Decisiones principales sobre los procesos de producción.....	2
1.2. Selección o estrategia del proceso de producción de un bien.....	3
1.3. Estrategia del proceso según el flujo.....	3
1.3.1. Distribución por proyecto.....	3
1.3.2. Centro o talleres de trabajo.....	5
1.3.3. Celda de manufactura o producción por lotes.....	6
1.3.4. Línea de Ensamble.....	8
1.3.5. Proceso continuo.....	9
1.4. Estrategia del proceso según el destino.....	13
1.4.1. Fabricación para inventario.....	13
1.4.2. Fabricación por pedido.....	14
1.5. Líneas de Ensamble.....	15
1.5.1. Ventajas y desventajas de las Líneas de Ensamble.....	17
1.5.2. Diseño de una Línea de Ensamble.....	17
1.5.3. Balanceo de una Línea de Ensamble.....	20
CAPÍTULO II: ESTRUCTURA DEL TOC – LEAN MANUFACTURING – SIX SIGMA ...	23
2.1. Elementos, métodos y herramientas del TOC.....	25
2.1.1. Los 5 pasos del enfoque TOC.....	26

2.1.2.	Cuello de botella en TOC	29
2.1.3.	Camino o ruta crítica en TOC.....	32
2.2.	Elementos, métodos y métodos del Six Sigma	32
2.2.1.	DMAIC o Modelo de Mejoramiento Six Sigma.....	35
2.2.2.	Estructura directiva y técnica de los equipos Six Sigma	43
2.2.3.	Diagrama de flujo	47
2.2.4.	Diagrama SIPOC	49
2.2.5.	Mapa del proceso.....	50
2.2.6.	Listas o hojas de Verificación	52
2.2.7.	Diagramas de Pareto	54
2.2.8.	Diagrama de Ishikawa o causa/efecto.....	55
2.2.9.	Gráficas de control.....	57
2.3.	Elementos, métodos y herramientas del Lean Manufacturing	58
2.3.1.	Los desperdicios del Lean.....	60
2.3.2.	Los aliados del desperdicio: Mura y Muri	68
2.3.3.	Cadena de valor.....	71
2.3.4.	Grupos de trabajo	73
2.3.5.	Sistema “pull”	75
2.3.6.	Kanban	76
2.3.7.	Programación nivelada.....	77
2.3.8.	Fabricación celular	79
2.3.9.	Kaizen.....	80
2.3.10.	POUS (point of use storage).....	81
2.3.11.	Distribución física (layout).....	82
2.3.12.	Control visual.....	83
2.3.13.	Estandarización o trabajo estandarizado	85
2.3.14.	Jidoka.....	87

2.3.15.	Las 5´S.....	88
2.3.16.	VSM	93
SEGUNDA PARTE: ANTECEDENTES, ESQUEMA METODOLÓGICO, ALCANCE, ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA		95
CAPÍTULO III: ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO.....		95
3.1.	Líneas de negocio de la empresa	96
3.2.	Ubicación de la empresa según el sector.....	98
3.3.	Cultura organizacional de la empresa.....	98
3.4.	Matriz FODA y estrategias desarrolladas por la empresa	99
3.5.	Reconocimientos y logros de la empresa.....	105
CAPÍTULO IV: ESQUEMA METODOLÓGICO DEL CASO DE ESTUDIO		106
CAPÍTULO V: ALCANCE DEL CASO DE ESTUDIO		108
5.1.	Selección de la línea de negocio en la empresa	108
5.2.	Selección de la línea de producción en la planta de grupos electrógenos	110
5.3.	Selección de la línea de fabricación o ensamble en la producción electrógenos de potencias menores	114
5.3.1.	Línea de fabricación: Metal/Mecánica	115
5.3.2.	Línea de fabricación: Pintura.....	116
5.3.3.	Línea de Ensamble: Mecánico/Eléctrico.....	117
5.4.	Delimitación del caso de estudio.....	119
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL CASO		120
6.1.	TOC – Paso 1: Identificar la restricción.....	120
6.2.	TOC - Paso 2: Explotar la restricción	121
6.2.1.	DMAIC - Etapa Definir I.....	121
6.2.2.	DMAIC - Etapa Medir I	122
6.2.3.	DMAIC - Etapa Analizar I	126
6.2.4.	DMAIC - Etapa Mejorar I.....	127

6.2.4.1.	Herramientas Lean Manufacturing I.....	127
6.2.5.	DMAIC - Etapa Controlar I	136
6.3.	TOC - Paso 3: Subordinar todo a la restricción identificada	136
6.3.1.	DMAIC - Etapa Definir II.....	138
6.3.2.	DMAIC - Etapa Medir II	140
6.3.3.	DMAIC - Etapa Analizar II	144
6.3.4.	DMAIC - Etapa Mejorar II	145
6.3.4.1.	Herramientas Lean Manufacturing II.....	177
6.3.5.	DMAIC - Etapa Controlar II	178
6.4.	TOC - Paso 4: Aumentar la capacidad de la restricción	179
6.5.	TOC - Paso 5: La restricción ha sido eliminada, regresa al paso 1	184
TERCERA PARTE: EVALUACIÓN ECONÓMICA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		185
CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL CASO DE ESTUDIO		185
7.1.	Ingresos económicos obtenidos por la implantación de mejoras.....	185
7.2.	Egresos económicos ocasionados por la implantación de mejoras.....	188
7.3.	Indicadores y flujo de caja económico del caso de estudio	189
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL CASO DE ESTUDIO		190
8.1.	Conclusiones.....	190
8.2.	Recomendaciones.....	192
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		193

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características más importantes de las Estrategias de procesos	11
Tabla 2. Resumen de los tradicionales desperdicios del TPS	68
Tabla 3. Roles de los equipos de trabajo	74
Tabla 4. Matriz FODA de la empresa	100
Tabla 5. Cadena de Valor de la empresa	101
Tabla 6. Indicadores Financieros básicos de la empresa	108
Tabla 7. Grupos Electrógenos producidos en el Año “3”	111
Tabla 8. Grupos Electrógenos producidos en el Año “5”	112
Tabla 9. Total de ventas en el Año “3” y en el Año “5”	112
Tabla 10. GE de potencias menores vendidos en el Año “3” y en el Año “5”	113
Tabla 11. Registro de los proceso de la línea metal/mecánica	115
Tabla 12. Registro de los proceso de la línea de pintura	117
Tabla 13. Registro de los proceso de la línea de ensamble mecánico/eléctrico	117
Tabla 14. Promedio de suma de operaciones de insonorización de paneles.....	124
Tabla 15. Actividades NVA en la insonorización del panel delantero inferior.....	125
Tabla 16. Tiempo de las actividades NVA de la suma de operaciones de insonorización	125
Tabla 17. Desperdicios de la insonorización de semiterminados	126
Tabla 18. Mejoras a implementar en el proceso de Insonorización de semiterminados	128
Tabla 19. Mapa de procesos del nuevo proceso de insonorización.....	133
Tabla 20. Operaciones o actividades de cada estación de trabajo de la línea de ensamble	139
Tabla 21. Tiempo de las operaciones de la estación 4 de la línea de ensamble	140
Tabla 22. Tiempo de las operaciones de la estación 2 de la línea de ensamble	141
Tabla 23. Tiempo de las operaciones de las estaciones de la línea de ensamble	142
Tabla 24. Tiempos promedio de las estaciones de la línea de ensamble	142
Tabla 25. Eficiencia de la línea de ensamble	144
Tabla 26. Actividades que no deben formar parte de la línea de ensamble.....	145
Tabla 27. Resumen de las operaciones de la línea de ensamble.....	146
Tabla 28. Número de estaciones de la línea de ensamble	147
Tabla 29. Asignación de operaciones a cada estación de la línea de ensamble	148

Tabla 30. Balance inicial de la línea de ensamble según nueva distribución de actividades	151
Tabla 31. Nueva eficiencia de la línea de ensamble	152
Tabla 32. Lote de prueba para conseguir mejoras al balanceo	152
Tabla 33. Grupo de trabajo del lote de prueba	153
Tabla 34. Programa de producción del lote de prueba	153
Tabla 35. Necesidades del cliente de algunos grupos del lote de prueba	154
Tabla 36. Estructuras o semiterminados de acuerdo al tipo de abastecimiento.....	155
Tabla 37. Materiales de Almacén según el tipo de abastecimiento y planificación	156
Tabla 38. Distribución de herramientas/estación para ensamblar un GE estándar.....	158
Tabla 39. Operaciones realizadas en la célula de preparación del lote de prueba	160
Tabla 40. Registro de los tiempos de la estación 1 del lote de prueba	163
Tabla 41. Registro de los tiempos de la estación 2 del lote de prueba	164
Tabla 42. Registro de los tiempos de la estación 3 del lote de prueba	166
Tabla 43. Registro de los tiempos de la estación 4 del lote de prueba	167
Tabla 44. Registro de los tiempos de la estación 5 del lote de prueba	170
Tabla 45. Registro de los tiempos de la estación Insonorizado del lote de prueba	171
Tabla 46. Registro de los tiempos de la estación 6 del lote de prueba	172
Tabla 47. Tiempo de entrega promedio y %VA promedio de los GE del lote de prueba	173
Tabla 48. Tiempo promedio y cantidad de operarios por estación en el lote de prueba .	173
Tabla 49. Comparación e Incremento del %VA de la línea antes y después del balance	174
Tabla 50. Mejoras implementadas en el balance de la línea de ensamble	177
Tabla 51. Producción de GE de potencias menores por mes.....	179
Tabla 52. Ingreso “1”: Ahorro H-H generado por el incremento del %VA	186
Tabla 53. Ingreso “2”: Ahorro H-H de debido a la reducción de tiempo de operación.....	187
Tabla 54. Ingreso “3”: Ahorro en almacenamiento debido reducción del LT	187
Tabla 55. Egresos económicos ocasionados por la implantación de mejoras	188
Tabla 56. Flujo de caja económico del caso de estudio	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El sistema de Administración de Operaciones	2
Figura 2. Distribución por proyecto: Proyecto edificio ecológico.....	4
Figura 3. Talleres de trabajo: Taller de gabinetes	6
Figura 4. Producción por lotes: fábrica vehículos militares	8
Figura 5. Línea de ensamble: fábrica de autos.....	9
Figura 6. Fabricación continua: Planta de bebidas.....	10
Figura 7. Ciclo de vida del proceso	12
Figura 8. Matriz producto-proceso modificado (Hayes y Wheelwright)	12
Figura 9. Vínculos entre las prioridades competitivas y estrategia de manufactura	15
Figura 10. Línea de Ensamble del Boeing 737.....	16
Figura 11. Ecuación capacidad de producción de una línea	18
Figura 12. Definición de secuencia de actividades de una línea de ensamble	19
Figura 13. Ecuación de la Eficiencia de una línea de ensamble.....	20
Figura 14. Ecuación para el número de estaciones de una línea.	21
Figura 15. Ecuación alternativa para el número de estaciones de una línea	21
Figura 16. Heurísticas utilizadas para el balanceo de líneas.....	22
Figura 17. Eficiencia de una línea de ensamble (más de un operario/ estación)	22
Figura 18. Objetivos de la integración de herramientas TLS	24
Figura 19. Hoja de ruta para integración de las herramientas TLS.....	25
Figura 20. Los cinco pasos del enfoque TOC	27
Figura 21. Flujo de red con un cuello de botella	31
Figura 22. Flujo de red con un cuello de botella (actividades en días).....	32
Figura 23. Etapa Definir de la metodología DMAIC	37
Figura 24. Etapa Medir de la metodología DMAIC	38
Figura 25. Etapa Analizar de la metodología DMAIC	39
Figura 26. Etapa Mejorar de la metodología DMAIC	41
Figura 27. Etapa Controlar de la metodología DMAIC.....	42
Figura 28. Estructura directiva y técnica del Six Sigma (6σ).....	47
Figura 29. Diagrama de flujo para verificar encendido de una lámpara	48
Figura 30. Diagrama SIPOC para la expedición de una factura	50
Figura 31. Mapa de proceso de alto nivel para la entrega de pedidos surtidos	51
Figura 32. Mapa de proceso de nivel micro para la admisión a la sala de urgencias.....	52

Figura 33. Hoja de verificación para productos defectuosos	53
Figura 34. Diagrama de Pareto sobre las quejas en el hotel	55
Figura 35. Diagrama de causa/efecto para admisión en la sala de urgencias	56
Figura 36. Tipos de Graficas de control	58
Figura 37. Imagen básica de la producción esbelta	59
Figura 38. Desperdicio en una línea de montaje de chasis de camión	61
Figura 39. Sobreproducción de productos terminados	62
Figura 40. Eliminar el movimiento innecesario	66
Figura 41. Control de calidad a una planta de llantas radiales	67
Figura 42. Ejemplo básico de Muda, Mura y Muri	70
Figura 43. Desperdicio de una cadena de valor	72
Figura 44. Objetivo de la cadena de valor	72
Figura 45. Equipo de trabajo Lean: producción en lotes vs flujo de una pieza	74
Figura 46. Sistema <i>pull</i> de la producción esbelta	76
Figura 47. Flujo del kanban de entrega del material y de retiro de contenedores	77
Figura 48. Comparación del sistema de producción: tradicional vs nivelado	78
Figura 49. Comparación de un flujo tradicional vs. Un flujo en línea con células	80
Figura 50. Layout de un centro de recursos de investigación	83
Figura 51. Control visual de un panel de comunicación	85
Figura 52. Estandarización: ensamble del cárter de un motor	86
Figura 53. Jidoka en una línea de ensamble de aviones monomotores	88
Figura 54. Implementación de las 5'S para organizar herramientas	89
Figura 55. VSM del estado actual de una línea de retenedores (cojinetes)	94
Figura 56. Productos de la empresa	97
Figura 57. Personal Integrado de la empresa	99
Figura 58. Análisis de las cinco fuerzas de Porter de la empresa	102
Figura 59. Clientes del mercado de exportación de la empresa	103
Figura 60. Matriz de Boston Consulting Group (BCG) para la empresa	105
Figura 61. Reconocimientos y logros de la empresa	106
Figura 62. Esquema metodológico TLS del caso de estudio	107
Figura 63. Área construida de la planta de producción de grupos electrógenos	109
Figura 64. División de las líneas de producción de la planta de GEs	110
Figura 65. Líneas de fabricación y ensamble en la producción de GE menores	114
Figura 66. Mapa de Procesos en la línea de fabricación de Metal/Mecánica	115

Figura 67. Mapa de Procesos en la línea de fabricación de Pintura	116
Figura 68. Reporte del tiempo de entrega de la línea de ensamble mecánico/eléctrico .	118
Figura 69. Mapa de Procesos en la línea de ensamble mecánica/eléctrica.....	118
Figura 70. Línea de ensamble mecánico/eléctrico de los GEs menores.....	119
Figura 71. Camino crítica/cuello de botella de la línea de ensamble.	120
Figura 72. Proceso de insonorización de semiterminados antes de la mejora.....	122
Figura 73. Semiterminados o paneles de una cabina insonora del GE de 82Kw	123
Figura 74. Reportes de Insonorización de semiterminados de GE de 82Kw	123
Figura 75. Diagrama de Pareto de las mudas del proceso de Insonorización	126
Figura 76. Diagrama de Ishikawa de los desperdicios del proceso de insonorización	127
Figura 77. Diagrama de flujo del proceso de insonorización después de plantear la mejora	129
Figura 78. Planos para el corte de espuma para el techo de la cabina	130
Figura 79. Mesa especial para la operación de “trazado”	130
Figura 80. Mesa especial para la operación de “corte”	131
Figura 81. Mesa especial para la operación de “pegado” y aspersor de pegamento	132
Figura 82. Móvil mecánico para el traslado y almacenamiento en racks	132
Figura 83. Camino crítica y tiempo de entrega del nuevo proceso de insonorización	133
Figura 84. Distribución física de las operaciones de la célula de insonorización	134
Figura 85. Distribución física de las operaciones de insonorización en la planta de GE. 135	
Figura 86. Herramientas de control para mantener el nuevo proceso de insonorización	136
Figura 87. Estaciones que se deben subordinar al proceso de insonorización.....	137
Figura 88. Tiempo máximo de operación para cada estación de trabajo.....	137
Figura 89. SIPOC de la línea de ensamble mecánico/eléctrico	138
Figura 90. Graficas de control de los tiempos de operación de cada estación	143
Figura 91. Diagrama de precedencia para las operaciones de la línea de ensamble	146
Figura 92. Diagrama de operaciones de las nuevas actividades de la estación 1	149
Figura 93. Diagrama de operaciones de las nuevas actividades de la estación 3	150
Figura 94. Muestra de la lista de materiales (BOM) según ERP (SAP)	156
Figura 95. POUS enfocados a los materiales de almacén /arneses	157
Figura 96. POUS enfocados a las herramientas /tableros	157
Figura 97. Reportes de las células: fabricación de arnés y ensamble eléctrico del tablero.	159
Figura 98. Operaciones realizadas en la célula de preparación del lote de prueba	160

Figura 99. Reporte de producción de GE estándar de 60 Kw.....	161
Figura 100. Reporte de producción de un GE insonoro de 55 Kw.....	162
Figura 101. Ensamble del lote de prueba en la estación 1	163
Figura 102. Grafica de control de los tiempos de la estación 1 del lote de prueba	164
Figura 103. Ensamble del lote de prueba en la estación 2	165
Figura 104. Grafica de control de los tiempos de la estación 2 del lote de prueba	165
Figura 105. Ensamble del lote de prueba en la estación 3	166
Figura 106. Grafica de control de los tiempos de la estación 3 del lote de prueba	167
Figura 107. Ensamble del lote de prueba en la estación 4	168
Figura 108. Grafica de control de los tiempos de la estación 4 del lote de prueba	168
Figura 109. Nueva distribución física de la estación 05 del lote de prueba.....	169
Figura 110. Operaciones de la estación 05 del lote de prueba.....	170
Figura 111. Nueva distribución física de la estación Insonorizado del lote de prueba	171
Figura 112. Ensamble del lote de prueba en la estación 6	172
Figura 113. VSM inicial (antes del balance) de la línea de producción GE.....	175
Figura 114. VSM final (después del balance) de la línea de producción GE	176
Figura 115. Herramientas de control para mantener el balance de la línea de ensamble.	178
Figura 116. Incremento de la capacidad de la restricción (célula de insonorización).....	181
Figura 117. Distribución física luego de incrementar la capacidad de la restricción.....	182
Figura 118. Distribución en planta luego de incrementar la capacidad de la restricción .	183
Figura 119. Nueva de la restricción de la línea de ensamble	184
Figura 120. Tasa de interés pasiva promedio del mercado	189

INTRODUCCIÓN

Es una constante que todas aquellas empresas que en un corto tiempo han pasado de la clasificación PYME (Pequeñas y Medianas Empresas) a Gran Empresa de manufactura adopten modelos de mejora de procesos usadas por empresas transnacionales, sobre todo de aquellas reconocidas mundialmente como General Electric, Toyota, CAT, entre otros. Aunque para eso se necesita conocer bien a fondo el tipo de negocio, para poder elegir cual modelo nos ayudaría en el objetivo trazado. Además, la capacitación del personal en la metodología a emplear es esencial, tanto personal operativo como administrativo.

En este sentido, en el presente caso de estudio, el marco teórico tratara de indicar los conceptos que identifican al tipo de proceso modelo de producción empleado por la empresa donde se realiza el estudio, así como, definir todas las herramientas TOC-Lean–Six Sigma posibles a utilizarse en el caso de estudio.

Una vez recopilado los fundamentos necesarios para la aplicación de la metodología TOC-Lean–Six Sigma procederemos a determinar en qué zona, área o sector de la empresa debe ser utilizado para obtener mejores resultados, tanto operativos como económicos. La metodología TOC-Lean–Six Sigma requiere combinar conceptos de mejora de procesos de las 3 técnicas que la conforman: Teoría de las Restricciones, Manufactura Esbelta y Seis Sigma; pero en una forma lógica y ordenada tomando como punto de partida para iniciar el proceso de mejora la Teoría de las Restricciones (TOC).

La factibilidad de la aplicación de la metodología empleada se demostrara con la evaluación económica-financiera del caso de estudio.

PRIMERA PARTE: MARCO TEÓRICO DEL CASO DE ESTUDIO

El Marco teórico abordado en esta primera parte nos brindara los conceptos o fundamentos necesarios para poder desarrollar el tema del caso de estudio. Este se dividirá en 2 capítulos. El primer capítulo nos permitirá conocer los diferentes procesos de producción para de esta forma relacionarnos con el tipo o tipos de procesos empleados en la empresa donde se aplicara la metodología TOC-Lean–Six Sigma. El segundo capítulo explica el concepto de las metodologías a emplearse, así como, enumerar y ejemplificar todas las herramientas que pueden ser utilizadas en el caso de estudio.

CAPÍTULO I: DISEÑO Y SELECCIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN

Producción es la creación de bienes y servicios. Las actividades que crean bienes y servicios se realizan en todas las organizaciones. Sin importar que el producto final sea un bien o un servicio, las actividades de producción que ocurren en la organización se conocen comúnmente como operaciones, o administración de operaciones. Para crear bienes y servicios, todas las organizaciones desarrollan las funciones de: marketing, la cual genera la demanda o, al menos, toma el pedido de un producto o servicio (nada ocurre sino hasta que hay una venta); producción y operaciones, que crean el producto; y finanzas y contabilidad, que hacen un seguimiento de cómo una organización funciona, paga facturas y recauda dinero. (Heizer & Render, 2009)

La administración de la producción y de las operaciones es la administración de sistema de producción de una organización, es el conjunto de actividades que crean valor en forma de bienes y servicios al transformar los insumos en productos terminados. Un sistema de producción toma insumos - materias primas, personal, maquinas, edificios, tecnología, efectivo, información y otros recursos – y los convierte en productos – bienes y servicios. Este proceso de conversión es el centro de lo que se conoce como producción y es la actividad predominante de un sistema de producción. (Gaither & Frazier, 2000)

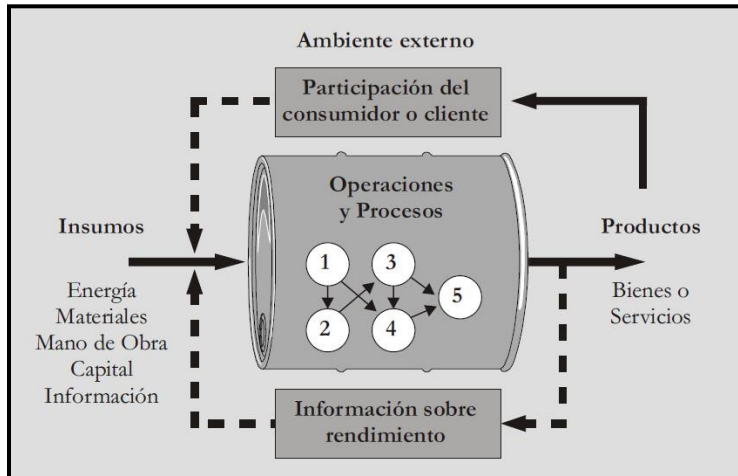


Figura 1. El sistema de Administración de Operaciones

Fuente: (Carro & Gonzales, 2009A)

Un proceso es cualquier actividad o grupo de actividades mediante las cuales uno o varios insumos son transformados y adquieren un valor agregado, obteniéndose así un producto para un cliente, tal como se observa en la figura 1. (Carro & Gonzales, 2009A)

1.1. Decisiones principales sobre los procesos de producción

Las decisiones sobre los procesos afectan directamente al propio proceso e indirectamente a los servicios y productos que produce; ya sea que se trate de procesos para oficinas, proveedores de servicios o fabricantes, los gerentes de operaciones deben considerar cuatro decisiones comunes sobre los procesos: la estructura del proceso, que determina cómo se diseñarán los procesos en relación con los tipos de recursos necesarios, cómo se repartirán los recursos entre los procesos y las características fundamentales de éstos. Cuando se trata de servicios, entre los primeros aspectos que deben tomarse en cuenta para tomar estas decisiones están la cantidad y tipo deseados de contacto con los clientes y las prioridades competitivas que el diseño del proceso debe contemplar. En cuanto a los procesos de manufactura, los primeros aspectos son el nivel de volumen, la cantidad de personalización y, una vez más, las prioridades competitivas. Comprender estas conexiones ayuda al gerente a detectar posibles desalineaciones en los procesos, lo que allana el camino para la reingeniería y las mejoras de los procesos; la participación del cliente, que refleja el modo en que los clientes forman parte del proceso y el grado de dicha participación; la flexibilidad de los recursos, es la facilidad con la que

los empleados y el equipo manejan una amplia variedad de productos, niveles de producción, tareas y funciones; la intensidad del capital, es la mezcla de equipo y habilidades humanas que intervienen en un proceso. Cuanto mayor sea el costo relativo del equipo, tanto mayor será la intensidad del capital. (Krajewski et al, 2007)

1.2. Selección o estrategia del proceso de producción de un bien

Se determina cómo se organizan los recursos alrededor del producto para conseguir implementar la estrategia de la organización. Esta elección va depender del volumen y del grado de personalización. Los procesos pueden clasificarse según el flujo de materiales, partes o personal y el destino que se le da a los bienes finales. Según el flujo, se pueden dividir en cuatro clásicas categorías y adicionalmente una quinta clasificación que es común en muchos autores: talleres de trabajo, lotes, línea de ensamble, flujo continuo, y proyecto; otros autores mencionan solamente tres categorías: proyecto, flujo Intermitente y Flujo Lineal. Según el destino, pueden ser: para inventario o stock, o por pedido u órdenes (Carro & Gonzales, 2009B).

1.3. Estrategia del proceso según el flujo

El patrón general del flujo del trabajo define los formatos que se usarán para la distribución dentro de una instalación, considerando que hay cinco estructuras básicas (proyecto, centro de trabajo, celda de manufactura, línea de ensamble y proceso continuo). (Chase et al, 2009)

1.3.1. Distribución por proyecto

Las organizaciones de proyectos son las que se encargan de los productos individualizados que se acoplan a los requerimientos específicos de cada cliente. Como las especificaciones del producto no pueden ser estandarizadas y como es común tener que ver con una diversidad de productos, el proceso de conversión debe de permitir flexibilidad en las características y capacidades de los equipos, en las habilidades humanas y en los procedimientos. (Adam & Ebert, 1991)

El producto (en razón de su volumen o peso) permanece en un lugar fijo y el equipo de producción va hasta el producto y no al contrario. Los bienes que se producen con este tipo de distribución suelen ser manejados empleando las técnicas para la administración de proyectos, habrá ciertas áreas del lugar designadas para distintos propósitos. (Chase et al. 2009)

Con este tipo de proceso se puede lograr una alta personalización y, en general, tiene bajos volúmenes de producto. La secuencia de las operaciones es única para cada producto. En general son procesos de larga duración y gran escala, por lo que se utilizan para la producción de un producto único. Son proyectos que concluyen con el producto y no existe repetición. (Carro & Gonzales, 2009B)

Por lo general, los proyectos tienen un amplio alcance, y suelen ser administrados por equipos de individuos, reunidos exclusivamente para esa actividad con base en sus habilidades particulares. (Chapman, 2006)

La construcción de edificaciones (hospitales, estadios, escenarios de películas, casas, condominios, puentes de gran escala, etc) son ejemplos de esta estrategia, por ejemplo la construcción de un edificio ecológico que se muestra en la figura 2.

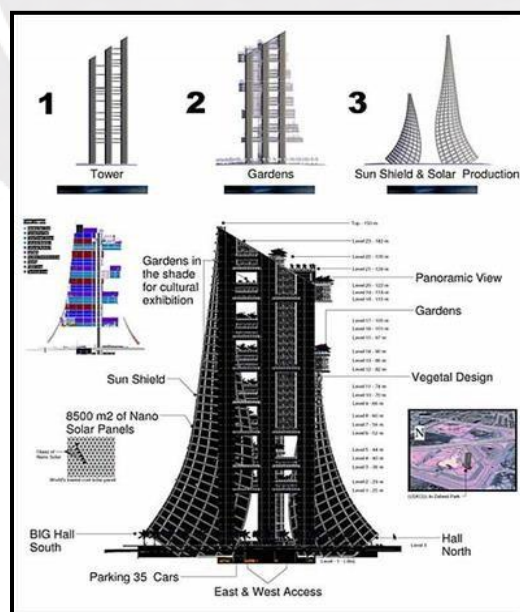


Figura 2. Distribución por proyecto: Proyecto edificio ecológico

Fuente: Melrom (2015)

1.3.2. Centro o talleres de trabajo

EL flujo de un proceso de trabajo en la planta se lleva a cabo en instalaciones en donde se manufacturan pequeños lotes de muchos productos diferentes, cada uno de los cuales se diseña individualmente, por lo que requiere de sus propios conjuntos de pasos en el proceso, o rutas a través del proceso de producción. Con gran cantidad de trabajos diferentes, es necesario emplear sistemas de seguimiento y control más elaborados, mucho del tiempo se pierde en la espera de acceso al siguiente centro de maquinado, y algunos talleres se encuentran sobrecargados, mientras que otros están inactivos. (Adam & Ebert, 1991)

Un proceso de trabajo crea la flexibilidad necesaria para producir una amplia variedad de productos en cantidades significativas, con complejidad y divergencia considerables en los pasos ejecutados. El grado de personalización es alto y el volumen de cualquier producto en particular es bajo. Los trabajadores y el equipo son flexibles para manejar una divergencia considerable en las tareas. Típicamente, fabrican productos bajo pedido y no los producen con anticipación. Se desconocen las necesidades específicas del siguiente cliente y la frecuencia de los pedidos repetidos del mismo cliente es imprevisible. Cada nuevo pedido se maneja como una sola unidad, como un trabajo. (Krajewski et al, 2007)

Un centro de trabajo es un lugar donde se agrupan equipos o funciones similares, como todas las perforadoras en un área y todos las troqueladoras en otra. Así, la pieza que se está produciendo pasa, siguiendo una secuencia establecida de operaciones, de un centro de trabajo a otro, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación. (Chase et al. 2009)

También se les conoce como talleres de trabajo, por la producción de pequeñas series de gran cantidad de productos. (Carro & Gonzales, 2009B)

Los procesos de taller por lo general tienen como objetivo lograr flexibilidad. El trabajo en estas condiciones se desarrollará casi siempre de forma un tanto “desorganizada” debido a la alta variabilidad del diseño de cada labor. También es a causa de la variabilidad en el

diseño y en los requerimientos de trabajo que los vínculos de información tienden a ser informales y laxos. (Chapman, 2006)

Los ejemplos para estos centros serían: taller de maquinaria de propósito general, pastelería gourmet, alimentos preparados, tableros eléctricos de comandos de máquinas, circuitos impresos, local de impresión, etc. Por ejemplo en la figura 3 se muestra un taller de fabricación de gabinetes o tableros metálicos.



Figura 3. Talleres de trabajo: Taller de gabinetes
Fuente: (Heizer & Render, 2009)

1.3.3. Celda de manufactura o producción por lotes

La frase celda de manufactura se refiere a un área dedicada a la fabricación de productos que requieren procesamientos similares. Estas células son diseñadas para desempeñar un conjunto específico de procesos y se dedican a una variedad limitada de productos. Una empresa puede tener muchas células diferentes en un área de producción y cada una de ellas estará preparada para producir con eficiencia un solo producto o un grupo de productos similares. Por lo general, las células están programadas para producir “conforme se necesita” para responder a la demanda actual de los clientes. (Chase et al, 2009)

Las celdas de manufactura es taller de trabajo más especializado En general se tiene una línea estable de productos que se producen en lotes con una periodicidad. (Carro & Gonzales, 2009B)

Los flujos de procesos por lotes representan un paso adelante en los trabajos en planta, en términos de estandarización de productos, pero no son tan estandarizados como los productos en los flujos de líneas de ensamble. El sistema debe ser aun multipropósito y tener flexibilidad para todo tipo de productos, con poco volumen, aun cuando los lotes de gran tamaño de productos estandarizados pueden ser procesados de una manera diferente, por ejemplo, haciendo que la producción de algunos lotes tenga como destino intermedio las bodegas de almacenamiento y no vaya de inmediato a satisfacer los pedidos de los clientes. (Adam & Ebert, 1991)

Un proceso por lotes se distingue de un proceso de trabajo por sus características de volumen, variedad y cantidad. La diferencia principal es que los volúmenes son más altos porque los mismos productos o partes que los forman, u otros similares, se producen repetidamente. Algunos de los componentes que se usan en la fabricación del producto final pueden procesarse con anticipación. Otra diferencia es que se provee una gama más estrecha de productos. La tercera diferencia es que las partidas de producción se manejan en cantidades (o lotes) mayores que en los procesos de trabajo. (Krajewski et al, 2007)

Dado que la mayor parte de la “habilidad” para generar el producto descansa en el equipo más especializado, por lo regular no es necesario que los trabajadores sean tan calificados como los de los talleres de trabajo. Esta categoría muchas veces se denomina “por lote” en virtud de que los productos generalmente se fabrican en lotes discretos. Por ejemplo, un proceso por lote puede generar varios cientos de unidades de un modelo de producto, empleando varias horas antes de cambiar la configuración para producir otro lote de un modelo ligeramente diferente. (Chapman, 2006).

Muchos de los productos fabricados bajo este esquema incluyen: ropa, bicicleta, muebles, fabricación de maquinaria pesada, maquinaria o vehículos militares equipos electrónicos, etc. Por ejemplo en la figura 4 se muestra la producción en lotes de vehículos militares.



Figura 4. Producción por lotes: fábrica vehículos militares
Fuente: (Krajewski et al, 2007)

1.3.4. Línea de Ensamble

La línea de ensamble se refiere a un lugar donde los procesos de trabajo están ordenados en razón de los pasos sucesivos que sigue la producción de un producto. De hecho, la ruta que sigue cada pieza es una línea recta. Para la fabricación de un producto, las piezas separadas pasan de una estación de trabajo a otra a un ritmo controlado y siguiendo la secuencia necesaria para fabricarlo. (Chase et al, 2009)

En un proceso en línea los volúmenes son altos y los productos están estandarizados, lo que permite organizar los recursos en torno a productos particulares. La divergencia es mínima en el proceso o los flujos lineales, y se mantiene poco inventario entre los pasos de procesamiento. Cada paso realiza el mismo proceso una y otra vez, con escasa variabilidad en los productos manufacturados. (Krajewski et al, 2007)

Como los diseños de los productos es lo primero que se conoce y son relativamente estables, el equipo especializado, las habilidades humanas y los sistemas de administración se pueden desarrollar y dedicarse a un número limitado de productos y volúmenes. Por encima de este margen, el sistema es inflexible. (Adam & Ebert, 1991)

El gasto en equipo especial se coloca en la categoría de gastos generales, lo que permite que el costo relativamente fijo se distribuya sobre un gran volumen. Esto provoca que el costo unitario sea menor, dando lugar a un precio competitivo. El procesamiento repetitivo se utiliza por lo general en diseños del tipo fabricado para almacenamientos. (Chapman, 2006)

Este proceso se aplica a la fabricación de electrodomésticos, ensamble de juguetes, fabricación de autos (que se muestra en la figura 5), etc.



Figura 5. Línea de ensamble: fábrica de autos
Fuente: (Chase et al, 2009)

1.3.5. Proceso continuo

Un proceso continuo se parece a una línea de ensamble porque la producción sigue una secuencia de puntos predeterminados donde se detiene, pero el flujo es continuo en lugar de mesurado. Estas estructuras suelen estar muy automatizadas y, de hecho, constituyen una “máquina” integral que podría estar funcionando las 24 horas del día para no tener que apagarla y arrancarla cada vez, porque ello resulta muy costoso. (Chase et al, 2009) El equipo es especializado y requiere muy poca mano de obra (Chapman, 2006).

Su nombre proviene de la forma como los materiales se mueven a través del proceso. Generalmente, un material primario (como un líquido, un gas o un polvo) se mueve sin cesar a través del proceso. Éste se asemeja más a una entidad independiente. Un proceso de flujo continuo difiere de un proceso en línea en un aspecto importante: los

materiales (sean indiferenciados o discretos) fluyen a través del proceso sin detenerse hasta que se termina todo el lote. Su duración puede abarcar varios turnos o incluso varios meses. Los procesos en línea, por otro lado, pueden iniciarse y detenerse en cada turno o día, incluso si el lote no está terminado. (Krajewski et al, 2007)

En general altamente automatizado y permanente. Tiene alto volumen y alta estandarización, con flujos de línea muy rígidos. El proceso por lo general es de capital intensivo y operan buscando maximizar el espacio y evitar onerosas paradas. (Carro & Gonzales, 2009B).

Son ejemplos de este tipo de flujo: las plantas químicas, las refinerías de petróleo, los procesos que producen acero, bebidas (ver figura 6), comidas, fármacos, cervecerías, etc.



Figura 6. Fabricación continua: Planta de bebidas

Fuente: (Chase et al, 2009)

El resumen de las características más importantes de los tipos de estrategia de procesos según en el flujo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características más importantes de las Estrategias de procesos

Característica	Proyecto	Trabajo de taller	Lotes	Línea	Flujo continuo
<i>Características del equipo y distribución física</i>					
<i>Tamaño común de las instalaciones</i>	Varía	Normalmente pequeña	Moderado	A menudo grande	Grande
<i>Flujo del proceso</i>	No hay ningún patrón	Unos pocos patrones de flujo	Uno o dos patrones dominantes simples	Un patrón de flujo rígido	Claro e inflexible
<i>Velocidad del proceso</i>	Varía	Lento	Moderado	Rápido	Muy Rápido
<i>Tamaño de corrida</i>	Muy corta	Corta	Moderada	Larga	Muy Larga
<i>Tasa de cambio en la Tecnología del procesos</i>	Lenta	Lenta	Moderada	De moderada a alta	Demasiada alta
<i>Características de la mano de obra directa y de la fuerza de trabajo</i>					
<i>Contenido de mano de obra</i>	Alta	Muy Alta	Varía	Baja	Muy Baja
<i>Nivel de habilidad del trabajador</i>	Alto	Alto	Combinado	Bajo	Varía
<i>Requerimientos de capacitación del trabajador</i>	Muy Elevados	Elevados	Moderados Bajos	Bajo	Varían
<i>Características de control de los materiales y la información</i>					
<i>Requerimientos de materiales</i>	Varían	Difíciles de predecir	Más predecibles	Predecibles	Muy predecibles
<i>Requerimientos de información sobre producción</i>	Muy elevados	Elevados	Varían	Moderados	Bajos
<i>Programación</i>	Incierta, cambios frecuentes	Incierta, cambios frecuentes	Varía, envíos frecuentes	Proceso diseñado alrededor de un programa fijo	Inflexible, secuencia a menudo dictada por la tecnología
<i>Características primarias de administración de operaciones</i>					
<i>Retos</i>	Estimaciones, secuenciado de tareas, precios	Estimación de utilización de mano de obra, respuesta rápida eliminando cuellos de botella	Procedimientos de diseño, de etapas de balance respondiendo a diversas necesidades	Mejoramiento de la productividad, ajustes de los niveles de personal de apoyo, rebalanceo cuando es necesario	Evitando tiempos muertos, programando la expansión en el tiempo, reducción de costos

Fuente: (Adam & Ebert, 1991)

Las tecnologías de procesos tienen ciclos de vida que generalmente están relacionados con las etapas del ciclo de vida (figura 7) de los productos. A través del tiempo los costos de manufactura disminuyen para los productos que han alcanzado la madurez. Para ilustrar esto, la organización del proceso es en general del tipo de trabajo de planta en su etapa de arranque y se desplaza hacia la organización de flujo continuo si el producto sobrevive, hasta llegar a ser un bien básico. Los volúmenes de producción y automatización no son significativos al principio y llegan al máximo nivel durante el periodo de madurez y el de declinación. (Adam & Ebert, 1991)

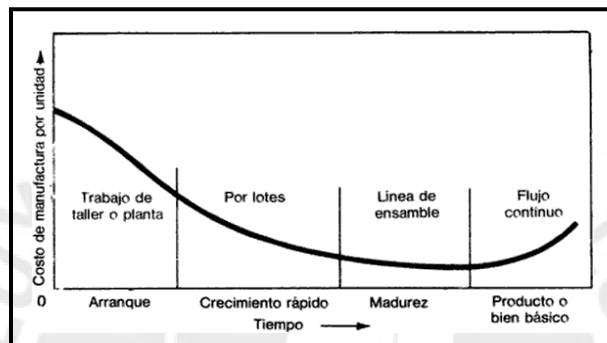


Figura 7. Ciclo de vida del proceso

Fuente: (Adam & Ebert, 1991)

Muchas veces, se utiliza una matriz de procesos y productos (similar a la figura 8). La primera dimensión se refiere al volumen de productos fabricados. La estandarización se presenta en el eje vertical y se refiere a las variaciones del producto, las cuales se miden en términos de diferencias geométricas, diferencias de materiales, etc. (Chase et al, 2009)

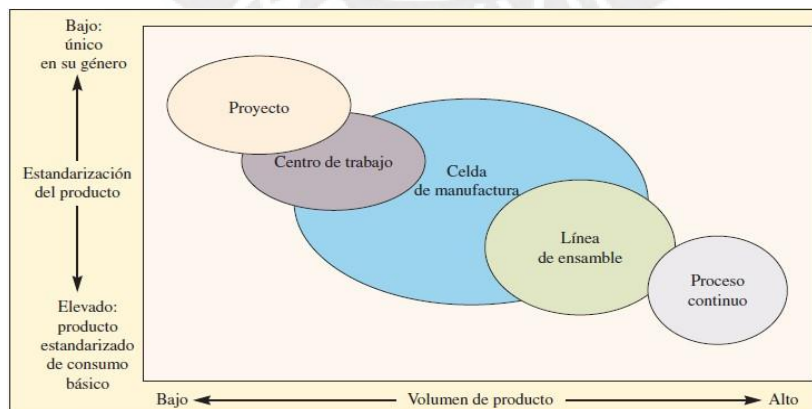


Figura 8. Matriz producto-proceso modificado (Hayes y Wheelwright)

Fuente: (Chase et al, 2009)

1.4. Estrategia del proceso según el destino

El diseño del sistema de planificación y control se verá impactado por varios factores, además de los mencionados antes. En algunos casos, el reconocimiento de la influencia que tiene el cliente sobre el diseño forma parte de la estrategia básica de la empresa, pero en otros es una reacción ante las directrices del mercado. Muchos automóviles, por ejemplo, se adquieren como bienes terminados en el lote de un distribuidor, debido sobre todo a que los clientes no quieren ordenar un automóvil que cuente exactamente con las opciones que desean, y luego tener que esperar a que se los entreguen. (Chapman, 2006).

1.4.1. Fabricación para inventario

Como sugiere el nombre de esta categoría, existen productos cuya fabricación llega a su forma final, y que se almacenan como productos terminados. La base colectiva de clientes puede tener cierta influencia sobre el diseño general en una fase temprana del bosquejo del producto; sin embargo, un cliente individual sólo tiene que tomar — esencialmente — una decisión cuando el producto está terminado: adquirirlo o no adquirirlo. Una vez más, estos patrones de compra pueden provocar modificaciones generales en el diseño del producto, lo cual no ocurre, por lo general, en el caso de un cliente individual. (Chapman, 2006)

Las empresas manufactureras que mantienen artículos en inventario para entrega inmediata, minimizando así el tiempo de entrega al cliente, aplican la estrategia de fabricación para mantener en inventario. Esta estrategia es factible para productos estandarizados con altos volúmenes y pronósticos razonablemente precisos. Los volúmenes son suficientes para justificar una estrategia de fabricación para mantener en inventario. A la combinación de un proceso en línea con la estrategia de fabricación para mantener en inventario algunas veces se le llama producción en masa. (Krajewski et al, 2007)

Los ejemplos de este tipo de productos son muy comunes, como se observa en prácticamente cualquier tienda minorista de herramientas, ropa, suministros para oficina, componentes electrónicas, bebidas gaseosas. etc.

1.4.2. Fabricación por pedido

Esta estrategia comprende: ensamble, fabricación (propriadamente dicha), e ingeniería.

➤ Ensamble por pedido

La estrategia de ensamble por pedido es un método para producir una amplia variedad de productos a partir de relativamente pocas unidades ensambladas y componentes, después de haber recibido los pedidos de los clientes. Las prioridades competitivas típicas son la variedad y tiempos de entrega rápidos. La estrategia de ensamble por pedido a menudo comprende un proceso en línea para el ensamblaje y un proceso por lotes para la fabricación. (Krajewski et al, 2007)

En este caso el cliente cuenta con mayor influencia sobre el diseño, toda vez que puede seleccionar varias opciones a partir de subarmados predefinidos. El productor “ensamblará” esas opciones para formar el producto final que desea el cliente. En algunas industrias este enfoque se denomina empaquetado bajo pedido, en virtud de que es el empaquetado (desde el punto de vista de producto terminado) el que depende del cliente. (Chapman, 2006)

Los automóviles y las computadoras personales son buenos ejemplos de este tipo de productos, la venta de pinturas (en la tienda es posible producir casi cualquier color mezclando pigmentos estándar) y las casas prefabricadas para las cuales el cliente elige entre varias opciones de colores y acabados

➤ Fabricación por pedido

Los fabricantes que elaboran productos en bajos volúmenes, de acuerdo con las especificaciones del cliente, tienden a aplicar la estrategia de fabricación por pedido, aunada con procesos de trabajo o por lotes pequeños. Se trata de un proceso más complejo que ensamblar un producto final a partir de componentes estándar, como armar una computadora Dell por pedido del cliente. Se pueden utilizar muchos tipos diferentes de procesos de manufactura, aparte de “ensamblar o unir partes y materiales” primordialmente. (Krajewski et al, 2007)

Esta condición permite que el cliente especifique el diseño exacto del producto o servicio final, siempre y cuando en su fabricación se utilicen materias primas y componentes estándar. Ejemplos pueden ser un fabricante de muebles especiales, una panadería, equipo médico especializado. (Chapman, 2006)

➤ **Ingeniería por pedido**

En este caso el cliente tiene prácticamente completo poder de decisión sobre el diseño del producto o servicio. En general, no se verá limitado a la utilización de componentes o materia prima estándar, sino que incluso podrá hacer que el productor le entregue algo diseñado “desde cero”. (Chapman, 2006)

En la figura 9 se muestra las prioridades competitivas que se obtiene al seleccionar el tipo de estrategia que se aplica en un proceso de producción.

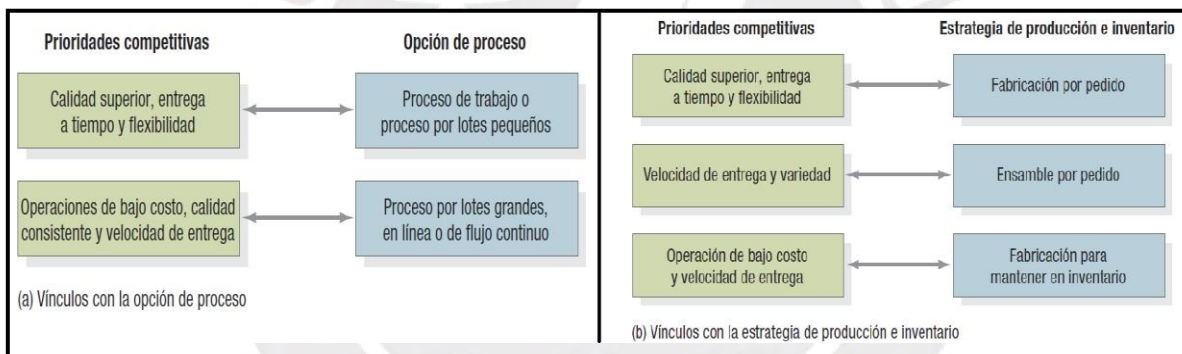


Figura 9. Vínculos entre las prioridades competitivas y estrategia de manufactura
Fuente: (Krajewski et al, 2007)

1.5. Líneas de Ensamble

Las organizaciones que fabrican grandes volúmenes de un solo producto pueden obtener económicos con una distribución física orientada al producto (línea de ensamble). A principios del siglo XX, Henry Ford revolucionó un sector de la industria, a EUA y a su economía produciendo automóviles de manera masiva. Como cada coche era idéntico, el total de la secuencia de construcción podía quedar predeterminada hasta detalles de gran cuidado, Cada actividad fue estudiada minuciosamente por ingenieros y gerentes para encontrar formas de hacerla más rápida y aun coste más bajo. Mejores métodos de

trabajo, equipo especializado y herramientas, y una capacitación extensiva de los empleados fueron las estrategias usadas para reducir los tiempos de realización de las operaciones. Esto, entonces, se convirtió en el proceso básico de la línea de ensamble de la Ford. La distribución física es tan aplicable hoy en día como lo fue entonces en 1913 (Adam & Ebert, 1991)

En la línea de ensamble se colocan las partes fabricadas juntas en una serie de estaciones de trabajo (figura 10). La línea debe estar “balanceada”: es decir, el tiempo que lleva realizar una tarea en una máquina debe ser igual o “estar balanceado” con el tiempo que lleva realizar el trabajo en la siguiente máquina de la línea de fabricación, de igual modo que el tiempo que requiere un empleado en una estación de trabajo de la línea de ensamble debe estar “balanceado” con el tiempo que requiere el empleado que le sigue en la siguiente estación de trabajo. (Heizer & Render, 2009)

Las líneas tienden a seguir el paso de las tareas asignadas a los individuos o a las estaciones de trabajo. Por lo tanto, las líneas de ensamble se pueden balancear cambiando tareas de un individuo a otro. Entonces, en la planeación de la distribución orientada al producto, el problema central es balancear las tareas de cada estación de trabajo ubicada en la línea de producción para que sean casi las mismas a la vez que se obtiene la cantidad de producción deseada. La meta de la administración es crear un flujo continuo a lo largo de la línea de ensamble con un mínimo de tiempo ocioso en cada estación de trabajo. (Heizer & Render, 2009)



Figura 10. Línea de Ensamble del Boeing 737

Fuente: (Heizer & Render, 2009)

1.5.1. Ventajas y desventajas de las Líneas de Ensamble

Las ventajas principales de la distribución orientada al producto son: el bajo costo variable por unidad usualmente asociado con los productos estandarizados de alto volumen; bajos costos por manejo de materiales; la reducción de inventarios de trabajo en proceso; facilidad de capacitación y supervisión; volumen de producción rápida a través de las instalaciones. Las desventajas de la distribución orientada al producto son: que se requiere un alto volumen debido a la gran inversión necesaria para establecer el proceso; cuando se detiene el proceso en cualquier parte se detiene toda la operación; falta de flexibilidad cuando se maneja una variedad de productos o tasas de producción. En una línea de ensamble, el producto casi siempre se mueve por medios automatizados, como una banda transportadora, a través de una serie de estaciones de trabajo hasta completarse. (Heizer & Render, 2009)

1.5.2. Diseño de una Línea de Ensamble

El problema fundamental de la planeación de la distribución física para las líneas de ensamble es encontrar el número de estaciones de trabajo y las actividades a ser realizadas en cada estación, de manera que se pueda alcanzar el nivel deseado de la producción. Todo esto debe llevarse a cabo de tal manera que los recursos que se emplean como insumos sean minimizados. (Adam & Ebert, 1991)

➤ Primero, ¿Es adecuada la capacidad?

El diseño se centra en alcanzar un nivel deseado de capacidad productiva. La capacidad está determinada por el tiempo más largo requerido por el tiempo más largo requerido para pasar todas las estaciones. En una línea existirán varias estaciones, cada estación con un realiza un numero finito de actividades (no todas necesariamente dependen de la anterior), la estación que tenga mayor tiempo en realizar sus actividades se le denomina cuello de botella, que es la estación que restringe el flujo, a su vez está longitud de tiempo se denomina el tiempo del ciclo. El resultado de la capacidad de producción (figura 11) nos dirá si nuestro diseño es adecuado para el objetivo de producción deseado, de lo contrario se debe modificar tiempo de ciclo modificando las actividades que contiene. (Adam & Ebert, 1991).

$$\text{Producción diaria máxima (número de unidades)} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Tiempo requerido del ciclo/unidad}}$$

Figura 11. Ecuación capacidad de producción de una línea

Fuente: (Adam & Ebert, 1991)

El tiempo del ciclo es el tiempo real que se invierte para completar un paso de la tarea o del proceso. Algunos pasos del proceso pueden ser necesarios para completar el producto. El tiempo takt, mencionado en ocasiones, está determinado por el cliente y es la velocidad a la cual deben producirse las unidades terminadas para satisfacer la demanda del cliente. (Heizer & Render, 2009)

➤ **Segundo, ¿Es la secuencia de actividades factible: cuales deben hacerse primero y cuáles después?**

Si las actividades van a ser asignadas a las estaciones de trabajo, es necesario considerar su secuencia. Después debe determinar los requerimientos de tiempo para cada tarea de ensamble (por ejemplo, taladrar un agujero, apretar una tuerca o pintar con aerosol una parte). La administración también necesita conocer la relación de precedencia entre las actividades es decir, la secuencia en que deben realizarse las diferentes tareas. (Heizer & Render, 2009)

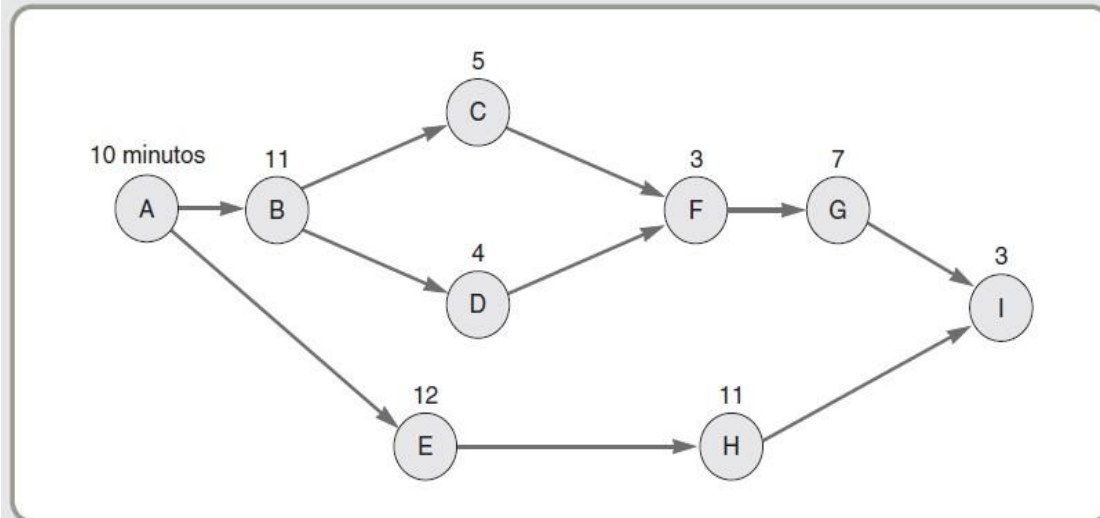
Por ejemplo la figura 12 muestra un número finito de actividades, la precedencia de cada actividad respecto a la anterior, así como, los tiempos por cada operación o actividad; definidas estas características se puede realizar un diagrama de precedencia que facilitara a estructurar la secuencia de tareas y de esta forma obtener el tiempo máximo que toma completar el proceso.

Método: El personal resume las tareas, los tiempos de ensamble, y los requerimientos de secuencia para el componente en la tabla.

Tarea	Tiempo de realización (minutos)	Tarea que deben seguir las tareas enlistadas abajo
A	10	—
B	11	A
C	5	B
D	4	B
E	12	A
F	3	C, D
G	7	F
H	11	E
I	3	G, H
Tiempo total 66		

Esto significa que las tareas B y E no pueden realizarse sino hasta que se termine la tarea A.

Solución: En la figura se muestra el diagrama de precedencia.



Razonamiento: El diagrama ayuda a estructurar una línea de ensamble y las estaciones de trabajo, y facilita la visualización de la secuencia de tareas.

Figura 12. Definición de secuencia de actividades de una línea de ensamble

Fuente: (Heizer & Render, 2009)

➤ **Tercero, ¿La línea es eficiente?**

La definición destaca el interés de alcanzar la producción deseada de una manera eficiente (figura 13), sin emplear recursos innecesarios como insumos. Es decir, ¿Qué parte del tiempo de los obreros se emplea para un esfuerzo productivo y cuánto se pierde en no hacer nada? Todo depende del paso de la línea que la gerencia haya seleccionado. La inactividad diaria se traduce en salario pagado por un tiempo ocioso (no hacer nada), Estos costos excesivos tarde o temprano se cargan al cliente, al hacer el ajuste de los precios. (Adam & Ebert, 1991)

$$\text{Eficiencia} = \frac{\Sigma \text{ Tiempos de las tareas}}{(\text{Número real de estaciones de trabajo}) \times (\text{Tiempo de ciclo más grande asignado})}$$

Figura 13. Ecuación de la Eficiencia de una línea de ensamble

Fuente: (Heizer & Render, 2009)

1.5.3. Balanceo de una Línea de Ensamble

El balanceo de líneas se realiza comúnmente para minimizar el desequilibrio entre máquinas y personal al mismo tiempo que se cumple con la producción requerida de la línea con el fin de producir a una tasa especificada, la administración debe conocer las herramientas, el equipo y los métodos de trabajo empleados. (Heizer & Render, 2009)

¿Cómo se puede reducir el costo por pérdida de tiempo? Si los tiempos productivos que se requieren en todas las estaciones de trabajo fuesen iguales no existirían tiempos muertos, y la línea estaría perfectamente equilibrada, el problema de diseño de encontrar formas de igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones se denomina problema de balanceo de línea. El procedimiento para mejorar el diseño requiere de seis pasos o etapas. (Adam & Ebert, 1991)

- **Definir actividades elementales**; estas normalmente se obtienen al momento de diseñar la línea de ensamble, pero hay que verificar que sí todas son totalmente necesarias. (Adam & Ebert, 1991)

- **Identificar los requerimientos de la procedencia;** esta etapa dice que las actividades elementales no pueden hacerse en cualquier orden. Se debe de cerciorar que secuencia inicial haya sido la correcta. (Adam & Ebert, 1991)
- **Calcular el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias;** una vez que se ha especificado la producción de línea, se puede calcular el número teórico mínimo de estaciones que requiere. (Adam & Ebert, 1991)

Para obtener el número de estaciones se puede utilizar la ecuación de la figura 14 o la ecuación de la figura 15, ambos nos llevaran al mismo resultado

$$\text{Número teórico mínimo de estaciones} = \frac{\text{Contenido total de trabajo (tiempo)/unidad} \times \text{Número deseado de unidades/día}}{\text{Tiempo productivo total disponible/día}}$$

Figura 14. Ecuación para el número de estaciones de una línea.
Fuente: (Adam & Ebert, 1991)

$$\text{Número mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo para la tarea } i}{\text{Tiempo del ciclo}}$$

Figura 15. Ecuación alternativa para el número de estaciones de una línea
Fuente: (Heizer & Render, 2009)

- **Aplicar una heurística de asignación para especificar el contenido de trabajo de cada estación;** la heurística es una resolución de problemas usando procedimientos y reglas en vez de optimización matemática. Sin embargo, recuerde que aunque las técnicas heurísticas proporcionan soluciones, no garantizan la solución óptima. En la actualidad se disponen de diversas heurísticas computarizadas, y como diferentes heurísticas (ver figura 16) pueden conducir a diseños diferentes, se puede pensar en hacer la prueba con más de un intento. (Heizer & Render, 2009)

Distribución heurística que puede usarse para asignar tareas a las estaciones de trabajo en el balanceo de líneas	
1. <i>Tiempo más largo para una tarea (operación)</i>	De las tareas disponibles, elegir la que tenga el tiempo más grande (más largo).
2. <i>Más tareas subsecuentes</i>	De las tareas disponibles, elegir la que tenga el mayor número de tareas subsecuentes.
3. <i>Ponderación de la posición</i>	De las tareas disponibles, elegir la tarea cuya suma de tiempos para las tareas subsecuentes sea la mayor.
4. <i>Tiempo más corto para una tarea (operaciones)</i>	De las tareas disponibles, elegir la que tenga el tiempo más corto.
5. <i>Menor número de tareas subsecuentes</i>	De las tareas disponibles, elegir la que tenga el menor número de tareas subsecuentes.

Figura 16. Heurísticas utilizadas para el balanceo de líneas.

Fuente: (Heizer & Render, 2009)

- **Calcular la eficacia y la eficiencia;** luego de haber optimizado el diseño con un buen balance de línea. La eficiencia se calcula de acuerdo a la medida de utilización de la mano de obra mencionada en el diseño, se obtiene con la ecuación de la figura 17. La eficacia se observa si el diseño satisface la capacidad deseada, o sea, se alcanza la meta de producción. (Adam & Ebert, 1991)

$\text{Eficiencia (1 Operario/estación)} = \frac{\sum \text{Tiempos de las tareas}}{(\text{Número real de estaciones de trabajo}) \times (\text{Tiempo de ciclo más grande asignado})}$
$\text{Eficiencia (>1 Operario/estación)} = \frac{\sum (\text{Tiempo de cada estación de trabajo} \times \text{Número de operarios de la respectiva estación})}{(\text{Número total de operarios en la línea}) \times (\text{Tiempo de ciclo más grande asignado})}$

Figura 17. Eficiencia de una línea de ensamble (más de un operario/ estación)

Fuente: (Heizer & Render, 2009)

- **Buscar mejoras subsecuentes;** se puede mejorar el diseño con ensayo y error. Además se pueden utilizar muchas otras heurísticas. Finalmente, si el nivel de producción deseado excede a la capacidad de la línea, es útil hacer un análisis de trabajo más profundo. (Adam & Ebert, 1991)

CAPÍTULO II: ESTRUCTURA DEL TOC – LEAN MANUFACTURING – SIX SIGMA

Las decisiones de mejoramiento de los procesos deben tomarse cuando: existe una brecha entre las prioridades competitivas y las capacidades competitivas; se ofrece un producto o servicio nuevo o modificado sustancialmente; es necesario mejorar la calidad; han cambiado las prioridades competitivas; la demanda de un servicio o producto está cambiando; el desempeño actual es inadecuado; ha cambiado el costo o la disponibilidad de los insumos; los competidores ganan terreno por el uso de un nuevo proceso; se hallan disponibles nuevas tecnologías; alguien tiene una idea mejor. (Krajewski et al, 2007)

El propósito de la metodología TLS es mostrar que tan efectiva puede ser integración de estas herramientas, ya que el Six Sigma reduce la variabilidad de los recursos del proceso para lograr una calidad uniforme constante y elimina costos de no conformidades; el Lean Manufacturing visualiza las técnicas que permite mejorar la velocidad del flujo del proceso permitiendo reducir costos al eliminar lo innecesario, suministrar sólo lo necesario cuando es requerido, mejorando los tiempos de entrega; Mientras que TOC viene a dar un mayor énfasis a atacar primeramente las áreas críticas o cuellos de botella/ restricciones al proceso, se enfoca a gestionar los eslabones más débiles que son los que marcan el paso del proceso que debe satisfacer en forma global los requerimientos del cliente. En otras palabras las herramientas del TLS buscan: reducir el tiempo de manufactura; reducir la variabilidad en los procesos; proporcionar mejoras rápidas; reducir costos para enfocarse en los pocos vitales o críticos desde la perspectiva del cliente que marca el paso de los procesos. Lo óptimo, es entrelazar las tecnologías haciendo partícipes e involucrando a toda la pirámide organizacional, ya que no se contraponen y unidas podrán lograr resultados altamente satisfactorios para la empresa y la sociedad misma. (Cabrera, 2014)

La figura 18 simboliza como actúa la metodología TLS para obtener ganancias, enfocarse en utilizar los principios primordiales de la metodología TOC, metodología Six Sigma y de la metodología Lean Manufacturing para obtener mejores resultados.



Figura 18. Objetivos de la integración de herramientas TLS
Fuente: (Cabrera, 2014)

La forma más poderosa de integrar TOC, lean y Six Sigma parte en la estrategia. La estrategia provee la hoja de ruta para mejorar los resultados del negocio. Esta hoja ruta se muestra en la figura 19. La estrategia en la hoja de ruta provee la dirección para las áreas de la organización que más pueden beneficiar a todo el sistema aplicando primero las mejoras. El diseño del sistema de la primera área provee un predictivo y estable funcionamiento de éste, enfocándose en la protección y manejo de las restricciones de todo el sistema, alinea o reconfigura el modelo operacional, políticas, roles, responsabilidades e información del sistema de acuerdo a la estrategia. La activación, implementa la nueva definición de políticas, medidas, roles y responsabilidades del modelo operacional y la “nueva” información del sistema para hacer el diseño operacional. Una vez que esto es alcanzado, las tentativas de mejoras de procesos pueden ser aplicados de una manera enfocada a proveer incluso más resultados de las líneas inferiores de la organización. Finalmente, las mejoras tienen que ser sostenidas de modo que la organización alcance verdaderos resultados en las líneas inferiores en el tiempo. Con esto, la organización puede utilizar la integración completa del TOC, Lean, and Six Sigma de modo de obtener un sistema enfocado a la mejora que alcance un real y sostenido desarrollo. (Cox & Schleier, 2010)

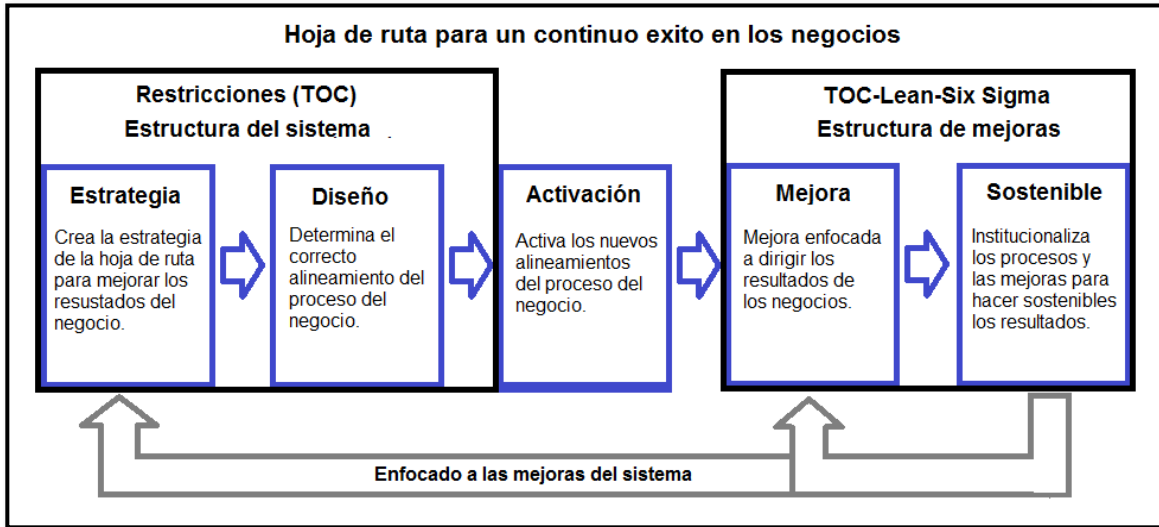


Figura 19. Hoja de ruta para integración de las herramientas TLS

Fuente: (Cox & Schleier, 2010)

2.1. Elementos, métodos y herramientas del TOC

TOC no es tan simple como encontrar y agilizar el “cuello de botella”, TOC se trata de que como mejorar y manejar la restricción del sistema y como esto funciona en el contexto del sistema global. Es administrar el sistema global que está compuesto de interdependencias, variabilidad, y restricciones, para asegurar los máximos resultados en las líneas inferiores de la organización. TOC se trata de enfocarse primero a los puntos de apalancamiento del sistema y luego en como todas las partes del sistema impactan en la operación de los puntos de apalancamiento. Esta es la forma de conseguir la mejora global del sistema, no sólo mejoras puntuales. (Cox & Schleier, 2010)

El fundamento de esta metodología se basa: Nada se puede mejorar si no se sabe cuál es el objetivo último que se persigue con la mejora. La Meta de cualquier empresa con fines de lucro es ganar dinero es la forma sostenida hoy y en el futuro, satisfaciendo las necesidades de los clientes, empleados y accionistas. (Cabrera, 2014).

La teoría de restricciones es un método sistemático de administración que se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta de maximizar el total de fondos o ventas con valor agregado menos los descuentos y los costos variables. (Krajewski et al, 2007)

2.1.1. Los 5 pasos del enfoque TOC

El proceso se basa en la simple premisa de que una organización se puede ver como una cadena y, por lo tanto, el desempeño de cualquier organización está limitado por su "eslabón más débil" o restricción del sistema. Para mejorar el desempeño de la organización, la gerencia debe enfocar su tiempo y recursos limitados en encontrar formas de "fortalecer el eslabón más débil". El proceso de los cinco pasos del TOC permite a una organización explotar continuamente y elevar su potencial inherente que puede "desbloquearse" o "crearse" enfocando los recursos escasos en identificar, explotar y elevar el rendimiento de su restricción actual del sistema. (Cox & Schleier, 2010)

Nuestra organización es una cadena, en donde cada área o departamento es un eslabón de la misma, donde se puede definir qué *restricción crítica* tiene nuestra organización para lograr su meta de generación de utilidades. Solamente enfocándonos en el *eslabón más débil* o *restricción crítica* podremos lograr un mejoramiento sustancial. Cuando se elimina esta restricción surge otra en otra parte del sistema, que es la que determina la generación de utilidades. TOC identifica cinco pasos para eliminar restricciones físicas, dichas restricciones se definen como cualquier aspecto que pueda ser relacionado con un factor tangible del proceso de producción, como la impuesta por la capacidad de equipos, mantenimiento, disponibilidad de un material, un proveedor, recursos financieros, entre otros. (Cabrera, 2014)

El método de los cinco pasos del enfoque TOC, resumidos en la figura 20, concentra sus iniciativas de mejora en la operación que restringe un proceso crucial o en el componente más débil que limita el desempeño de todo el sistema. Si estos elementos se administran bien, se deduce que es más probable que se alcance un mejor desempeño general de un sistema, en relación con su meta. (Chase et al, 2009)

La teoría de las restricciones es el cuerpo de conocimientos que maneja todo lo que limita la habilidad de una organización para lograr sus metas. Las restricciones pueden ser físicas (como la disponibilidad de personal o de procesos, materias primas o suministros) o no físicas (como procedimientos, estados de ánimo y capacitación). La base de la teoría de las restricciones es el reconocimiento y manejo de estas limitaciones mediante los cinco pasos del enfoque TOC. (Heizer & Render, 2009)

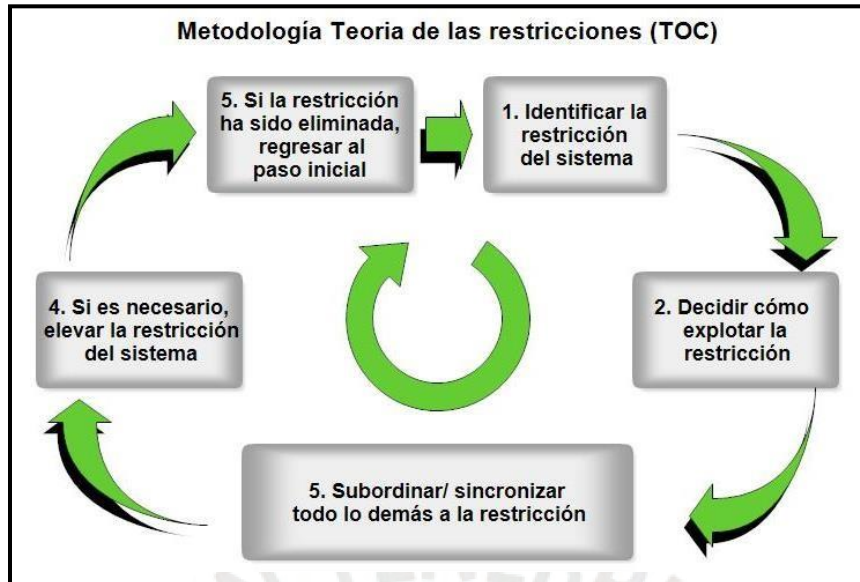


Figura 20. Los cinco pasos del enfoque TOC
Elaboración Propia

➤ **Paso 1: Identificar la restricción del sistema**

En este caso, nos enfrentamos a una situación en la cual la restricción es la capacidad disponible en un recurso. La forma más simple de identificar dicha restricción es comparar la carga que se coloca en cada recurso con la cantidad total de producción y la configuración requerida en ese recurso para satisfacer la demanda del mercado. Sin embargo, esto no siempre produce resultados significativos debido a inexactitudes en los datos. En varios cientos de fábricas con las que el autor ha consultado, este método no identifica el verdadero cuello de botella en un abrumador número de casos. La elección del cuello de botella es el punto fundamental en el desarrollo de la estrategia para todo el negocio y, por lo tanto, esta es una decisión que debe tomarse por el negocio como un todo y no es solo una decisión de producción / fabricación. (Cox & Schleier, 2010)

Esto implica la necesidad de analizar el proceso completo para determinar qué proceso limita el rendimiento. El concepto no restringe este análisis únicamente a los procesos operativos. (Chapman, 2006)

No es posible hacer mejoras si no se encuentra la restricción o el eslabón débil. (Chase et al, 2009)

➤ **Paso 2: Decidir cómo explotar la restricción**

La restricción, en el entorno discutido, es la capacidad disponible en un recurso específico. La explotación de ese recurso significa que debemos maximizar el rendimiento con respecto a las métricas operativas globales de Rendimiento, Inventario y Gasto Operativo. Más específicamente, el objetivo es maximizar el rendimiento, al tiempo que se administra de manera eficiente el inventario y el gasto operativo. (Cox & Schleier, 2010)

Esto se refiere a encontrar métodos para maximizar la utilización de la restricción con el objetivo de obtener un rendimiento productivo. (Chapman, 2006)

Las restricciones deben ser lo más efectivas posibles. (Chase et al, 2009)

➤ **Paso 3: Subordinar/sincronizar todo lo demás a la restricción**

Subordinar, es asegurarse de que todos los demás recursos se centren en realizar tareas de tal forma que se admita el flujo planificado a través de la restricción. Todas las actividades, desde la publicación del material hasta cómo se procesan antes y después del cuello de botella, deben realizarse de la manera que mejor respalde las decisiones tomadas en el segundo paso. (Cox & Schleier, 2010)

La utilización efectiva de la restricción es lo más importante. Todo lo demás es secundario. (Chapman, 2006)

Articule el resto del sistema para que apoye las restricciones, incluso si esto reduce la eficiencia de los recursos no restringidos. (Chase et al, 2009)

➤ **Paso 4: Si es necesario, elevar la restricción del sistema**

Al completar el tercer paso (subordinación), tenemos un sistema que opera a pleno potencial (obtenemos el máximo rendimiento por lo que se ha hecho con la restricción y el desperdicio se minimiza mediante la subordinación en todos los demás recursos). Para mejorar aún más el rendimiento del sistema, debemos aumentar el rendimiento de la restricción en sí. (Cox & Schleier, 2010)

Esto significa, esencialmente, encontrar formas de incrementar las horas disponibles de la restricción, incluyendo su propio aumento. (Chapman, 2006)

Sí la producción todavía es inadecuada, adquiera más de este recurso para que deje de ser una restricción. (Chase et al, 2009)

➤ **Paso 5: Sí la restricción ha sido eliminada, regresar al paso inicial**

Sí completamos el cuarto paso, la capacidad de rendimiento de la restricción actual es elevada, por lo tanto, ya no puede seguir siendo una restricción. Su nuevo potencial será mayor que la capacidad de otro recurso en el sistema. (Cox & Schleier, 2010)

Al incrementarse la utilización eficaz de la operación restrictiva, ésta puede dejar de ser una restricción, pero aparecerá otra a lo largo del proceso. En ese caso el interés debe desplazarse hacia la nueva restricción. (Chapman, 2006)

Cuando se resuelva el problema de la restricción, vuelva al comienzo y empiece de nuevo. Es un proceso continuo de mejora. (Chase et al, 2009)

No permitir que la inercia se imponga. Las medidas tomadas en los pasos tres y cuatro mejorarán la producción; pero, tal vez, alterarán las cargas de trabajo de otros procesos. En consecuencia, es posible que la(s) restricción(es) del sistema se desplacen. Entonces, todo el proceso deberá repetirse para identificar y administrar el nuevo conjunto de restricciones. (Krajewski et al, 2007)

La figura 20 nos muestra un esquema que resume de los cinco pasos de enfoque TOC.

2.1.2. Cuello de botella en TOC

Un recurso de capacidad restringida es un recurso que se ha convertido en cuello de botella como resultado de la utilización ineficiente. Cuello de botella es un término que se encuentra con frecuencia. Un puente puede ser un cuello de botella para el paso de vehículos, una línea de teléfono puede ser un cuello de botella en la comunicación, y una caja registradora en una tienda de departamentos puede ser un cuello de botella para los

clientes. Un cuello de botella se asocia con una cadena de eventos. Es el componente de la ruta o cadena que permite, por una u otra razón, que ocurran menos eventos que el resto de los componentes. (Sipper & Bulfin, 1998)

Cuello de botella es un tipo especial de restricción que se relaciona con la falta de capacidad de un proceso y, por tanto, también se conoce en ciertas condiciones como recurso de restricción de capacidad. Se define específicamente como cualquier recurso cuya capacidad disponible limita la aptitud de la organización para satisfacer el volumen de productos, la mezcla de productos o la fluctuación de la demanda requerida por el mercado. Un sistema o proceso empresarial tiene por lo menos una restricción o cuello de botella; de lo contrario, su producción sería ilimitada. (Krajewski et al, 2007)

Un cuello de botella se define como cualquier recurso cuya capacidad sea menor que su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura, es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente flaca. Un cuello de botella puede ser una máquina, falta de trabajadores capacitados o una herramienta especial, es un recurso que limita la producción máxima del proceso. La figura 21 muestra como el cuello de botella influye en la producción. (Chase et al, 2009)

Los cuellos de botella tienen menos capacidad que el centro de trabajo anterior o siguiente, y limitan la salida de productos. Los cuellos de botella son una ocurrencia común porque incluso los sistemas bien diseñados pocas veces duran en equilibrio mucho tiempo. Cambiar productos, mezclas de productos y volúmenes muchas veces crea varios cuellos de botella, que también se modifican con el tiempo. En consecuencia, los centros de trabajo forman cuellos de botella en casi todas las instalaciones orientadas al proceso, desde hospitales y restaurantes hasta fábricas. Los administradores de operaciones exitosos hacen frente a los cuellos de botella aumentando su capacidad, cambiando las rutas de trabajo, el tamaño de los lotes, la secuencia del trabajo o aceptando la inactividad en otras estaciones de trabajo. (Heizer & Render, 2009)

Desde el momento que reconocemos no tener una planta equilibrada, está claro que al menos algunos recursos tendrán más capacidad de la necesaria para satisfacer la demanda del mercado. De hecho, en cualquier cadena dependiente de recursos existirá al

menos un recurso que tenga la menor capacidad en relación a la demanda. Si la capacidad de este recurso es igual o menor que la capacidad requerida para satisfacer la demanda del mercado, entonces el recurso se conoce como cuello de botella. El cuello de botella más débil es la restricción del sistema. (Cox & Schleier, 2010)

Un cuello de botella es cualquier recurso cuya capacidad es menor que la demanda requerida de él. Es el punto del proceso de producción donde el flujo tiende a ser más lento. (Cabrera, 2014)

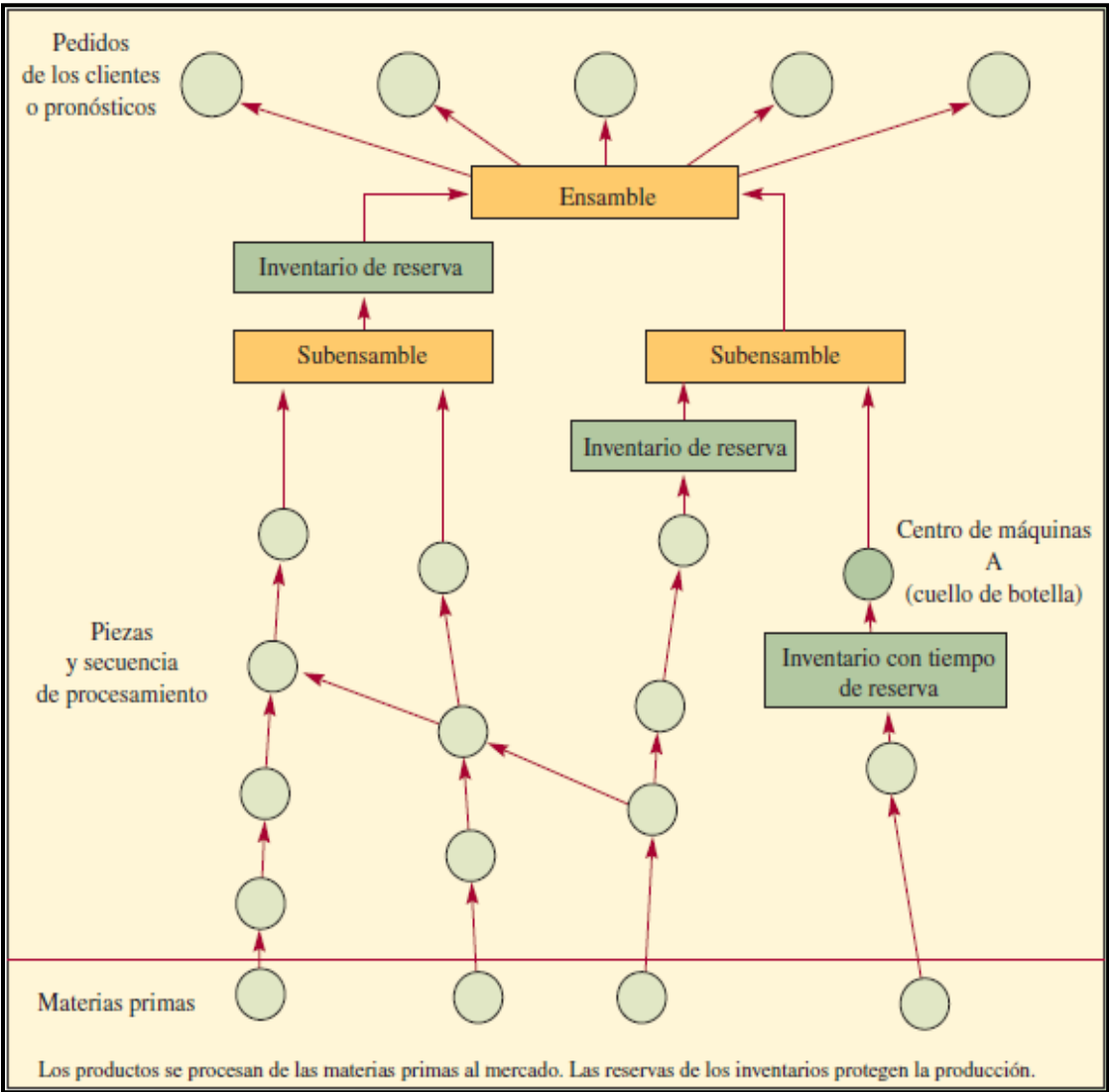


Figura 21. Flujo de red con un cuello de botella

Fuente: (Chase et al, 2009)

2.1.3. Camino o ruta crítica en TOC

La ruta crítica es la secuencia de actividades entre el principio y el final de un proyecto que requiere más tiempo para llevarse a cabo. Así, las actividades incluidas en la ruta crítica determinan el tiempo de terminación del proyecto; es decir, si una de las actividades de la ruta crítica se retrasa, todo el proyecto se retrasará también. (Krajewski et al, 2007)

La ruta crítica es la secuencia de las actividades de un proyecto se refiere a la secuencia de actividades que constituyen la cadena más larga en términos del tiempo necesario para terminarlas. Si alguna de las actividades de la ruta crítica se demora, entonces el proyecto entero se retrasará. Esta ruta no contiene margen de tiempo. (Chase et al, 2009)

La ruta crítica es la trayectoria con el tiempo más largo a través de la red. La figura 22 nos muestra un ejemplo de esta ruta. (Heizer & Render, 2009)

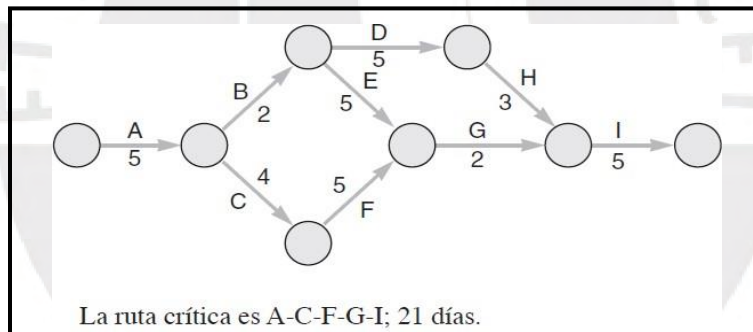


Figura 22. Flujo de red con un cuello de botella (actividades en días)

Fuente: (Heizer & Render, 2009)

2.2. Elementos, métodos y métodos del Six Sigma

Six Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio, que tiene diferentes significados para diferentes grupos dentro de una organización. A nivel empresa es una iniciativa estratégica que busca alcanzar una mejora significativa en el crecimiento del negocio, su capacidad y en la satisfacción de los clientes. En el nivel operacional, Six Sigma tiene una naturaleza táctica que se enfoca a mejorar métricas de eficiencia operacional, como tiempos de entrega, costos de no calidad y defectos por unidad.

Mientras que a nivel proceso Six Sigma es utilizada para reducir la variabilidad, y con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, así como disminuir los costos directos. Por lo que Six Sigma es una iniciativa estratégica y táctica para la gestión del negocio, que tiene la capacidad de enfocar la empresa hacia las necesidades de los clientes y alcanzar su satisfacción. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

El término Six Sigma tiene dos significados. El primero, en un sentido estadístico, describe un proceso, producto o servicio con una capacidad extremadamente alta (precisión de 99.9997%). Por ejemplo, si cada mes 1 millón de pasajeros documenta su equipaje en el aeropuerto de St. Louis, el resultado de un programa Six Sigma para el manejo de equipaje sería de sólo 3.4 pasajeros con problemas de maletas extraviadas. La segunda definición del Six Sigma es que se trata de un programa diseñado para reducir los defectos a fin de ayudar a disminuir costos, ahorrar tiempo y mejorar la satisfacción del cliente. Six Sigma es un sistema integral involucra una estrategia porque se enfoca en la satisfacción total del cliente, una disciplina porque sigue el modelo formal de mejora Six Sigma conocido por sus siglas en inglés como DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar), y un conjunto de herramientas (hojas de verificación, diagramas de causa y efecto, gráficas de Pareto, diagramas de flujo, histogramas, control estadístico del proceso, entre otros) para lograr y sostener el éxito en los negocios. (Heizer & Render, 2009)

Six Sigma se refiere a la filosofía y los métodos que usan las compañías para eliminar defectos en sus productos y procesos. Un defecto simplemente es cualquier componente que no se encuentra dentro de las especificaciones de los clientes. Cada paso o actividad de una compañía representa una posibilidad de que ocurran defectos y con los programas de Six Sigma se trata de reducir la variación de los procesos que generan estos efectos. De hecho, Six Sigma propone que se consideren las variaciones como el enemigo de la calidad y gran parte de la teoría en que se basa Six Sigma se dedica a abordar este problema. (Chase et al, 2009)

Six Sigma es un sistema integral y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito de una empresa mediante la minimización de los defectos y la variabilidad en los procesos. Los programas Six Sigma se basan en la comprensión cabal de las necesidades del

cliente; el uso disciplinado de hechos, datos y análisis estadístico; y la atención diligente a la administración, mejoramiento y reinversión de los procesos empresariales. (Krajewski et al, 2007)

Six Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; esto lleva a encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, tomando como punto de referencia en todo momento a los clientes y sus necesidades. Esta estrategia se apoya en una metodología altamente sistemática y cuantitativa, orientada a la mejora de la calidad del producto o proceso. Tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos. (Gutiérrez, 2010)

Six Sigma se puede describir como un enfoque de mejora del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los defectos y errores en los procesos de manufactura y servicios, concentrándose en los resultados que son decisivos para los clientes y una clara recuperación financiera para la organización. Entre las numerosas herramientas que comprende la caja de herramientas de Six Sigma las más usadas son: diagramas de flujo, hojas de verificación, histogramas, diagramas de Pareto, diagramas de causa y efecto, diagramas de control y diagramas de dispersión. Estas se han utilizado durante décadas para las soluciones de problemas para la mejora de la calidad. (Evans & Lindsay, 2008)

Six Sigma trata de ayudar a la organización a ganar más dinero al mejorar el valor y la eficiencia de los clientes. Para vincular este objetivo de Six Sigma con la calidad, se requiere una nueva definición de calidad. En ese sentido, Six Sigma define calidad como el valor agregado por un esfuerzo productivo. La calidad se presenta en dos maneras: calidad potencial y calidad real. La calidad potencial es el valor máximo posible conocido por unidad de entrada. La calidad real es el valor agregado actual por unidad de entrada. La diferencia entre la calidad potencial y la real es desperdicio. Six Sigma se enfoca en mejorar la calidad (es decir, reducir el desperdicio) ayudando a las organizaciones a producir mejores productos y servicios, así como, más rápido y más barato. Six Sigma se centra en los requisitos del cliente, la prevención de defectos, la reducción del tiempo de ciclo y el ahorro de costes. (Pyzdek, 2003)

2.2.1. DMAIC o Modelo de Mejoramiento Six Sigma

El ciclo de definir, medir, analizar, incrementar y controlar (DMAIC) debe usarse cuando un producto o proceso existe, pero no cumple las especificaciones del cliente o no tiene un rendimiento adecuado o simplemente se desea mantener el control de un proceso susceptible de mejora, DMAIC se centra en la mejora progresiva y continua de los procesos de fabricación y servicios. (Cabrera, 2014)

El DMAIC o Modelo de Mejoramiento Six Sigma es un procedimiento de cinco pasos que produce mejoras en el desempeño de los procesos. El modelo puede aplicarse a proyectos que introducen mejoras incrementales en los procesos o a proyectos que requieren cambios radicales, como el rediseño de un proceso existente o la creación de un nuevo proceso. (Krajewski et al, 2007)

DMAIC se usa cuando el objetivo de un proyecto se puede lograr mejorando un producto, proceso o servicio existente. (Pyzdek, 2003)

➤ Etapa Definir

En esta etapa se determina las características de los productos del proceso que son cruciales para la satisfacción del cliente y se identifica las brechas entre estas características y las capacidades del proceso. Estas brechas brindan oportunidades para mejorar. Para darse una idea del estado actual del proceso, se registra usando diagramas de flujo y gráficos de proceso. (Krajewski et al, 2007)

Esta etapa casi siempre responde a los síntomas de un problema y, por lo regular, da como resultado un enunciado vago del mismo. Un buen enunciado de problema debería identificar a los clientes y los problemas críticos para la calidad que tienen mayor impacto en el desempeño del producto o del servicio; igualmente describir el nivel actual de desempeño o la naturaleza de los errores o de las quejas de los clientes, identificar las mediciones de desempeño relacionadas, los mejores estándares de desempeño según el benchmark, calcular las implicaciones costo/beneficio del proyecto y cuantificar el nivel esperado de desempeño en un esfuerzo de Six Sigma. La fase definir debe enfocar estos

temas de administración de proyectos en, qué se debe hacer, por quién y cuándo. (Evans & Lindsay, 2008)

En la etapa de definición se enfoca el proyecto, se delimita y se sientan las bases para su éxito. Por ello, al finalizar esta fase se debe tener claro el objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en éste. El primer paso para lograr un proyecto exitoso será su selección adecuada. La adecuada selección de proyectos es un aspecto crítico para el éxito de Seis Sigma; los proyectos deben estar alineados con los objetivos estratégicos de la organización, con un objetivo claro, conciso, específico, alcanzable, realista y medible con una alta probabilidad de éxito. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

Se debe definir los objetivos de la actividad de mejora. Los objetivos más importantes se obtienen de los clientes. En el nivel superior, los objetivos serán los estratégicos de la organización, como una mayor lealtad de los clientes, un mayor retorno de la inversión o una mayor participación en el mercado, o una mayor satisfacción de los empleados. En el nivel de operaciones, un objetivo podría ser aumentar el rendimiento de un departamento de producción. A nivel de proyecto, los objetivos pueden ser reducir el nivel de defectos y aumentar el rendimiento de un proceso en particular. Se obtiene los objetivos de acuerdo a la comunicación con los clientes, accionistas y empleados. (Pyzdek, 2003)

El propósito de esta etapa es unificar criterios refinando la comprensión que debe tener el equipo del problema que se va atacar. Partiendo del requerimiento de un cliente se pueden lograr mejoras significativas en los procesos, evaluando y priorizando la voz del cliente, integrando sus requerimientos a las estrategias de la empresa. Los requerimientos deben ser evaluados por un equipo multidisciplinario para elaborar y ejecutar el proyecto de solución de problemas. (Cabrera, 2014)

La figura 23 se muestra el mapa de procesos más conocido como SIPOC por sus siglas en inglés (proveedores, insumos, procesos, productos y clientes) que se puede utilizar en esta esta etapa primera etapa denominada Definición.

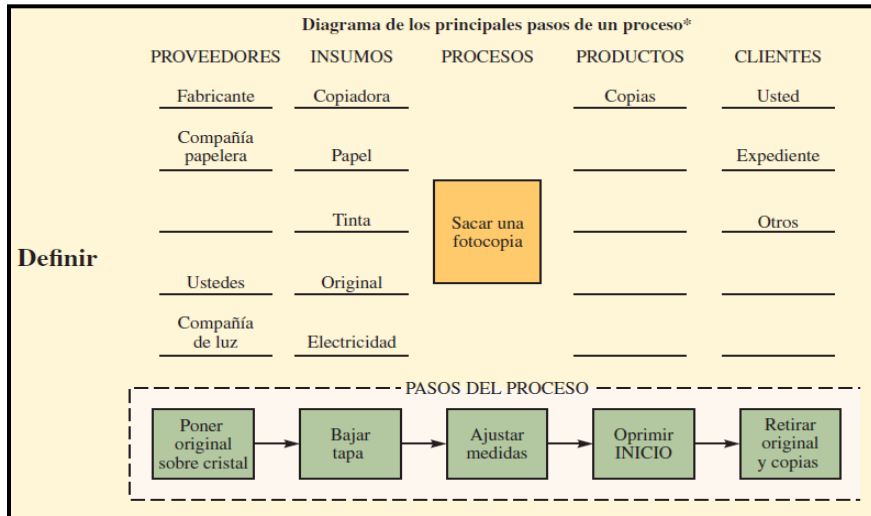


Figura 23. Etapa Definir de la metodología DMAIC

Fuente: (Chase et al, 2009)

➤ **Etapa Medir**

Esta etapa del proceso DMAIC se concentra en cómo medir los procesos internos que tienen impacto en los problemas críticos para la calidad. Es necesario entender las relaciones causales entre el desempeño de los procesos y el valor para el cliente. Sin embargo, una vez que se entienden, es necesario definir e implementar los procedimientos para reunir los hallazgos (recopilar los datos adecuados, observar y escuchar con atención). La información de los procesos y prácticas de producción existentes a menudo proporciona información importante, al igual que la retroalimentación de los trabajadores, clientes y empleados en el campo. (Evans & Lindsay, 2008)

El objetivo general de esta segunda etapa es entender y cuantificar mejor la magnitud del problema o situación que se aborda con el proyecto. Por ello, el proceso se define a un nivel más detallado para entender el flujo del trabajo, los puntos de decisión y los detalles de su funcionamiento; asimismo, se establecen con mayor detalle las métricas con las que se evaluará el éxito del proyecto. Además, se debe mostrar evidencia de que se tiene un sistema de medición adecuado. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

En la etapa medir se debe cuantificar el trabajo realizado en el proceso que afecta la brecha. Seleccionar qué medir, identificar las fuentes de datos y preparar un plan recopilación de datos. En la figura se muestra algunos ejemplos. (Krajewski et al, 2007)

Esta etapa se basa en el precepto de “lo que no se mide no es susceptible de mejorarse” y tiene como objetivo conocer a fondo y obtener valores de características y variables independientes que permitan dilucidar claves para establecer la causa del problema y la oportunidad de mejora, permitiendo calcular la medición inicial sigma del proceso. A partir de esta etapa se canaliza el uso de las técnicas estadísticas que permitirán identificar datos que faciliten diagnosticar en forma precisa el nivel del problema y el objetivo a lograr. (Cabrera, 2014)

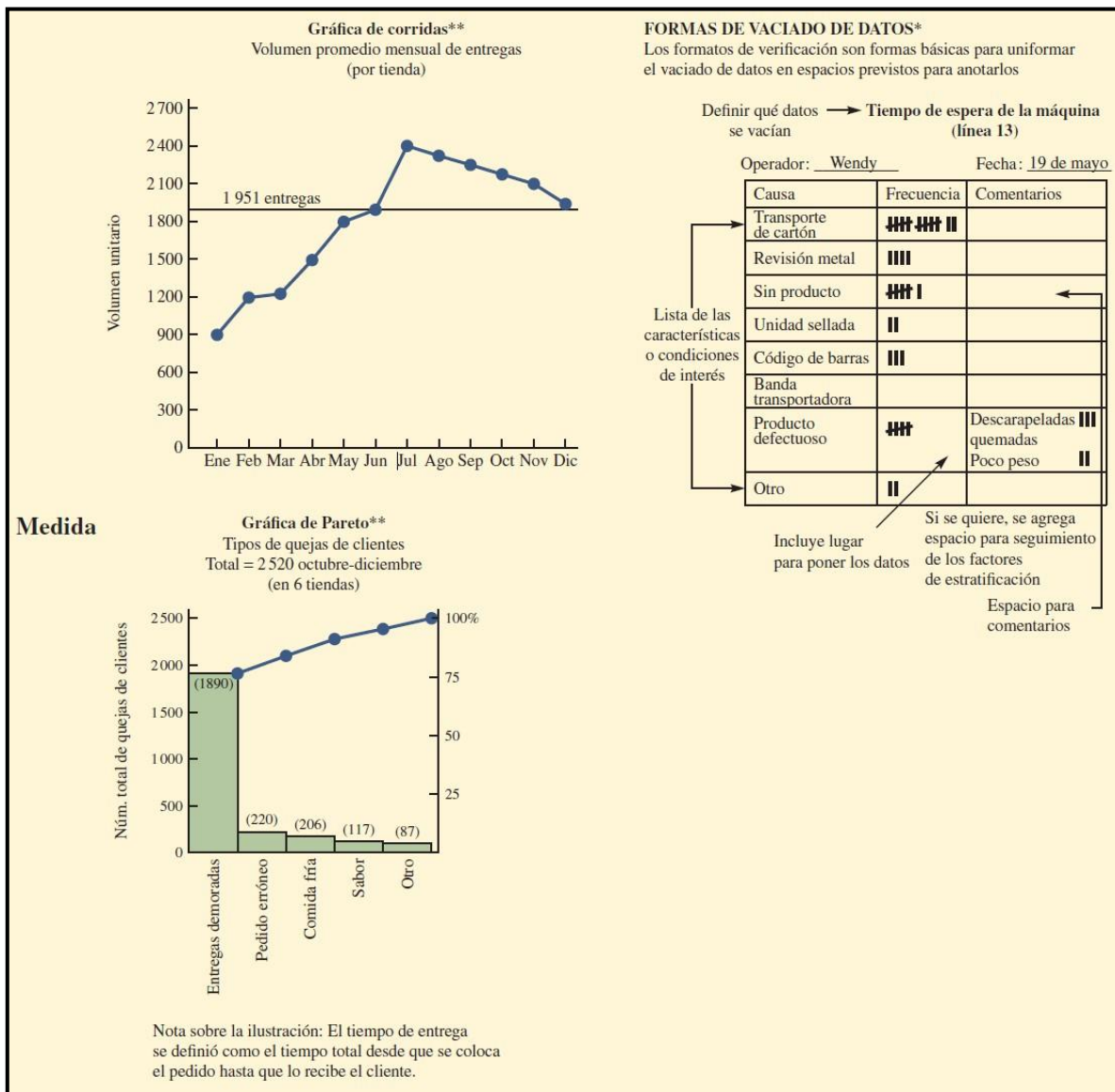


Figura 24. Etapa Medir de la metodología DMAIC

Fuente: (Chase et al, 2009)

➤ Etapa Analizar

En esta etapa se identifica las formas de eliminar la brecha entre el rendimiento actual del proceso y el objetivo deseado. Se determina la línea base actual usando análisis de datos exploratorios y descriptivos para ayudarlo a comprender los datos, además de herramientas estadísticas para guiar el análisis. (Pyzdek, 2003)

En la etapa analizar se usan los datos de las mediciones para realizar un análisis del proceso, que puede centrarse en el mejoramiento incremental o el rediseño radical del proceso; se usan herramientas de análisis de datos como diagramas de Ishikawa (figura 25) y/o herramientas de control estadístico de procesos. (Krajewski et al, 2007)

La meta de esta fase es identificar las causas raíz del problema, entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos. Entonces, se trata de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmarlas con datos. (Gutiérrez, 2010)

El objetivo de esta etapa es entender cómo y porqué se originan las pocas variables vitales o causas raíz que generan los defectos y las causas con alta variabilidad que inciden negativamente en el Cliente. (Cabrera, 2014)

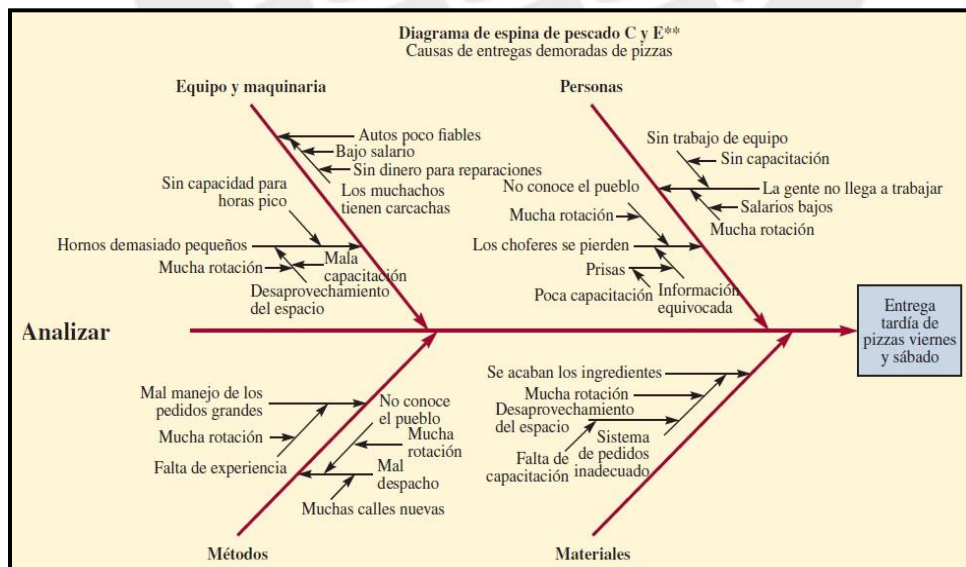


Figura 25. Etapa Analizar de la metodología DMAIC

Fuente: (Chase et al, 2009)

➤ **Etapa Mejorar**

El objetivo de esta etapa es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema. Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas, apoyándose en algunas de las siguientes herramientas: lluvia de ideas, técnicas de creatividad, hojas de verificación, diseño de experimentos, poka-yoke, etc. La clave es pensar en soluciones que ataquen la fuente del problema (causas) y no el efecto. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

En esta etapa se debe ser creativo en la búsqueda de nuevas formas de hacer las cosas mejor, más baratas o más rápidas. Utilizar la gestión de proyectos y otras herramientas de planificación y gestión para implementar un nuevo enfoque. Se debe usar métodos estadísticos para validar la mejora. (Pyzdek, 2003)

Una vez que se entiende de raíz la causa de un problema, se deben generar ideas para eliminarlo o resolverlo de modo de mejorar los indicadores del desempeño. Esta etapa de recopilación de ideas es una actividad muy creativa, porque muchas de las soluciones no son obvias. Una de las dificultades en esta tarea es el instinto natural al prejuzgar las ideas antes de evaluarlas con detenimiento. La mayoría de las personas experimentan un temor natural a proponer una idea “absurda” o parecer tontas. Sin embargo, estas ideas en realidad pueden constituir la base para una solución creativa y útil. Las personas que solucionan problemas de manera eficaz deben aprender a desarrollar la habilidad de generar gran cantidad de ideas en esta etapa del proceso, sean prácticas o no. (Evans & Lindsay, 2008)

Esta etapa, como su nombre lo indica, está encaminada a implementar una serie de estrategias enfocadas a buscar el mayor beneficio para el cliente, a través de mejoras tanto en el producto como en el proceso, para optimizar las variables que redundan finalmente en aspectos de calidad, economía y otras diferentes prioridades establecidas por la empresa. (Cabrera, 2014)

La figura 26, muestra un ejemplo de aplicar las mejoras a un proceso mediante un diagrama de flujo de oportunidades, que identifique las que agregan y no agregan valor.

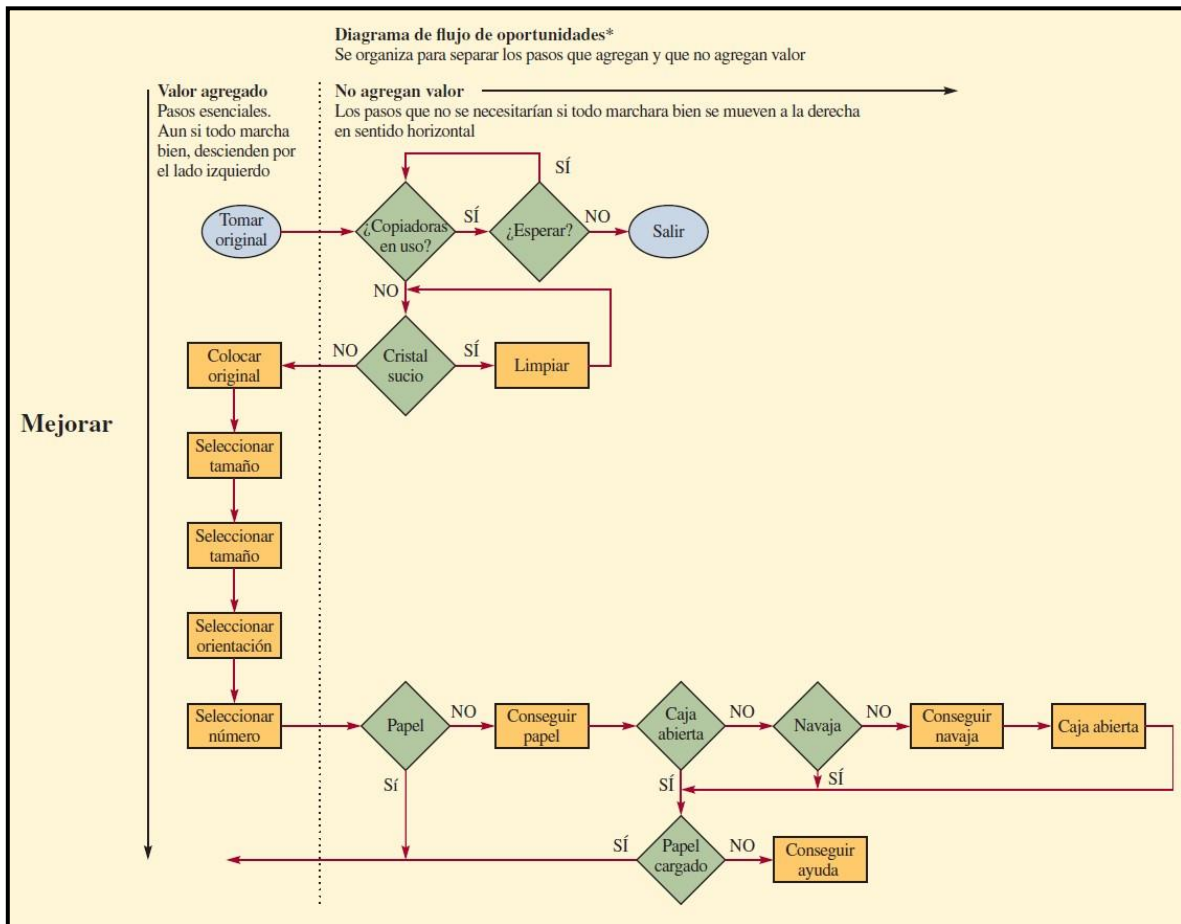


Figura 26. Etapa Mejorar de la metodología DMAIC

Fuente: (Chase et al, 2009)

➤ Etapa Controlar

Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas y se cierra el proyecto. Muchas veces esta etapa es la más dolorosa o difícil, puesto que se trata de que los cambios realizados para evaluar las acciones de mejora se vuelvan permanentes, se institucionalicen y generalicen. Esto implica la participación y adaptación a los cambios de toda la gente involucrada en el proceso, por lo que se pueden presentar resistencias y complicaciones. Al final de cuentas, el reto de la etapa de control es que las mejoras soporten la prueba del tiempo. (Gutiérrez, 2010)

La etapa de control se enfoca hacia cómo conservar las mejoras, que incluye tener las herramientas en su lugar para garantizar que las variables clave continúen dentro de los

rangos máximos aceptables en el proceso modificado. Estas mejoras pueden incluir el establecimiento de nuevas normas y procedimientos, la capacitación del personal y la institución de controles para tener la seguridad de que las mejoras no desaparecerán con el tiempo. Los controles pueden ser tan sencillos como el uso de listados de verificación o revisiones periódicas de las condiciones para asegurarse de que se siguen los procedimientos apropiados o que se emplean los diagramas de control de los procesos estadísticos (ver figura 27) para supervisar el desempeño de los indicadores clave. (Evans & Lindsay, 2008)

En esta etapa se debe institucionalizar el sistema mejorado mediante la modificación de los sistemas de compensación e incentivos, políticas, procedimientos, planificación de necesidades, presupuestos, instrucciones de funcionamiento y otros sistemas de gestión. (Pyzdek, 2003)

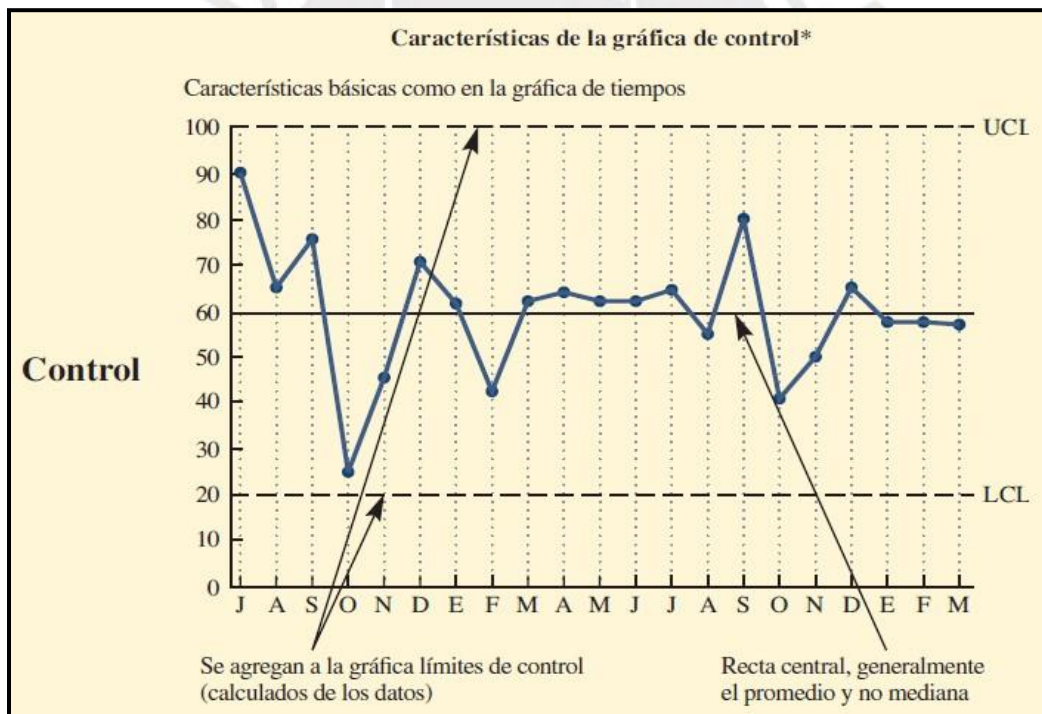


Figura 27. Etapa Controlar de la metodología DMAIC

Fuente: (Chase et al, 2009)

2.2.2. Estructura directiva y técnica de los equipos Six Sigma

Los proyectos exitosos de Six Sigma se relacionan claramente con la dirección estratégica de una compañía. Es un enfoque dirigido a la administración, basado en equipos y conducido por expertos. (Heizer & Render, 2009)

Los equipos de los proyectos son fundamentales para Six Sigma. Los proyectos Six Sigma requieren de gran variedad de habilidades, que van desde el análisis técnico, hasta el desarrollo de soluciones creativas y su implementación. Por tanto, los equipos Six Sigma no sólo solucionan los problemas inmediatos, sino que también ofrecen un ambiente propicio para el aprendizaje individual, el desarrollo administrativo y el avance profesional. (Evans & Lindsay, 2008)

Las empresas exitosas que aplican el programa Six Sigma forman un grupo de maestros internos que luego se responsabilizan de enseñar y brindar asistencia a los equipos que participan en un proyecto de mejoramiento de procesos. (Krajewski et al, 2007)

La forma de manifestar el compromiso por Six Sigma es creando una estructura directiva que integra a líderes de negocio, líderes de proyectos, expertos y facilitadores, en la que cada uno tiene roles y responsabilidades específicos para lograr proyectos de mejora exitosos. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

➤ Líder del Proyecto

El ser líder de Six Sigma implica cambiar las principales cadenas de valor de negocios que trascienden las barreras organizacionales. Proporcionar el significado de porque los objetivos estratégicos de la organización deben ser alcanzados. Este esfuerzo no puede ser dirigido por nadie más que el CEO, que es responsable del desempeño de la organización en su conjunto. Six Sigma debe implementarse de arriba hacia abajo. Six Sigma tiene cero posibilidades de éxito cuando se implementa sin un liderazgo de la parte superior. (Pyzdek, 2003)

El líder tiene como rol la dirección del comité directivo para Six Sigma. Suele tener una jerarquía sólo por abajo del máximo líder ejecutivo de la organización, ser Profesional con

experiencia en la mejora empresarial en calidad, es muy respetado en la estructura directiva. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

➤ **Campeones o Patrocinadores**

Los campeones son directivos que promueven y dirigen el uso de Six Sigma en un área importante del negocio. Los campeones entienden la filosofía y las herramientas de Six Sigma, seleccionan los proyectos, establecen los objetivos, asignan los recursos y dirigen a los equipos. Los campeones tienen proyectos Six Sigma y son responsables de su terminación y sus resultados; por lo general, también son propietarios del proceso que el proyecto busca mejorar. Lo más importante es que los campeones trabajan para eliminar las barreras (de organización, financieras y personales) que podrían evitar la implementación exitosa de un proyecto Six Sigma. (Evans & Lindsay, 2008)

Los campeones son individuos de alto nivel que entienden el Six Sigma y están comprometidos con su éxito. En todas las organizaciones, los campeones incluyen líderes informales que usan Six Sigma en su trabajo diario y comunican el mensaje Six Sigma en cada oportunidad. Los patrocinadores son propietarios de los procesos y sistemas que ayudan a iniciar y coordinar las actividades de mejora Six Sigma en sus áreas de responsabilidad. (Pyzdek, 2003)

Los campeones tienen como rol ser los dueños de los problemas; establecer problemas y prioridades. Responsables de garantizar el éxito de la implementación del Six Sigma en sus áreas de influencia, como lo son los gerentes de planta o de área. Debe tener dedicación, entusiasmo, fe en sus proyectos, así como, capacidad para administrar estos. (Gutiérrez, 2010)

➤ **Master Black Belts o Maestros Cinta Negra**

Los masters black belts son expertos en Six Sigma de tiempo completo, son responsables de la estrategia, capacitación, guía, manejo y resultados del proyecto Six Sigma. Ellos están muy bien capacitados para utilizar las herramientas y los métodos Six Sigma y proporcionan experiencia técnica avanzada. Trabajan en toda la organización para desarrollar y guiar a los equipos, dirigir la capacitación y guiar el cambio, pero, por lo

regular, no son miembros de ningún equipo de proyecto Six Sigma. (Evans & Lindsay, 2008)

Los masters black belts brindan el liderazgo técnico del programa Six Sigma. Por lo tanto, deben saber todo lo que Black Belts conoce, así como habilidades adicionales vitales para el éxito del programa Six Sigma. La habilidad adicional puede ser una comprensión profunda de la teoría matemática en la que se basan los métodos estadísticos, habilidades de coaching para ayudar a Black Belts, habilidades de enseñanza u organización de programas a nivel empresarial. Deben ser capaces de ayudar a cinturones negros a aplicar los métodos correctamente en situaciones inusuales, especialmente métodos estadísticos avanzados. (Pyzdek, 2003)

Los masters black belts son maestros de tiempo completo que revisan y asesoran a los cinta negra. Los criterios de selección de estos son habilidades cuantitativas y la capacidad para enseñar y asesorar. (Krajewski et al, 2007)

➤ **Black Belts o Cintas Negras**

Los black belts son expertos en Six Sigma, que llevan a cabo gran parte del análisis técnico que se requiere en los proyectos, casi siempre a tiempo completo. Tienen un conocimiento avanzado de las herramientas y métodos DMAIC, y pueden aplicarlos en forma individual o como líderes de equipo. También guían y desarrollan a los green belts. Los black belts requieren de capacidades adecuadas para el liderazgo y la comunicación, además de habilidades técnicas y conocimiento del proceso. (Evans & Lindsay, 2008)

Los candidatos para el estatus de black belts son individuos con orientación técnica que son considerados altamente apreciados por sus pares. Deben participar activamente en el proceso de cambio y desarrollo organizacional. Los candidatos pueden provenir de una amplia gama de disciplinas y no necesitan ser estadísticos o analistas formados formalmente. Sin embargo, debido a que se espera que dominen una amplia variedad de herramientas técnicas en un período de tiempo relativamente corto, los candidatos de Black Belt posiblemente poseerán una formación en matemáticas de nivel universitario, la herramienta básica del análisis cuantitativo. El trabajo del curso en métodos estadísticos debe considerarse una ventaja fuerte o incluso un requisito previo. (Pyzdek, 2003)

Los black belts son empleados que ha alcanzado el nivel más alto de capacitación en un programa Six Sigma y pasa todo el tiempo enseñando y guiando a los equipos que participan en proyectos Six Sigma. (Krajewski et al, 2007)

➤ **Green Belts o Cintas Verdes**

Los Green belts son empleados funcionales que están capacitados en las herramientas y la metodología básicas de Six Sigma y trabajan en los proyectos de tiempo parcial, ayudando a los cinta negra mientras desarrollan conocimientos y experiencia propios. Por lo general, uno de los requisitos para ser designado como cinta verde es terminar con éxito un proyecto Six Sigma. Los Green belts exitosos casi siempre ascienden a cinta negra. (Evans & Lindsay, 2008)

Los green belts son capaces de administrar proyectos Six Sigma desde su formación hasta su finalización. La capacitación abarca la gestión de proyectos, las herramientas de gestión de calidad, las herramientas de control de calidad, la resolución de problemas y el análisis de datos descriptivos. Por lo general, los black belts ayudan a los green belts a definir sus proyectos, asistirlos y ayudarlos con sus proyectos durante y después del entrenamiento. (Pyzdek, 2003)

Los green belts son empleados que recibieron suficiente capacitación en Six Sigma para participar en un equipo o, en algunas compañías, para trabajar individualmente en algún proyecto de pequeña escala relacionado con su trabajo. (Chase et al, 2009)

➤ **Yellow Belts o demás miembros del equipo**

Los yellow belts son personal de piso que tiene los problemas en su área, tienes conocimiento de los problemas existentes, cuentan con motivación y voluntad de cambio. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

Los yellow belts individuos de diversas áreas funcionales que apoyan proyectos específicos, (Evans & Lindsay, 2008)

La figura 28 muestra la estructura directiva y técnica de un equipo Six Sigma.

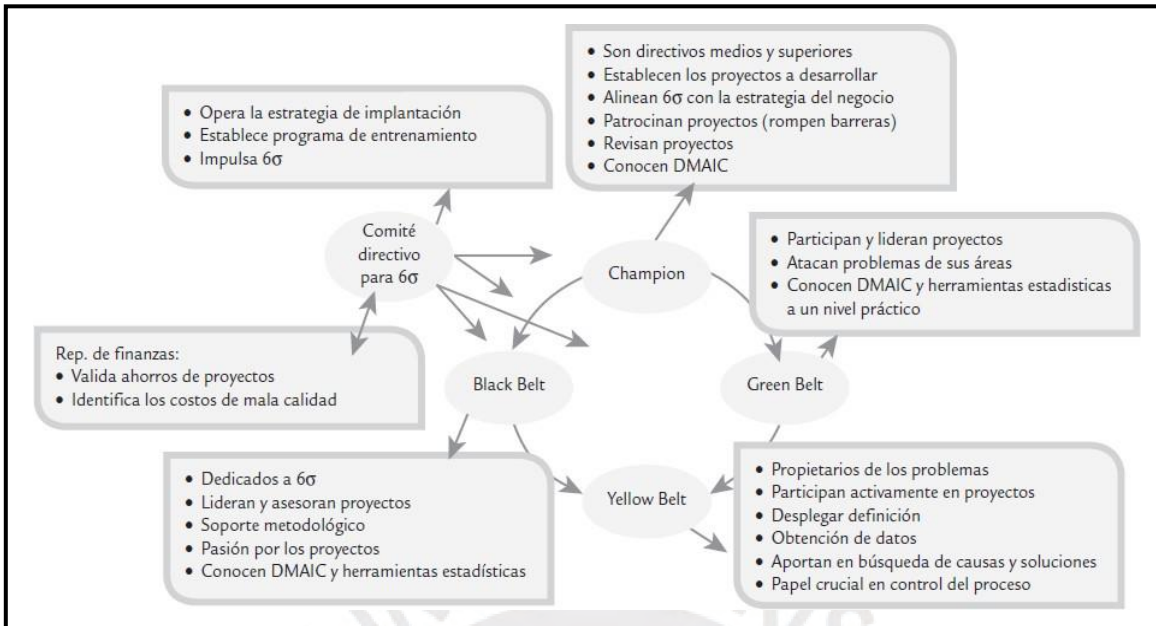


Figura 28. Estructura directiva y técnica del Six Sigma (6σ)

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

2.2.3. Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo (figura 29) es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso. Por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; asimismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso. Los dos símbolos más usados en su construcción: un rectángulo (identifica un paso o tarea del proceso) y un rombo (distinguen los puntos de verificación o de decisión). (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

Un diagrama de flujo del proceso es simplemente una herramienta que muestra gráficamente las entradas (factores de producción: tierra, materiales, mano de obra, equipo y administración), acciones (la forma de como las entradas se combinan y manipulan para agregar valor; estas acciones incluyen procedimientos, manejo, almacenamiento, transporte y procesamiento) y salidas (productos o servicios creados al actuar sobre las entradas; estas salidas se entregan al cliente u otro usuario) de un sistema dado. (Pyzdek, 2003)

Una forma aconsejable de empezar a analizar un proceso es haciendo un diagrama que muestre los elementos básicos de un proceso, por lo general, las tareas, los flujos y las zonas de almacenamiento. Las tareas se presentan en forma de rectángulos, los flujos como flechas y el almacenamiento de bienes o de otros artículos como triángulos invertidos. A veces, los flujos que pasan por un proceso se dirigen en distintos sentidos, dependiendo de ciertas condiciones. Los puntos de decisión son representados como un diamante con diferentes flujos que salen de las puntas del diamante. En ocasiones resulta muy útil dividir un diagrama en varias bandas horizontales o verticales. Esto permite separar las tareas que forman parte del proceso. (Chase et al, 2009)

Los diagramas de flujo presentan gráficamente un proceso o sistema utilizando cuadros y líneas interconectadas. Son sencillos, pero excelentes cuando se busca explicar un proceso o se pretende que tenga sentido. (Heizer & Render, 2009)

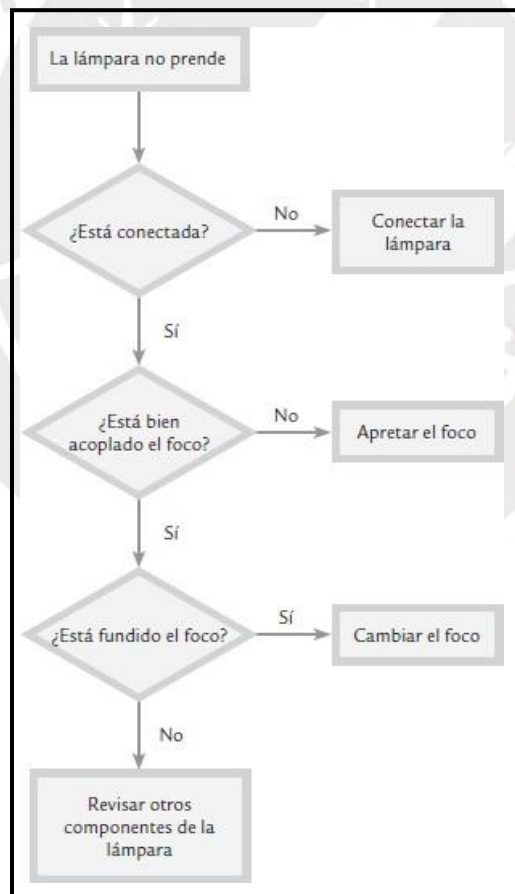


Figura 29. Diagrama de flujo para verificar encendido de una lámpara
Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

2.2.4. Diagrama SIPOC

Este diagrama de proceso tiene el objetivo de analizar el proceso y su entorno. Para ello se identifican los proveedores (S), las entradas (I), el proceso mismo (P), las salidas (O) y los usuarios (C). El acrónimo en inglés de este diagrama es SIPOC (suppliers, inputs, process, outputs and customers). Para construir un diagrama SIPOC (figura 30), se debe primero delimitar el proceso y hacer su diagrama de flujo general donde se especifiquen las cuatro o cinco etapas principales, segundo identificar las salidas del proceso, las cuales son los resultados (bienes o servicios) que genera el proceso, tercero especificar los usuarios/clientes, que son quienes reciben o se benefician con las salidas del proceso, cuarto establecer las entradas (materiales, información, etc.) que son necesarias para que el proceso funcione de manera adecuada, por último, identificar proveedores, es decir, quienes proporcionan las entradas. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

Prácticamente todos los proyectos Six Sigma abordan los procesos de negocios que tienen un impacto en una estrategia empresarial de alto nivel, dichos proyectos tienden a tener un alcance demasiado grande para completarse dentro de los límites de tiempo y presupuesto deseado. Razón por la cual los equipos de Six Sigma tienen más trabajo en definir claramente que fracción de todo el proceso del negocio va ser mejorado por el proyecto. Una forma de hacerlo es aplicar diagrama de flujo de proceso o mapeo a subprocesos hasta llegar a la parte del proceso que ha sido asignado al equipo para mejorar. Se hacen una serie de preguntas, tales como: ¿Para qué stakeholders este proceso existe principalmente? ¿Qué valor crea? ¿Qué salida se produce? ¿Quién es el dueño de este proceso? ¿Quién proporciona aportes a este proceso? ¿Cuáles son las entradas? ¿Qué recursos usa este proceso? ¿Qué pasos crean el valor? ¿Hay subprocesos con puntos de inicio y fin naturales? Estas preguntas, que son comunes a casi todos los procesos abordados por los proyectos Six Sigma, se han organizado en un formato estándar conocido como SIPOC. (Pyzdek, 2003)

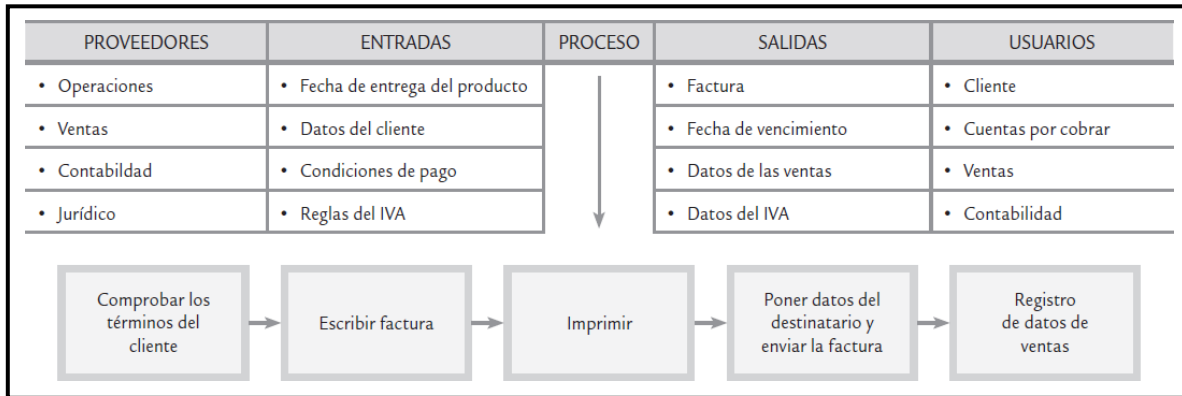


Figura 30. Diagrama SIPOC para la expedición de una factura

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

2.2.5. Mapa del proceso

Es frecuente que en los diagramas de flujo que son realizados en la etapa de diseño y documentación de un proceso, se pierdan detalles y actividades que están ocurriendo en el proceso. Por ello, la idea del mapa del proceso es hacer un diagrama de flujo más apegado a la realidad, en donde se especifiquen las actividades que efectivamente se realizan en el proceso (actividades principales, inspecciones, esperas, transportes, reprocesos). Además, un proceso puede ir desde un nivel alto hasta uno micro. En el alto nivel no se entra a detalles y de lo que se trata es de tener una visión macro del proceso, que muchas veces es útil para delimitarlo e iniciar el análisis del mismo. En cambio, en un nivel micro es posible analizar de manera minuciosa una parte del proceso, y quizá se especifiquen operaciones actuales, así como los objetivos de proceso para las entradas controlables y críticas. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

Del mismo modo que las empresas tienen organigramas, pueden tener mapas de procesos que den una idea de cómo fluye el trabajo a través de la empresa. Un mapa de procesos crea un vocabulario para ayudar a las personas a debatir sobre la mejora del proceso. Un mapa de proceso es una representación gráfica de un proceso, que muestra la secuencia de tareas utilizando una versión modificada de símbolos de diagrama de flujo estándar. El mapa de un proceso de trabajo es una imagen de cómo las personas hacen su trabajo. Al crear un mapa de proceso, se muestran las diversas alternativas y se facilita la planificación efectiva. Los procesos corresponden a actividades naturales de trabajo. Sin embargo, en las organizaciones modernas, estos procesos están fragmentados en

muchos departamentos diferentes. Un mapa de proceso proporciona una imagen integrada de todos los procesos a lo largo de la empresa (figura 31). (Pyzdek, 2003)

A nivel micro, el mapa o gráfico de proceso es una forma organizada de documentar todas las actividades que realiza una persona o un grupo de personas en una estación de trabajo, con un cliente, o al trabajar con ciertos materiales. Analiza un proceso usando una tabla (figura 32), y proporciona información acerca de cada paso del proceso. A menudo, se usa para examinar a fondo el nivel del trabajo de una persona en lo individual, un equipo o un proceso anidado enfocado. Puede tener muchos formatos. Para completar el gráfico correspondiente a un nuevo proceso, el analista debe identificar cada paso realizado. Si se trata de un proceso que ya existía, el analista observa cuidadosamente esos pasos, clasificando cada uno de ellos de acuerdo con el sujeto que se está estudiando. A continuación, registra la distancia recorrida y el tiempo que tarda la realización de cada paso. Después de haber registrado todas las actividades y pasos, el analista resume los datos sobre los pasos, tiempos y distancias. (Krajewski et al, 2007)

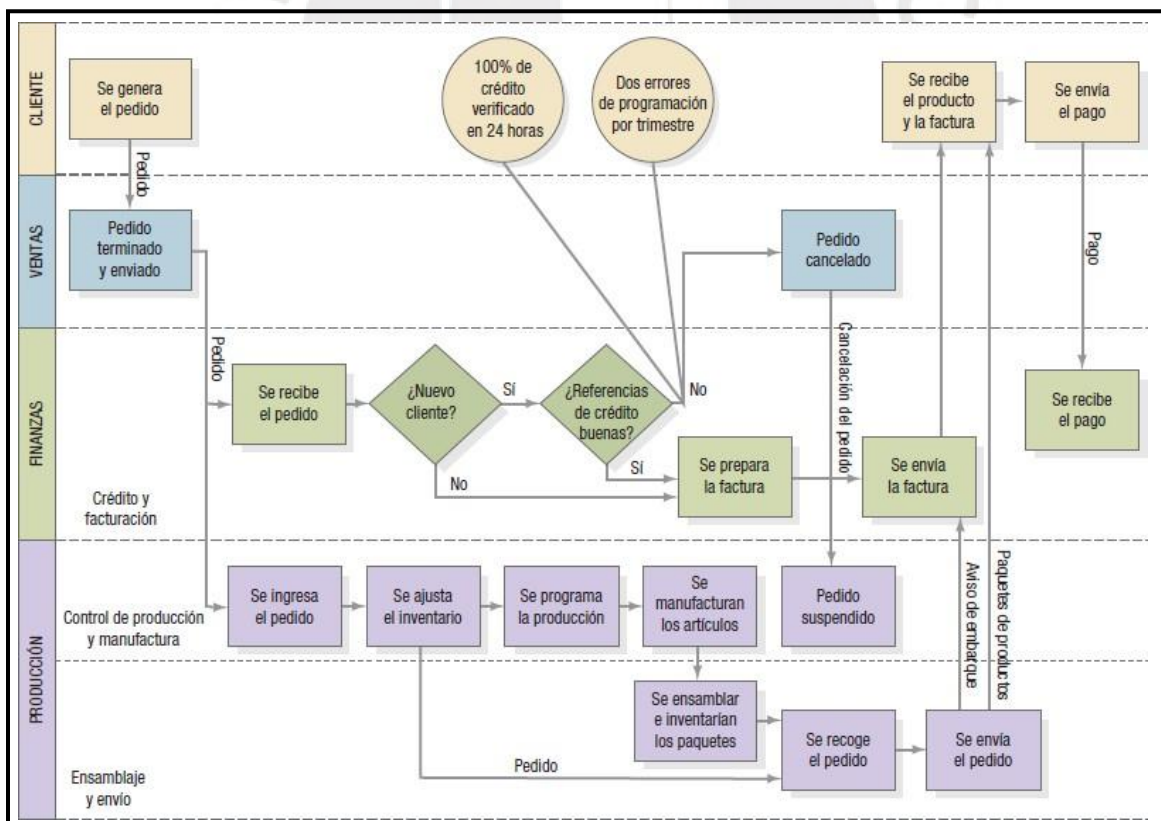


Figura 31. Mapa de proceso de alto nivel para la entrega de pedidos surtidos

Fuente: (Krajewski et al, 2007)

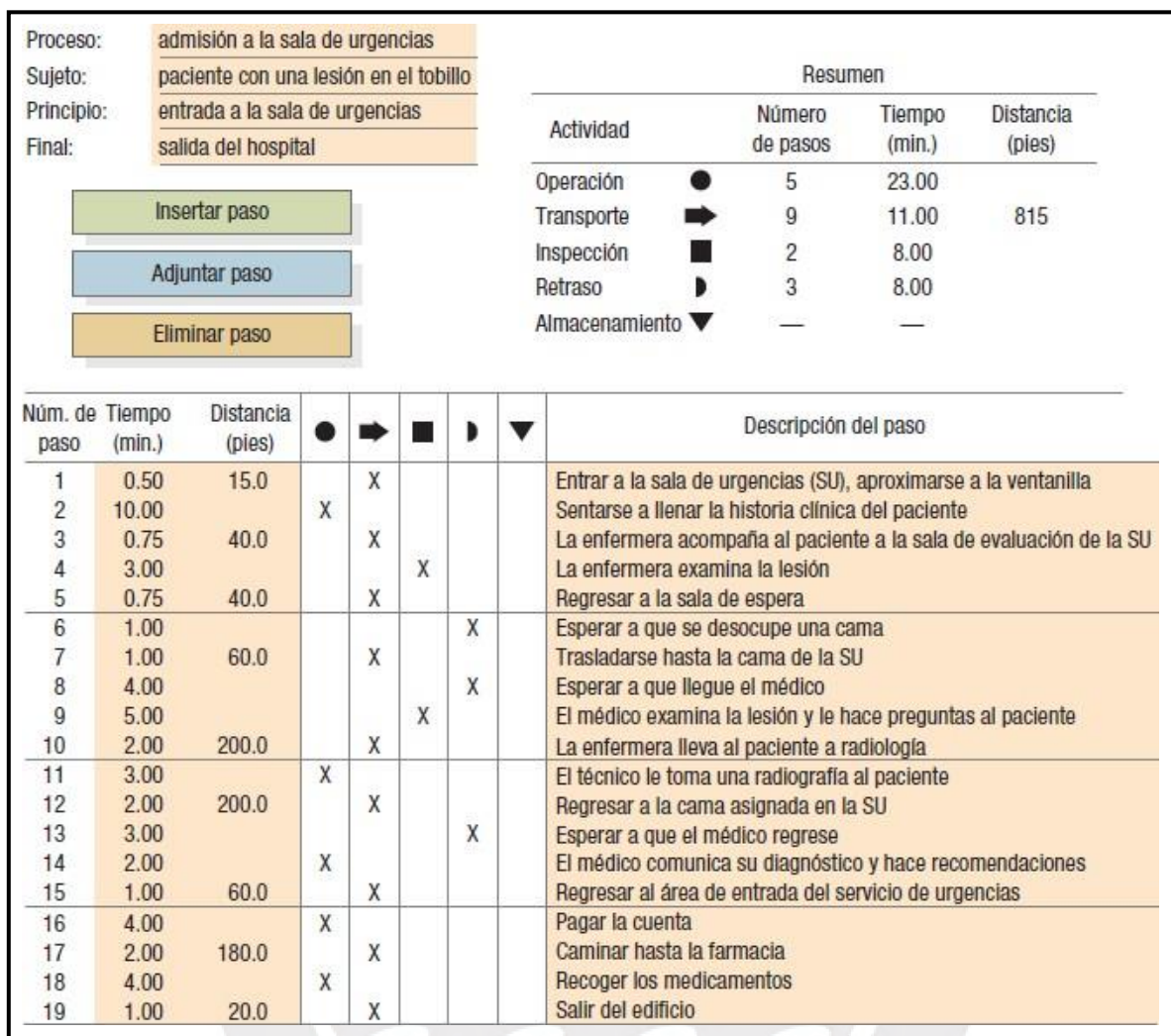


Figura 32. Mapa de proceso de nivel micro para la admisión a la sala de urgencias

Fuente: (Krajewski et al, 2007)

2.2.6. Listas o hojas de Verificación

El registro de datos con ayuda de una lista de verificación suele ser el primer paso en el análisis de una medición. La lista de verificación es un formulario que se usa para registrar la frecuencia con que se presentan ciertas características del producto o servicio relacionadas con el desempeño. Es posible que dichas características se midan con base en una escala continua (por ejemplo, peso, satisfacción del cliente en una escala del 1 al 7, costo unitario, porcentaje de pérdidas por material desperdiciado, tiempo o longitud), o bien, por medio de un “sí” o un “no” (por ejemplo, queja del cliente, error de registro, decoloración de la pintura, o dependientes descorteses). (Krajewski et al, 2007)

La hoja de verificación es un formato construido para coleccionar datos (figura 33), de forma que su registro sea sencillo, sistemático y que sea fácil analizarlos. La finalidad de la hoja de verificación es fortalecer el análisis y la medición del desempeño de los diferentes procesos de la empresa, a fin de contar con información que permita orientar esfuerzos, actuar y decidir objetivamente. Esto es de suma importancia, ya que en ocasiones algunas áreas o empresas no cuentan con datos ni información de nada, no se tiene información para direccionar de forma objetiva y adecuada los esfuerzos y actividades en una organización. (Gutiérrez, 2010)

Las hojas de verificación son herramientas sencillas para la recopilación de datos. Casi cualquier tipo de forma se puede utilizar para reunir información. Las hojas de datos son formas sencillas de columnas o tabulares que sirven para registrar datos. Sin embargo, para generar información útil a partir de los datos en bruto, a veces es necesario un procesamiento más avanzado. (Evans & Lindsay, 2008)

Hoja de verificación		
Producto: _____		Fecha: _____
		Inspector: _____
Defectuosa por	Frecuencia	Subtotal
Movida	//// // // // // // // //	24
Mordida	//// /	6
Ángulo	//// // // // // //	17
Otros	////	4
	Total	51

Figura 33. Hoja de verificación para productos defectuosos

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

2.2.7. Diagramas de Pareto

Cuando los gerentes descubren varios problemas en el proceso que es necesario atacar, tienen que decidir cuál de ellos deberán atender primero. Vilfredo Pareto, un científico italiano del siglo diecinueve cuyo trabajo estadístico se centró en las desigualdades presentes en los datos, planteó que la mayor parte de una “actividad” tiene como causa un número relativamente pequeño de los factores que la componen. En el caso de un problema de calidad en un restaurante, la actividad podría estar constituida por las quejas de los clientes y el factor causal podría ser “un camarero desatento”. El concepto de Pareto, conocido como la regla 80-20, sostiene que el 80% de la actividad es causada por el 20% de los factores. Con sólo concentrarse en el 20% de los factores (los “pocos factores vitales”), los gerentes pueden atacar el 80% de los problemas de los problemas de calidad. Por supuesto, los porcentajes exactos varían dependiendo de cada situación, pero es inevitable que un número relativamente pequeño de factores ocasione la mayoría de los escollos en el desempeño. (Krajewski et al, 2007)

El análisis de Pareto es el proceso de clasificación de oportunidades para determinar cuál de las muchas oportunidades potenciales debe buscarse primero. También se conoce como "separar a los pocos vitales de los muchos triviales ". El diagrama de Pareto puede utilizarse en varias etapas en un programa de mejora de la calidad para determinar qué paso tomar a continuación. El análisis de Pareto se usa para responder preguntas tales como ¿En qué tipo de defecto debemos concentrar nuestros esfuerzos? (Pyzdek, 2003)

La viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total. Se reconoce que más de 80% de la problemática en una organización es por causas comunes, es decir, se debe a problemas o situaciones que actúan de manera permanente sobre los procesos. Pero, además, en todo proceso son pocos los problemas o situaciones vitales que contribuyen en gran medida a la problemática global de un proceso o una empresa. Por ejemplo en la figura 34, uno de las cinco causas más comunes, genera el 72% de las ocurrencias. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

Un Pareto es aquel en la cual las características observadas se ordenan de la frecuencia mayor a la menor. Un diagrama de Pareto es un histograma de los datos ordenados de la frecuencia mayor a la menor. (Evans & Lindsay, 2008)

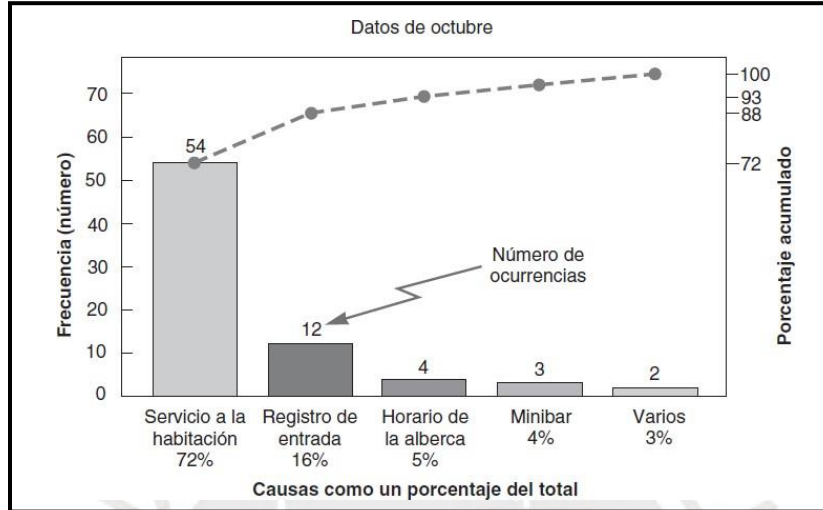


Figura 34. Diagrama de Pareto sobre las quejas en el hotel
Fuente: (Heizer & Render, 2009)

2.2.8. Diagrama de Ishikawa o causa/efecto

Una forma de identificar un problema de diseño consiste en crear un diagrama de causa y efecto, que relaciona un problema clave de desempeño con sus posibles causas. Desarrollado originalmente por Kaoru Ishikawa, este tipo de diagrama ayuda a la gerencia establecer una relación directa entre las desconexiones y las operaciones donde éstas se originan. Las operaciones que no tienen relación alguna con un problema en particular no aparecen en el diagrama. Al elaborar y utilizar un diagrama de causa y efecto, el analista identifica todas las categorías importantes de las posibles causas del problema. Podrían ser, por ejemplo, aquellas que se refieren al personal, las máquinas, los materiales y los procesos. Para cada categoría importante, el analista elabora una lista de todas las causas probables del problema de la brecha de desempeño. (Krajewski et al, 2007)

En el diagrama de Ishikawa el administrador de operaciones comienza con cuatro categorías: material, maquinaria y equipo, mano de obra y métodos. Estas cuatro M son las “causas” y representan una buena lista de verificación para el análisis inicial. Las causas individuales asociadas con cada categoría se enlazan como huesos separados a

lo largo de esa rama, a menudo a través de un proceso de lluvia de ideas. Cuando el diagrama de Ishikawa se elabora en forma sistemática, se destacan los posibles problemas de calidad y los puntos de inspección. (Heizer & Render, 2009)

Crear el diagrama es una educación en sí misma. Organizar el conocimiento del grupo sirve como guía para el debate y, con frecuencia, inspira más ideas. El diagrama, una vez creado, actúa como un registro de su investigación. Simplemente registre sus pruebas y resultados a medida que avanza. Si se encuentra que la causa verdadera es algo que no estaba en el diagrama original, escríbalo. Finalmente, el diagrama es una muestra de tu nivel actual de comprensión. Muestra el nivel de tecnología existente tal como lo entiende el equipo. Es una buena idea publicar el diagrama de causa y efecto (como el diagrama de la figura 35) en un lugar destacado para que todos lo vean. (Pyzdek, 2003)

El diagrama de Ishikawa también puede dividir sus causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente; estos seis definen de manera global todo el proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final, por lo que es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de estas seis. (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

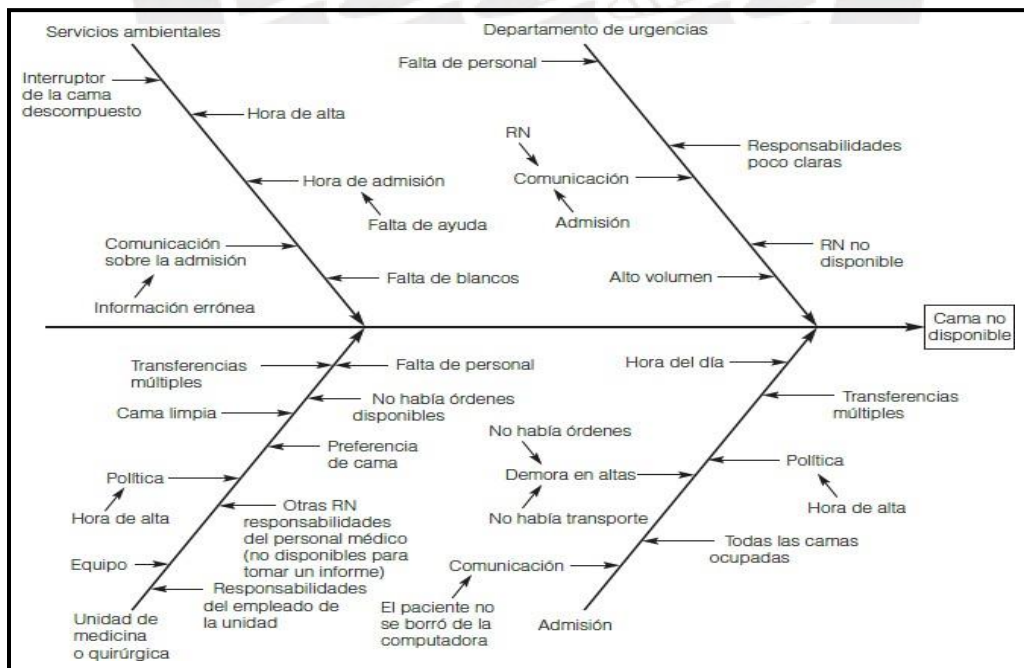


Figura 35. Diagrama de causa/efecto para admisión en la sala de urgencias

Fuente: (Evans & Lindsay, 2008)

2.2.9. Gráficas de control

Una gráfica de control es simplemente una gráfica dinámica a la que se agregan dos líneas horizontales llamadas límites de control: el límite de control superior (UCL) y el límite de control inferior (LCL). Los límites de control se eligen estadísticamente para ofrecer una probabilidad alta de que los puntos caigan entre estos límites si el proceso está controlado. Los límites de control facilitan la interpretación de los patrones en una gráfica dinámica, así como llegar a una conclusión acerca de las condiciones de control. Si los valores de la muestra caen fuera de los límites de control o si ocurren patrones no aleatorios en la gráfica es posible que causas especiales afecten el proceso, por lo que no es estable y es preciso examinarlo y emprender las acciones correctivas adecuadas. Si la evaluación y corrección se llevan a cabo en tiempo real, se minimiza la probabilidad de crear un producto no conforme. Por tanto, como herramienta para solucionar problemas, las gráficas de control permiten a los operadores identificar los problemas de calidad según se presentan. Desde luego, las gráficas de control por sí solas no pueden determinar el origen del problema. Los operadores, supervisores e ingenieros deberán recurrir a otras herramientas para solucionar problemas a fin de buscar la causa de origen. (Evans & Lindsay, 2008)

Las gráficas de control son presentaciones gráficas de datos ubicados en el tiempo que muestran los límites inferior y superior permitidos para el proceso que se desea controlar, están construidas de tal forma que permiten la rápida comparación de los nuevos datos contra la información del desempeño anterior. Tomamos muestras de la salida del proceso y graficamos el promedio de estas muestras en una gráfica que contenga los límites. En una gráfica de control, los límites inferior y superior se definen en unidades de temperatura, presión, peso, longitud, etcétera. Cuando el promedio de las muestras está dentro de los límites de control inferior y superior y no se presenta ningún patrón descifrable, se dice que el proceso está bajo control y que sólo hay variaciones naturales. De otra forma, el proceso está fuera de control o desajustado. (Heizer & Render, 2009)

La figura 36, indica las acciones que se deben tomar cuando las gráficas de control manifiestan variaciones en sus muestras.

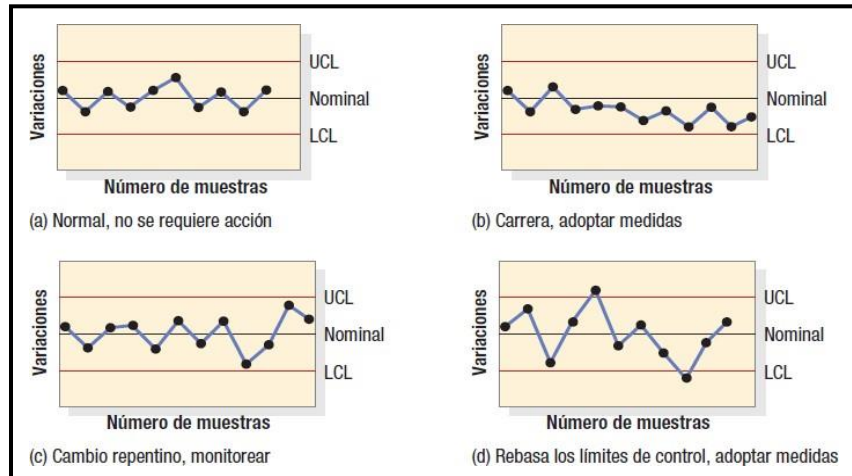


Figura 36. Tipos de Graficas de control

Fuente: (Krajewski et al, 2007)

2.3. Elementos, métodos y herramientas del Lean Manufacturing

La producción esbelta o lean production, también conocido como Sistema de producción de Toyota (TPS), significa hacer más con menos (menos tiempo, menos espacio, menos esfuerzo humano, menos maquinaria y menos materiales), al tiempo que les brinda a los clientes lo que desean; como un imagen vale más que mil palabras la figura 37 muestra “la casa de la producción esbelta”, sus bases son la estabilidad y la estandarización, los pilares son el uso de las herramientas Justo a tiempo (JIT, que se encarga de la entrega de las partes de los productos de acuerdo al cliente) y jidoka o automatización (automatización con decisión humana para detener el proceso al momento de percibir un defecto), el techo del sistema es el enfoque al cliente (entregar la mejor calidad, el precio más bajo, el menor tiempo de entrega), el corazón del sistema es la participación (participantes flexibles en equipos motivados a buscar la mejora). (Pascal, 2007)

El *lean manufacturing* se define como un proceso de cinco pasos: definir el valor del cliente, definir el flujo de valor, hacerlo “fluir”, tirarlo (*pull*) desde el final (cliente) y perseguir la excelencia. Para esto se requiere una mentalidad que enfoque la realización del flujo de producto a través de procesos de valor añadido, sin interrupción (flujo pieza a pieza), con un sistema *pull* que avanza desde el final a partir de la demanda del cliente completando sólo lo que la siguiente operación necesita o se ha llevado, en intervalos cortos, y en una cultura en que cada uno constantemente persiga la mejora. (Liker, 2006)

La producción esbelta se refiere a los enfoques desarrollados en un principio por Toyota Motor Corporation, que se concentran en la eliminación del desperdicio en todas sus formas, incluidos los defectos que requieren del reproceso, los pasos innecesarios en los procesos, el movimiento innecesario de materiales o personas, el tiempo de espera, el inventario en exceso y la sobreproducción. Una forma simple de definirla es “hacer más con menos”. Comprende la identificación y eliminación de las actividades que no agregan valor a lo largo de la cadena logrando respuestas más rápidas para el cliente, inventarios reducidos, mejor calidad y mejores recursos humanos. (Evans & Lindsay, 2008)

El lean management o gestión lean o esbelta o, también, lean manufacturing o lean production (al referirse al mundo industrial), es un modelo de gestión que consiste, ante todo, en llevar a cabo aquello y solo aquello que es preciso para entregar al cliente, lo que éste desea exactamente, en la cantidad que desea y justo cuando lo desea, a un precio competitivo. Los objetivos de un sistema lean es entregar al cliente el producto o servicio exactamente solicitado por él, con el máximo ajuste a sus especificaciones (calidad), con el mínimo consumo de recursos productivos (coste) y con la máxima rapidez de respuesta (tiempo). Para alcanzar sus objetivos, dispone de dos elementos fundamentales: la eliminación de los llamados desperdicios (muda en japones), esto significa que cualquier actividad que no sea valorada por el cliente final es un desperdicio y hay que evitarla; y un nivel importante de flexibilidad ya que pretende producir el producto o servicio requerido por el cliente en la cantidad pretendida y en el momento requerido. (Cuatrecasas, 2010)

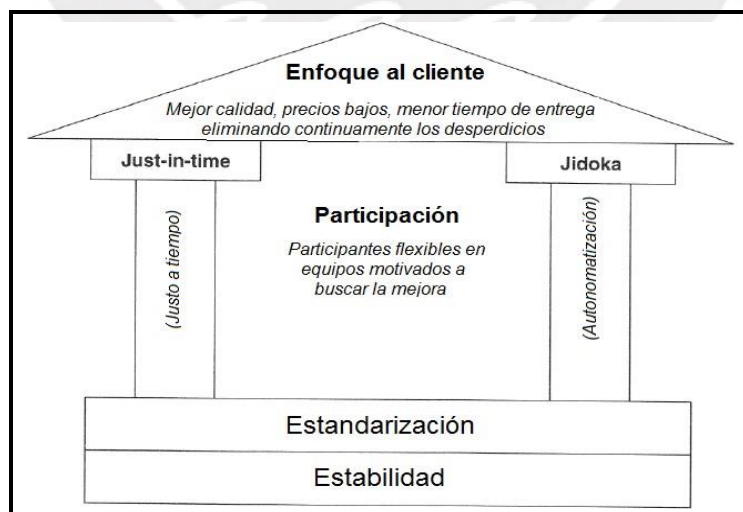


Figura 37. Imagen básica de la producción esbelta

Fuente: (Pascal, 2007)

2.3.1. Los desperdicios del Lean

Lean como sistema permite a las organizaciones disminuir sus costos mediante la erradicación del desperdicio; permite a la organización mejorar sus niveles de calidad y niveles de satisfacción del cliente. Una organización que adopta una producción Lean espera el apoyo completo de sus diversos departamentos, como administración, recursos humanos y finanzas. Los departamentos de apoyo deben sufrir una transformación, ya que los procesos deben estar mejor sincronizados y vincularse con el objetivo final de intentar reducir los niveles de desperdicio en la organización. (Bhasin, 2015)

La persecución implacable de los desperdicios debe ser un objetivo de primer orden para que un sistema productivo sea cada vez más lean y, con ello, más eficiente. Mientras haya desperdicios que eliminar, hay margen para la mejora. Esta es la buena noticia. Es más, ello debería extenderse a toda la empresa, más allá de los procesos productivos. La actividad que se lleva a cabo en toda la empresa se efectúa por medio de procesos, constituidos por actividades con valor añadido y sin él. (Cuatrecasas, 2010)

En japonés hoshin significa brújula, y es el conjunto de actividades que tienen por objetivo la eliminación sistemática del despilfarro y todo aquello que resulte improductivo, inútil o que no aporte valor añadido. La idea fundamental de una operación hoshin es buscar por parte de todo el personal involucrado, soluciones simples y aplicables de inmediato tanto en la mejora de la organización del puesto de trabajo como en las instalaciones o flujos de producción. Sin duda, uno de los puntos clave del éxito es la implicación de todo el personal, desde la dirección hasta los operarios. (Rajadell y Sánchez, 2010)

El desperdicio es “cualquier cosa que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas y obreros (horas laborales) absolutamente esencial para la producción”. El Sistema de Producción Toyota identifica 7 tipos principales de desperdicios: sobreproducción (producir piezas o productos que no se necesitan), tiempo de espera (trabajadores o máquinas ociosos), transporte (realizar transportes innecesarios, ineficientes, repetitivos, etc.), sobreprocesamiento de las piezas (producir a una mayor calidad de la necesaria), inventario de más (almacenar en previsión de futuros problemas), movimiento innecesario (movimientos de los operarios que no añaden valor) y fabricación de productos defectuosos (errores y defectos de la producción). (Chase et al, 2009)

La figura 38, es un ejemplo de actividades sin valor agregado o desperdicios de una línea.

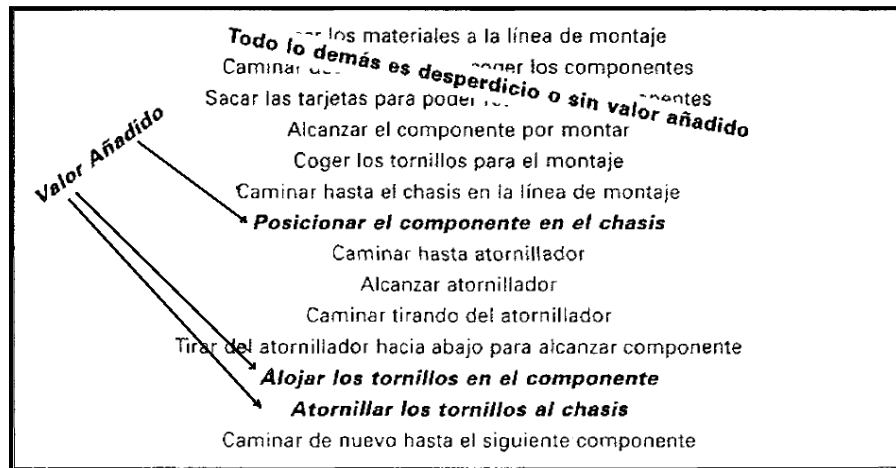


Figura 38. Desperdicio en una línea de montaje de chasis de camión

Fuente: (Liker, 2006)

➤ **Desperdicio por exceso de producción o “sobreproducción”**

Sobreproducción significa fabricar productos que no se venden, y los costos generados son: construcción y mantenimiento de grandes almacenes (figura 39), personal y maquinaria extra, materiales y repuestos extras, energía extra, montacargas y paletas extras, pago de renta o préstamos extras. (Pascal, 2007)

La sobreproducción ocurre cuando su empresa produce más de lo que su cliente requiere. Podría estar produciendo artículos para los cuales no hay pedidos o produciendo más de lo requerido en el momento correcto. Este es el peor desperdicio ya que tiene un efecto de arrastre en la multiplicación de todos los demás desechos. La sobreproducción aumenta los defectos, los impactos en los costos de inventario, las cadenas de procesos y la espera junto con el movimiento y el transporte innecesarios. (Bhasin, 2015)

El despilfarro de la sobreproducción es como una llave que abre la puerta a otras clases de despilfarro. La causa de este tipo de despilfarro radica en el exceso de capacidad de las máquinas. Los operarios, preocupados por no disminuir las tasas de operación emplean el exceso de capacidad fabricando productos en exceso. En las empresas de servicios la sobreproducción se manifiesta en proyectos, informes, libros, revistas, catálogos para los cuales nadie tiene interés en leer. (Rajadell y Sánchez, 2010)

El tamaño de los lotes de producción debe ser el demandado en cada momento, y cuando el cliente o mercado absorban grandes cantidades de producto, será conveniente fraccionarlas, entregándolas en pequeños lotes, en la medida que a los clientes les interese recibirlos; si, además, el sistema productivo puede llevar a cabo una diversidad de productos o modelos, será conveniente alternar pequeños lotes de cada uno para ir atendiendo con rapidez a los distintos clientes de cada variante de producto y sin incurrir en costes innecesarios en stocks, personal, plazos dilatados, etc. (Cuatrecasas, 2010)



Figura 39. Sobreproducción de productos terminados
Fuente: (Rajadell y Sánchez, 2010)

➤ **Desperdicio debido a los tiempos de espera**

Este desperdicio es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o proceso ineficiente. Este proceso puede provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Un cliente nunca estará dispuesto a pagar el tiempo perdido durante la fabricación de su producto, así que es preciso estudiar cómo utilizar estos tiempos o bien como eliminarlos. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Es este uno de los desperdicios más claros y también más fáciles de detectar. Sin embargo, es muy difícil de evitar en toda su extensión. Para eliminarlo sería necesaria una sincronización total entre las operaciones; tan importante es la sincronización que su existencia puede justificar la denominación que Toyota dio a su sistema de gestión de los procesos: JIT, es decir, justo a tiempo. En efecto, si cada actividad se desarrolla justo en el momento preciso, no habrá tiempos de espera. (Cuatrecasas, 2010)

Cada tarea en un proceso de fabricación depende de los procesos anteriores o posteriores a este. Si los operadores, equipos, información o materiales retrasan el proceso por cualquier razón, se desperdicia tiempo y su costo de producción aumentará aún más, acumulativamente, en su rentabilidad. (Bhasin, 2015)

Generado cuando se desaprovechan los operarios haciéndoles vigilar máquinas automáticas o dando vueltas esperando el siguiente paso del proceso, la siguiente herramienta, el siguiente proveedor, la siguiente pieza, etcétera, o simplemente sin poder trabajar por falta de material, retrasos en el procesado de lotes, parada de equipos y cuellos de botella. (Liker, 2006)

Los tiempos de espera incrementan el tiempo de entrega (tiempo que comprende el periodo desde que el cliente pone y recibe su orden), este es una medida crítica para los sistemas lean. El tiempo de entrega se definiría como el tiempo de procesamiento sumado todo el tiempo que el producto es retenido. (Pascal, 2007)

➤ **Desperdicio por transporte y manipulación innecesarios**

El desperdicio por transporte es el resultado de una manipulación de material innecesario, quizás por culpa de un layout mal diseñado. Las máquinas y las líneas de producción deberían estar lo más cerca posible y los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin esperar en colas de inventario. Además, cuantas más veces se mueven los artículos de un lado para otro, hay mayores probabilidades que resulten dañados. En las empresas de servicios estos despilfarros pueden hacerse evidentes en autobuses en itinerarios u horarios en donde no hay viajeros, etc. (Rajadell y Sánchez, 2010)

El movimiento innecesario de información, artículos, materiales, partes y productos terminados de un lugar a otro desperdicia tiempo, recursos y dinero. El transporte innecesario suele combinarse con movimientos innecesarios, daños e incluso pérdida de producto. Incluso el papel o los sistemas informáticos (si existen) para rastrear el movimiento pueden verse afectados negativamente. (Bhasin, 2015)

La mala organización del sistema productivo, con un diseño del proceso y su distribución en planta mal planificados, puede dar lugar a distancias recorridas por materiales y productos totalmente excesivas e innecesarias. (Cuatrecasas, 2010)

➤ **Desperdicio por sobreprocesamiento o proceso inadecuado**

El desperdicio de procesamiento implica realizar cualquier paso innecesario durante el proceso de fabricación. También puede significar la producción de piezas o productos de una calidad superior a la requerida. Esto debido a procesos ineficaces, mala comunicación y deficiente traducción de lo que desea el cliente, incluidos los clientes internos proceso a continuación. (Bhasin, 2015)

Esta es la forma más solapada de desperdicio relacionada a hacer más de lo que el cliente requiere. Este desperdicio generalmente se da en compañías manejadas por las áreas de ingeniería. Por ejemplo, compañías enamoradas con una tecnología dada, o comprometidos a alcanzar cierto objetivo técnico, pueden perder contacto con lo que el cliente realmente quiere. Porsche sufrió de esto en los años 80 cuando la compañía busco intensamente lograr metas de ingeniería (200 Km/h) que no se relacionaban a los deseos del cliente. (Pascal, 2007)

Es preciso desarrollar cada una de las actividades que componen los procesos de producción, de forma que se alcancen sus objetivos aplicando el mínimo de recursos y, muy especialmente, en el menor tiempo posible. Esto supone llevar a cabo las actividades de los procesos aplicando los métodos de trabajo más adecuados y eficaces, personal debidamente formado y motivado, asignación adecuada de tareas a los mismos, organización correcta de los puestos de trabajo, con los elementos que se requieren a mano, equipamientos productivos adecuados y disponibles, un layout asimismo adecuado, etc. (Cuatrecasas, 2010)

El desperdicio por sobreprocesamiento es el resultado de poner más valor añadido en el producto que el esperado o el valorado por el cliente, en otras palabras, es la consecuencia de someter al producto a procesos inútiles, por ejemplo: verificaciones adicionales, aplicaciones innecesarias de pintura, algunos trabajos de limpieza, etc. El objetivo de un proceso productivo debería ser obtener el producto acabado sin aplicar

más tiempo y esfuerzo que el requerido. En las empresas de servicios este se manifiesta en procesos administrativos burocráticos, innecesariamente complejos o pesados. (Rajadell y Sánchez, 2010)

➤ **Desperdicio debido al exceso de inventario**

El inventario es la cantidad de piezas requeridas para fabricar un producto terminado. Cuando no están en uso o no se utilizan en la producción, ocupan espacio/volumen valioso. Pueden quedar obsoletos mientras están en existencia y restar valor a las materias primas y sus partes. Las empresas competitivas se aseguran de que sus archivos o sistemas informáticos controlen su inventario para que no se pierda dinero en materiales no deseados o innecesarios. (Bhasin, 2015)

Los stocks son la forma de despilfarro más clara porque esconden ineficiencias y problemas crónicos. Como consecuencia de sus relaciones con estos problemas, los directores japoneses han denominado al stock como la “raíz de todos los males”. Desde la óptica JIT, los inventarios se contemplan como los síntomas de una fábrica enferma donde los doctores JIT ven a los stocks como los síntomas de la mala salud en las operaciones de una fábrica. (Rajadell y Sánchez, 2010)

El exceso de inventario está relacionado con mantener innecesariamente materias primas, repuestas y materiales semiterminados. Estas condiciones se producen cuando el flujo es restringido en una planta y cuando la producción no está relacionada a la necesidad del mercado (*pull*). (Pascal, 2007)

El exceso de inventario esconde otros problemas como producciones no equilibradas, retrasos en las entregas de los proveedores, defectos, paros en los equipos y largos tiempos de preparación de las máquinas. (Liker, 2006)

➤ **Desperdicio por movimientos innecesarios**

El desperdicio de movimiento puede ser generado por humanos o maquinaria. El desperdicio de movimiento humano está relacionado con la ergonomía del lugar de trabajo. Un pobre diseño ergonómico afecta negativamente la productividad, la calidad y

la seguridad. La productividad decae cuando se camina, se estira o tuerce innecesariamente. La calidad se afecta cuando el operario se esfuerza para procesar o revisar las piezas debido a que se ha tenido que acercarse a estas y revisarlas en condiciones medioambientales deplorables. El desperdicio también puede ser generado por la máquina, por ejemplo, cuando las piezas y la soldadura de punto están demasiado lejos, uno del otro, innecesariamente. (Pascal, 2007)

El movimiento innecesario se relaciona con el personal, particularmente los operarios, que se mueven por el espacio de trabajo perdiendo tiempo y esfuerzo (ver figura 40). Todo movimiento innecesario puede ser causado por procedimientos y prácticas estandarizados deficientemente, pobre diseño del proceso. (Bhasin, 2015)

Movimientos innecesarios los habría también en el caso de personas que se tuvieran que desplazar para ir en busca de materiales, herramientas, útiles o documentos, para poder realizar su tarea correctamente. (Cuatrecasas, 2010)

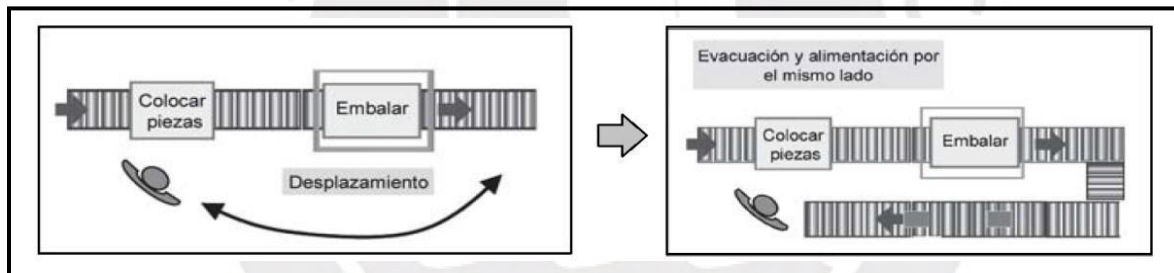


Figura 40. Eliminar el movimiento innecesario

Fuente: (Rajadell y Sánchez, 2010)

➤ **Desperdicio debido a la insuficiencia en el nivel de calidad**

Los defectos producen desechos y retrabajos/reprocesamientos. Estos productos defectuosos deben volver a trabajar o eliminarse, lo que vuelve al proceso costoso. Los defectos son causados por procesos de fabricación deficientes como resultado del error humano, falla del equipo o de ambos. El retrabajo toma un tiempo adicional y, por lo tanto, aumenta el costo del producto terminado. El desecho o eliminación implica costos adicionales y el uso innecesario de recursos que impactan el rendimiento final de una organización. (Bhasin, 2015)

Los componentes o productos con defectos constituyen un desperdicio evidente ya que deben reprocesarse o tirarse, lo que supone la pérdida o repetición de actividades que aportaban valor al producto. Además pueden dar lugar a desajustes en la programación, tales como paros de líneas, esperas, etc. Pero si el defecto se escapa al control y el producto defectuoso llega al cliente, se incurre en los costes correspondientes a la reposición o reparación de dicho producto, sin contar con el desprestigio y la posible pérdida del cliente. (Cuatrecasas, 2010)

El despilfarro derivado de los errores es uno de los más aceptados en la industria, aunque significa una gran pérdida de productividad, porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez. Los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores para conseguir productos acabados con la calidad exigida, eliminando así cualquier necesidad de retrabajo o de inspecciones adicionales. También debería haber un control de calidad en tiempo real de modo que los defectos en el proceso productivo se detecten justo cuando suceden (figura 41), minimizando así el número de piezas sospechosas que requieren inspección adicional y/o repetición de trabajos. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Las devoluciones, las reclamaciones de garantía, el trabajo repetido y los sobrantes son un desperdicio por defecto. (Heizer & Render, 2009)



Figura 41. Control de calidad a una planta de llantas radiales

Fuente: (Chase et al, 2009)

Tabla 2. Resumen de los tradicionales desperdicios del TPS

Tipo de desperdicio	Síntomas	Posibles causas	Ideas y herramientas
Sobreproducción Producir mucho o más pronto de lo que necesita el cliente	Se producen muchas partes y/o son producidas con mucha anticipación Las partes se acumulan incontroladamente en inventarios Altos tiempos de ciclo Pobres tiempos de entrega	Mucho tiempo para adaptar el proceso para que produzca otro modelo o parte Tamaño grande de lotes Pobre programación de la producción o de las actividades Desbalance en el flujo de materiales	Justo a tiempo SMED Reducir tiempos de preparación, sincronizar procesos, haciendo sólo lo necesario
Esperas Tiempo desperdiciado (de maquinas o personas), debido a que durante ese tiempo no hubo actividades que le agregaran valor al producto	Trabajadores en espera de materiales, información o de máquinas no disponibles Operadores parados y viendo las máquinas producir Grandes retrasos en la producción Altos tiempos de ciclo	Tamaño de lote grande Mala calidad o malos tiempos de entrega de los proveedores Deficiente programa de mantenimiento Pobre programación	Eliminar actividades innecesarias, sincronizar flujos, balancear cargas de trabajo, trabajador flexible y multihabilidades, organizar el procesos en forma Kanban
Transportación Innecesario movimiento de materiales y gente	Mucho manejo y movimiento de partes Excesivo daños por manejo Largas distancias recorridas por las partes en proceso Altos tiempos de ciclo	Procesos secuenciales que están separados físicamente Pobre Distribución de Planta Altos inventarios; la misma pieza en diferentes lugares	Procesamiento en flujo continuo, sistemas Kanban y Distribución de Planta para hacer innecesario el manejo/ transporte
Sobreprocesamiento Esfuerzos que no son requeridos por los clientes y que no agregan valor	Ejecución de procesos no requeridos por el cliente Autorizaciones y aprobaciones redundantes Costos directos muy altos	Diseño del proceso y el producto Especificaciones vagas de los clientes Pruebas excesivas Procedimientos o políticas inadecuadas	Simplificar proceso y eliminar actividades y operaciones que no agregan valor
Inventarios Mayor cantidad de partes y materiales que el mínimo requerido para atender los pedidos del cliente	Inventarios obsoletos Problemas de flujo de efectivo Altos tiempos de ciclo Incumplimiento en plazos de entrega Muchos retrabajos cuando hay problemas de calidad	Sobreproducción Pobres pronósticos o mala programación Altos niveles para los inventarios mínimos Políticas de compras Proveedores no confiables Tamaño de lotes grande	Acortar tiempos de preparación y respuesta Organizar el proceso en forma Kanban. Aplicar Justo a Tiempo
Movimientos Movimiento innecesario de gente y materiales dentro de un proceso	Búsqueda de herramientas o partes Excesivos desplazamientos de los operadores Doble manejo de partes Baja productividad	Pobre distribución de las celdas de trabajo, herramientas y materiales Falta de controles visuales Pobre diseño del proceso	Organización de celdas de trabajo, procesamiento en flujo continuo Administración visual
Retrabajo Repetición o corrección de un proceso	Procesos dedicados al retrabajo Altas tasas de defectos Departamentos de calidad o inspección muy grandes	Mala calidad de materiales Máquinas en malas condiciones Procesos no capaces e inestables Poca capacitación Especificaciones vagas del cliente	Control estadístico de procesos Mejora de procesos Desarrollo de proveedores

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013)

La tabla 2 resume los 7 principales desperdicios de una producción esbelta, evidenciando sus causas e indicando las herramientas con las que su pueden controlar o eliminar.

2.3.2. Los aliados del desperdicio: *Mura* y *Muri*

Muda es la expresión japonesa para designar el concepto de desperdicio. Pero este viene acompañado por otros dos conceptos (*Mura* y *Muri*) que también deben erradicarse, para que realmente el despilfarro, desperdicio o muda no solo desaparezca, sino que nunca vuelva a aparecer. (Cuatrecasas, 2010)

➤ **Mura o Variabilidad**

Mura, hace referencia a la variabilidad que acompaña la realización de las actividades (falta de estandarización, formación, disciplina, constancia en la disposición de medios y recursos, etc.), que da lugar a diferencias en los tiempos de proceso, productividad, nivel de defectos, tiempo de entrega y, en definitiva, bajo rendimiento. (Cuatrecasas, 2010)

La irregularidad y la variación representan inconsistencias en el flujo de trabajo, causadas por cambios en el volumen (demanda desigual), mezcla (variación) y calidad. Los clientes desean variedad y flexibilidad, pero esto debe lograrse al tiempo que se evita la complejidad innecesaria y el comportamiento caótico. Es responsabilidad de la gerencia minimizar el impacto de la variación mediante el fomento del diseño de productos y procesos estandarizados, la nivelación de la demanda y la introducción de sistemas de entrega y control de la producción de flujo, arrastre y justo a tiempo (Bell y Orzen, 2011)

La variabilidad, generalmente, es causada por planes de producción fluctuantes. Un ejemplo simple podría ser una línea de producción que está produciendo modelos difíciles para la mitad de un turno y modelos simples para la segunda mitad, de modo que los trabajadores se esfuerzan durante la mitad del día y se relajan la otra mitad. El sistema Lean busca reducir esta variabilidad, presentada en el ejemplo, a través de "heijunka" o nivelación de producción, mezclando modelos (Pascal, 2007)

Los administradores buscan eliminar la variabilidad ocasionada por factores internos y externos. La variabilidad es cualquier desviación de un proceso óptimo que entrega un producto perfecto, todas las veces. Variabilidad es una palabra elegante para nombrar los problemas. Entre menos variabilidad haya en un sistema, menor será el desperdicio. La mayor parte de la variabilidad se debe a la tolerancia del desperdicio o a la mala administración. (Heizer & Render, 2009)

➤ **Muri o Sobrecarga**

Muri significa "difícil de hacer" y puede deberse a variaciones en la producción, deficiente diseño del trabajo y ergonomía, mal ajuste de piezas, herramientas y plantillas inadecuadas, especificaciones no aclaradas, etc. (Pascal, 2007)

Muri hace referencia a las prácticas injustificadas, presentes en la forma en que se llevan a cabo las actividades de los procesos y que, con frecuencia, no tienen otra razón que el haberse efectuado así “desde siempre”. La estandarización, basada en una secuencia de actividades racional, y el mantenimiento a ultranza de dicha estandarización son el antídoto para el *muri*. (Cuatrecasas, 2010)

La sobrecarga representa la colocación de cargas de trabajo poco realistas en las personas y el equipo, lo que genera estrés, errores, retrabajo y poca moral. El trabajo de la gerencia consiste en eliminar la sobrecarga mediante el diseño de trabajos según el talento del colaborador, la capacitación, el trabajo estandarizado y realizar una adecuada programación de la demanda que respaldara un flujo regular de los productos, servicios e información. (Bell y Orzen, 2011)

El muri genera la incorrecta distribución del personal según su talento esto ocasiona que la creatividad de los empleados no sea utilizada perdiendo tiempo, ideas, aptitudes, mejoras y se desperdician oportunidades de aprendizaje por no motivar o escuchar a los empleados. (Liker, 2006)

Una vez conocidos los conceptos de Muda (desperdicio), Mura (variabilidad) y Muri (sobrecarga); la figura 42 ejemplifica de mejor manera la diferencia de cada uno de ellos.

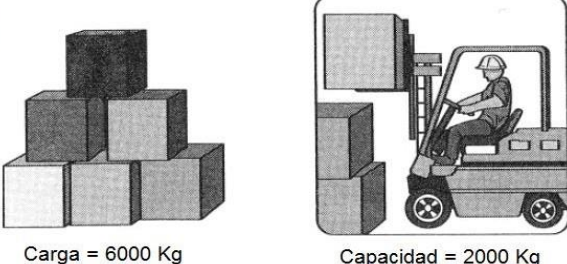
Problema: ¿Cuál es la mejor método para mover 6000 Kg que se encuentran apilados en bultos de 1000 kg cada uno utilizando un montacarga que soporta máximo 2000 Kg ?

Muda (desperdicio): 6 viajes @ 1000Kg

Mura (variabilidad): 2 viajes @ 2000Kg
2 viajes @ 1000Kg

Muri (sobrecarga): 2 viajes @ 3000Kg

Mejor decisión: 3 viajes @ 2000Kg



Carga = 6000 Kg

Capacidad = 2000 Kg

Figura 42. Ejemplo básico de Muda, Mura y Muri

Fuente: (Pascal, 2007)

2.3.3. Cadena de valor

Una cadena de valor se compone de todo el ciclo de vida del proceso requerido para entregar un servicio, productos y/o información desde su concepción hasta que es entregado al cliente. Esto incluye todas las actividades, ya sea que creen o no valor, llevadas a cabo para clientes internos o externos. Las mejoras en las cadenas de valor requieren una perspectiva interfuncional, alejando a las personas, grupos o departamentos de la organización que conservan la optimización local y el pensamiento aislado. El pensamiento sistemático permite a las personas ver todo el proceso y comprender el valor de este desde la perspectiva del cliente. El valor es lo que el cliente quiere y está dispuesto a pagar. Intuitivamente, todos sabemos que algunas actividades agregan valor para el cliente mientras que otras no. Todos los componentes pueden ser identificados como actividades de valor agregado (VA), sin valor agregado (NVA) o necesaria, pero sin valor agregado (NNVA). (Bell y Orzen, 2011)

La producción de cualquier bien o servicio se halla normalmente vinculada a la producción de otros, a través de la llamada cadena de valor. En ella, cada producto es el resultado de unos materiales, factores y un proceso, pero de forma que dicho producto es un input o factor del proceso de otro producto. En cada etapa de la cadena de valor, se genera un nuevo valor añadido al producto, de forma que el valor final de una etapa forma parte de la inicial de la siguiente. Los procesos que integran la cadena de valor no sólo serán los de manufactura, sino también los de comercialización, distribución y servicios. (Cuatrecasas, 2010)

Desde una perspectiva Lean, lo primero que hay que hacer en cualquier proceso es cartografiar el mapa del flujo de valor siguiendo el camino del material (o papel o información) a través del proceso. Es mejor caminar por el flujo actual para poder recoger la mayor cantidad de datos. Podemos dibujar este camino en un plano, calcular el tiempo y la distancia recorrida y darle un nombre. Incluso los que lleven más tiempo trabajando en esa planta quedarán sorprendidos por los resultados de este ejercicio. La importancia de la figura 43 es que habiéndose desplegado todas las actividades, el valor agregado (VA) apenas se distingue. (Liker, 2006)

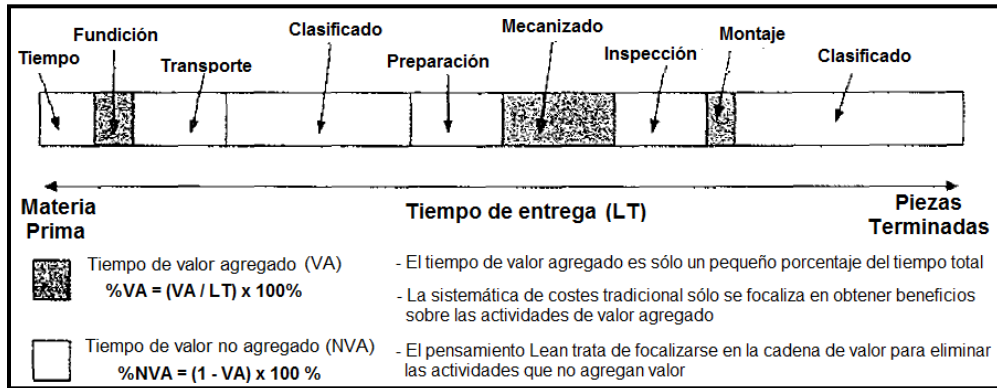


Figura 43. Desperdicio de una cadena de valor

Fuente: (Liker, 2006)

La cadena de valor se utiliza con mucha frecuencia como un medio para eliminar el desperdicio en un proceso de la cadena de suministro. La cadena de valor es una red de pasos de principio a fin que da un resultado para el cliente. la cadena conserva los siguientes principios: eliminar el desperdicio que detiene, vuelve más lenta o distrae la cadena de valor; mantener la cadena de valor en movimiento a máxima velocidad; concentrarse en eliminar el desperdicio, en lugar de acelerar las operaciones que agregan valor; buscar el desperdicio en la fábrica, la oficina y las operaciones físicas, de procedimientos y técnicas. La figura 44 nos da unos consejos que debemos tomar muy en cuenta. (Chase et al, 2009)

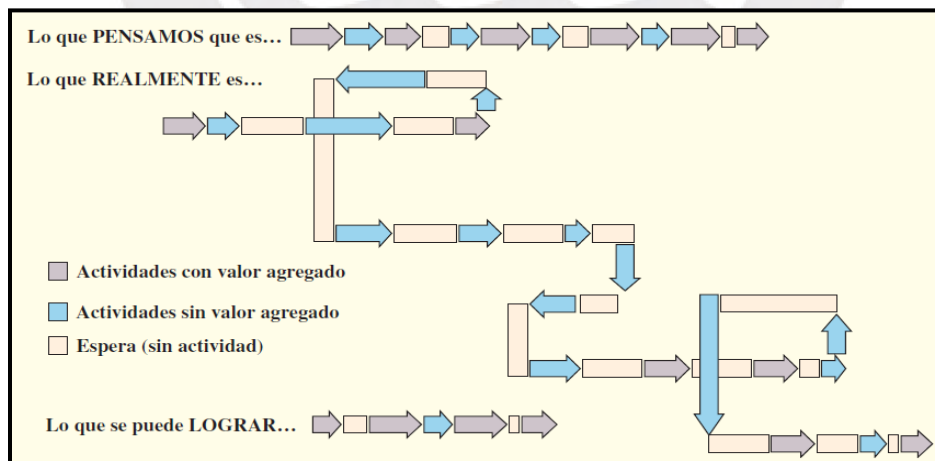


Figura 44. Objetivo de la cadena de valor

Fuente: (Chase et al, 2009)

2.3.4. Grupos de trabajo

"Todo para uno y uno para todos" es un mantra conmovedor. En Toyota se hizo todo lo posible para promocionarlo bajo los siguientes principios: Seguridad primero; la seguridad es un valor central a la par con la producción y la calidad. La seguridad también es un buen negocio. La mala ergonomía, por ejemplo, conduce inevitablemente a problemas de calidad y productividad. Seguridad del empleado; hay una garantía de implícita en el sentido de que solo en las circunstancias más graves y como último recurso se considerarían los recortes de puestos de trabajo. Uniformes; todos los equipos son iguales, independientemente de su posición. Sin oficinas ejecutivas y sin muros; las oficinas de Toyota suelen ser una gran sala con filas de escritorios. Los gerentes, especialistas técnicos y ejecutivos suelen sentarse codo con codo. No hay comedores ejecutivos ni lugares de parqueo. Genchi genbutsu; el espíritu de "ir a ver" asegura que los gerentes y gerentes seniors estén en contacto constante con los miembros del equipo de taller. Por supuesto, estos no encajan en todas las organizaciones. Debemos adaptar nuestras actividades a nuestra cultura. (Pascal, 2007)

El modelo de gestión de Toyota forma parte de una cultura que exige unos líderes realmente especiales, que deben formarse en la propia compañía. Una formación muy profunda en el modelo de gestión en cuestión, estar acostumbrados a seguir, controlar y resolver los problemas en donde se llevan a cabo los procesos (como lo indica el genchi genbutsu). Un liderazgo que forma, aconseja y tutela en lugar de castigar, buscando soluciones en lugar de culpables, son algunos de los aspectos que conforman el liderazgo de Toyota. Este liderazgo, basado en actuar como maestro (sensei en Toyota), enseñando, aconsejando y ayudando en lugar de ejerciendo la autoridad, daría lugar a líderes con responsabilidad, pero sin la suficiente autoridad. Por otra parte, la actividad desarrollada en equipo debería ser una consecuencia natural de los aspectos ya comentados que conforman la excelencia en la gestión. En efecto, recordemos que ello implica operar en flujo, de forma coordinada y con el objetivo de satisfacer al cliente, en lugar de la operativa independiente tradicional. La excelencia en la gestión implica trabajar para mejorar el flujo continuamente y, por tanto, motiva para que las personas y los equipos de trabajo se esfuercen en mejorar los procesos. La mejora continua, conocida hoy como kaizen, lo mismo que las grandes mejoras puntuales, forma parte de la

excelencia en la actividad de las personas, en todos los niveles de la organización, así como de los equipos en los que se hallan integrados. (Cuatrecasas, 2010)

La tabla 3 nos describe los roles de los equipos Lean y la figura 45 nos enseña la diferencia del accionar de un equipo Lean con uno tradicional.

Tabla 3. Roles de los equipos de trabajo

Roles y Responsabilidades	
Miembro de Equipo	Líder de Grupo
Ejecutar el trabajo de acuerdo con el estándar actual	Programación de la mano de obra/vacaciones
Mantener 5S en su área de trabajo	Planificación mensual de producción
Ejecutar rutinas de mantenimiento básico	Administrativo: políticas, presencia, acciones correctoras
Buscar oportunidades de mejora continua	Planificación Hoshin
Participar en actividades de grupo para la mejora continua	Moral de los equipos
Líder de Equipo	Validar las rutinas de calidad y los chequeos del líder de equipo
Arranque del proceso y control	Coordinación entre turnos
Cumplir con las metas de producción	Ensayos de proceso (cambios de proceso)
Responder a las llamadas de andón que hacen los miembros del equipo	Desarrollo de los líderes de equipo y formación
Validar los chequeos rutinarios de calidad	Proyectos para la mejora de procesos: productividad, calidad, ergonomía, etcétera.
Cubrir el absentismo	Actividades para la reducción de costes
Formación	Información/seguimiento de los resultados en la producción diaria
Ordenes de trabajo para mantenimiento rápido	Coordinación del mantenimiento
Asegurar que se sigue el trabajo estándar	Coordinación de los apoyos desde grupos externos
Facilitar las actividades en grupo pequeño	Coordinación del trabajo con procesos aguas arriba y aguas abajo
Mejora continua en proyectos en curso	Resultados de seguridad en el grupo
Asegurar abastecimiento de piezas/materiales	Ayuda para cubrir ausencias de líderes de equipo
	Coordinar actividades asociadas con grandes cambios de modelo

Fuente: (Liker, 2006)

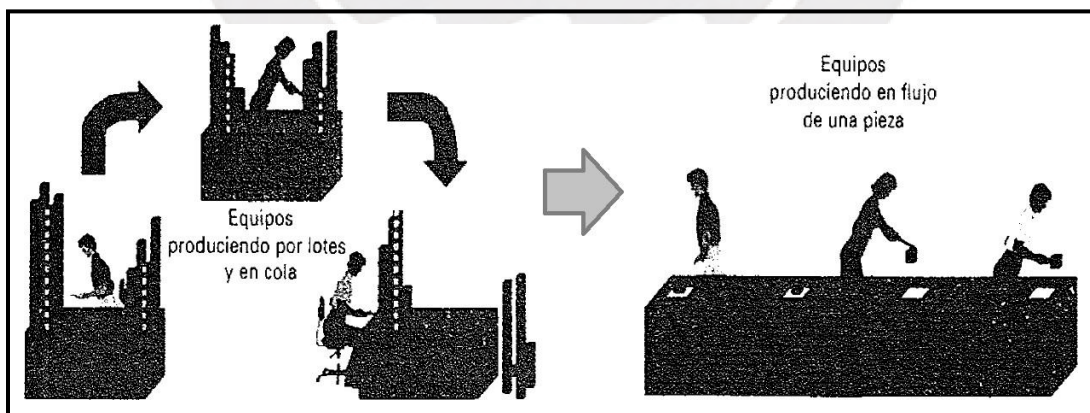


Figura 45. Equipo de trabajo Lean: producción en lotes vs flujo de una pieza

Fuente: (Liker, 2006)

2.3.5. Sistema “pull”

Una operativa *pull* implica que el movimiento de materiales y productos se ajuste a la demanda en todo momento. Para implantar dicha operativa, trataremos de que sea la propia demanda la que programe qué hay que entregar. Naturalmente, ello ha de ser así, tanto si esta demanda procede de un cliente externo como interno. Con todo ello, si cada proceso debe operar de acuerdo con las necesidades del que le sigue (su cliente) y así hasta llegar al cliente final externo, la actividad de la empresa se habrá de programar para el último proceso, de acuerdo con lo que deba entregar al cliente final. Así, este “tirará” (*pull*) de este último proceso, solicitándole lo que precise, y, a su vez, dicho proceso deberá pedir al anterior lo que necesite para operar, y este deberá pedir al anterior lo que a su vez precise, y así hasta llegar al primer proceso. Por el contrario, la operativa tradicional se efectúa en modo *push*, de forma que cada proceso produce todo cuanto le permite su capacidad y; luego, lo “empuja” (*push*) hacia el proceso siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al cliente final. Así pues, con un adecuado sistema *pull*, será la demanda quien atraerá a la producción y no la producción la que será empujada (*push*) al cliente. (Cuatrecasas, 2010)

Pull elimina la oportunidad de sobreproducción y respalda el flujo mediante la regulación de la actividad laboral. En un sistema *pull*, todo el trabajo se realiza “justo a tiempo” desencadenándose por una señal de demanda del cliente. La secuencia de las señales *pull* establece prioridades claras, el receptor de la señal es directamente responsable, y la señal en sí misma proporciona visibilidad. A medida que disminuye la sobreproducción, el inventario de material en proceso disminuye y el flujo mejora. (Bell y Orzen, 2011)

Los sistemas *push* quedan desplazados por los de tipo *pull* (tirar). Esta evolución permite pasar de vender lo que se produce a producir lo que se ha vendido (tal como se muestra en la figura 46). En un sistema *pull* es el proceso siguiente el que recoge del anterior las piezas que necesita en la cantidad y momento preciso, de esta manera los operarios solo producen artículos cuando son necesarios para el proceso siguiente. No ocurre como en los sistemas tradicionales, donde cada operario produce el máximo número de piezas a la mayor velocidad posible, aunque las operaciones siguientes no las necesiten. De esta manera, normalmente se generan acumulaciones de productos en curso entre los diferentes centros de trabajo, y aumentos de los plazos de fabricación. El resultado es que

en un sistema pull se reduce el tiempo de fabricación y la cantidad de productos semielaborados, también se logran poner de manifiesto problemas que permanecían ocultos, como por ejemplo los provocados por los cuellos de botella. Otra gran ventaja que presenta un sistema *pull* es su simplicidad, ya que no necesita un control informático complejo, y además una vez implantado puede mejorarse gradualmente hasta alcanzar niveles altos de eficiencia. (Rajadell y Sánchez, 2010)

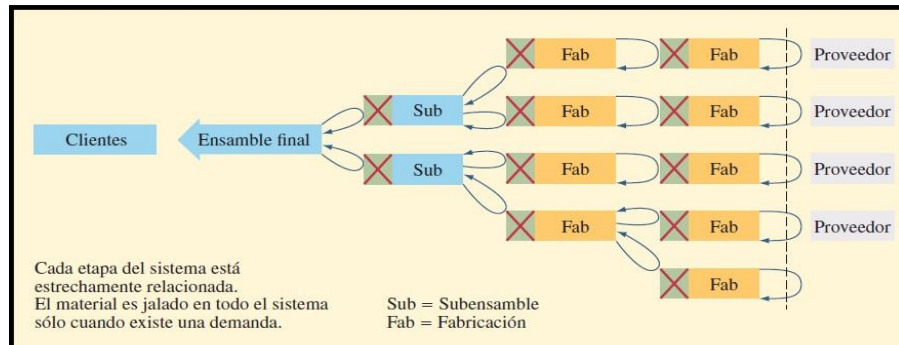


Figura 46. Sistema *pull* de la producción esbelta

Fuente: (Chase et al, 2009)

2.3.6. Kanban

El sistema kanban es un elemento primordial del JIT, es decir, que lo que precise un determinado proceso de producción debe ir a buscarse en el proceso o suministro que le precede (sistema *pull*), con el objetivo fundamental de obtenerlo en la cantidad y momento justos en que se necesite (Justo a tiempo); ello puede lograrse con el sistema de tarjeta (kanban en japonés). En definitiva, el kanban es un sistema de transmisión de órdenes de producción y órdenes de recogida de materiales y productos de los proveedores y líneas de producción correspondientes dentro de un proceso productivo, en la clase, cantidad y momento que se precisan. La tarjeta kanban se utiliza para solicitar del proceso o suministro anterior una cantidad de producto que debe ser repuesto por haber sido ya consumido, así de fácil. (Cuatrecasas, 2010)

Un sistema de control kanban utiliza un dispositivo de señalización para regular los flujos justo a tiempo. Kanban significa “signo” o “tarjeta de instrucción” en japonés. En un sistema de control sin papel, es posible utilizar contenedores en lugar de tarjetas. Los contenedores o tarjetas constituyen el sistema de demanda kanban (ver figura 47). La

autoridad para producir o suministrar piezas adicionales proviene de las operaciones hacia abajo. (Chase et al, 2009)

El kanban tiene los siguientes propósitos: simplificar las tareas administrativas de la organización de la producción y el lanzamiento de las ordenes de aprovisionamiento a los proveedores; regular y reducir el nivel de los stocks, consiguiendo que cada operario solo produzca las unidades retiradas por el proceso posterior, de tal manera que la producción en cada momento coincida con las necesidades reales de este momento; estimular la mejora de métodos y la reducción de stocks porque la disminución de inventarios de productos intermedios facilita la localización de problemas (cuellos de botella, averías, defectos de calidad, etc.), contribuyendo de esta manera a su resolución; implantar un sistema de control visual que ayude a la localización de problemas de la producción; facilitar el flujo continuo de la producción y conseguir la nivelación y el equilibrio de los procesos mediante un sistema pull. (Rajadell y Sánchez, 2010)

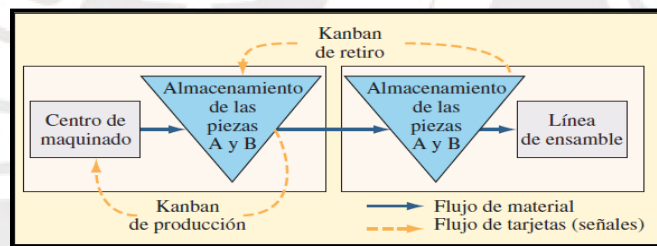


Figura 47. Flujo del kanban de entrega del material y de retiro de contenedores

Fuente: (Chase et al, 2009)

2.3.7. Programación nivelada

Una vez que se hace fluir el proceso, es importante no sobrecargarlo. Mientras que el kanban regula el equilibrio de carga interno de un proceso, todavía se necesita un mecanismo de programación para evitar que se acumule demasiado trabajo en el frente, y para regular una secuencia de trabajo de liberación constante. Un retraso acumulado excesivo o incorrectamente secuenciado provoca un cronograma no confiable, lo que lleva a frecuentes agilizaciones y fallas en las reglas, lo que finalmente provoca que el flujo caiga. Heijunka (programación nivelada, en japonés) trabajan en combinación con el kanban, establece un cronograma fácil de entender que libera el trabajo a una cadencia constante, mientras responde rápidamente al cambio. (Bell y Orzen, 2011)

Un pedido entra en el sistema, usualmente vía programación semanal o incluso mensual (y, por tanto, es lógico que acaben agrupados en lotes algo grandes que constituyen “olas” o secuenciadas de modelos de un producto). Pero el nivelado acabará por exigir que los pedidos salgan del sistema en forma de órdenes que agrupen lotes más o menos pequeños y con la máxima mezcla de la variedad de producto que contengan. Si la demanda estuviese bien nivelada y se enviase como órdenes de producción de los productos necesarios de cada día, según lo que pide el cliente para este día, no se producirían excesos de stock. Además, se eliminarían las urgencias, derivadas de una mala previsión y/o programación, efectuada sobre la base de un período excesivamente largo y con lotes de cada producto excesivamente elevados. (Cuatrecasas, 2010)

Heijunka, o producción nivelada (figura 48), es una técnica que adapta la producción a la demanda fluctuante del cliente, conectando toda la cadena de valor desde los proveedores hasta los clientes. La palabra japonesa heijunka significa literalmente “trabaje llano y nivelado”. Se debe satisfacer la demanda con las entregas requeridas por el cliente, pero esta demanda es fluctuante, mientras las fábricas necesitan y prefieren que esta sea “nivelada” o estable. La idea es producir en lotes pequeños de muchos modelos, libres de cualquier defecto, en periodos cortos de tiempo con cambios rápidos, en lugar de ejecutar lotes grandes de un modelo después de otro. (Rajadell y Sánchez, 2010)

La producción nivelada da muchas ventajas, por lo que se convierte en la columna vertebral de la producción justo a tiempo debido a que: es posible planear todo el sistema para minimizar el inventario y el trabajo en proceso; las modificaciones a los productos están actualizadas gracias a la poca cantidad de trabajo en proceso; hay un flujo uniforme en todo el sistema de producción; Los artículos comprados a los proveedores se entregan cuando se necesitan. (Chase et al, 2009)

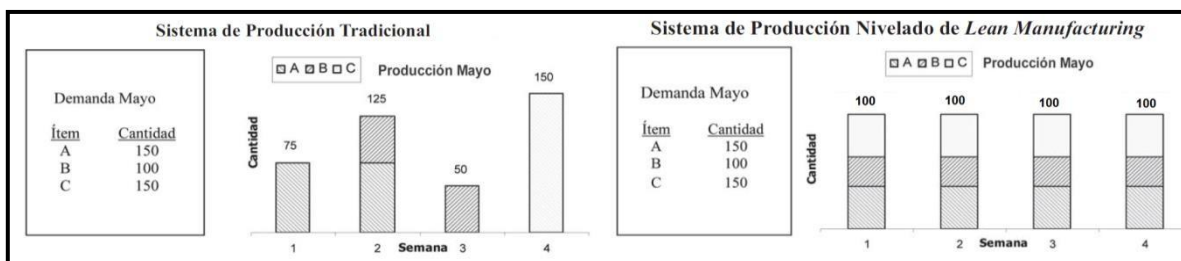


Figura 48. Comparación del sistema de producción: tradicional vs nivelado

Fuente: (Rajadell y Sánchez, 2010)

2.3.8. Fabricación celular

Una célula de trabajo reorganiza personas y máquinas, que generalmente estarían dispersas en diferentes departamentos, en un grupo de manera que se puedan enfocar en la fabricación de un sólo producto o de un grupo de productos relacionados. Los arreglos en células de trabajo se usan cuando el volumen justifica un arreglo especial de maquinaria y equipo. (Heizer & Render, 2009)

La organización celular es un método Lean útil, donde las personas y los equipos que respaldan todo o parte de un flujo de valor se agrupan para formar una célula de trabajo. Dentro de estas, los trabajadores con múltiples habilidades pueden moverse para dar una mano cuando sea necesario, tienen interacción diaria constante, capacitaciones, indicadores visuales e intercambio de conocimientos, manteniendo la capacidad y flexibilidad requerida, mientras se fomenta la estandarización y pequeñas mejoras todos los días. (Bell y Orzen, 2011)

Las células permiten incorporar las características de la gestión lean a las organizaciones que pretendan la flexibilidad con bajos volúmenes de producto, simultáneamente, la eficiencia, rapidez y costes bajos. Esto será especialmente aplicable a los procesos habitualmente gestionados por talleres, que, mediante las células, tratan de cumplir la disposición en flujo, pero sin perder la flexibilidad. Las células flexibles agrupan las operaciones que constituyen los procesos, los cuales se gestionan y controlan en su conjunto, en lugar de gestionarlas una a una, como la forma tradicional (ver figura 49). Ello hace más fácil la planificación, gestión y control de los procesos. Además, el equilibrio necesario se alcanzará con mayor facilidad, los trabajadores operarán mejor en equipo sobre las operaciones a efectuar en la célula y la calidad del trabajo será mayor. (Cuatrecasas, 2010)

La fabricación celular organiza procesos en células flexibles compuestas de pasos secuenciales. Esta organización permite completar una serie de procesos aparte en rápida sucesión con un movimiento limitado entre los pasos. (Bhasin, 2015)

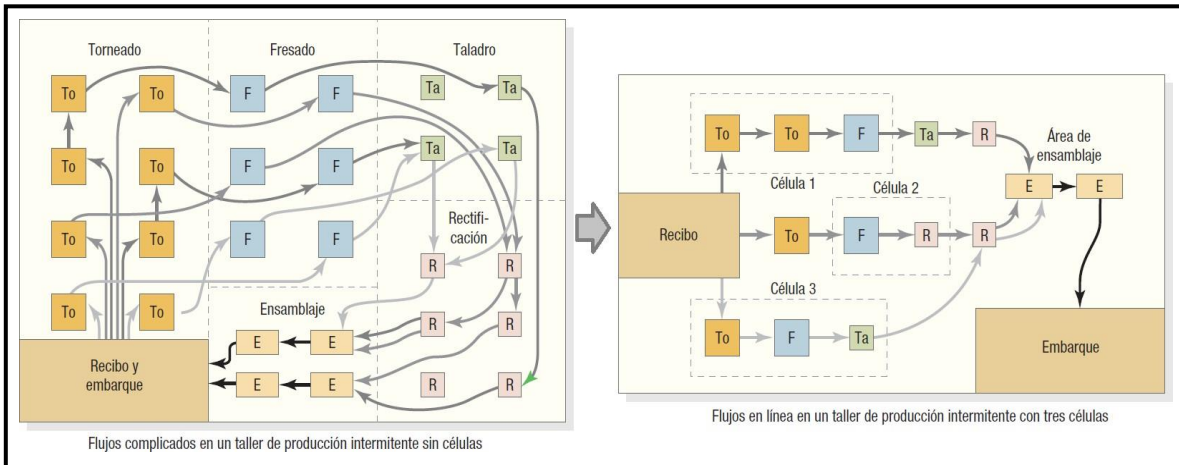


Figura 49. Comparación de un flujo tradicional vs. Un flujo en línea con células

Fuente: (Krajewski et al, 2007)

2.3.9. Kaizen

La mejora kaizen tiene algunas características que la diferencian de la innovación. La innovación implica un progreso cuantitativo que genera un salto de nivel, que generalmente se produce por el trabajo de expertos, sin embargo, la mejora kaizen consiste en una acumulación gradual y continua de pequeñas mejoras hechas por todos los empleados (incluyendo a los directivos). Comprende tres componentes esenciales: percepción (descubrir los problemas), desarrollo de ideas (hallar soluciones creativas), y finalmente, tomar decisiones, implantarlas y comprobar su efecto, es decir, escoger la mejor propuesta, planificar su realización y llevarla a la práctica. (Rajadell y Sánchez, 2010)

El término japonés para la mejora continua es kaizen y significa el proceso de hacer mejoras incrementales, sin importar lo pequeñas que sean, alcanzando el objetivo de la gestión lean, de eliminar todo el desperdicio que añade coste sin añadir valor. El kaizen muestra habilidades individuales para trabajar de manera efectiva en pequeños grupos, resolviendo problemas, documentando y mejorando procesos, recolectando y analizando datos y auto dirigiéndose en un grupo de trabajo. Esto empuja la toma de decisiones (o la propuesta de tomarlas) hacia los trabajadores, que requieren de discusiones abiertas y de consenso en los grupos antes de implantar ninguna decisión. Kaizen es una filosofía total que lucha por la perfección y sustenta al TPS en el día a día. (Liker, 2006)

Kaizen se enfoca hacia las mejoras pequeñas, graduales y frecuentes a largo plazo, con una inversión financiera mínima y la participación de todos en la organización. En la filosofía kaizen, la mejora en todas las áreas del negocio (costo, cumplimiento de los programas de entrega, seguridad de los empleados y desarrollo de sus habilidades, relaciones con los proveedores, desarrollo de nuevos productos o productividad) sirve para aumentar la calidad de la empresa. Por tanto, cualquier actividad centrada hacia la mejora cae dentro del paraguas del kaizen. (Evans & Lindsay, 2008)

2.3.10. POUS (point of use storage)

Muchas organizaciones de alto rendimiento están eliminando o al menos minimizando sus principales áreas de almacenamiento centralizadas y optando por el almacenamiento en el punto de uso (POUS, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, el inventario se almacena en el ensamble de la celda de trabajo donde se consume. La regla de almacenamiento no cambia para el POUS. Independientemente de dónde se guarde el inventario, tiene que estar ordenado y organizado para las disciplinas de precisión adecuadas. (Sheldon, 2007)

Almacenamiento POUS es un término que utilizamos para describir cómo manejar nuestros materiales y herramientas que utilizamos para agregar valor a nuestros clientes. Es un concepto que es exactamente lo que se escribe, por lo que se entiende que: los materiales o herramientas deben colocarse en el lugar donde van a ser utilizados por los empleados que agregan valor al proceso. Aplicando este concepto, podemos eliminar una cantidad de desperdicios o actividades NVA. Por ejemplo, si tenemos los materiales que necesitamos para un proceso en particular ubicado a varios metros de donde serán usados, necesitaremos utilizar varios recursos para moverlos al punto de uso. Esto generará un costo al producto o servicio, pero esto no tendrá ningún valor desde el punto de vista del cliente. Además, del ejemplo también se desprende que un material que está ubicado a una gran distancia de donde se usa introduce generación de desperdicios de tiempo de espera, movimiento, transporte y sobreprocesamiento. El concepto de POUS es un concepto muy poderoso de identificación y eliminación de desperdicios. Se puede usar en casi cualquier entorno. (Voehl et al, 2014)

El criterio en el diseño de un célula de fabricación se recomienda ubicar todas las herramientas y material a utilizarse muy cerca al punto de uso. (Feld, 2000)

2.3.11. Distribución física (layout)

La distribución de las instalaciones es donde se ve la realidad de las cosas en lo que respecta al diseño y la operación de un sistema de producción. Una buena distribución de la fábrica (o célula) puede proporcionar una verdadera ventaja competitiva porque facilita los procesos de flujo de materiales e información. También refuerza la vida laboral de los empleados. Una buena distribución para los servicios puede ser un “escenario” efectivo para desempeñar el encuentro del servicio. La producción esbelta requiere que la disposición de la planta esté diseñada para garantizar un flujo de trabajo equilibrado con un inventario mínimo de trabajo en proceso. Cada estación de trabajo forma parte de una línea de producción, ya sea que exista una línea física o no. La capacidad se equilibra utilizando la misma lógica para una línea de ensamble y las operaciones están relacionadas a través de un sistema kanban. Además, el diseñador del sistema debe visualizar de qué manera se relacionan todos los aspectos del sistema de logística externa e interna con la distribución. (Chase et al, 2009)

El “layout” o distribución de planta, es la disposición de la ubicación física de cada uno de los elementos que conforman una instalación como son: oficinas, máquinas, estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento, áreas de circulación, descarga/carga de materias primas y/o productos terminados, y las áreas comunes dentro de la instalación. La instalación puede ser futura o la modificación de una ya existente, la expansión o traslado de una planta o ajustes menores en distribuciones existentes. El objetivo es organizar todos los elementos para garantizar la fluidez en trabajo, materiales, personas e información y la clara visualización de los diferentes controles para la toma de decisiones y acciones en el proceso evitando crear cuellos de botella en el sistema. (Cabrera, 2014)

La distribución física tiene muchas implicaciones prácticas y estratégicas. Modificar la distribución puede afectar a la organización y la forma como satisface sus prioridades competitivas, de las siguientes maneras: aumentar la satisfacción de los clientes y las ventas en una tienda minorista; facilitar el flujo de materiales e información; acrecentar la utilización eficiente de la mano de obra y equipo; reducir los riesgos para los trabajadores; mejorar la moral de los empleados; mejorar la comunicación. (Krajewski et al, 2007)

La distribución física del equipo y los procesos están diseñados de acuerdo con la mejor secuencia operativa al enlazar y disponer físicamente las máquinas y los pasos de los procesos de la manera más eficiente, por ejemplo el layout de la figura 50, a menudo en una distribución por células de fabricación. (Evans & Lindsay, 2008)

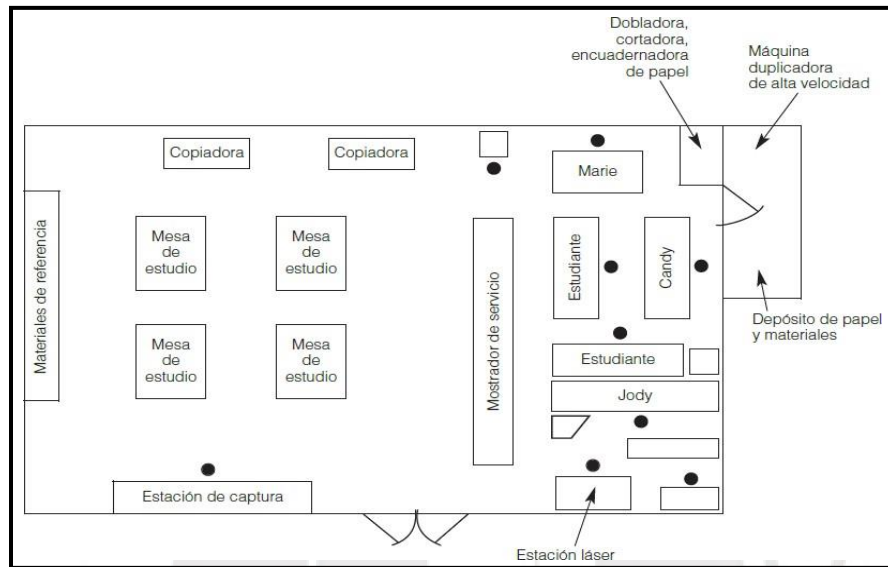


Figura 50. Layout de un centro de recursos de investigación
Fuente: (Evans & Lindsay, 2008)

2.3.12. Control visual

El mundo lean proporciona herramientas para reforzar el control visual sobre un flujo bien implantado, algunas de las cuales se menciona a continuación: estanterías u otros elementos para el almacenaje (permiten visualizar los materiales que contienen, por tipos, y las cantidades); marcas de pintura (utilizadas para delimitar espacios en el suelo, paredes u otros elementos del entorno de un sistema productivo); señales, rótulos y dibujos (utilizados para limitar la ubicación de materiales, herramientas y útiles); sistemas visuales para la operativa estandarizada (una vez estandarizada la operativa de los procesos, conviene que esta pueda estar al alcance de todos los que deben participar en su aplicación); paneles con información general y específica (permiten conocer visualmente la situación actual y la evolución reciente de muy diversos aspectos de la progresión del sistema productivo y sus mejoras, tal como se muestra en la figura 51). El conjunto de estas herramientas visuales que acabamos de mostrar son muy conocidos y aplicados en el ámbito de la gestión lean. Puede haber otras y cada implantación puede

generar sus propias herramientas visuales para ayudar a la gestión, al control y a la mejora de los procesos. (Cuatrecasas, 2010)

El control visual es cualquier dispositivo de comunicación en el ambiente de trabajo que nos dice, echándole un vistazo, cómo debería hacerse el trabajo y si se desvía del estándar. Ayuda a los empleados que quieren hacer bien su trabajo a ver cómo lo están haciendo. Puede mostrar dónde van las piezas, cuántas deben ir allí, cuál es el procedimiento estándar para fabricar algo, el estatus del trabajo en proceso y muchos otros tipos de información crítica para el flujo de las actividades del trabajo. En un sentido más amplio el control visual se refiere al diseño de la información justo a tiempo de todo tipo para asegurar la ejecución rápida y apropiada de las operaciones y proceso. El aspecto visual significa ser capaz de observar el proceso, una pieza del equipo, el inventario, la información o a un operario haciendo una tarea e inmediatamente ver el estándar que se usa para ejecutar dicha tarea y ver si hay una desviación de ese estándar. (Liker, 2006)

La utilización de una pizarra de control visual o panel de comunicación proporciona los medios necesarios para mostrar el performance de una planta y, a la vez, comunicar sus problemas. Generalmente, el panel muestra el performance de la planta de producción (como, cumplimiento de la programación, control de calidad, operaciones, etc.); además, una sección de problemas donde el operario publica las problemáticas ocurridas, registrando las acciones tomadas diariamente. Esto permite hacer visible los problemas que ocurren en el taller y tratar de resolver estos, lo antes posible, ya que de no estar publicados pasarían desapercibidos y se colocarías en la lista de “resolverse algún día”. La importancia de los controles visuales es que estos pueden hacer visible todas las mejoras, el performance, los problemas, así como, las reglas operacionales. (Feld, 2000)

Los controles visuales son indicadores para las herramientas, partes y actividades de producción que permanecen a la vista de todos los empleados, de manera que todos entiendan las condiciones del sistema. Por tanto, si una máquina se descompone, o hay una parte defectuosa o demorada, es posible emprender una acción inmediata. (Evans & Lindsay, 2008)

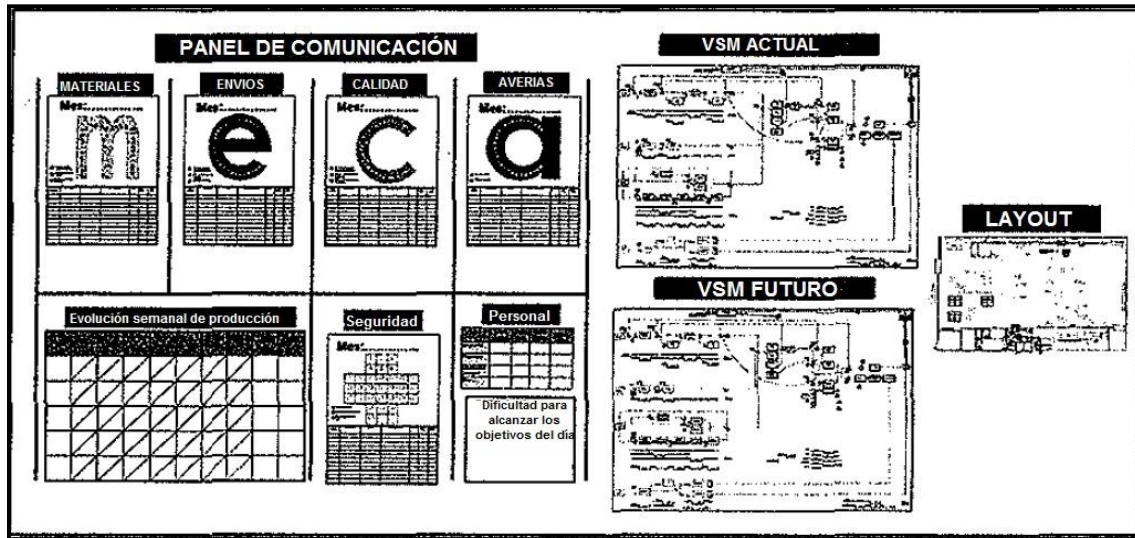


Figura 51. Control visual de un panel de comunicación

Fuente: (Cuatrecasas, 2010)

2.3.13. Estandarización o trabajo estandarizado

El trabajo estandarizado hace referencia al conjunto de procedimientos que definen el mejor método posible de trabajar para que todos los operarios desarrollen de la misma manera los distintos procesos de fabricación y ensamble, lo cual facilita el éxito para la obtención de altos niveles de productividad, calidad y seguridad. Para conseguir un trabajo estandarizado se debe considerar trabajar con los operarios para determinar los métodos de trabajo más eficientes y llegar a un consenso, porque estos no deben imponerse de forma autoritaria, además, contemplar sus mejoras propuestas (ideas kaizen). (Rajadell y Sánchez, 2010)

Toyota ha estandarizado su sistema de desarrollo de producto y los mismísimos diseños de productos, hasta el punto de que los ingenieros pueden entrar y salir a la perfección en los proyectos de desarrollo, porque esos ingenieros tienen un conjunto de capacidades técnicas estandarizado similar al de otros ingenieros de Toyota pueden visitar cualquier planta de Toyota en el mundo y observar procesos prácticamente idénticos. El trabajo estandarizado es más fácil, más barato y más rápido de gestionar. Se hace cada vez más fácil ver los despilfarros de piezas que faltan o los defectos. El trabajo estandarizado es la base para darles autonomía a los trabajadores y para que innoven en su puesto de trabajo. (Liker, 2006)

La estandarización debe alcanzar a todos los aspectos que determinan cómo operar en cada fase del proceso, tales como la secuencia de operaciones, las tareas que componen cada una, el tiempo de ciclo por puesto, el stock admitido en él (si lo hay), las actividades relacionadas con el aseguramiento de la calidad en cada estación y cualquier otro aspecto a fijar (como, por ejemplo, los relacionados con la seguridad). La estandarización será, pues, el resultado de alcanzar un método de trabajo suficientemente satisfactorio para un proceso y cada una de sus operaciones, y, por tanto, exento de muda hasta donde sea posible y dotado de la flexibilidad necesaria. (Cuatrecasas, 2010)

La estandarización define y documenta el método más efectivo para realizar una tarea (por ejemplo, la hoja de operaciones mostrada en la figura 52). La variación de los métodos de trabajo crea variación en el tiempo, calidad y costo. Un equipo establecerá el estándar, el cual todos deben aceptar; cuando se desarrollen, prueben e implementen mejoras, se obtendrá una nueva versión del trabajo estandarizado. En lugar de ser dictado por la gerencia, la estandarización es establecida por las personas que realizan el trabajo, este método será documentado para ser realizado de forma consistente. (Bell y Orzen, 2011)

HOJA DE OPERACIONES M - 12		Revisado SCR	ESTACION 0
		Aprobado RMG	Revisión/Fecha
OP.	Calentador de aceite – Motor 53L2	CROQUIS / IMAGEN REPRESENTATIVA	
01	<p>Descripción Se retira el cárter del motor para proceder a soldar unos conectores según el material de éste, los conectores son hembras de 1/2 NPSI y 3/4 NPSI para el termostato y la resistencia del calentador respectivamente. Se suelda al cárter y luego son pintados, para después colocarles el sistema en la estación 3. También se le agrega un ITM de protección de 2x04 A.</p> <p>Materiales</p> <p>O0BRE0001 CALENTAD.ACEITE 150W OW415208 C17NB0311 CONECTOR CARTER HEMBRA 3/4" (51301) F. C17NB0312 CONECTOR CARTER HEMBRA 1/2" (51300) F. O0BCE0074 TOPE DE BORNERAS O09IT0XXX ITM RIEL DIN 2 X 04A</p> <p>Herramientas</p> 	  	

Figura 52. Estandarización: ensamble del cárter de un motor

Elaboración propia

2.3.14. Jidoka

Para el éxito del lean es fundamental la delegación de la autoridad al operario. Esto significa que estos tienen la libertad para tomar iniciativas en la solución de los problemas de producción. En lugar de esperar la aprobación de los directivos, el personal de planta tiene autonomía para parar la producción en cualquier momento en que se detecten problemas de seguridad, calidad o mal funcionamiento de máquinas. Tener a los trabajadores activamente involucrados en la solución de problemas es el objetivo de la delegación de autoridad a estos, y este fenómeno se denomina automatización. *Jidoka* (automatización con un toque humano), es el nombre que recibe, en japonés, el sistema de control autónomo de defectos, basado en que un empleado puede parar la máquina si algo va mal. Jidoka es, pues, una palabra que significa dar la responsabilidad a cada operario para aquello que él realiza en su entorno de trabajo, transfiriendo a la máquina esa característica o habilidad jidoka que la hace algo más que una máquina automática (de ahí el toque humano). (Rajadell y Sánchez, 2010)

Esencialmente, jidoka significa construir en calidad o “anti-error” mientras se produce el material. Uno de los principales estudiosos norteamericanos del TPS, Alex Warren, ex vicepresidente ejecutivo de Toyota Motor Corporation en Kentucky, definía el jidoka y cómo se relaciona con el mayor poder que se da a los empleados: “en el caso de las máquinas, les incorporamos dispositivos que detectan anomalías y las paran automáticamente si éstas ocurren. En el caso de las personas, les damos autoridad para pulsar botones o tirar de cuerdas que pueden parar por completo toda la línea de montaje. Todo miembro del equipo tiene la responsabilidad de parar la línea cada vez que vea que algo está fuera de la norma. De ese modo ponemos la responsabilidad de la calidad en manos de los miembros del equipo. Ellos sienten así su responsabilidad — sienten así su poder. Saben que cuentan”. La calidad en la estación (prevenir que los problemas sigan avanzando en la línea) es mucho más efectiva y menos costosa que inspeccionar y reparar los problemas de calidad después de su aparición. (Liker, 2006)

El pilar jidoka trata de evitar que los trabajadores cometan errores, que controlen su propia tarea y, en caso de ser necesario, que paren también la línea, pulsando un botón o manualmente y pueda así procederse a resolver el problema surgido, tal como se observa en la figura 53 que detectado un error los operarios detienen toda la línea para resolverlo.

El paro de la operativa de las máquinas y, sobre todo, de una línea, ante cualquier problema, hace muy evidente la existencia del mismo para todo el mundo e induce a ocuparse a fondo de él para su resolución inmediata y completa, lo cual es muy deseable para evitar que surja de nuevo. (Cuatrecasas, 2010)



Figura 53. Jidoka en una línea de ensamble de aviones monomotores.

Fuente: (Krajewski et al, 2007)

2.3.15. Las 5'S

“Todo tiene un lugar y todo en su lugar”, “Si no tiene una etiqueta de seguro no pertenece al lugar”. Estas deben ser palabras en una planta *lean*. Según autores Henderson y Larco (*Lean Transformation: How To Change Your Business into a Lean Enterprise*): “La mayoría de las personas subestiman la importancia de la seguridad, orden y limpieza en el lugar de trabajo. Nuestros antiguos colegas en Toyota y Honda dirán que del 25% al 30% de todos los defectos de calidad están directamente relacionados con este problema”. Los componentes para mantener este orden y limpieza son: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke (Feld, 2000)

Su finalidad es crear círculos virtuosos de separar lo que no es útil, hacer orden mediante la clasificación de los elementos que constituyen nuestro entorno de trabajo, limpieza del lugar, alrededores y del equipo que se usa diariamente, y una vez que se ha realizado lo anterior, el establecimiento de procedimientos que permiten la normalización de nuestras actividades; hasta lograr un hábito disciplinado en nuestras actividades y costumbres diarias. La figura 54 muestra ejemplo simple de la aplicación de las 5's en una caja de herramientas. (Cabrera, 2014)



Figura 54. Implementación de las 5´S para organizar herramientas.

Fuente: (Cabrera, 2014)

La implantación de las 5S sigue un proceso establecido en cinco pasos, cuyo desarrollo implica la asignación de recursos, la adaptación a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos. Los principios básicos de las 5S en forma de cinco pasos; *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* y *Shitsuke*; que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar (cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa), limpiar e inspeccionar, estandarizar (fijar la norma de trabajo para respetarla) y disciplina (construir autodisciplina y forjar el hábito de comprometerse). (Rajadell y Sánchez, 2010)

Este modelo supone organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina, (y actitudes) que favorecen el ahorro de recursos y actividades inútiles, entregando eficiencia. Los sistemas JIT, no rendirían adecuadamente, si no tuvieran asimismo implantados de forma sistemática un programa 5´S. (Cuatrecasas, 2010)

➤ **Seiri (Clasificar)**

Seiri, tiene que ver con eliminar del área aquellos artículos que no son usados regularmente (una vez al mes, máximo). Se trata de filtrar y clasificar el desorden de los elementos que son necesarios para facilitar el trabajo, el flujo de materiales y el movimiento de los operarios, además optimizar los espacios. (Feld, 2000)

La aplicación del *Seiri* comporta: separar aquello que es realmente útil de aquello que no lo es; mantener lo que se necesita y eliminar lo que sobra; Separar los elementos necesarios según su uso y a la frecuencia de utilización; aplicar estas normas tanto a materiales tangibles (herramientas, maquinas, piezas, etc.) como intangibles (información, ficheros, etc.). Los beneficios del *seiri* se pueden ver reflejados en aspectos como:

liberación de espacio útil en plantas y oficinas; reducción del tiempo necesario para acceder a los materiales, herramientas, utillajes, etc.; facilidad para el control visual; aumento de la seguridad en el lugar de trabajo. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Consiste en clasificar los materiales útiles de los que no lo son. Clasificar consiste en marcar en el área o puesto de trabajo, todos los elementos que no son necesarios para realizar la labor cotidiana. Se pueden clasificar del siguiente modo: (a) necesarios de uso constante y forzoso, (b) necesario de uso ocasional y (c) innecesario (ya que puede ser de utilidad para otro colega). (Cabrera, 2014)

➤ **Seiton (Ordenar)**

Seiton se ocupa de organizar e identificar. Todos los elementos deben ordenarse de acuerdo al área que pertenece. Si el elemento no es lo suficientemente importante para una etiqueta, entonces no es lo suficientemente importante como para permanecer en el área. Esto hace que la identificación de las herramientas, recursos, materiales, etc. sean extremadamente visible. (Feld, 2000)

El objetivo de esta etapa es hacer visible en forma inmediata la ubicación que debe tener cualquier elemento (material, herramienta, etc), minimizando los tiempos de búsqueda de los elementos de la propia área de trabajo y sí no está en su lugar saber en forma rápida donde se encuentra. (Cabrera, 2014)

La implantación del *Seiton* comporta: marcar los límites de las áreas de trabajo, almacenaje y zonas de paso; disponer de un lugar adecuado; evitar duplicidades (cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa). Los beneficios del *Seiton* se pueden ver reflejados en aspectos como una mayor facilidad para el acceso rápido a los elementos que se necesitan; una mejora en la productividad global de la planta; un aumento de la seguridad en el lugar de trabajo; una mejora de la información para su accesibilidad y localización. (Rajadell y Sánchez, 2010)

➤ **Seiso (Limpieza)**

Esta etapa tiene que ver con mantener la limpieza y orden de forma regular. Un área de producción debe estar ordenada y limpia al final de cada turno. No debería haber nada olvidado o fuera de lugar. Todas las herramientas y materiales deben ser contabilizados. Para ser capaz mantener esto, sólo se necesita menos del 2% (10 minutos) del tiempo de turno programado diariamente. (Feld, 2000)

Todos los elementos que componen el lugar de trabajo deben estar permanentemente limpios y en orden de funcionamiento. La limpieza ha pasado en la actualidad a ser una de las tareas del propio trabajador productivo, con las nuevas tendencias en la gestión del mantenimiento. (Cuatrecasas, 2010)

La aplicación del *Seiso* comporta: integrar la limpieza como parte del trabajo diario; asumir la limpieza como una tarea de inspección necesaria; centrarse tanto o más en la eliminación de las causas de la suciedad que en las de sus consecuencias. Los beneficios del *Seiso* se pueden ver reflejados en aspectos como: una reducción del riesgo potencial de accidentes; un incremento de la vida útil de los equipos; una reducción del número de averías; un efecto multiplicador porque la limpieza tiende a la limpieza. (Rajadell y Sánchez, 2010)

➤ **Seiketsu (Estandarizar)**

Los procedimientos para alcanzar los objetivos de las tres primeras S deben dotarse del método adecuado para que puedan implantarse con la máxima facilidad posible. Cuando se consideren suficientemente correctos, se debe lograr la estandarización, para asegurar su correcta aplicación. (Cuatrecasas, 2010)

La aplicación del *Seiketsu* comporta: mantener los niveles conseguidos con las tres primeras "S"; elaborar y cumplir estándares de limpieza y comprobar que estos se aplican correctamente; transmitir a todo el personal la enorme importancia de aplicar los estándares. Los beneficios del *Seiketsu* se pueden ver reflejados en aspectos como: un conocimiento más profundo de las instalaciones; la creación de hábitos de limpieza; el hecho de evitar errores en la limpieza, que en algunas ocasiones pueden provocar

accidentes; una mejora que se manifiesta en el tiempo de intervención sobre las averías. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Las normas o estándares deben ser sencillos y simples, deben contener los procedimientos y elementos necesarios, tiempo que se debe emplear, medidas de seguridad y cómo actuar es caso de encontrar alguna anomalía. Deben resaltarse los incidentes o problemas de mayor recurrencia, así como, los más graves; para posteriormente reducir o eliminar estos. (Cabrera, 2014)

➤ **Shitsuke (Disciplina)**

Shitsuke es el responsable de reforzar la importancia de las 5'S y de demostrar liderazgo mediante el seguimiento y la capacitación. La gente prestará más atención, si la dirección está involucrada. Se debe entender que la limpieza es importante, por eso se debe caminar por la planta premiando a los que lo desempeñan adecuadamente y disciplinar a los que no lo hacen. (Feld, 2000)

La aplicación del *Shitsuke* comporta: respetar las normas y estándares reguladores del funcionamiento de una organización; reflexionar sobre el grado de aplicación y cumplimiento de las normas; mantener la disciplina y la autodisciplina, mejorando el respeto del propio ser y de los demás; realizar auditorías que deben ser conocidas por todos los miembros del equipo para facilitar la autoevaluación. Los beneficios del Shitsuke se ven reflejados en aspectos como: una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos; una mejora del ambiente de trabajo, que contribuirá al incremento de la moral. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Esta fase es la que tiene un mayor grado de dificultad lograrla y mantenerla. Debe dar reconocimientos a las áreas donde la disciplina se mantenga en forma constante realizando visitas sorpresas y por el otro lado, notificar con fotos a las áreas que fallaron a ellos mismos y al grupo para que mejoren. (Cabrera, 2014)

2.3.16. VSM

Un mapa de flujo de valor (VSM, del inglés value stream mapping) es una herramienta cualitativa que se usa mucho en los sistemas esbeltos para eliminar el desperdicio o muda. El desperdicio en muchos procesos llega a ser hasta de 60%. El mapa de flujo de valor es útil porque crea un “mapa” visual de todos los procesos que intervienen en el flujo de materiales e información en la cadena de valor de un producto. Estos mapas constan de diagrama del estado actual, un diagrama del estado futuro y un plan de implementación. Los mapas de flujo de valor abarcan toda la cadena de valor, desde que la empresa recibe las materias primas hasta que entrega el producto terminado al cliente. Así, tienden a ser más amplios en su alcance y muestran mucha más información que un mapa de proceso típico. La creación de una representación panorámica ayuda a gerentes a identificar el origen de actividades que no agregan valor. (Krajewski et al, 2007)

El VSM (mapa de flujo o cadena de valor), es una visión del negocio donde se muestra tanto el flujo de materiales como el flujo de información desde el proveedor hasta el cliente. Se trata de plasmar de una manera sencilla y visual, todas aquellas actividades que se realizan actualmente para obtener un producto, para identificar así cual es la cadena de valor (actividades necesarias para transformar materiales e información en un producto terminado o en un servicio). Al obtener de una forma muy visual el mapa de la cadena de valor, permite identificar las actividades que no aportan valor agregado al negocio, con el fin de eliminarlas y poder ser más eficientes. Los beneficios de la aplicación del VSM son: ayudar a visualizar más de un simple proceso, vincular el flujo de información y el de materiales en un solo mapa utilizando un único lenguaje y también obtener un sistema estructurado para implementar mejoras. (Rajadell y Sánchez, 2010)

El objetivo del VSM es la visualización del flujo del proceso y materiales, desde la materia prima hasta su entrega al cliente, así como la visualización del flujo de información desde el cliente a las áreas de operaciones (incluida logística), y desde este último al proveedor de materia prima (con lo que se cierra el circuito). Además, deben incluirse también los flujos de información para la programación de la producción, desde las áreas de operaciones a los procesos. Pero el elemento clave del VSM, es la identificación de oportunidades de mejora que propicien la transformación a una implantación lean, motivo por el cual la situación de partida (mapa actual) puede utilizarse como diagnóstico de

dicha situación, para generar a partir de aquí el correspondiente mapa de la situación a la que se pretende llegar (mapa futuro). En definitiva, el Mapa del Flujo de Valor es un proceso en el que se participa activamente para documentar el flujo de material y obtener información del proceso de manera gráfica, utilizando símbolos a propósito. Con todo ello, los objetivos del VSM son: establecer una fuente única de información documentada y graficar de todo lo que sucede en el proceso; crear la base para definir un sistema único de información; identificar los desperdicios que interrumpen el flujo, crear una referencia para el movimiento de materiales y su ubicación, con el fin de reducir al máximo el lead time. (Cuatrecasas, 2010)

La figura 55 nos da un ejemplo de un VSM de estado actual para una línea de producción.

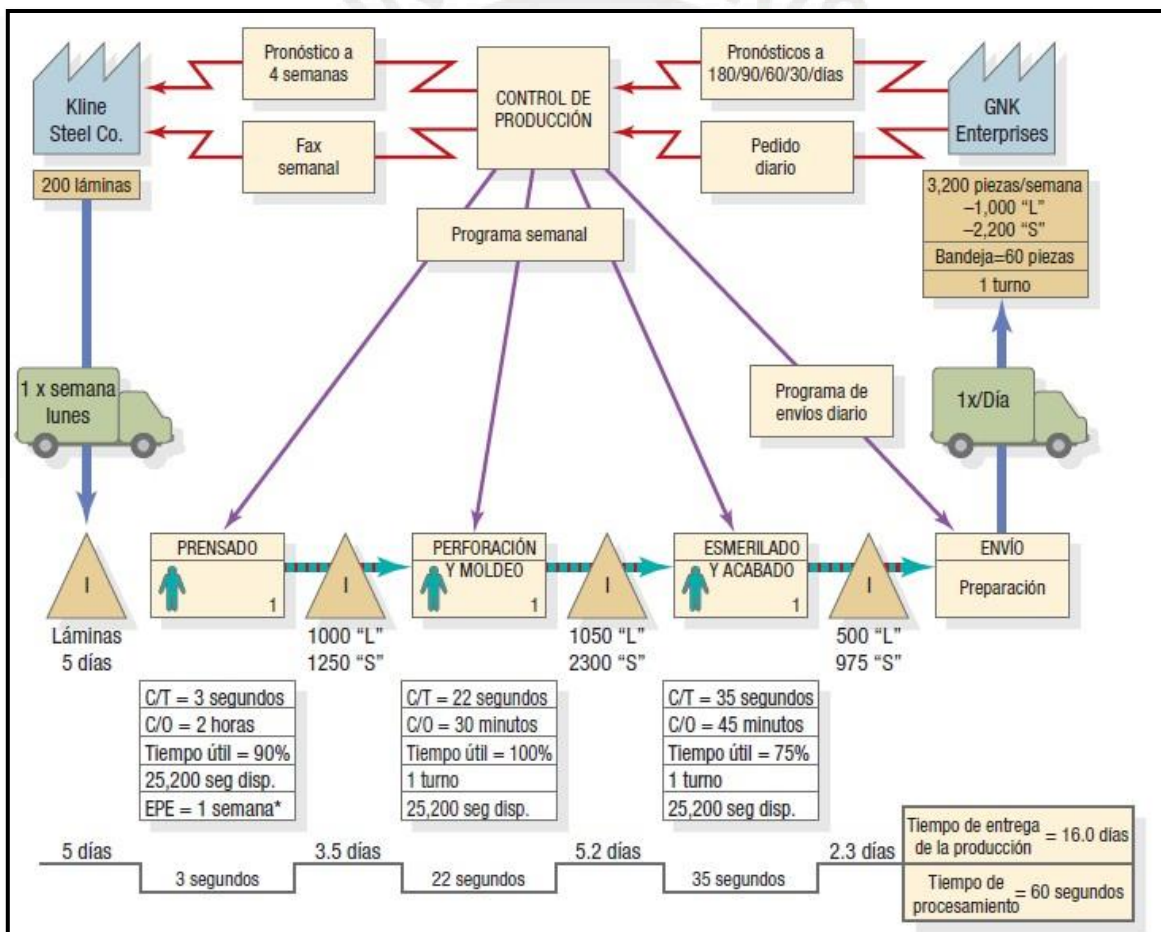


Figura 55. VSM del estado actual de una línea de retenedores (cojinetes)

Fuente: (Krajewski et al, 2007)

SEGUNDA PARTE: ANTECEDENTES, ESQUEMA METODOLÓGICO, ALCANCE, ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA

La segunda parte es en donde se comienza a desarrollar el caso de estudio, para lo cual empleamos el marco teórico antes presentado. Partimos explicando las condiciones, ambientes, mercados, entre otros elementos externos que influyen en el proyecto, mostrados estos como antecedentes del caso de estudio. Luego exponemos el esquema metodológico, elemento más importante para el desarrollo del caso de estudio. Posteriormente, ampliamos las dos primeras fases del esquema mencionado, en el orden correspondiente. En el capítulo siguiente explicamos el alcance del caso de estudio, delimitando el proyecto al área que genere menor valor agregado. Finalmente, en el capítulo denominado análisis, diagnóstico y propuesta de mejora del caso, se mostrara todos los métodos o técnicas utilizadas para el proyecto de mejora, según el marco metodológico TLS.

CAPÍTULO III: ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio se realiza a una fábrica ubicada en Lima Metropolitana que inicia sus operaciones a finales de los años 70 del siglo pasado, fabricando principalmente motores diésel para camiones bajo las licencias de sus accionistas extranjeros, ahora 100% peruana, se dedica a la producción de grupos electrógenos, chasis y carrocerías para ómnibus; y a la comercialización de estos productos, sus repuestos y otros productos relacionados, así como, a la prestación de servicios de reparación y mantenimiento en talleres especializados.

Actualmente la planta de fabricación de grupos y buses se encuentra ubicada en el distrito de Lurín, tiene un área de 75,000 m². El taller de servicio de servicio de grupos, buses y camiones se encuentra ubicado en el distrito de Ate, tiene un área de 15,000 m². Todas las actividades (producción y comercialización de buses, chasis y grupos electrógenos, servicios de mantenimiento y reparaciones en talleres especializados) cuentan con Certificación ISO 9001.

3.1. Líneas de negocio de la empresa

La empresa, como antes mencionamos, se divide en tres grandes rubros: fabricación de buses; fabricación de grupos electrógenos; y en servicios de taller de reparaciones de grupos electrógenos, buses y camiones, que se detallan a continuación.

➤ Fabricación de buses

La planta de buses está orientado a la fabricación de carrocerías, bajo los más altos estándares de tecnología, calidad y seguridad; buscando satisfacer las necesidades de los operadores y de los usuarios del transporte terrestre a nivel nacional. Los buses son desarrollados con lo último en tecnología automotriz, soportados en equipos y software específico para el diseño integral; se emplea materiales de alta calidad, logrando un producto durable y resistente a cualquier condición de uso. Se busca aprovechar al máximo los espacios internos, para una mayor capacidad de transporte, manteniendo el nivel de comodidad para todos los pasajeros. Las carrocerías, presentan un diseño y estructura anti-impacto, son aerodinámicas y de líneas curvas que reducen la resistencia del viento, asegurando una mejor economía de combustible.

➤ Fabricación de grupos electrógenos

La planta de grupos electrógenos, es el área dedicada al diseño y manufactura de generadores, tableros de transferencia automática, tableros de sincronismo, y maquinaria industrial a base de motores diésel y automatismos electrónicos de marcas reconocidas a nivel mundial y tecnología de última generación; habiendo grupos estacionarios, móviles, marinizados e insonoros, estos últimos tienen mayor demanda en los mercados internacionales. Asimismo, en esta planta se fabrica y comercializa torres de iluminación, además su gama de productos se complementa con motores industriales, tractores y motobombas. En el mercado nacional e internacional cuenta con una propia red de distribución. Es en este rubro que logra obtener consolidación y prestigio en el mercado internacional.

➤ **Servicios/taller de grupos electrógenos, buses y camiones**

El taller de servicios se encuentra equipado con tecnología de punta, además de un amplio stock de repuestos para que se pueda asegurar que el bus y/o camión siga siendo una herramienta verdaderamente rentable para las operaciones, lo mismo ocurre con sus grupos electrógenos, que pueden recuperar nuevamente en gran porcentaje su potencia. Asimismo, brinda soluciones integrales que incluyen apoyo y servicio antes, durante y después de la venta de productos, por lo que se ha desarrollado un centro de entrenamiento con la finalidad de la capacitar al personal técnico y conductores. Además de la atención al público, en este taller son atendidas todas las unidades comercializadas de la planta de buses y grupos electrógenos, generando una mayor confianza en la adquisición del producto.

La figura 56 nos muestra algunos de los principales productos de la empresa.



Figura 56. Productos de la empresa

Elaboración Propia

3.2. Ubicación de la empresa según el sector

La empresa, de acuerdo a sus líneas de negocio y según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), revisión 4 (2010) la fabricación de grupos electrógenos se clasifica como sección (C) industrias manufacturera, división (27) fabricación de equipo eléctrico, grupo (271) fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos y aparatos de distribución y control de la energía eléctrica, clase (2710) del mismo nombre del grupo; la fabricación de grupos buses se clasifica como sección (C) industrias manufacturera, división (29) fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques, grupo (291) fabricación de vehículos automotores, clase (2710) del mismo nombre del grupo; ambos clases se encuentran dentro sector manufactura, subsector fabril no primario, específicamente en los bienes de capital.

En el ámbito de servicios, el mantenimiento de grupos electrógenos se clasifica como sección (C) industrias manufacturera, división (33) reparación e instalación de maquinaria y equipo, grupo (331) reparación de productos elaborados de metal, maquinaria y equipo, clase (3314) reparación de equipo eléctrico; el mantenimiento de buses y camiones se clasifica como sección (G) comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas, división (45) comercio al por mayor y al por menor y reparación de vehículos automotores y motocicletas, grupo (452) mantenimiento y reparación de vehículos automotores, clase (4520) del mismo nombre del grupo; el primer servicio se ubica dentro del sector manufactura y el segundo servicio dentro del sector comercio.

3.3. Cultura organizacional de la empresa

La empresa se ha construido sobre la base de principios y valores claves. Como parte fundamental de su filosofía de trabajo y superación profesional, trasladando a todo lo que hace, la creencia de que su gente hace la diferencia. Esto quiere decir que se valora a cada persona como ser humano y se entiende que cada individuo tiene valor intrínseco, sin importar cuál sea su condición. Es por ello, que busca el permanente desarrollo de sus asociados y la generación de un óptimo clima de trabajo en el que todos tienen las mismas oportunidades de crecer profesional y laboralmente.

Los valores, que fortalece cada día con su trabajo y esfuerzo, se encuentran reflejados en los siguientes principios; orientados en la atención al cliente; capaces de trabajar en equipo; innovadores; flexibles frente al cambio; comprometidas con sus metas personales y con la organización. La figura 57 muestra el personal involucrado con esta cultura.



Figura 57. Personal Integrado de la empresa
Elaboración Propia

3.4. Matriz FODA y estrategias desarrolladas por la empresa

En este punto se describirá la matriz FODA y estrategias encontradas luego de analizar a la empresa, estas estrategias se utilizan para consolidar su marca en el mercado.

➤ Matriz FODA

Al analizar las fortalezas (F), oportunidades (O), debilidades (D) y amenazas (A) de la empresa (tabla 4), utilizando el modelo de gestión Albert S. Humprey, encontramos que se pueden obtener estrategias FO, FA que muestran que con la ayuda de sus fortalezas puede tomar las oportunidades y eliminar amenazas, así como estrategias DO, DA que a sabiendas de su debilidades busca eliminar algunas amenazas y tomar las oportunidades posibles de forma de incrementar su participación en el mercado y consolidar la marca.

Tabla 4. Matriz FODA de la empresa

	<p style="text-align: center;"><u>Fortalezas-F</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Amplia Infraestructura, capacidad de almacenamiento de productos terminados, amplio taller. 2. Distribuidores Exclusivos de motores Perkins y repuestos Agrale, Volkswagen y Cummins (motores a Gas). 3. Flexibilidad y amplia variedad en el producto tanto de buses y grupos. 4. Know how del cambio de sistema Diesel a sistema a Gas 5. Liderazgo en Costo debido a ser la única fábrica de buses (urbanos a Gas) y grupos (Perkins) en Perú. 6. Segmentación de mercado y cliente 7. Buenas relaciones con el estado (Buses: Municipalidad de Lima, Grupos: SUNAT, MINSA, IPD). 8. La calidad de nuestros productos es reconocida por nuestros clientes. 9. Personal altamente capacitado. 	<p style="text-align: center;"><u>Debilidades-D</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sobrestock de materia prima en la planta de grupos, alta rotación de materiales en la planta de Buses. 2. Crédito restringido a los clientes, en área de grupos y taller de servicios. 3. Disponibilidad y costos de los repuestos para mantenimiento. 4. Recepción de quejas o consultas de los clientes. 5. Distribuidores y servicios de mantenimiento en Provincia. 6. Desarrollo de grupos electrógenos a Gas. 7. Alta rotación del personal dave en la planta de grupos electrógenos. 8. Se realiza outsourcing a algunos procesos de las plantas. 9. Estudio de impacto ambiental (EIA) no realizado al 100% (se realiza a la planta de Lurín, pero no se considera el proceso de fibra de vidrio)
<p style="text-align: center;"><u>Oportunidades-O</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La Capacitación y el seguimientos a los clientes incrementa los servicios. 2. Conversión de motores Diesel no vehiculares a Gas (Camiones, Grupos) 3. Atacar los mercados de Costa Rica, Bolivia y aumentar el de Ecuador. 4. Decreto Ley de renovación de buses urbanos, no contaminación del ambiente. Renovación o cambio de buses articulados en Latinoamérica. 5. Mercado de Bolivia y Chile para grupos; pero en Bolivia la mayoría de grupos son a Gas, ambos a 50Hz. 6. Colombia sólo acepta grupos con el certificado RETIE. 7. El mercado de Exportación tiene la tendencia creciente a Grupos Insonoros. 	<p style="text-align: center;"><u>Estrategia FO</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar en el Taller de servicios el "repower" para camiones (cambio a sistema a GAS) - (F1, F4, O2). 2. El Bus Urbano es el producto estrella de la fábrica de buses, enfatizar en la búsqueda de clientes. - (F3, F6, O4) 3. Incrementar ventas en el mercado colombiano. - (F6, O6) 4. Desarrollar buses articulados de la mano con los gobiernos en Latinoamérica (F7, F6, O4) 5. Retomar el seguimiento a los clientes del taller de servicios, con el fin de ofrecer nuestros productos y predecir el mantenimiento de su equipo (F2, F6, O1) 	<p style="text-align: center;"><u>Estrategia DO</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adquisición del sistema BIFUEL, para comenzar con la conversión de grupos Diesel a Gas (D6, O2) 2. Integrar hacia atrás en los servicios de tercerización (fibra de vidrio, sistemas de aire acondicionado, insonorización de grupos) para responder rápido al cliente, siendo flexible a las exigencias (D8, O7). 3. Contratar recepcionistas para la empresa, además en el área del taller de servicios se creó una área de seguimiento al cliente (D4, O1) 4. Comprar motores a Gas para incrementar las ventas un nuevo mercado, Bolivia (D6, O3, O5) 5. Abrir distribuidoras con personal del grupos electrógenos para atender la zona norte u sur del país (D5, D7, O1)
<p style="text-align: center;"><u>Amenazas-A</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Incipientes fábricas de grupos electrógenos (antiguos clientes de la empresa). Además unos crecientes fabricantes de Tableros de Control. 2. Fabricas antiguas de buses; pero sin mucha participación en el mercado de Carrocerías, aún en actividad. 3. Empresas importadores de grupos electrógenos de marcas reconocidas a nivel mundial, además estas cuentan con ex-personal de la empresa. 4. Empresas importadores de buses de marcas reconocidas a nivel Latinoamérica, sobre todo Brasil. 5. Repuestos y productos provenientes de China, ofrecidos como originales. 6. Vecinos se quejan de las partículas de fibra de vidrio y ruido de la fabrica 	<p style="text-align: center;"><u>Estrategia FA</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ofrecer grupos menos costos, con requerimiento especiales a los cliente (F3, F5, A3, A4). 2. Atacar los mercados por volumen, confianza de nuestro cliente y nuestra calidad demostrada tanto en el interior como en el exterior del país (F6, F7, F8, F9, A1, A2). 3. Demostrar en cada Liditación o concurso la funcionalidad de técnica de nuestros productos, compararlos con los de la competencia de costos menores, todo bajo un trámite legal, exponiendo la superioridad de nuestros productos (F3, F8, F9, A5) 	<p style="text-align: center;"><u>Estrategia DA</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bajar la competencia con el empresa distribuidora de Cummins en Perú, se creó una sociedad con el taller de servicios para abastecer a tiempo repuestos de motores a Gas (D3, A3) 2. Optimizar los costos y tener disponibilidad de productos, además de rápida entrega se está tratando de incrementar la rotación de materiales en la área de buses y reduciéndola en el área de grupos (D1A1, A2, A3, A4) 3. Reducir la contaminación con la implementación de los ambientes adecuados y técnicamente aislados de acuerdo a normas reglamentadas por el gobierno acerca del estudio de impacto ambiental. (D9, A6)

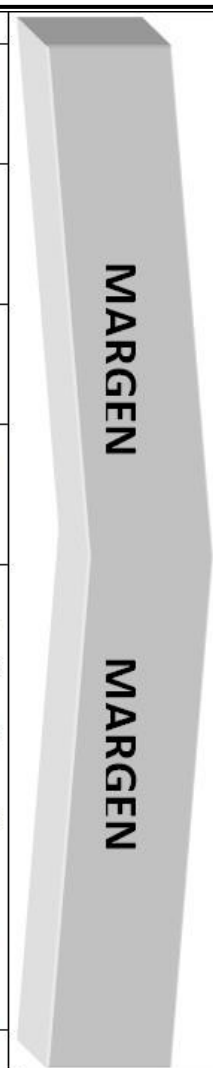
Elaboración Propia

➤ **Estrategia a nivel funcional**

Las estrategias funcionales se centran en cómo utilizar los recursos, capacidades y habilidades distintivas; además comprender el proceso de creación de valor de la empresa, la cadena de valor (tabla 5) evidencia las fortalezas y debilidades que influyen en la rentabilidad de la empresa, estas se pueden encontrar en las actividades primarias o de soporte. Las fortalezas principales se tienen en la actividad de soporte denominada Adquisiciones y en la actividad primaria denominada Logística de entrada; las debilidades se observan en la actividad primaria de Marketing; ambas influyen en que la empresa presente una rentabilidad mínima de 20% de margen respecto al costo del producto.

Tabla 5. Cadena de Valor de la empresa

Cadena de Valor de la Empresa					
Infraestructura Gerencial	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cultura organizacional bien formada, adoptada de la fabricación de motores Perkins para Inglaterra en su etapa de formación ➤ Controlling estricto del área de Finanzas en el cierre mensual del ERP de la empresa ➤ Comprometidos con el medio ambiente, al desarrollar buses y grupos a GNV, además de implementar políticas de reciclaje. 				
Gestión de RR HH	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Implementación de un tópico de salud de atención al personal. ➤ Ajuste de sueldo mediante la evaluación del desempeño. ➤ Monitoreo ocupacional y ambiental. ➤ Estudio del Clima Laboral. ➤ Capacitación constante al personal ➤ Movilidad al personal. 				
Desarrollo Tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Know how desarrollado en la innovación de los cambios de sistema a gas en los camiones y grupos electrógenos en el área del taller de servicios. ➤ Desarrollo de nuevas plataformas utilizando el ERP de la empresa (SAP) ➤ Nuevas áreas de I+D+I en el área de buses. ➤ Desarrollo de grupos a gas en el área de grupos electrógenos. 				
Adquisiciones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Integración hacia atrás de los procesos de Insonorización, área de grupos. ➤ Integración Hacia atrás en los procesos de fibra de vidrio, preparación de chasis y sistema de aire acondicionado, fábrica de asientos, área de buses. ➤ Sociedad con Cummins para la venta de repuestos y talleres de los motores a gas, en el taller de servicios. ➤ Modernas máquinas de corte LASER, plegado y línea de pintado en polvo. 				
<p>Esta cadena nos muestra cuales son las actividades en la empresa que generan valor al cliente final: el hecho de ser un distribuidor exclusivo y crear sociedades, invertir en tecnologías; logran un mayor desempeño superior.</p>	Distribuidor exclusivo de motores Perkins.	Sistema basado en una línea de ensamble	<p>(Se entrega del producto en fabrica-mercado nacional, o en puerto - mercado exportación)</p>	Segmentación de mercados y clientes. Búsqueda constante de clientes interior y extranjero	<p>Excelente servicio personalizado para el mantenimiento de buses. Servicio de mantenimiento de grupos en provincia. Capacitación a los clientes.</p>
	Repuestos exclusivos de Agrale, Volkswagen y Cummins.	Procesos continuamente evaluadores por el área de Calidad.		Flexibilidad en el horario días de despacho.	
Sociedad con Agrale y Scania para el abastecimiento de chasises.	Flexibilidad y rápido tiempo de repuesta		Incremento en respuesta de cotizaciones (implementación de un área de cotizaciones).	Ofrecer los servicios de instalación en sitio de los grupos electrógenos.	
	Logística de entrada	Operaciones	Logística de salida	Marketing y Ventas	Servicios de Post-Venta



Elaboración Propia

➤ Estrategia a nivel de negocios

La empresa para definir la estrategia a nivel de negocios evalúa el atractivo y la rentabilidad que tiene cada sector, mediante el análisis de las cinco fuerzas de Porter (figura 58) desarrollado por el profesor Michael en 1979, dicho análisis me proporciona, dicho análisis me proporciona la base para elegir una estrategia adecuada. La diferenciación de los productos es la estrategia, segmentar y atender cada necesidad requerida por el cliente. Los buses urbanos pueden tener diferentes números de asientos, en los de turismo el cliente define el modelo y diseño, y los buses articulados se realizan de acuerdo a la necesidad de cada país. Los grupos electrógenos, también se hacen a pedido del cliente como cabina insonora de acero o aluminio, módulos de control de diferentes marcas, así como diferentes interruptores termo-magnéticos, los grupos electrógenos que van a la costa son diferentes de los que van a la sierra (mayor altitud).

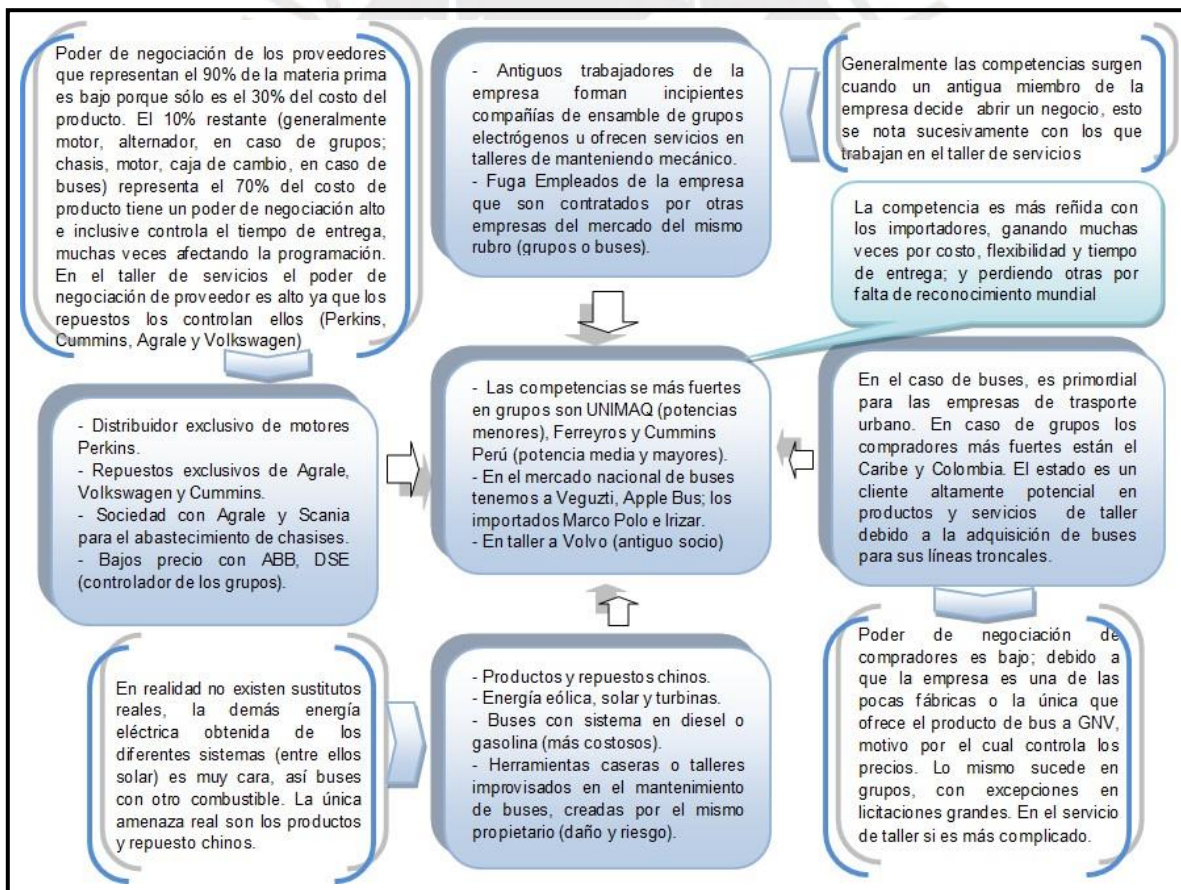


Figura 58. Análisis de las cinco fuerzas de Porter de la empresa

Elaboración Propia

➤ Estrategia Global

La empresa tiene una estrategia global de enfoque transnacional, según la matriz presentada por Hill & Jones su publicación del 2009, diferenciándose con características especiales en sus productos y al mismo tiempo reduciendo sus costos, como lo hace con clientes en Guatemala, que adquiere sus grupos electrógenos con alternadores de mayor potencia manteniendo el mismo precio de producto estándar; o clientes en las Islas Vírgenes que desea que la insonorización de sus grupos electrógenos sea realice en material de aluminio de un color diferente al producto estándar, por las intensas lluvias y humedad del lugar. Lo mismo es el caso de buses que se han tenido que adecuar a los requerimientos del cliente y bajar márgenes para poder competir en el mercado, por ejemplo: los buses articulados para el metro de Colombia no fueron exactamente los mismos que los buses ensamblados para el estado (Lima-Perú). La figura 59 nos muestra todos los países donde la empresa exporta sus productos.



Figura 59. Clientes del mercado de exportación de la empresa

Elaboración Propia

➤ **Estrategia a nivel corporativo**

Basándonos en el concepto de ciclo de vida de la empresa presentado por Menguzzato y Renau en su publicación de 1991, la empresa tiene una estrategia a nivel corporativo enfocada al crecimiento, que le permite incrementar sus operaciones desarrollando en su organización los conceptos de concentración, integración vertical (integración hacia atrás) y diversificación, estos conceptos se amplían a continuación:

a) Concentración

La empresa crece aumentando sus propias operaciones comerciales. No se fusiona, ni adquiere empresas, sólo optimiza sus operaciones, trata de conseguir una mayor penetración de los productos actuales (los buses urbanos, los grupos desarrollados para minería, ventas de repuestos en provincias), busca ofrecer nuevos productos como es el caso de la fabricación los grupos a gas, buses articulados, conversión de grupos diésel a gas, mediante el sistema BIFUEL. Trata de conseguir nuevos mercados en Latinoamérica.

b) Integración vertical (Hacia atrás)

La empresa debido a las demoras y gastos que ocasionaba ciertos procesos que eran ejecutados mediante “outsourcing” se decidió optimizar los procesos e integrarlos a la producción, tales como: la insonorización de grupos electrógenos; la fabricación de fibra de vidrio, la instalación de aire acondicionado, la fabricación de asientos, la preparación de chasis, y adquisición de una prensadora de manguera para ensamblar su sistema de combustible para buses, así como los cables de batería. Además, el área de taller ofrece los servicios de instalaciones de grupos electrógenos en sitio a todos sus clientes.

c) Diversificación Relacionada

La empresa tiene distintas líneas de negocio y dentro de cada línea de negocio ofrece distintos productos, pero todos estos están relacionados con el sector Automotriz o Autopartes. Además, comparten y combinan recursos para crear nuevas fortalezas, por ejemplo, el *Know how* de la planta buses le sirvió al taller ofrecer el servicio de “repower” para la conversión a gas de camiones. Ese mismo *Know how* le sirvió a la planta de

grupos para desarrollar el banco de pruebas para los grupos electrógenos a gas.

La figura 60, muestra la matriz de Boston Consulting Group para los productos, matriz que nos indica como los productos se alinean a la estrategia a nivel corporativo enfocándose en el crecimiento, también nos permite ver el estado de los principales productos respecto a la participación en el mercado de cada uno de ellos, resaltando los que tienen mayor tasa de crecimiento y mejor participación en el mercado (estrellas) la fabricación de buses urbanos, la fabricación grupos electrógenos a gas y la fabricación buses articulados.

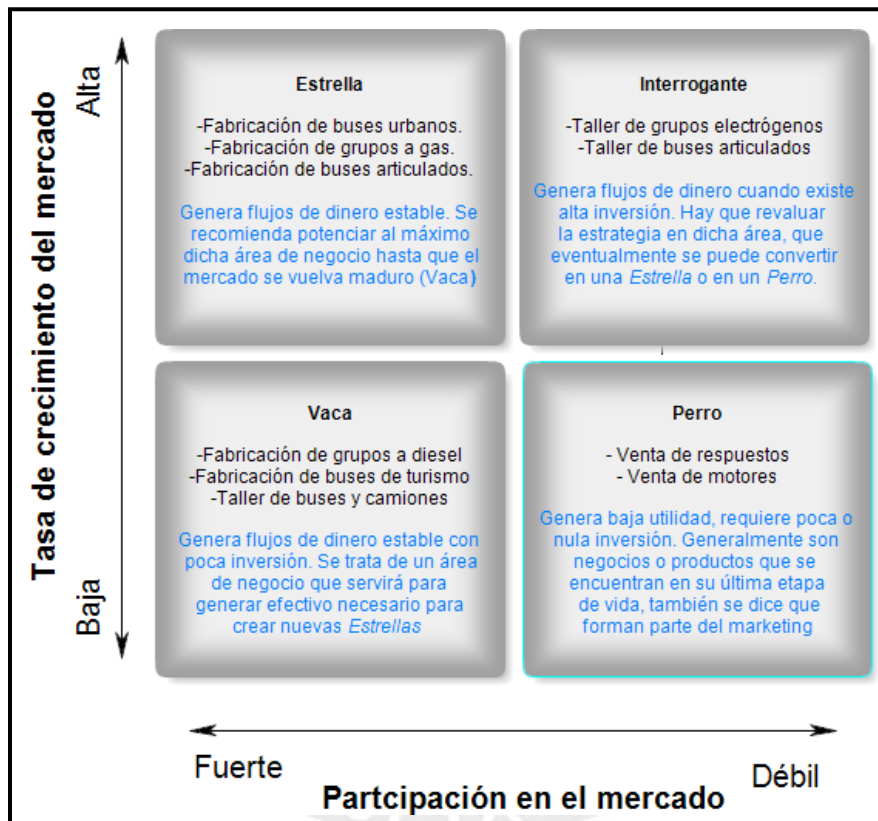


Figura 60. Matriz de Boston Consulting Group (BCG) para la empresa
Elaboración Propia

3.5. Reconocimientos y logros de la empresa

La empresa peruana se encuentra registrada en la bolsa de valores de Lima (SMV) hace más de 15 años y a lo largo de este periodo se ha ido posicionando en el mercado llegando ubicarse en su mejor año, según la revista Latin Business Chronicle (LBC), entre las 10 mejores empresas de América Latina en base a su desempeño en cuanto a

crecimiento de ventas y utilidades, margen de utilidades, entre otros parámetros. Además de mantenerse los últimos 10 años en entre las 200 mayores empresas del Perú con una facturación mayor a 100 millones de dólares anuales, según la revista América Economía.

La empresa ha recibido en su desarrollo varios méritos y logros (ver figura 61) entre ellos: ser reconocido con la Licenciatura de la Marca País Perú; recibir premios por la Asociación de Exportadores (ADEX) por ser una de las mejores empresas exportadoras; ser reconocido como Centro de Entrenamiento Autorizados de las marcas de motores que comercializa (Cummins, Perkins); obtener la certificación RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) que le permite comercializar grupos electrógenos en Colombia; obtener la certificación del “Verified Carbon Standard” con el objetivo de la reducción de gases de efecto invernadero causados por el transporte permitiendo comercializar buses con el estado y en el exterior. Por último, los procesos de comercialización, producción, diseño y desarrollo, almacenamiento y entrega, asimismo, los procesos relacionados con los servicios, tanto de buses como de grupos electrógenos, han recibido el Certificado de Aprobación ISO 9001, otorgándole formalización y trazabilidad a estos.



Figura 61. Reconocimientos y logros de la empresa
Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: ESQUEMA METODOLÓGICO DEL CASO DE ESTUDIO

El esquema a utilizar para plantear el análisis, diagnóstico y propuesta de mejora para el caso de estudio, así como la evaluación económica se muestra en la figura 62. Esta figura nos dice que en la primera fase se delimitara el alcance (indicar el área de trabajo); la segunda fase se realizara el análisis, diagnóstico y propuesta de mejora, en esta fase se aplicara las herramientas de la metodología TOC-Lean-Six sigma; y por último el esquema culmina con la evaluación económica del caso de estudio.

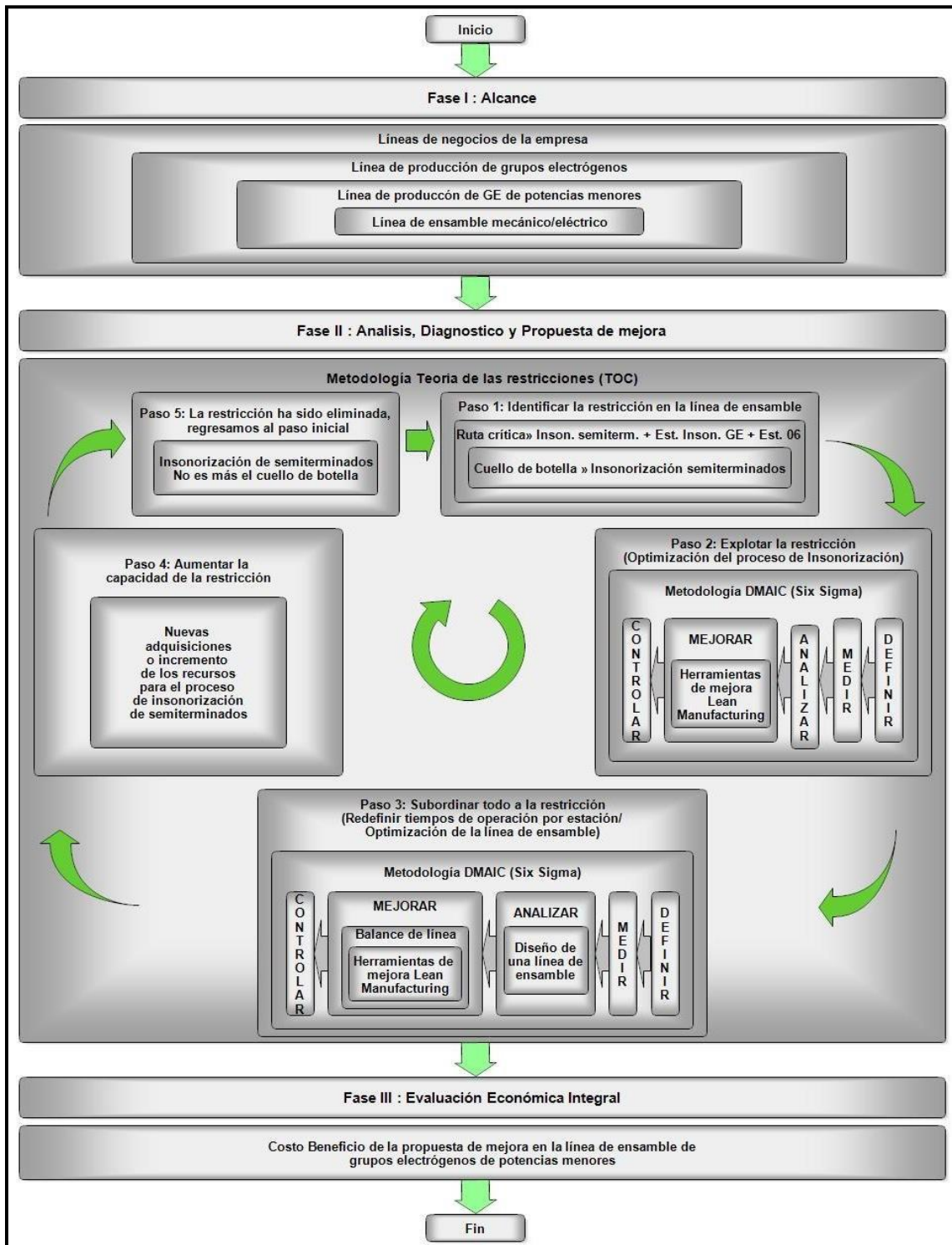


Figura 62. Esquema metodológico TLS del caso de estudio

Elaboración Propia

CAPÍTULO V: ALCANCE DEL CASO DE ESTUDIO

La empresa, como hemos mencionado anteriormente, cuenta con dos líneas de negocios dedicados a la manufactura (producción de bienes) y una línea de negocio dedicada taller (producción de servicios). En este punto se explica los fundamentos para haber seleccionado el caso de estudio, se describe el estado actual y alcance de este.

5.1. Selección de la línea de negocio en la empresa

La empresa, según un reporte básico de sus indicadores financieros de los últimos años (tabla 6), muestra que el taller de servicios ha tenido buenos márgenes de utilidad bruta en los últimos años; pero aún no supera la utilidad bruta de las líneas de manufacturas, de las dos líneas la que ha tenido mayor margen de utilidad bruta es la línea de producción de grupos electrógenos (GE) 25% en promedio. Además, el costo de ventas en la línea de buses es demasiado alta comparada al de grupos, es decir, se necesita una alta inversión para obtener ganancias. Por último, al tener un registro con escasa diferencia respecto al margen bruto de utilidad en los últimos 7 años, se puede decir que el sector de GE se encuentra en un mercado estable y es aquí donde se debe optimizar procesos, para no malgastar recursos en costos de no-calidad, de esta manera obtener mayores utilidades. Definida la línea de negocia a enfocarse, la figura 63 nos muestra el área construida de la planta de grupos electrógenos, aprox. 20,000 m², además nos la distribución de las líneas existentes dentro de la planta, se cuenta con una línea de fabricación metal/mecánica, una línea de fabricación de pintura y una línea de ensamble mecánico/eléctrico. También nos otorga un panorama general del área donde se realizara el estudio.

Tabla 6. Indicadores Financieros básicos de la empresa

Indicadores	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9 (último)
Línea de negocios de grupos electrógenos (miles de soles - 000)									
Ventas (S/.)	S/. 69,838.00	S/. 72,973.00	S/. 102,985.00	S/. 92,841.00	S/. 93,641.00	S/. 97,044.00	S/. 103,936.00	S/. 92,689.00	S/. 83,393.00
Costo de ventas (S/.)	S/. 64,358.00	S/. 66,324.00	S/. 77,333.00	S/. 69,269.00	S/. 68,077.00	S/. 75,558.00	S/. 79,046.00	S/. 68,094.00	S/. 62,483.00
Utilidad bruta (S/.)	S/. 5,480.00	S/. 6,649.00	S/. 25,652.00	S/. 23,572.00	S/. 25,564.00	S/. 21,486.00	S/. 24,890.00	S/. 24,595.00	S/. 20,910.00
Margen bruto de utilidad (%)	7.85%	9.11%	24.91%	25.39%	27.30%	22.14%	23.95%	26.53%	25.07%
Línea de negocios de buses (miles de soles - 000)									
Ventas (S/.)	S/. 81,720.00	S/. 75,431.00	S/. 389,842.00	S/. 162,217.00	S/. 180,316.00	S/. 241,644.00	S/. 224,573.00	S/. 179,225.00	S/. 174,519.00
Costo de ventas (S/.)	S/. 73,866.00	S/. 72,517.00	S/. 304,368.00	S/. 140,599.00	S/. 145,285.00	S/. 181,044.00	S/. 177,260.00	S/. 141,939.00	S/. 134,135.00
Utilidad bruta (S/.)	S/. 7,854.00	S/. 2,914.00	S/. 85,474.00	S/. 21,618.00	S/. 35,031.00	S/. 60,600.00	S/. 47,313.00	S/. 37,286.00	S/. 40,384.00
Margen bruto de utilidad (%)	9.61%	3.86%	21.93%	13.33%	19.43%	25.08%	21.07%	20.80%	23.14%
Líneas de negocios de taller de servicios (miles de soles - 000)									
Ventas (S/.)	S/. 38,440.00	S/. 41,396.00	S/. 42,992.00	S/. 21,326.00	S/. 24,698.00	S/. 33,194.00	S/. 38,924.00	S/. 48,967.00	S/. 49,996.00
Costo de ventas (S/.)	S/. 35,573.00	S/. 38,275.00	S/. 32,362.00	S/. 13,692.00	S/. 14,797.00	S/. 23,627.00	S/. 25,946.00	S/. 30,021.00	S/. 31,088.00
Utilidad bruta (S/.)	S/. 2,867.00	S/. 3,121.00	S/. 10,630.00	S/. 7,634.00	S/. 9,901.00	S/. 9,567.00	S/. 12,978.00	S/. 18,946.00	S/. 18,908.00
Margen bruto de utilidad (%)	7.46%	7.54%	24.73%	35.80%	40.09%	28.82%	33.34%	38.69%	37.82%

Elaboración Propia

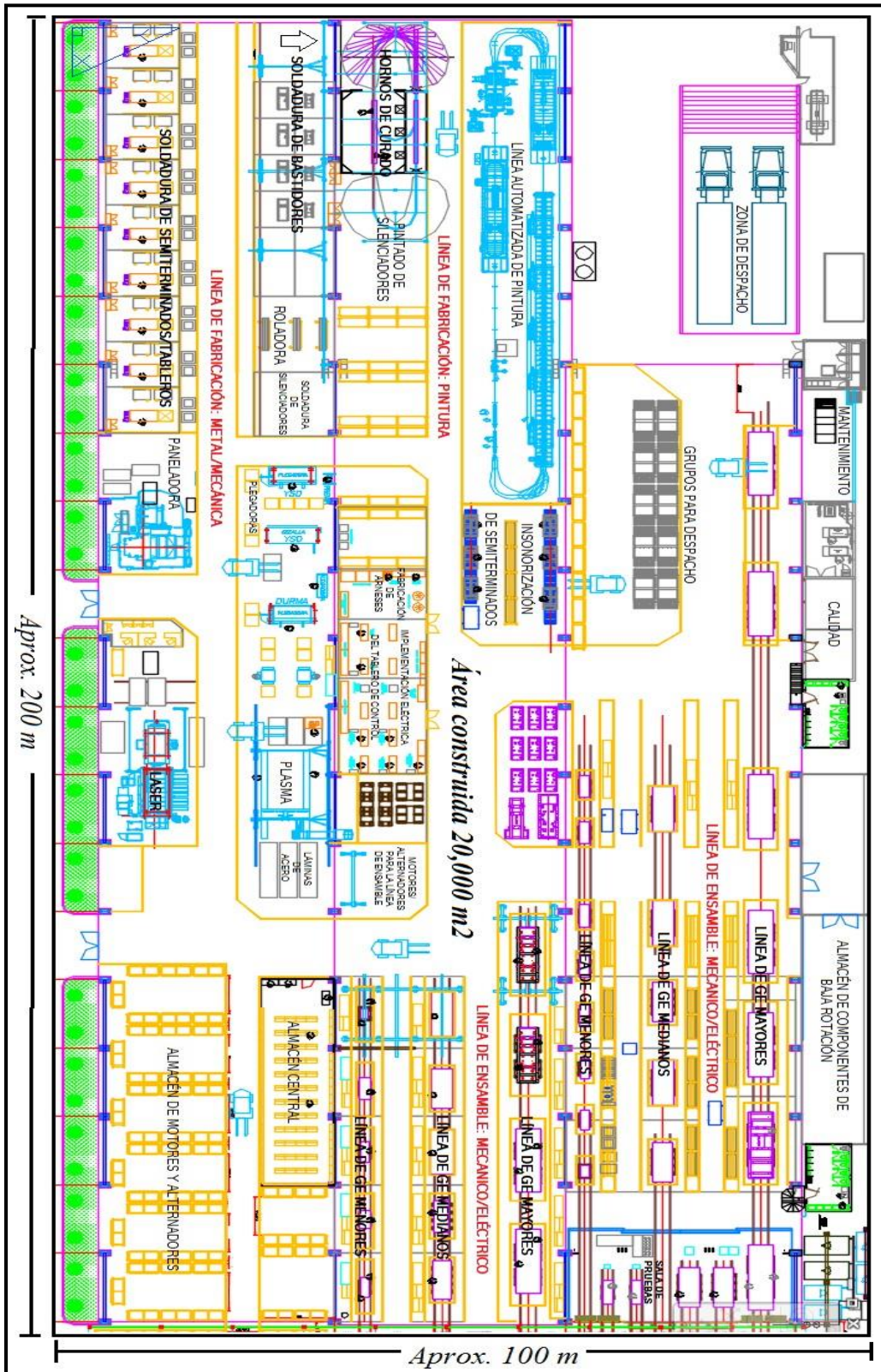


Figura 63. Área construida de la planta de producción de grupos electrógenos
Elaboración propia

5.2. Selección de la línea de producción en la planta de grupos electrógenos

En la planta de grupos electrógenos existen tres líneas de ensamble bien definidas, divididas por el rango de potencia: Línea de GEs menores, Línea de GEs medianos, Línea de GEs mayores. Los rangos de las potencias en kilowatts (Kw) para cada línea se muestran en la figura 64, la clasificación también dependerá si estos son insonoros o estándares (la denominación estándar hace referencia a los GE abiertos), asimismo, la marca del motor con la que es ensamblado (Perkins, Doosan, Lovol, Cummins). La producción de estos GE se realiza a demanda del cliente, evitando inventarios. Una vez conocida estas divisiones, se procederá a analizar cuál de la línea tienen la mejor producción y genera mayor rentabilidad para la empresa, tomaremos de referencia los años que tuvieron mayor utilidad bruta: año "3" con S/. 25,652 y año "5" con S/. 25,564.00.

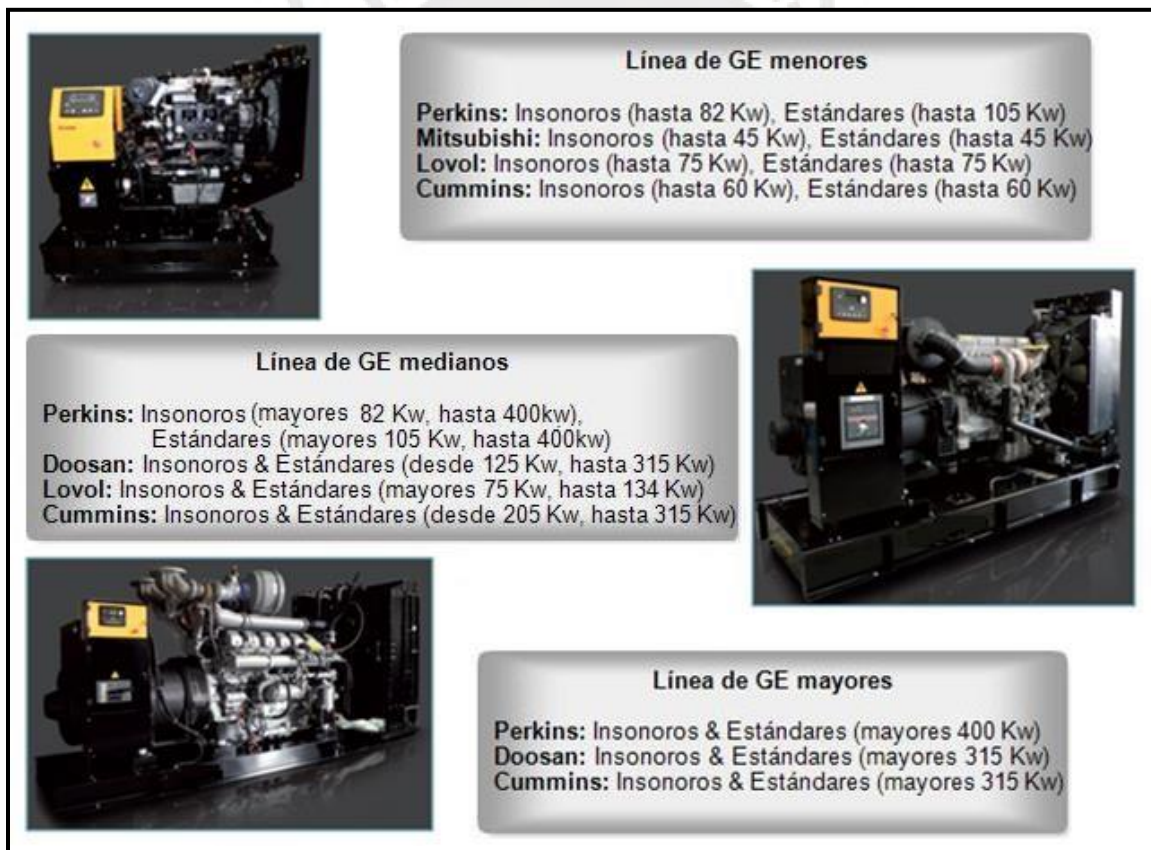


Figura 64. División de las líneas de producción de la planta de GEs

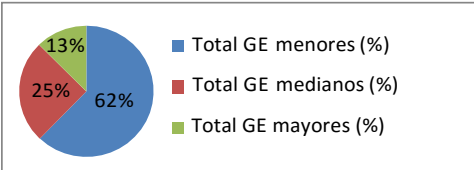
Elaboración propia

La tabla 7 y la tabla 8 muestran la producción del año "3" y del año "5", respectivamente. Mostrando un predominio de los GE de potencias menores, con un porcentaje de 62% el año "3" (1020 GE) y 59% en año "5" (887 GE) del total producido. Posterior en la tabla 9 se muestra el precio en ventas de cada rango de potencia para dichos años, donde también en ventas el porcentaje de facturación de los GE de potencia menores es mayor: 33.79% en el año "3" (S/. 34'799,240.00) y 34.84% en el año "5" (S/. 32'628,771.00). La tabla 10, detalla los precios de cada GE de potencias menores para el año "3" y el año "5".

Tabla 7. Grupos Electr6genos producidos en el A6o "3"

Total de Grupos Electr6genos (GE) producidos en EL A6o "3"									
P=Perkins, D=Doosan, C=Cummins, M=Mutsubishi, F=Fot6n-Lovol, I=Insonoro, Potencia=Kw									
Total GE menores (Kw)				Total GE medianos (Kw)				Total GE mayores (Kw)	
Total C - 30	15	Total P - 105	27	Total C - 205	4	Total P - 150	8	Total C - 1030	6
Total C - 30 I	28	Total P - 14	46	Total C - 205 I	1	Total P - 150 I	10	Total C - 1030 I	6
Total F - 28	2	Total P - 14 I	63	Total C - 260	1	Total P - 180	8	Total C - 1300	1
Total F - 42	9	Total P - 20	59	Total D - 125	7	Total P - 180 I	7	Total C - 2050	1
Total F - 42 I	4	Total P - 20 I	72	Total D - 125 I	5	Total P - 205	14	Total C - 800	11
Total F - 50	1	Total P - 25	2	Total D - 180	12	Total P - 205 I	9	Total C - 800 I	1
Total F - 50 I	1	Total P - 25 I	5	Total D - 180 I	1	Total P - 220	6	Total D - 365	6
Total F - 75	17	Total P - 28	5	Total D - 205	17	Total P - 220 I	8	Total D - 365 I	10
Total F - 75 I	8	Total P - 30	54	Total D - 205 I	10	Total P - 300	10	Total D - 400	6
Total M - 12	11	Total P - 30 I	37	Total D - 275	8	Total P - 300 I	10	Total D - 400 I	1
Total M - 12 I	12	Total P - 45	60	Total D - 275 I	5	Total P - 350	12	Total D - 410	5
Total M - 16	6	Total P - 45 I	69	Total D - 315	10	Total P - 350 I	8	Total D - 410 I	1
Total M - 16 I	15	Total P - 55	1	Total D - 315 I	3	Total P - 400	18	Total D - 480 I	1
Total M - 24	18	Total P - 55 I	2	Total F - 96	10	Total P - 400 I	15	Total D - 500	1
Total M - 24 I	6	Total P - 60	49	Total F - 108	5			Total D - 500 I	2
Total M - 30	19	Total P - 60 I	65	Total F - 108 I	3			Total D - 530	2
Total M - 30 I	10	Total P - 68	10	Total F - 134	9			Total D - 610	1
Total M - 40	23	Total P - 68 I	24	Total F - 134 I	4			Total D - 610 I	2
Total M - 40 I	19	Total P - 76	25	Total F - 96 I	3			Total D - 640 I	2
Total M - 45	2	Total P - 76 I	29	Total P - 105 I	26			Total D - 670	1
Total M - 45 I	2	Total P - 82	28	Total P - 110	35			Total M - 1030	2
Total M - 8	4	Total P - 82 I	16	Total P - 110 I	31			Total P - 460	12
Total M - 8 I	2	Total D - 95	2	Total P - 135	33			Total P - 460 I	2
Total P - 10	15			Total P - 135 I	29			Total P - 480	1
Total P - 10 I	21			Total P - 140 I	1			Total P - 480 I	2
Total GE menores	1020	Total GE medianos	416					Total P - 515	37
								Total P - 515 I	27
								Total P - 535	5
								Total P - 570	19
								Total P - 570 I	10
								Total P - 615	12
								Total P - 615 I	8
								Total GE mayores	204

Total GE menores (%)	62%
Total GE medianos (%)	25%
Total GE mayores (%)	13%
Total GE A6o "3"	1640



■ Total GE menores (%)
■ Total GE medianos (%)
■ Total GE mayores (%)

Elaboraci6n propia

Tabla 8. Grupos Electr6genos producidos en el A6o "5"

Total de Grupos Electr6genos (GE) producidos en un A6o "5"									
P=Perkins, D=Doosan, C=Cummins, M=Mitsubishi, F=Fot6n-Lovol, Y=Yanmar, I=Insonoro, Potencia=Kw									
Total GE menores (Kw)			Total GE medianos (Kw)				Total GE mayores (Kw)		
Total C - 30	1	Total P - 28I	3	Total C - 205	1	Total P - 180 I	11	Total C - 1030	13
Total D - 95	1	Total P - 30	61	Total C - 260	4	Total P - 205	5	Total C - 1030 I	6
Total D - 95 I	5	Total P - 30 I	61	Total C - 315	1	Total P - 205 I	8	Total C - 1300	2
Total F - 50	2	Total P - 45	61	Total C - 315 I	6	Total P - 220	5	Total C - 2050	2
Total F - 75	2	Total P - 45 I	63	Total D - 125	12	Total P - 220 I	13	Total C - 800	4
Total F - 75I	1	Total P - 55	10	Total D - 125 I	12	Total P - 300	7	Total C - 800 I	7
Total M - 12 I	97	Total P - 55 I	10	Total D - 180	8	Total P - 300 I	11	Total D - 365	4
Total M - 16	6	Total P - 60	30	Total D - 180 I	12	Total P - 350	8	Total D - 365 I	7
Total M - 16 I	4	Total P - 60 I	38	Total D - 205	20	Total P - 350 I	5	Total D - 400	2
Total M - 24	8	Total P - 68	25	Total D - 205 I	14	Total P - 400	10	Total D - 400 I	2
Total M - 24 I	6	Total P - 68 I	8	Total D - 275	12	Total P - 400 I	34	Total D - 410	12
Total M - 30	13	Total P - 76	4	Total D - 275 I	31			Total D - 410 I	5
Total M - 30 I	12	Total P - 76 I	3	Total D - 315	17			Total D - 500	5
Total M - 40	1	Total P - 82	43	Total D - 315 I	12			Total D - 500 I	2
Total M - 45	5	Total P - 82 I	36	Total F - 108	1			Total D - 530	1
Total M - 45 I	1	Total Y - 24	5	Total F - 134	2			Total D - 530 I	2
Total M - 8	1			Total F - 134 I	1			Total D - 610	2
Total P - 10	12			Total F - 96	1			Total D - 610 I	5
Total P - 10 I	17			Total F - 96 I	2			Total D - 640	5
Total P - 105	18			Total P - 105 I	31			Total D - 640 I	5
Total P - 14	30			Total P - 110	20			Total M - 800 I	1
Total P - 14 I	23			Total P - 110 I	17			Total P - 460	1
Total P - 20	32			Total P - 135	15			Total P - 460 I	14
Total P - 20 I	84			Total P - 135 I	24			Total P - 480	2
Total P - 25	5			Total P - 150	9			Total P - 480 I	2
Total P - 25 I	35			Total P - 150 I	8			Total P - 515	17
Total P - 28	4			Total P - 180	6			Total P - 515 I	26
Total GE menores		887		Total GE medianos		416		Total P - 535	1
								Total P - 570	7
								Total P - 570 I	13
								Total P - 615	15
								Total P - 615 I	18
								Total P - 750	2
								Total P - 750 I	1
								Total GE mayores	213

Total GE menores (%)	59%
Total GE medianos (%)	27%
Total GE mayores (%)	14%
Total GE A6o "5"	1516

Elaboraci6n propia

Tabla 9. Total de ventas en el A6o "3" y en el A6o "5"

GE producidos en el A6o "3"			GE producidos en el A6o "5"		
Monto Total ventas	100.00%	S/. 102,985,000.00	Monto Total ventas	100.00%	S/. 93,641,000.00
Monto GE menores	33.79%	S/. 34,799,240.00	Monto GE menores	34.84%	S/. 32,628,771.00
Monto GE medianos	32.54%	S/. 33,516,140.00	Monto GE medianos	34.72%	S/. 32,515,045.50
Monto GE mayores	33.66%	S/. 34,669,620.00	Monto GE mayores	30.43%	S/. 28,497,183.50

Elaboraci6n propia

Tabla 10. GE de potencias menores vendidos en el Año "3" y en el Año "5"

GE menores vendidos en el Año "3"			GE menores vendidos en el Año "5"		
Modelo	Cantidad	Monto Total	Modelo	Cantidad	Monto Total
Total P - 20 I	72	S/. 2,279,844.00	Total P - 20 I	84	S/. 2,872,603.44
Total P - 45 I	69	S/. 2,706,973.50	Total M - 12 I	97	S/. 2,868,014.52
Total P - 60 I	65	S/. 2,772,542.50	Total P - 45 I	63	S/. 2,669,311.26
Total P - 14 I	63	S/. 1,803,249.00	Total P - 30 I	61	S/. 2,330,933.22
Total P - 45	60	S/. 1,995,420.00	Total P - 45	61	S/. 2,190,971.16
Total P - 20	59	S/. 1,590,256.50	Total P - 30	61	S/. 1,970,997.84
Total P - 30	54	S/. 1,615,572.00	Total P - 82	43	S/. 1,900,255.14
Total P - 60	49	S/. 1,797,320.00	Total P - 82 I	36	S/. 1,826,874.00
Total P - 14	46	S/. 1,099,952.00	Total P - 60 I	38	S/. 1,750,540.68
Total P - 30 I	37	S/. 1,309,115.50	Total P - 25 I	35	S/. 1,285,162.20
Total P - 76 I	29	S/. 1,351,675.50	Total P - 60	30	S/. 1,188,432.00
Total P - 82	28	S/. 1,145,718.00	Total P - 68	25	S/. 1,026,742.50
Total C - 30 I	28	S/. 1,004,402.00	Total P - 20	32	S/. 931,512.96
Total P - 105	27	S/. 1,269,040.50	Total P - 105	18	S/. 913,709.16
Total P - 76	25	S/. 1,013,512.50	Total P - 14	30	S/. 774,748.80
Total P - 68 I	24	S/. 1,058,316.00	Total P - 14 I	23	S/. 710,995.32
Total M - 40	23	S/. 742,934.50	Total P - 10 I	17	S/. 509,196.24
Total P - 10 I	21	S/. 582,414.00	Total M - 30 I	12	S/. 459,995.76
Total M - 40 I	19	S/. 716,271.50	Total P - 55 I	10	S/. 457,569.00
Total M - 30	19	S/. 571,833.50	Total M - 30	13	S/. 422,554.86
Total M - 24	18	S/. 516,411.00	Total P - 55	10	S/. 393,044.40
Total F - 75	17	S/. 528,003.00	Total P - 68 I	8	S/. 380,993.76
Total P - 82 I	16	S/. 751,800.00	Total D - 95 I	5	S/. 328,311.90
Total C - 30	15	S/. 456,120.00	Total P - 10	12	S/. 298,378.08
Total M - 16 I	15	S/. 443,625.00	Total M - 24	8	S/. 247,877.28
Total P - 10	15	S/. 345,345.00	Total M - 24 I	6	S/. 220,880.52
Total M - 12 I	12	S/. 328,524.00	Total M - 45	5	S/. 179,739.00
Total M - 12	11	S/. 249,942.00	Total P - 76	4	S/. 175,134.96
Total P - 68	10	S/. 380,275.00	Total Y - 24	5	S/. 168,984.90
Total M - 30 I	10	S/. 354,935.00	Total M - 16	6	S/. 161,481.60
Total F - 42	9	S/. 251,401.50	Total P - 25	5	S/. 154,091.70
Total F - 75 I	8	S/. 297,024.00	Total P - 76 I	3	S/. 151,014.78
Total M - 24 I	6	S/. 204,519.00	Total P - 28	4	S/. 131,816.16
Total M - 16	6	S/. 149,520.00	Total M - 16 I	4	S/. 127,764.00
Total P - 25 I	5	S/. 169,995.00	Total P - 28I	3	S/. 105,008.40
Total P - 28	5	S/. 152,565.00	Total F - 75	2	S/. 67,087.44
Total F - 42 I	4	S/. 135,632.00	Total F - 50	2	S/. 60,971.40
Total M - 8	4	S/. 89,460.00	Total D - 95	1	S/. 44,471.70
Total P - 55 I	2	S/. 84,735.00	Total M - 45 I	1	S/. 42,400.26
Total M - 45 I	2	S/. 78,519.00	Total F - 75I	1	S/. 36,318.24
Total M - 45	2	S/. 66,570.00	Total M - 40	1	S/. 34,885.62
Total P - 25	2	S/. 57,071.00	Total C - 30	1	S/. 32,840.64
Total M - 8 I	2	S/. 54,040.00	Total M - 8	1	S/. 24,154.20
Total F - 28	2	S/. 45,668.00			
Total D - 95	2	S/. 82,355.00			
Total P - 55	1	S/. 36,393.00			
Total F - 50 I	1	S/. 34,202.00			
Total F - 50	1	S/. 28,227.50			
Total GE menores Año "3"	1020	S/. 34,799,240.00	Total GE menores Año "5"	887	S/. 32,628,771.00

Elaboración propia

Según los registros de producción observados en el año “3” y en el año “5”, muestran que la producción de la línea de GE de potencias menores es alrededor del 60% del total de la planta; además esta línea cuenta con un porcentaje de ventas considerable, mayor a 33%, lo que superar en ventas a las demás líneas. Por lo tanto, debido a la cantidad de GE que se fabrica en esta línea y siendo la línea que genera mayor rentabilidad se debe estandarizar sus procesos e implementar mejoras, debido a que su impacto será mayor percibido generando mayores ganancias y calidad para la empresa.

5.3. Selección de la línea de fabricación o ensamble en la producción de electrógenos de potencias menores

En la producción de GEs menores existen 3 etapas bien diferenciadas (ver figura 65) que debe pasar el producto antes de ser almacenado o entregado al cliente. Estas son:

- Línea de fabricación: Metal/mecánica
- Línea de fabricación: Pintura
- Línea de ensamble: Mecánico/Eléctrico.



Figura 65. Líneas de fabricación y ensamble en la producción de GE menores
Elaboración propia

Luego de conocer las líneas existentes en la producción de grupos electrógenos menores, se revisarán los reportes de cada línea de fabricación o ensamble, para enfocarse en cuál de estas líneas se genera menor porcentaje de valor agregado (%VA) de acuerdo al camino crítica en la entrega del producto de una línea de fabricación a otra.

5.3.1. Línea de fabricación: Metal/Mecánica

La línea de metal/mecánica comprende la transformación de las láminas de acero en productos semiterminados, para ser entregados a la línea de pintura, aunque para llegar a la línea de pintura tiene que pasar por los procesos de corte, doblé y soldadura. Los reportes que se observan en la tabla 11 muestran que la cadena crítica para esta línea es la fabricación del bastidor cuyo %VA es 39.5%; pero como se muestra en la figura 66 los procesos en esta línea están dominados por máquinas, por lo tanto, cualquier mejora en el tiempo de entrega tendrá una mayor inversión económica y un mínimo impacto.

Tabla 11. Registro de los procesos de la línea metal/mecánica

Tiempo promedio de los procesos de línea de fabricación metal/mecánica					%VA
Estructuras	Corte (min.)	Plegadora (min.)	Soldadura (min.)	Total VA	
Bastidor del GE	40	40	240	320	810
Tablero del GE	15	20	30	65	
Semiterminados del GE	45	50	60	155	
Silenciador del GE	20	30	60	110	
					39.5%
					8.0%
					19.1%
					13.6%

Elaboración propia

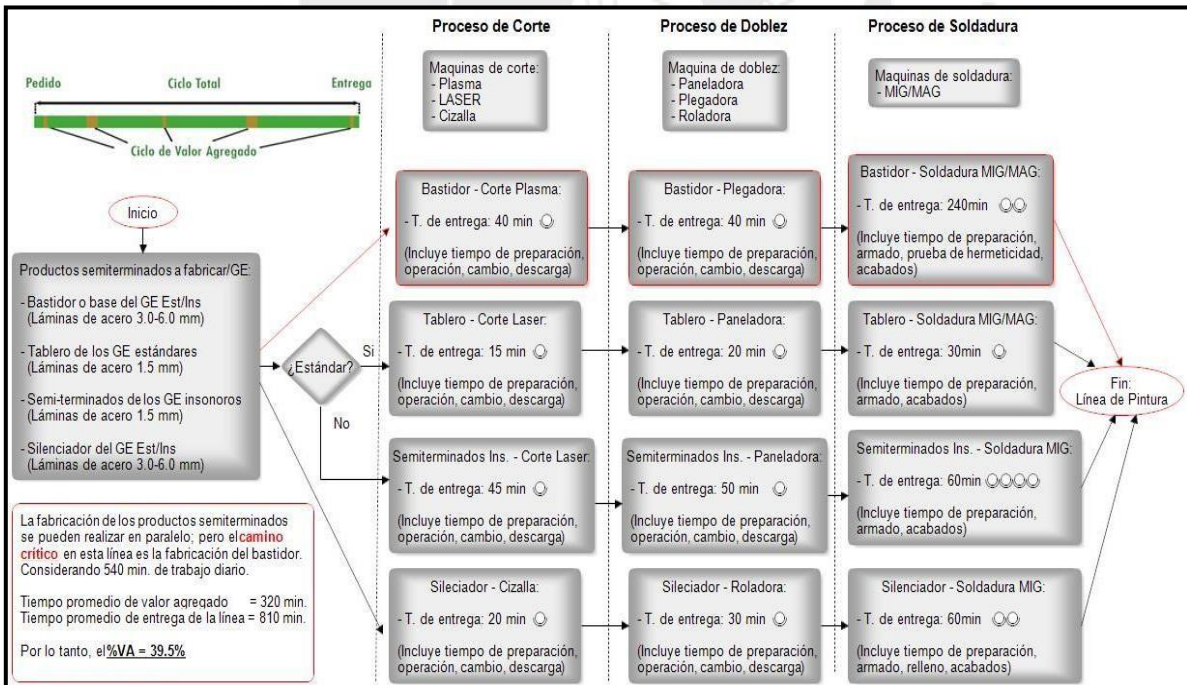


Figura 66. Mapa de Procesos en la línea de fabricación de Metal/Mecánica

Elaboración propia

5.3.2. Línea de fabricación: Pintura

La línea de pintura comprende la protección del revestimiento de los productos fabricados en la línea metal/mecánica. El pintado del silenciador se realiza con pintura líquida de alta temperatura con un procedimiento manual y secado al aire libre; el pintado del bastidor se realiza con pintura en polvo de forma manual al igual que la preparación de la superficie, el proceso de curado se realiza en un horno de regulación manual; pero el pintado de los semiterminados (sólo tablero de ser estándar) se realiza en una cadena automatizada de pintura en polvo de velocidad constante de 0.8-1.0 metros/minuto donde la preparación de la superficie (desengrase, enjuague, pre-activado, fosfatizado y sellado) se realiza con rociadores, el pintado es manual, pero de acuerdo a la velocidad de la cadena, esta cadena automatizada cuenta con un horno de curado propio. Los reportes que se observan en la tabla 12 muestran que la cadena crítica de esta línea es el pintado de los semiterminados cuyo %VA es 30.6%. En la figura 67 se muestran los procesos de esta línea; pero al igual que el caso anterior, esta línea es en gran parte automatizada, por lo que mejorar sus indicadores se deben realizar grandes inversiones como, por ejemplo, cambiar el pintado manual de la cadena automatizada por rociadores de precisión.

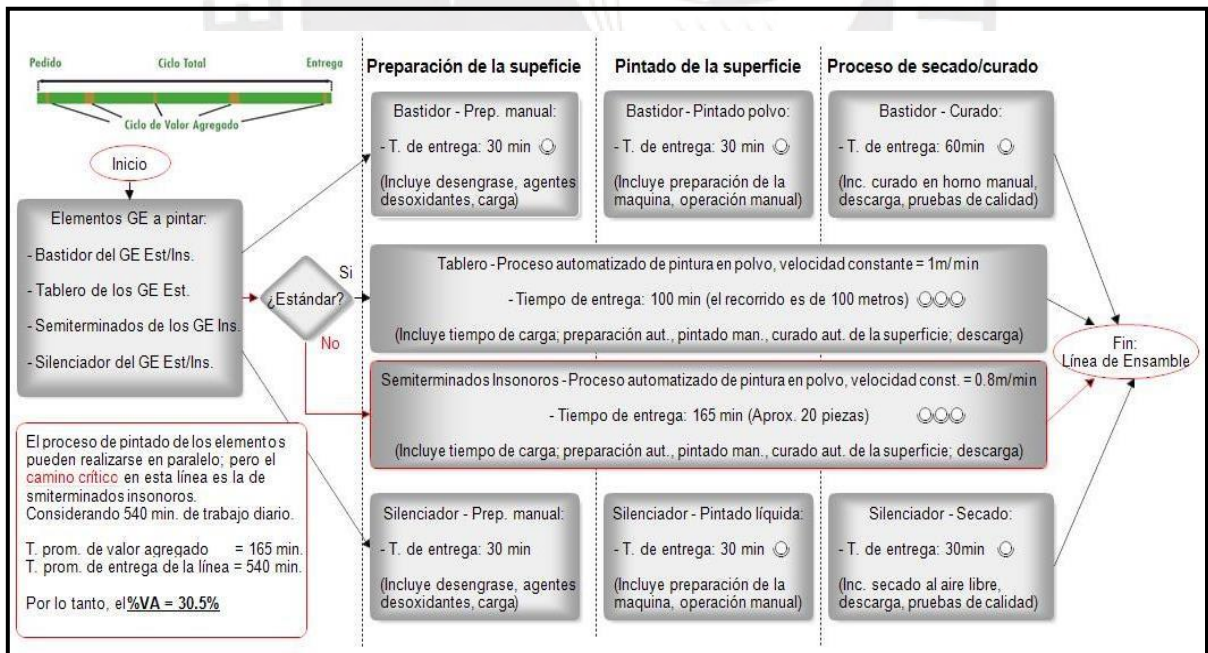


Figura 67. Mapa de Procesos en la línea de fabricación de Pintura

Elaboración propia

Tabla 12. Registro de los procesos de la línea de pintura

Tiempo promedio de los procesos de línea de fabricación de pintura						%VA
Estructuras	Preparación (min.)	Pintado (min.)	Secado (min.)	Total VA	Entrega (min.)	
Bastidor del GE	30	30	30	90	540	16.7%
Tablero del GE	100			100		18.5%
Semiterminados del GE	165			165		30.6%
Silenciador del GE	30	30	30	90		16.7%

Elaboración propia

5.3.3. Línea de Ensamble: Mecánico/Eléctrico

La línea de ensamble de la planta de GEs comprende desde el acople motor/alternador hasta la entrega del producto terminado, pasando por diferentes estaciones de trabajo. De forma general la primera estación se encarga del ensamble motor/alternador con el bastidor, la segunda estación de la instalación del arnés eléctrico, la tercera ensamble del tablero de control y fuerza, la cuarta estación se encarga de la instalación de los cables de fuerza, la quinta estación es la sala de pruebas y la sexta estación es el área de instalación del silenciador y acabados; existe una estación adicional para GEs insonoros la cual comprende el ensamble de la cabina insonora. Los tiempos promedio de las estaciones de trabajo se muestran en la tabla 13, indicando que la cadena crítica en esta línea es suma del área de insonorización, con la estación Insonorizado y la estación 6 que resulta en un %VA de 19.4%, tomando en cuenta el tiempo de entrega de los reportes de producción de la figura 68. El área de insonorización de los paneles de la cabina trabaja en paralelo a las estaciones del 1 al 5, por lo tanto viendo las diferencias de tiempos de las estaciones de ensamble del 1 al 5 (322.2 minutos) con el proceso de insonorización (440 minutos) existe un cuello de botella que se puede mejorar, permitiendo incrementar el %VA de la línea de ensamble mecánico/eléctrico. Este %VA es el más bajo de todas comparándolas con las otras líneas de fabricación como se observa en la figura 69.

Tabla 13. Registro de los procesos de la línea de ensamble mecánico/eléctrico

Tiempo promedio de los procesos de ensamble y del proceso de insonorización de los GE en línea de ensamble mecánico/eléctrico										%VA
Tipo de ensamble	Est.1(min.)	Est.2(min.)	Est.3(min.)	Est.4(min.)	Est.5(min.)	Est.Ins.(min.)	Est.6(min.)	Total VA	Entrega (min.)	
Ensamble GE Estándar	96.6	82.4	31.1	28.9	81.4	-	20.5	340.9	2660	12.8%
Ensamble GE Insonoro	104.9	77.8	29.7	23.9	85.9	96.8	18.3	437.3	2862	15.3%
Ins.de Semit.+E-Ins.+E-06	440					96.8	18.3	555.1	2862	19.4%
T. promedio/estación	101	80	30	26	84	97	19	Sean GE estándares o insonoros		

Elaboración propia

Informe de la Producción de Grupos Electrónicos					Informe de la Producción de Grupos Electrónicos				
Grupo	Serie		Cliente		Grupo	Serie		Cliente	
P-141	211990		N:75		P-45	211958		TIDSA	
Estación	Hora	Día	Observaciones		Estación	Hora	Día	Observaciones	
Personal:	Escarra Cristóbal		Firma: Escarra		Personal:	Escarra Cristóbal		Firma: Escarra	
Estación 1	Entrada:	Entrada:	Inicio: Martes 06 de Nov. a las 11:18		Entrada:	Entrada:	Inicio: Miércoles 07 de Nov. a las 10:00		
	11:18	06-11				10:00			
Estación 2	Salida:	Salida:	Personal: Gary Nunkwa Firma: Gary		Salida:	Salida:	Personal: Gary Nunkwa Firma: Gary		
	2:30	06-11				12:30			
Estación 3	Entrada:	Entrada:	Personal: David Firma: David		Entrada:	Entrada:	Falta soporte de transformadores		
	9:30	07-11				9:00			
Estación 4	Salida:	Salida:	Personal: Cesar Pascos Firma: Cesar		Salida:	Salida:	y falta soporte para motores de combustible		
	17:00	07-11				9:30			
Estación 5	Entrada:	Entrada:	Personal: Richard Paredes Firma: Richard		Entrada:	Entrada:	Falta soporte para motores de combustible		
	8:00	08-11				11:30 am			
Insonoros	Salida:	Salida:	Personal: Juan Carlos Firma: Juan		Salida:	Salida:	Personal: Juan Carlos Firma: Juan		
	9:30 am	08-11				2:30 pm			
Estación 6	Entrada:	Entrada:	Personal: ZAVALETA CLEMENT Firma: Clement		Entrada:	Entrada:	Termino: Miércoles 14 de Nov. a las 09:20		
	09:00 am	13-11				8:15			
Tiempo de entrega P-141 = 2862 min. VA=440 min. %VA=15.4%					Tiempo de entrega P-45 = 2660 min. VA=340 min. %VA=12.8%				

Figura 68. Reporte del tiempo de entrega de la línea de ensamble mecánico/eléctrico
Elaboración propia

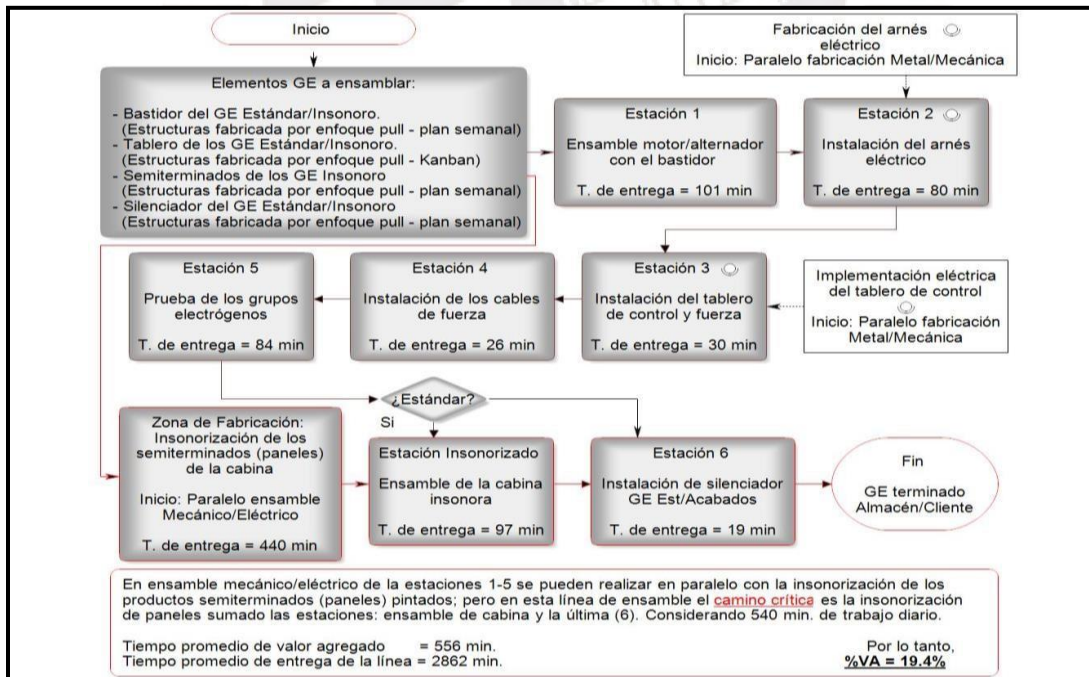


Figura 69. Mapa de Procesos en la línea de ensamble mecánica/eléctrica
Elaboración propia

5.4. Delimitación del caso de estudio

La línea de ensamble mecánico/eléctrico de la planta de grupos electrógenos menores es la cadena crítica que cuenta con menor %VA, siendo 19.4%. Por lo tanto, el caso de estudio se enfocará en esta línea de ensamble cuya espacio físico en la planta se muestra en la figura 70. El objetivo principal es elevar el %VA antes mencionado, cuyo resultado reducirá el tiempo de entrega del producto al cliente. Además, debido a que sus procesos son dominados por trabajos manuales, estos en el tiempo han generado “mudas” (desperdicios) ocasionados por la sobreproducción, tiempo de espera, transporte innecesario, exceso de procedimientos, inventario, movimientos innecesarios, defectos de calidad, entre otros, los cuales se eliminarán o reducirán aplicando la metodología TLS.

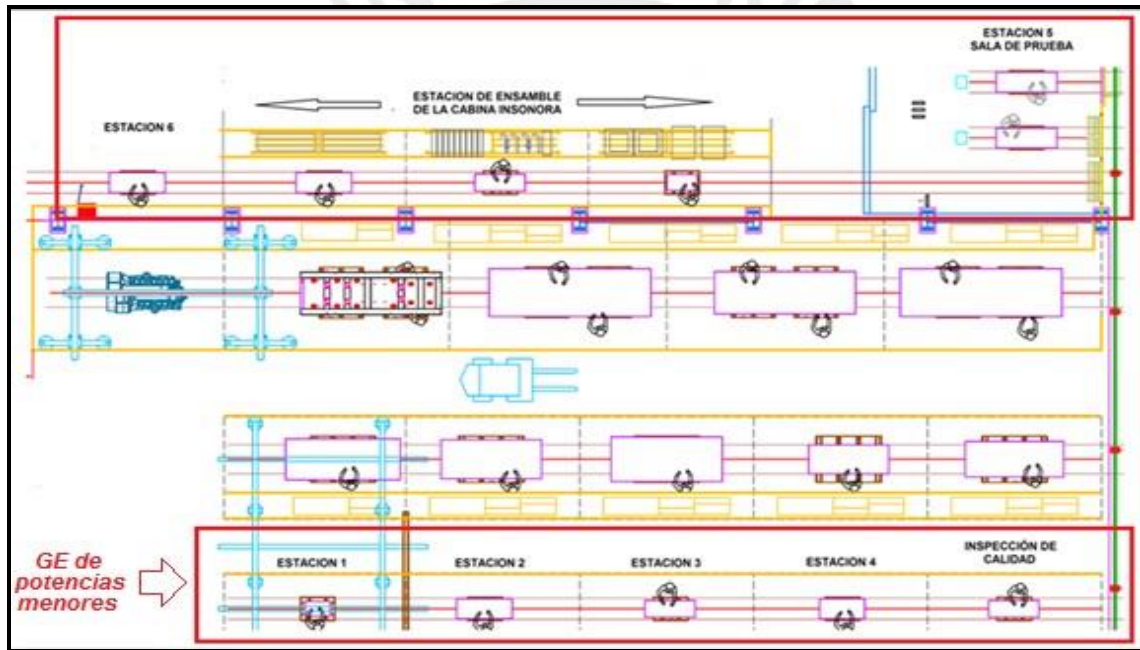


Figura 70. Línea de ensamble mecánico/eléctrico de los GEs menores.

Elaboración propia

Existen algunas características de diseño de la línea de ensamble mecánico/eléctrico que son necesarias recalcar ya que forman parte del proceso, se mencionan a continuación:

- Las áreas de fabricación de arneses, implementación eléctrica del tablero de control e insonorización de paneles de la cabina abastecen a las estaciones N°2, N°3 e Insonorizado, respectivamente; estas áreas físicamente se encuentran fuera de la línea de ensamble; aunque dichas estaciones dependen de estos procesos.

- Las estaciones de trabajos tienen espacios demarcados físicamente para realizar sus operaciones, tal como se muestra en la figura 70.
- El traslado de una estación a otra en de forma manual, es decir, no existe una cadena o algo similar para el traslado automatizado del producto, este es movilizado con la ayuda de una plataforma con ruedas, que desplazan sobre rieles fijas, similar al movimiento de un tren tradicional.
- El ensamble del acople motor/alternador de la estación N°1 se realiza con la ayuda de dos polipastos eléctricos que se mueven en los ejes vertical y horizontal.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL CASO

En este punto, tal como se aplicaran las herramientas de la metodología TLS para mejorar de forma integral la línea de ensamble. En un primer nivel o nivel macro es utilizar los pasos de metodología TOC; luego una vez identificada la restricción, en los pasos 2 y 3 se empleará las herramientas de la metodología Six Sigma que se enfocara de las mejoras en este segundo nivel; por último en las etapas “Mejorar” de los ciclos DMAIC se empleara las herramientas de la metodología Lean Manufacturing, esto en un tercer nivel.

6.1. TOC – Paso 1: Identificar la restricción

Posterior al haber determinado el alcance a la línea de ensamble mecánico/eléctrico, se demostró en la tabla 13 que el camino crítico de esta línea se encuentra en la fabricación de GE insonoros, como se resumen en la figura 71; como se mencionó esta línea de GE insonoros tiene 2 procesos en paralelo: el ensamble de las estaciones del 1 al 5 y la insonorización de semiterminados de la cabina, siendo el cuello de botella este último. Por lo tanto el camino crítico (556 min.) para el ensamble de GE insonoros lo conforma el proceso de insonorización de paneles, la estación Insonorizado y la estación 6; siendo la insonorización de paneles (440 min.) la restricción o cuello de botella de la línea.

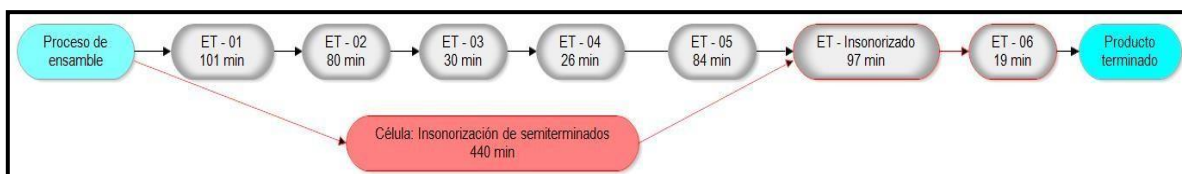


Figura 71. Camino crítica/cuello de botella de la línea de ensamble.

Elaboración propia

Cabe mencionar que el proceso de insonorización de semiterminados que provee a la estación Insonorizado inicia con ensamble mecánico/eléctrico; mientras los procesos de fabricación de arneses e implementación eléctrica del tablero de control que proveen a la estación 2 y a la estación 3, respectivamente, pueden iniciar con la fabricación metal/mecánica, motivo por el cual los procesos de fabricación de arneses e implementación eléctrica no resultan ser restricciones para línea de ensamble.

La línea de ensamble permite producir GEs estándares o GE insonoros, ambos son ensamblados físicamente en las mismas estaciones (ver figura 70), de forma aleatoria. El ensamble de los GEs estándar contiene las estaciones del 01 al 06, mientras que el ensamble de GEs insonoros contiene las mismas estaciones adicionando el ensamble de la cabina. Por lo tanto, los tiempos de las estaciones del 01 al 06 deben ser los mismos para ambos ya que la demora en ensamble de algunos de ellos (estándar o insonoro) perjudicaría la línea de ensamble en general, ocasionando cuellos de botella, motivo por el cual al mejorar los tiempos de entrega de un GE insonoro estos mejorarán los tiempos de ensamble un GE estándar, debiendo ser los tiempos de operación de cada estación en lo posible iguales para ambos, estas operaciones se detallarán posteriormente.

6.2. TOC - Paso 2: Explotar la restricción

Una vez identificada la restricción se procederá a explotarla, es decir, se mejorará los procedimientos con el fin de reducir los tiempos de entrega. Para tal motivo se empleará el ciclo DMAIC de la metodología Six Sigma, que brindará el formato para esquematizar el análisis; aun cuando este no sea del tipo estadístico, sino de simple inspección.

6.2.1. DMAIC - Etapa Definir I

El proceso de insonorización de semiterminados se realiza adhiriendo una espuma fonoabsorbente (retardante al fuego) a la cara interna del semiterminado luego de haber pasado el proceso de pintura. En el proceso se identifican 3 operaciones:

- **Trazado**; demarcación del área en la espuma a seccionar.
- **Corte**; utilizando una hoja se corta manualmente la espuma.
- **Pegado**; adherir la espuma con pegamento al semiterminado

Además, cabe mencionar que todo este proceso se realiza bajo un enfoque tradicional, es decir, cada operario realiza todos los procedimientos incluyendo la del **traslado** del material semiterminado de la línea de pintura a la zona de insonorización, así como, de esta zona a los racks de almacenamiento, como se muestra en la figura 72, esto último genera desperdicios de movimientos innecesarios y tiempos de espera para la línea.

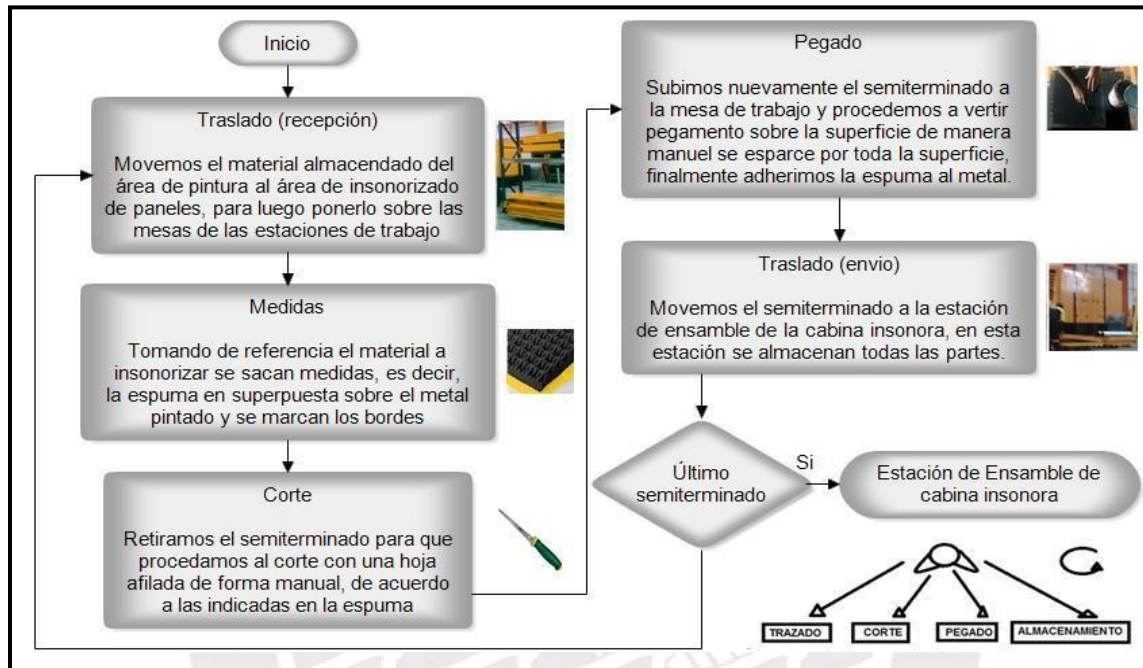


Figura 72. Proceso de insonorización de semiterminados antes de la mejora
Elaboración propia

6.2.2. DMAIC - Etapa Medir I

En esta línea de GE insonoros, el máximo rango de las cabinas es para GE de 82Kw, cabina que se muestra en la figura 73. Por lo tanto se realiza la recolección de datos del proceso de insonorización de paneles para esta potencia, debido a que este sería el peor escenario, mediante un formato tipo hojas de verificación que se muestra en la figura 74 se valida los tiempo de fabricación de cada semiterminado para diferentes clientes, todas las operaciones son realizadas por una sola persona, de forma consecutiva y clásica, es decir, se termina con uno para luego continuar con el siguiente, de este modo repetitivo hasta acabar con el total de piezas de la cabina, cada operario trabajando en paralelo, por lo que el tiempo de entrega de esta célula es la suma de insonorizar todos los paneles, que según los reporte de la figura 73 el tiempo promedio es de 440 minutos.

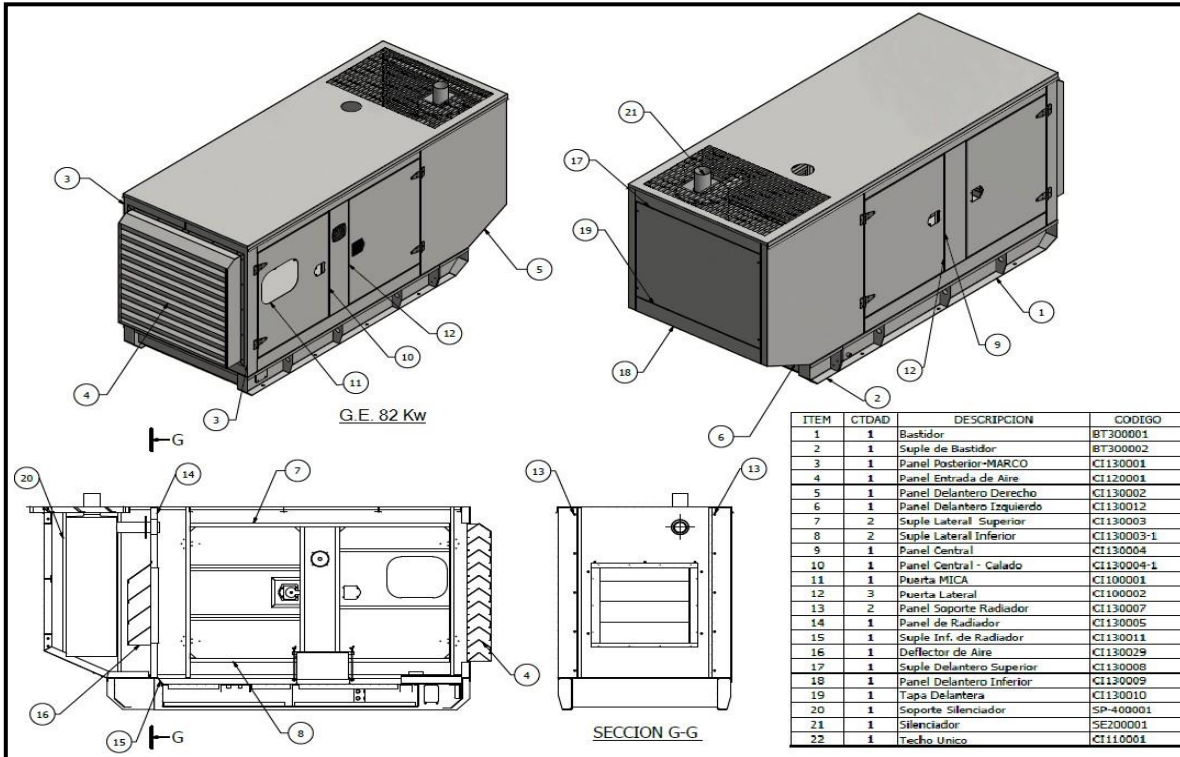


Figura 73. Semiterminados o paneles de una cabina insonora del GE de 82Kw.

Elaboración propia

Informe de la Producción de Insonorización de paneles				Informe de la Producción de Insonorización de paneles			
Grupo	Serie	Cliente		Grupo	Serie	Cliente	
P-82E	Z 1232	SIVATH		P-82E	Z 1232	SIVASA	
Personal:	Firma:			Personal:	Firma:		
Día	Inicio	Termino	Observaciones	Día	Inicio	Termino	Observaciones
20/12	11:45	11:55	panel posterior	18/12	08:25	08:39	panel posterior
	12:00	12:42	panel entrada aire		08:44	09:23	panel entrada aire
	14:10	14:25	panel delantero derecho		09:40	09:55	panel delantero derecho
	14:30	14:44	panel delantero izquierdo		10:10	10:19	panel delantero izquierdo
	15:00	15:18	suple lateral superior		10:20	10:39	suple lateral superior
	15:30	15:48	suple lateral inferior		10:40	11:00	suple lateral inferior
	15:57	16:04	panel central		10:50	11:12	panel central
	16:05	16:23	panel con calado		11:17	11:31	panel calado
	16:24	16:44	puerta con mica		11:37	11:49	puerta con mica
	16:30	17:06	puerta		11:50	12:07	puerta
21/12	17:04	17:22	"	12:05	12:25	"	
	17:22	17:38	"	12:30	12:48	"	
	18:10	18:22	panel de soporte radiador	14:15	14:28	panel soporte radiador	
	18:30	18:46	panel de radiador	14:20	14:46	panel radiador	
	18:45	18:56	deflector de aire	14:46	14:58	deflector de aire	
	19:00	19:10	suple delantero superior	14:58	15:08	suple delantero superior	
	19:10	19:20	panel delantero inferior	15:08	15:18	panel delantero inferior	
	19:20	19:37	tapa delantera	15:18	15:36	tapa delantera	
	19:40	19:57	techo	15:48	16:29	techo	
Inicio: Jueves 20 de Dic. 11:45				Inicio: Martes 18 de Dic. 08:25			
Termino: Viernes 21 de Dic. 10:20				Termino: Martes 18 de Dic. 16:24			
Tiempo de entrega = 424 min				Tiempo de entrega = 455 min			
Tiempo promedio de insonorización = 440 min.							

Figura 74. Reportes de Insonorización de semiterminados de GE de 82Kw.

Elaboración propia

Tener en cuenta que el tiempo de entrega mencionado en el párrafo anterior (440 minutos) involucra tiempos de fatiga del operario, tiempo para necesidades personales, entre otras consideraciones, que según la tabla 14, estas consideración es promedio alrededor del 18% (78 min.) del tiempo de entrega, motivo por el cual el tiempo promedio real de la suma de las operaciones involucradas en la insonorización es 362 minutos.

Tabla 14. Promedio de suma de operaciones de insonorización de paneles

Perkins - 82 Kw			Clientes (min)			Promedio (min)
Cantidad	Descripción	Código	SIVASA	NTS	Spath	
3	Puerta Lateral	CI100002	52	60	48	53.3
1	Panel Entrada de Aire	CI120001	42	50	40	44.0
1	Techo Unico	CI110001	41	45	40	42.0
2	Suple Lateral Inferior	CI130003-1	20	24	18	20.7
2	Suple Lateral Superior	CI130003	19	22	18	19.7
1	Panel Delantero Izquierdo	CI130012	19	20	19	19.3
1	Puerta Porta Mica	CI100001	17	20	20	19.0
1	Panel Delantero Derecho	CI130002	18	20	18	18.7
1	Tapa Delantera	CI130010	18	20	17	18.3
1	Panel de Radiador	CI130005	16	16	15	15.7
1	Panel Posterior	CI130001	14	16	13	14.3
1	Panel Central - Calado	CI130004-1	14	15	13	14.0
2	Panel Soporte Radiador	CI130007	13	16	12	13.7
1	Deflector de Aire	CI130029	12	14	11	12.3
1	Panel Central (Parante)	CI130004	12	12	12	12.0
1	Suple Delantero Superior	CI130008	12	14	12	12.7
1	Panel Delantero Inferior	CI130009	12	13	12	12.3
Promedio de la sumatoria del tiempo de las operaciones		T. de entrega	351	397	338	362.0
% necesidades personales: (100% - (Σoperac./ T. entrega))		440	20%	10%	23%	18%

Elaboración propia

Por otro lado conocido el proceso de insonorización, tratamos de identificar las operaciones que no generan valor agregado (NVA), tratando de desglosar los tiempos de cada operación del semiterminado más simple a insonorizar (más simple porque es el que debería tener menor porcentaje de actividades NVA), este es el panel delantero inferior. En la tabla 15, se identifican las actividades NVA de dicho panel, las cuales son: el traslado del semiterminado a la célula, el colocar el semiterminado en la mesa, el tomar medidas del semiterminado, el retirar el semiterminado de la mesa, el colocar el semiterminado en la mesa y el traslado del semiterminado al rack de almacenamiento, todas estas actividades representan el 54.2% del tiempo total de insonorización.

Tabla 15. Actividades NVA en la insonorización del panel delantero inferior

Panel Delantero Inferior (más simple de ejecutar)				
N°	Operación o actividad	min	%	%NVA
10	Traslado del semiterminado al área de trabajo	2	16.7%	54.2%
20	Colocar el semiterminado en la mesa	0.5	4.2%	
30	Tomar medidas del semiterminado	1	8.3%	
40	Retirar el semiterminado de la mesa	0.5	4.2%	
50	Cortar la espuma	2	16.7%	
60	Colocar el semiterminado en la mesa	0.5	4.2%	
70	Verter pegamento en el semiterminado	2	16.7%	
80	Adherir espuma al semiterminado	1.5	12.5%	
90	Traslado del semiterminado a los racks	2	16.7%	
Tiempo promedio de la operación		12	100%	

Elaboración propia

Por lo tanto, debido a que todos los semiterminados tienen el mismo proceso de insonorización hacemos uso del método para mostrar que porcentaje de la suma de operaciones (362 min.) es dedicado a actividades de NVA, esto se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Tiempo de las actividades NVA de la suma de operaciones de insonorización

Tiempo total de insonorización de los semiterminados de la cabina				
N°	Operación o actividad	%	min	NVA (min)
10	Traslado del semiterminado a la célula	16.7%	60	196
20	Colocar el semiterminado en la mesa	4.2%	15	
30	Tomar medidas del semiterminado	8.3%	30	
40	Retirar el semiterminado de la mesa	4.2%	15	
50	Cortar la espuma	16.7%	60	
60	Colocar el semiterminado en la mesa	4.2%	15	
70	Verter pegamento en el semiterminado	16.7%	60	
80	Adherir espuma al semiterminado	12.5%	45	
90	Traslado del semiterminado a los racks	16.7%	60	
Tiempo promedio del total de Operaciones		100%	362	

Elaboración propia

En ese sentido, con la tabla 16 demostramos que el tiempo perdido en actividades NVA es 196 minutos sumados los 78 minutos de las necesidades del personal, la métrica nos dice que de los 440 minutos de tiempo de entrega sólo 166 minutos son de actividades de VA resultando un %VA de 37.7% respecto al tiempo de entrega, el objetivo inmediato es elevar este %VA, eliminando o reduciendo los desperdicios (actividades NVA) que han sido medidos en la tabla 17, adicionalmente en el diagrama de Pareto de la figura 75 me dice que el mayor porcentaje de los desperdicios se encuentra en el traslado del material.

Tabla 17. Desperdicios de la insonorización de semiterminados

Desperdicios encontrados en la Insonorización de semiterminados				
N°	Operaciones o Actividades NVA	Desperdicios	min	%
10	Traslado del semiterminado a la célula	Transporte	60	31%
20	Traslado del semiterminado a los racks		60	31%
30	Tomar medidas del semiterminado	Movimientos innecesarios	30	15%
40	Colocar el semiterminado en la mesa		15	8%
50	Retirar el semiterminado de la mesa		15	8%
60	Colocar el semiterminado en la mesa		15	8%
Tiempo total de actividades NVA			196	100%

Elaboración propia

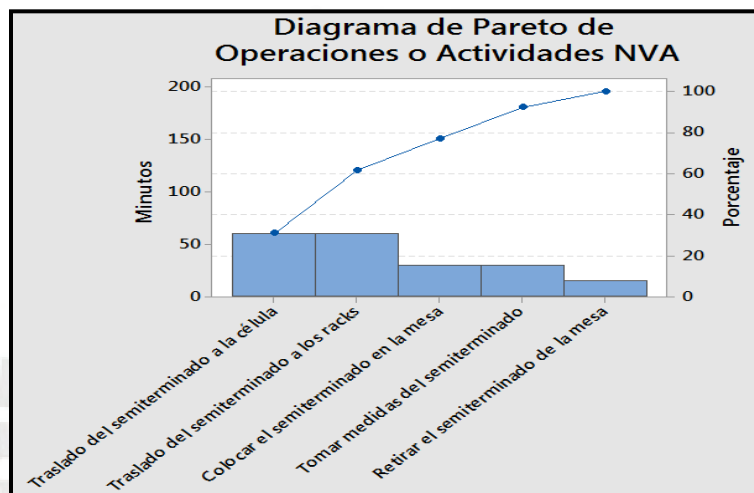


Figura 75. Diagrama de Pareto de las mudas del proceso de Insonorización
Elaboración propia

6.2.3. DMAIC - Etapa Analizar I

En esta etapa, determinaremos las causas probables de los desperdicios identificados en este proceso de insonorización como son el transporte y movimiento innecesario, para lo cual utilizaremos el diagrama causa/efecto o diagrama de Ishikawa. En la figura 76, mediante una “tormenta de ideas” diseñamos el gráfico causa/efecto dividiéndolo cinco principales categorías, estas categorías describirán las causas probables de los desperdicios antes mencionados dividiéndose en: material, personal, medio ambiente, métodos y maquinas. Recordar que en este segundo paso de la metodología TOC lo que se está buscando “explotar al máximo la restricción” que es específicamente la insonorización de semiterminados, para lo cual en la siguiente etapa del ciclo DMAIC se busca tratar de eliminar o reducir al máximo las causas que generan estos desperdicios.

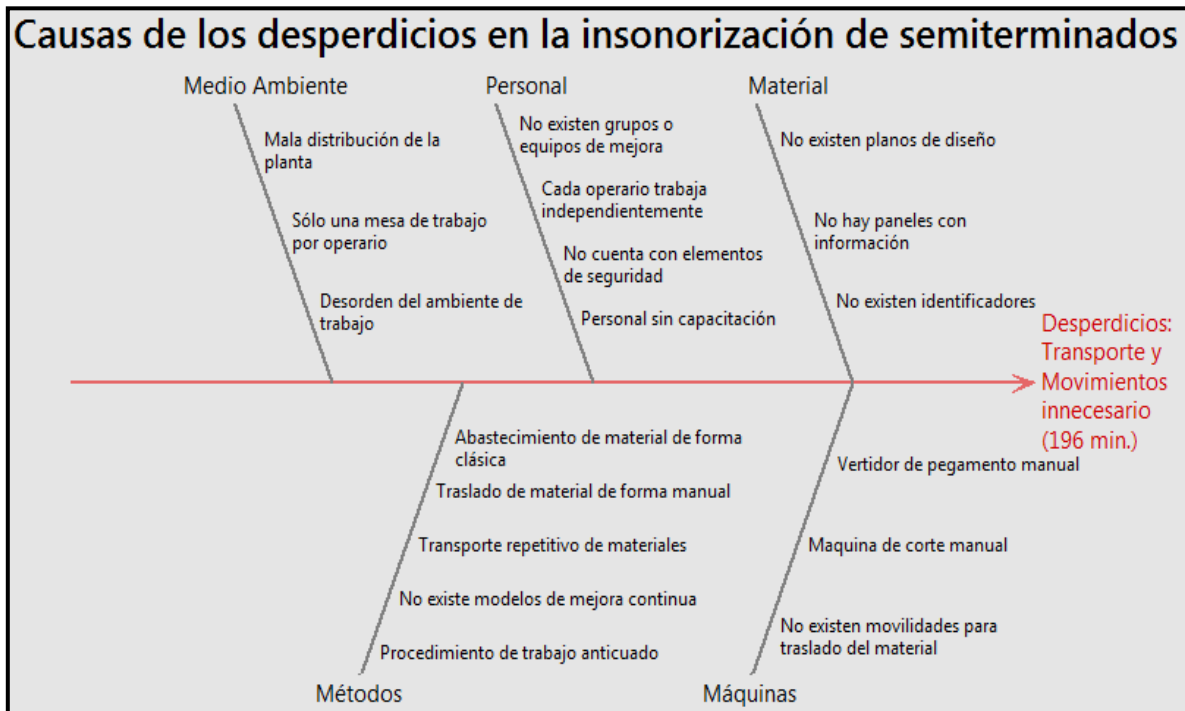


Figura 76. Diagrama de Ishikawa de los desperdicios del proceso de insonorización
Elaboración propia

6.2.4. DMAIC - Etapa Mejorar I

En esta etapa, luego de identificar las causas que generan los desperdicios que influyen en el tiempo de entrega se tratara de eliminar cada una de ellas utilizando las herramientas Lean Manufacturing en capítulo II del marco teórico.

6.2.4.1. Herramientas Lean Manufacturing I

En este tercer nivel se aplica la metodología de mejora Lean Manufacturing a cada una de causas identificadas en la etapa anterior, motivo por el cual en la tabla 18 se mencionan la aplicación de cada herramienta, donde algunas no sólo acciones de mejora sino que ayudarán a controlar que se siga aplicando la mejora en el tiempo. Por lo tanto, cada herramienta de mejora Lean será aplicado a cada uno de los desperdicios del proceso de insonorización para de esta forma reducir tiempo de actividades que no agregan valor (NVA). Una vez indicadas las acciones a realizar se procederá con la reestructuración de todo el proceso de insonorización de semiterminados, que no será otra cosa que la aplicación las herramientas Lean, que también toma en cuenta la ergonomía del operario.

Tabla 18. Mejoras a implementar en el proceso de Insonorización de semiterminados

Aplicación de las herramientas de mejora Lean Manufacturing I			
Desperdicios	Causas	Herramientas	Mejoras a implementar
Movimiento	No cuenta con elementos de seguridad	5'S	Limpiar, ordenar y clasificar todo material de acuerdo a su ubicación o flujo, mantener estas prácticas de modo que sean estándares y puedan replicarse en cualquier equipo polivalente logrando disciplina
	Desorden del ambiente de trabajo		
	No hay paneles con información	Control visual	Publicar avisos donde se especifica las operaciones y elementos necesarios.
	Sólo una mesa de trabajo por operario	Distribución física	Redistribuir las operaciones físicamente creando una célula de trabajo eficiente
Transporte	Mala distribución de la planta		
Transporte/ Movimiento	No existe modelos de mejora continua	Estandarización	Formalizar y mantener estable el flujograma para la nueva célula de fabricación, con el objetivo de lograr una alta estandarización que permita emplear operarios polivalentes.
	No existen grupos o equipos de mejora	Fabricación Celular	El proceso tradicional de insonorización deja de trabajar como un taller o centro de trabajo para convertirse en una célula de fabricación, donde se crean las estaciones de "Trazado", "Corte" y "Pegado". La célula de trabajo se encarga de capacitar a su personal con el objetivo de lograr metas comunes.
	Cada operario trabaja independientemente		
Transporte	Transporte repetitivo de materiales		
Movimiento	Personal sin capacitación	Kaizen	Cambiar herramientas de trabajo no tan costosas como una sierra eléctrica para el proceso de corte o como unos aspersores para el proceso de pegado. Crear los planos para el corte de espuma y comprar identificadores o marcadores para el rotulado de cada corte de espuma. Agregar bordes métricos (reglas) a las mesas de trazado. Desarrollar racks o plataformas móviles para el traslado de los semiterminados.
	No existen planos de diseño		
	No existen identificadores		
	Máquina de corte manual		
	Vertedor de pegamento manual		
Transporte	No existen movilidades para traslado del material	kanban	Abastecer la espuma fonoabsorbente y otros insumos del proceso por kanban.
	Traslado de material de forma manual		
	Abastecimiento de material de forma clásica	sistemas pull	Abastecer las estructuras o semiterminados mediante el sistema pull
	Procedimiento de trabajo anticuado		

Elaboración propia

Posterior a indicar las acciones a realizar, se procede con la reestructuración del proceso de insonorización, cuyo primera aplicación será el desarrollo de un flujograma adecuado para la implementación de una célula de fabricación, que se muestra en la figura 77.

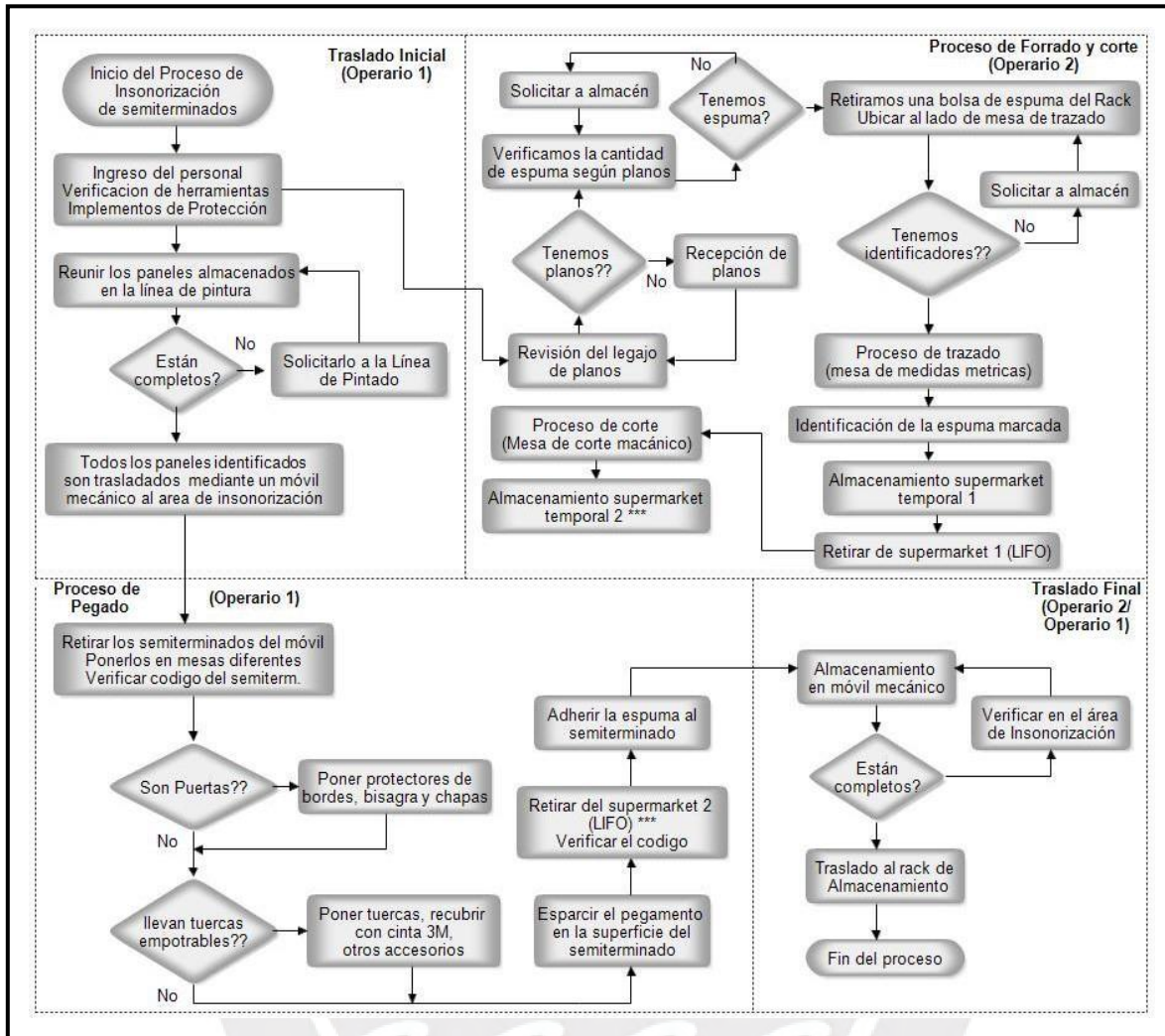


Figura 77. Diagrama de flujo del proceso de insonorización después de plantear la mejora
Elaboración propia

Luego de desarrollar el flujograma, procedemos a describir el nuevo procedimiento de insonorización de semiterminados, donde se identifican las siguientes operaciones:

- **Entrega de planos;** el área de diseño se encarga de facilitar a los operarios los planos, tal como se muestran en la figura 78, con las dimensiones exactas para realizar el trazado, estos planos permitirán que el operario “2” no tenga necesidad de ver el semiterminado para tomar medidas realizándose trabajos en paralelo, como la colocación de accesorios a estos. La misma área de diseño con ayuda un programa se debe encargarse de la iteración de las plantillas para optimizar el corte de las planchas de espuma, reduciendo mermas.

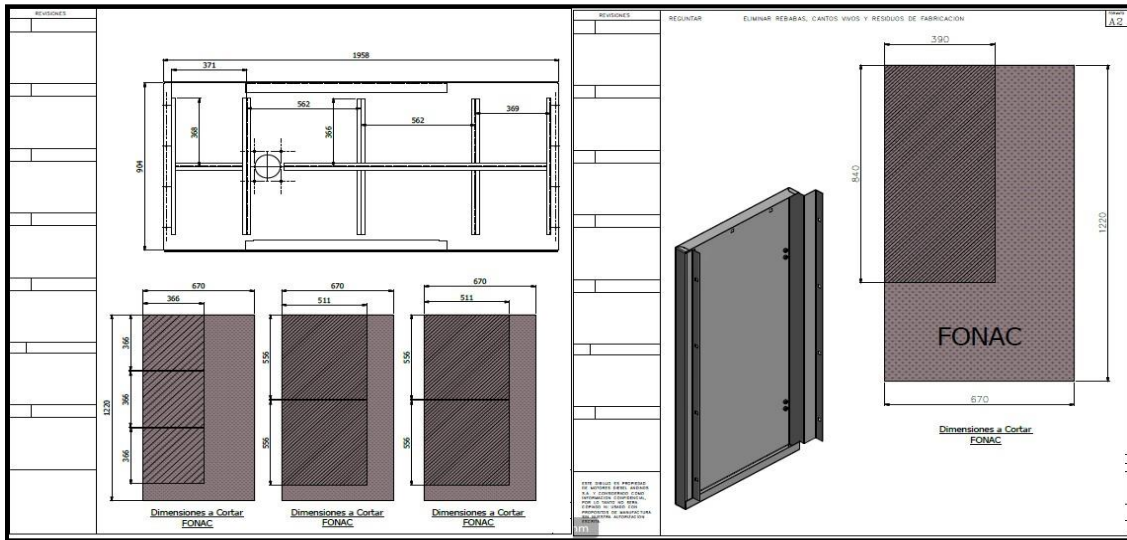


Figura 78. Planos para el corte de espuma para el techo de la cabina

Elaboración propia

- **Trazado;** la operación comenzara retirando la bolsa de espuma (planchas de 1270x670 mm²) del rack de almacenamiento, con este material, los planos y los identificadores, se inicia el proceso de trazado, utilizando los bordes de las mesas que se encuentran en cm (ver figura 79), además existe una regla de metal, luego se identifica lo elementos trazados según los códigos del plano. Todos elementos trazados e identificados se dejan apilados en un mueble llamado supermarket “1”.

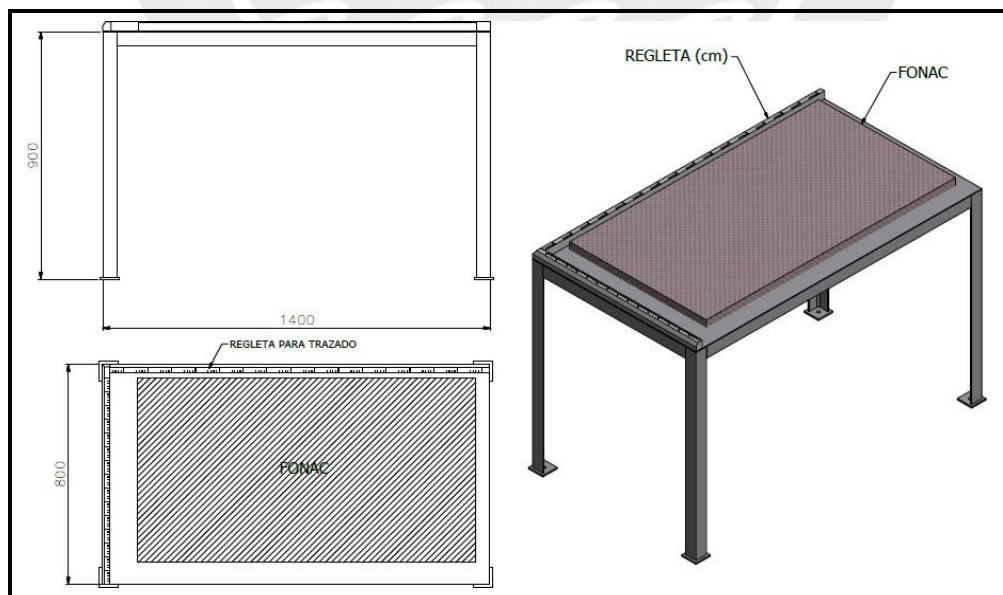


Figura 79. Mesa especial para la operación de “trazado”

Elaboración propia

- **Corte;** el mismo operario “2” que realizó el trazado ahora es encargada del corte de los elementos del supermarket temporal, retirados según LIFO, después de culminar la operación con todas las planchas almacenadas en el supermarket “1”, se almacenaran ya cortadas en un supermarket “2” sin perder su identificación. Para una mejor ergonomía del trabajador y reducir el tiempo de operación de esta estación, la mesa de corte estará implementada con una sierra automática fija, tal como se muestra en la figura 80. Para este objetivo es necesario la adquisición de guantes y mangas para protección de la sierra, de esta forma evitar el riesgo humano. Se hace hincapié que la operación de trazado y corte la realiza una sola persona debido a que los tiempos de ciclo de ambos procesos son muy cortos.

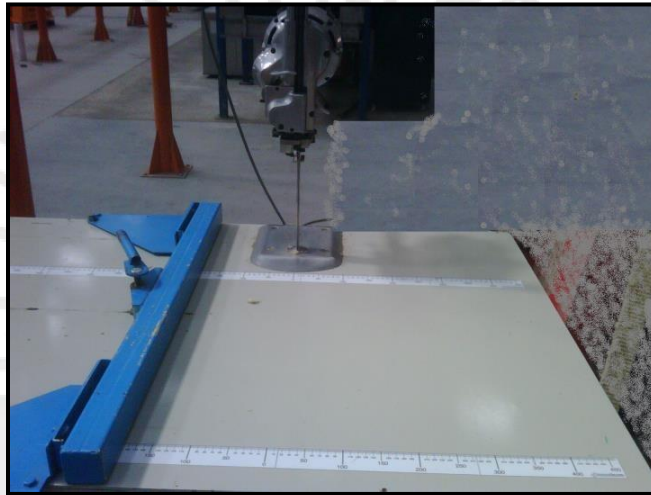


Figura 80. Mesa especial para la operación de “corte”
Elaboración propia

- **Pegado;** El operario “1” que apilo los semiterminados del área de pintura en un móvil mecánico para trasladarlos a las mesas (recubrimiento especial) de la zona de “pegado” donde se deben preparar estos para el proceso (colocar tuercas, chapas, cinta 3M, bisagras, jebe en los bordes del metal y otros accesorios), luego con la ayuda de la nueva herramienta adquirida como es el spray neumático de pegamento que facilitara su dispersión, que se muestra en la figura 81, después cogemos la espuma cortada del supermarket “2”, retirados según LIFO, para proceder a adherirla al semiterminado. Esta operación de pegado se debe ejecutar en paralelo a las operaciones de corte y trazado.



Figura 81. Mesa especial para la operación de “pegado” y aspersor de pegamento
Elaboración propia

- **Almacenamiento;** Los operarios “1” y “2” deben encargarse del almacenamiento de los semiterminados, realizaran el proceso de trasladar estos semiterminados acumulados en el móvil mecánico que se muestra en la figura 82 para proceder a almacenarlos en los racks correspondiente de acuerdo a su rango de potencia.



Figura 82. Móvil mecánico para el traslado y almacenamiento en racks
Elaboración propia

Después haber sido descritas las nuevas actividades para la reciente célula de fabricación, veremos los tiempos requeridos para el nuevo flujograma del proceso de insonorización, se muestran en el mapa de procesos de la tabla 11, tiempos que se cumplirán siempre y cuando se cuente con todo el material correctamente abastecido y las herramientas se encuentren en perfecto estado. Esta tabla muestra todas las actividades involucradas para el nuevo proceso, incluyendo las que no generan valor para el cliente, que según el actual mapa de proceso son: el transporte y el almacenamiento. Las novedades para este nuevo proceso es que tanto las operaciones de trazado y corte pueden iniciar en paralelo con las operaciones de pegado, tomando en cuenta que una etapa final del pegado se inicia cuando se culmina con las operaciones de trazado y corte.

Tabla 19. Mapa de procesos del nuevo proceso de insonorización

Proceso de Insonorización de Semiterminados							
N°	Tiempo (min)	Obs.	●	➔	■	▼	Ⓛ
Proceso de Trazado y corte (Operario 1)							
10	4	6 m			X		Revisar el legajo de planos
20	2	-			X		Revisar la cantidad de espuma necesaria en el rack
30	1	6 m		X			Llevar la espuma necesaria al lado de mesa de trabajo
40	1	-			X		Revisar si contamos identificador y material para marcar
50	36	24 plx 1.5 min	X				Realizar los trazos de corte en la superficies de la espuma
60	12	24 plx 0.5 min	X				Identificar la espuma trazada con su código correspondiente
70	4.8	24 plx 0.2 min				X	Colocar la espuma trazada en el supermarket 1
80	4.8	24 plx 0.2 min		X			Retirar la espuma del supermarket 1 a la mesa de corte
90	4.8	24 plx 0.2 min			X		Revisar que se mantiene el identificador en la espuma
100	24	24 plx 1.0 min	X				Realizar el corte de la espuma
110	4.8	24 plx 0.2 min			X		Revisar que se mantiene el identificador en la espuma
120	4.8	24 plx 0.2 min				X	Colocar la espuma cortada en el supermarket 2
130	15	49m2	X				Eliminar las mermas de la espuma, limpieza del area de trazado y corte
Proceso de Traslado Inicial y Pegado (Operario 2)							
10	33	22 semit.x1.5min	X				Reunir los semiterminados pintados almacenados en el area de pintura en el móvil
20	6	30 m		X			trasladar todos los semiterminados al área
30	33	22 semit.x1.5min	X				Retirar todos los semiterminados y ponerlos en las mesas (más de uno por mesa)
40	33	22 semit.x1.5min	X				Colocar accesorios a los semiterminados (bisagras, chapas, jebe para bordes u otros)
50	33	22 semit.x1.5min	X				Esparcir pegamento en la superficie de los semiterminados
60	12	24 plx 0.5 min		X			Retirar la espuma del supermarket 2, buscar con el codigo el semiterminado
70	12	24 plx 0.5 min	X				Adherir la espuma a los semiterminados
Proceso de Traslado final o Almacenamiento (Operario 1 y 2)							
10	22	22 semit.x1.0min		X			Retirar de las mesas y poner en el móvil los semiterminados insonorizados
20	4	-			X		Verificar que se encuentren completos según listado de planos
30	8	66 m		X			Trasladar el móvil a los racks de la línea de ensamble de insonoros
40	44	22 semit.x2.0min				X	Almacenar las semiterminados en los racks según rango de potencia

Elaboración propia

Por lo tanto agrupando las actividades (ver figura 83) se tiene el camino crítico del nuevo proceso de insonorización tiene un tiempo del total de operaciones es 240 minutos, que lo conforman el proceso de pegado y el de almacenamiento; este camino crítico redujo sus actividades NVA (transporte y almacenamiento) de 196 minutos a 92 minutos. Por lo que se redujo el tiempo total de operaciones de 362 minutos a 240 minutos; tomando en cuenta las tolerancias del personal (24%), el tiempo de entrega se redujo de 440 minutos a 300 minutos, con incremento del %VA de 37.7% a 49.3% respecto al tiempo de entrega.

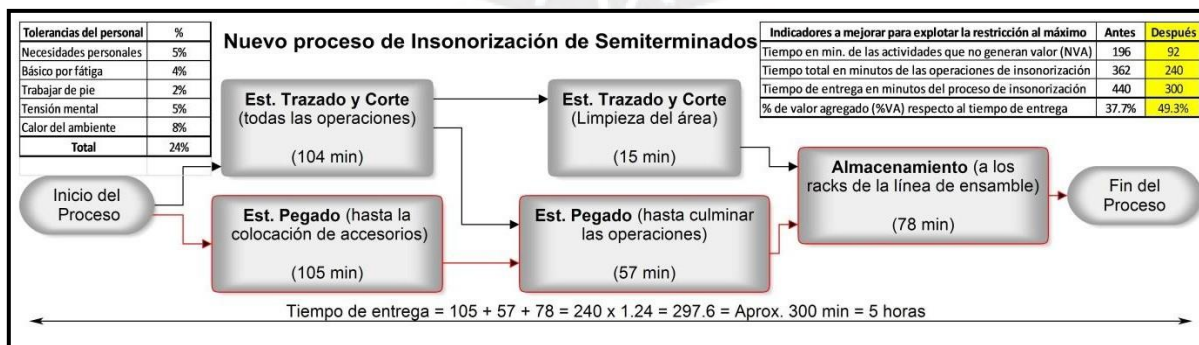


Figura 83. Camino crítica y tiempo de entrega del nuevo proceso de insonorización.

Elaboración propia

La figura 84 nos muestra cual debe ser la nueva distribución física de las operaciones de la célula de fabricación de insonorización de semiterminados, con el objetivo de reducir los desperdicios de transporte y movimiento innecesario.

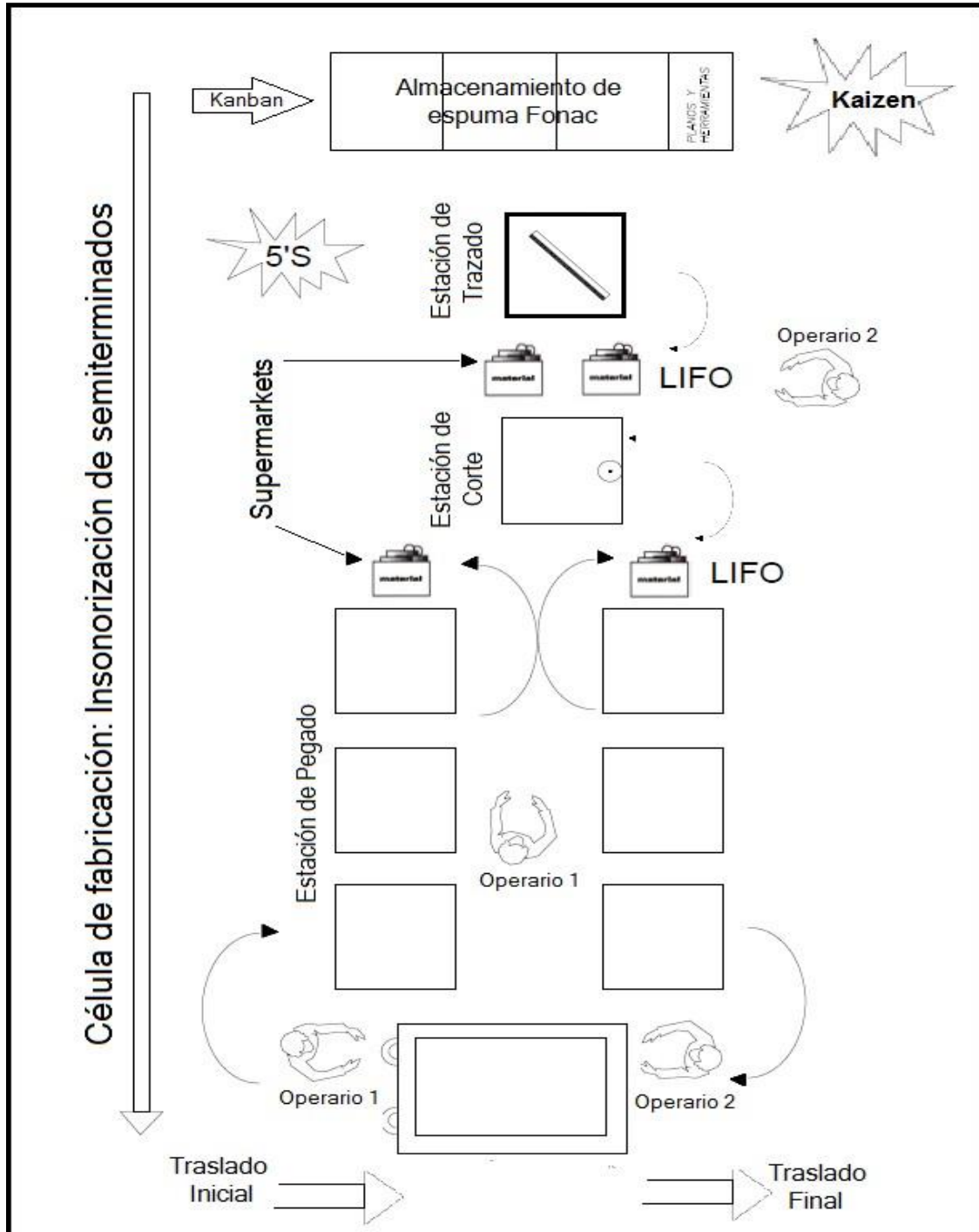


Figura 84. Distribución física de las operaciones de la célula de insonorización

Elaboración propia

La figura 85 nos muestra es el espacio planta destinado para la célula de insonorización de semiterminados. Las métricas consideradas en el mapa de proceso toman de referencia este esquema para el desarrollo del proceso de insonorización.

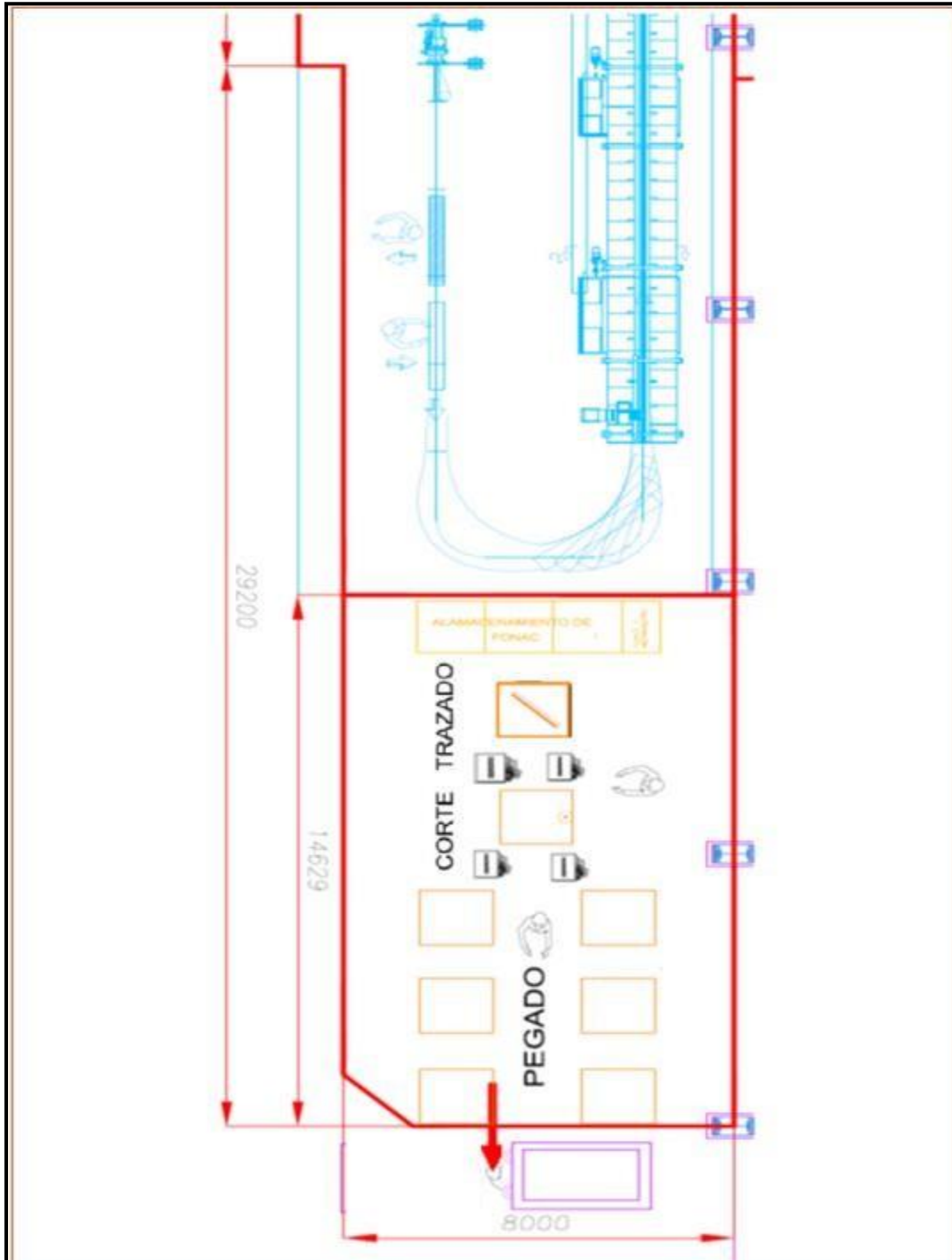


Figura 85. Distribución física de las operaciones de insonorización en la planta de GE
Elaboración propia

6.2.5. DMAIC - Etapa Controlar I

Finalizando esta etapa se cierra el primer ciclo DMAIC que se empleó para explotar al máximo la restricción de la línea de ensamble, que para el caso es la insonorización de semiterminados. Mientras que en la etapa Mejorar se aplican herramientas que permiten corregir operaciones de modo de obtener mejores indicadores, en la etapa contralar se aplican herramientas que permiten mantener estas mejoras en el tiempo, en la figura 86 se muestra la aplicación de la herramienta control visual, así como de la herramienta 5'S; el control visual nos dice en forma clara y gráfica las operaciones se realizan en la célula de insonorización, estas pueden estar en un panel de visualización, se trata de controlar que el trabajo sea estandarizado, manteniendo los tiempos de las operaciones constantes en el tiempo; la herramienta 5'S es la más importante en esta etapa ya que gracias a la disciplina formada en el operario se realiza un autocontrol del proceso tratando de mantener los parámetros constantes en el tiempo. Además, es necesario cada cierto periodo realizar auditorías a las operaciones de insonorización para ver si se encuentran variaciones en las gráficas de control, según los tiempos registrados en cada operación.



Figura 86. Herramientas de control para mantener el nuevo proceso de insonorización
Elaboración propia

6.3. TOC - Paso 3: Subordinar todo a la restricción identificada

Una vez culminado el objetivo de explotar al máximo la restricción que es el proceso de insonorización de semiterminados se obtuvo un tiempo de entrega de 300 minutos. En este paso, la metodología TOC, nos exige subordinar todo a la restricción identificada, esto involucra que todas las operaciones o actividades que se llevan a cabo en la línea de

ensamble deben subordinarse al proceso de insonorización de semiterminados. Esto se vuelve más claro cuando observamos la figura 87 que nos muestra cuales son las estaciones involucradas, sobre todo las estaciones del 1 al 5 que trabajan en paralelo al proceso de insonorización, motivo por el cual la suma de las operaciones de las estaciones del 1 al 5 debe ser menor o igual al proceso de insonorización; además se debe tener en cuenta que todas las estaciones forman parte de una línea de ensamble, por lo que los tiempos de operación de cada estación deben ser, en lo posible, iguales.

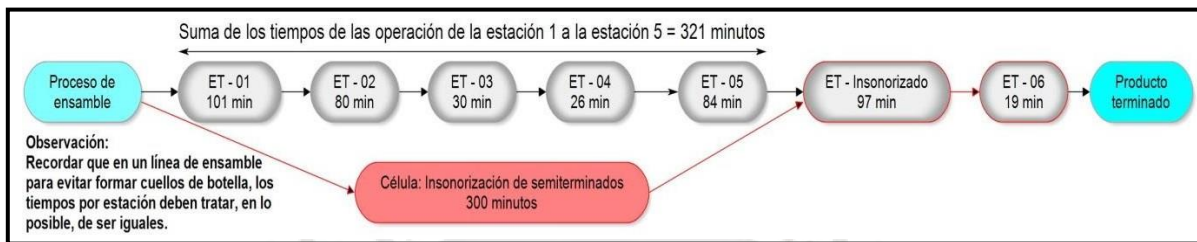


Figura 87. Estaciones que se deben subordinar al proceso de insonorización
Elaboración propia

Tomando en cuenta los conceptos del párrafo anterior, las estaciones del 1 al 5 deben sumar máximo 300 minutos por lo que el tiempo máximo de operación de cada estación será 60 minutos por estar en una línea de ensamble, tiempo que también deben adoptar la estación 6 y la estación Insonorizado, tal como se muestra en la figura 88.

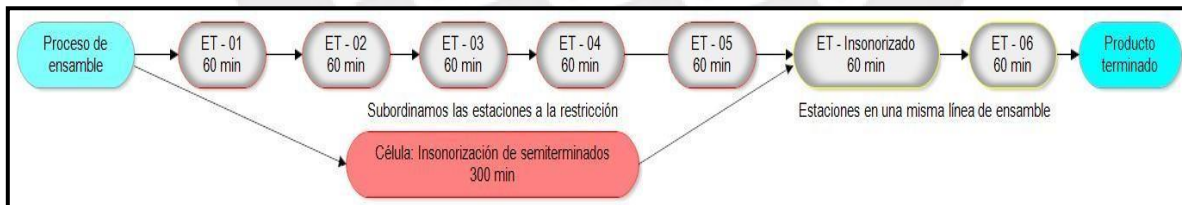


Figura 88. Tiempo máximo de operación para cada estación de trabajo.
Elaboración propia

En ese sentido, en este paso se debe de aplicar el balance de línea, debido a que las operaciones de cada estación se deben ajustar a los nuevos tiempos de operación definidos en 60 minutos (también llamado tiempo de ciclo), esto llevará a mejorar de forma integral la línea de ensamble. Para cumplir con el objetivo de subordinar toda operación o actividad a la restricción, se empleará nuevamente el formato o ciclo DMAIC, que mencionará en sus etapas conceptos de diseño y balance de líneas de ensamble.

6.3.1. DMAIC - Etapa Definir II

En esta etapa definimos cuales son las tareas o actividades de cada estación de la línea de ensamble mecánico/eléctrico que deben ser realizadas en su espacio físico correspondiente, recordando que posteriormente todas estas estaciones deben ser balanceadas según el tiempo de operación o tiempo de ciclo definido (60 minutos). Pero antes de describir las actividades de cada estación, en la figura 89 mostraremos el SIPOC de la línea de ensamble que resume todas las operaciones involucradas en esta línea.

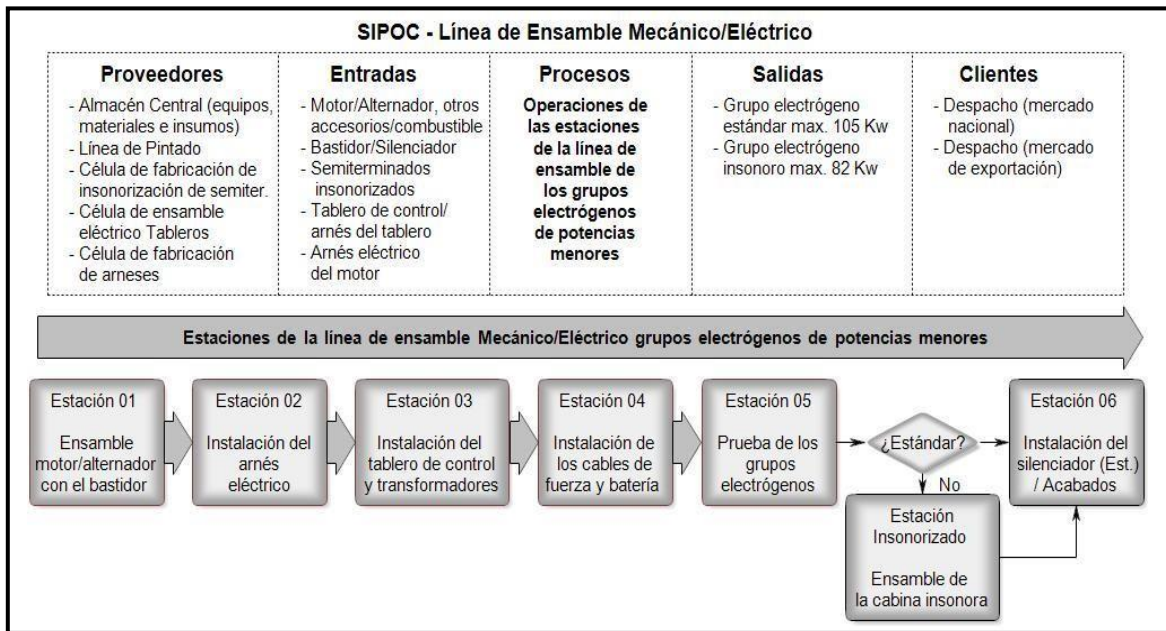


Figura 89. SIPOC de la línea de ensamble mecánico/eléctrico.

Elaboración propia

De acuerdo a lo mencionado el párrafo anterior, en la tabla 20 se proceden a describir todas las actividades por cada estación de trabajo, estaciones que forman parte de la línea de ensamble de grupos electrógenos de potencia menores. Esta etapa cumple con describir las actividades y el procedimiento para ensamble de un GE.

Tabla 20. Operaciones o actividades de cada estación de trabajo de la línea de ensamble

Operaciones de la línea de ensamble mecánica/eléctrica de grupos electrógenos de potencias menores						
Est.	Operación	Descripción de la actividad	Est.	Operación	Descripción de la actividad	
ET-01	Preparación del motor	Retirar empaque del motor	ET-03	Instalación del tablero de control	Instalar las tapas de la caja de borneras	
		Retirar pernos de la parihuela			Sobreponer tablero de control en el bastidor	
		Realizar limpieza del preservante de fabrica			Colocar soporte de ITM	
	Preparación del alternador	Retirar empaque del alternador			Colocar ITM en el tablero de control	
		Retirar pernos de la parihuela			Instalar aisladores	
		Retirar los pernos de los seguros para la protección del disco			Instalar terminales en el ITM	
		Retirar rejillas del alternador			Instalación de transformadores	Ensamblar los transformadores
		Retirar tapas de la caja de las borneras de alternador				Colocar transformadores sobre el soporte
	Realizar limpieza del preservante de fabrica	Instalar en caja de borneras del alternador				
	Preparación del bastidor	Instalar pernos en el móvil del bastidor			ET-04	Instalación de batería
		Limpiar el bastidor	Ensamblar el travesaño			
	Posicionamiento del bastidor	Limpiar oxido bastidor/ poner empaquetadura	Instalar cables de fuerza			
		Posicionar el móvil sobre los rieles	Instalar cables de tierra			
	Instalación de amortiguadores	Sobreponer el bastidor sobre el móvil	Operaciones previas	Llenado de agua		
		Instalar amortiguadores sobre los travesaños del bastidor		Llenado de aceite		
	Acoplar motor al bastidor	Instalar amortiguadores en el bastidor	Conectar cables al banco de prueba	Llenado de combustible		
		Sujetar los hierros de levante con el motor		Conectar los cables de carga en el ITM		
		Izar el motor	Instalar tubo de escape	Colocar el tubo de escape		
	Sobreponer el motor sobre los amortiguadores	Conectar pc				
	Instalar los pernos	Configurar módulo de control				
	Acoplar alternador al bastidor	Sujetar los hierros de levante con el alternador	ET-05	Realizar pruebas del grupo	Prueba de grupo	
		Izar el alternador			Desconexión de cables de fuerza	
	Sobreponer el alternador sobre los amortiguadores	Desconexión de cables del banco de prueba			Retirar tubo de escape	
	Colocar pernos guía y dar torque		Limpieza y emisión de certificados	Limpiar grupo electrógeno		
Centrar el acople	Emitir certificado de prueba					
Retirar los hierros de levante	Operaciones finales	Colocar y ajustar la tapa de la caja de la bornera del alternador				
Instalar y dar torque a los pernos de acople		Instalar componentes sueltos: manuales herramientas, repuestos.				
Inspección de acople	Ensamble del sistema de combustible	ET-06	Embalaje	Colocar etiquetas		
				Dar torque a todos los pernos de fijación al bastidor	Colocar placa de identificación	
Retirar tapones e instalar los conectores de cobre				Etiquetar los instrumentos		
ET-02	Instalación de sensores	ET-06	Embalaje	Forrado con tecnopor		
				Instalar el sensor de temperatura de agua	Forrado con plástico	
				Instalar el conector del sensor de temperatura de agua	Instalar tacos de madera	
	Instalación de arnés eléctrico	Instalar el sensor de presión	Est. de ensamble de cabina insonora	Instalar paneles y conectores de drenaje (radiador y cárter del motor)	Instalar paneles laterales de radiador, deflector y conectores de drenaje	
		Instalar el tubo corrugado al arnés de tablero			Instalar panel posterior	
		Sujetar con cintillos el arnés al motor			Instalar techo	
		Habilitar alimentación del polo negativo para transformadores			Instalar panel frontal	
		Conectar el arnés al arrancador, alternador y sensores			Instalar silenciador y tubo de escape	
		Habilitar la conexión a tierra en la caja de borneras alternador			Instalar tope de puertas	
		Instalar conectores de arnés de tablero al motor			Instalar puertas	

Elaboración propia

6.3.2. DMAIC - Etapa Medir II

En la etapa medir, se registran los tiempos recogidos de las operaciones definidas en la etapa anterior. Se toman diferentes muestras tomando en cuenta un operario por estación, inclusive indicando si tomaron en el espacio físico correspondiente de la estación; se indican los tiempos por actividades, consecuentemente tiempos por operación de cada estación de la línea de ensamble de grupos electrógenos de potencias menores. En la tabla 21 y tabla 22 se muestran los tiempos recopilados de las operaciones o actividades de las estación 4 y la estación 2, respectivamente.

Tabla 21. Tiempo de las operaciones de la estación 4 de la línea de ensamble

Est.	Operación	Descripción de la actividad	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Media		
Operaciones de la Estación 04 / Perkins - 10 Kw Estándar			Espacio físico	min	seg	min	seg	min	seg	21.5 min	1291 seg
ET-04	Instalación de batería	Ensamblar el soporte de batería	ET-04	2.2	130	2.1	124	1.8	107	2.0	120
		sobreponer la batería	ET-04	0.6	37	0.5	28	0.5	31	0.5	32
		Ensamblar el travesaño	ET-04	1.5	89	1.8	108	1.6	94	1.6	97
		Ensamblar los cables de batería	ET-04	1.2	74	1.6	95	1.5	89	1.4	86
	Instalar cables de fuerza	Instalar los cables de fuerza	ET-04	9.6	577	10.1	604	9.9	594	9.9	592
	Instalar cables de tierra	Retirar pintura de bastidor	ET-02	2.8	165	2.3	140	1.8	110	2.3	138
Instalar el cable de tierra		ET-02	4.2	250	3.2	190	3.9	236	3.8	225	
Operaciones de la Estación 04 / Perkins - 45 Kw Estándar			Espacio físico	min	seg	min	seg			28.5 min	1738 seg
ET-04	Instalación de batería	Ensamblar el soporte de batería	ET-04	2.6	156	2.9	176			2.9	166
		sobreponer la batería	ET-04	4.5	268	4.4	262			4.4	265
		Ensamblar el travesaño	ET-04	3.3	196	3.3	199			3.3	198
		Ensamblar los cables de batería	ET-04	1.1	64	1.6	94			1.6	79
	Instalar cables de fuerza	Instalar membrana de jebe	ET-03	2.0	117	2.0	121			2.0	119
		Instalar los cables de fuerza	ET-03	9.4	565	8.7	521			8.7	543
	Instalar cables de tierra	Retirar pintura de bastidor	ET-02	2.7	159	2.1	127			2.1	143
		Instalar el cable de tierra	ET-02	4.1	243	3.5	208			3.5	226
Operaciones de la Estación 04 / Perkins - 82 Kw Insonoro			Espacio físico	min	seg					23.9 min	1431 seg
ET-04	Instalación de batería	Ensamblar el soporte de batería	ET-04	2.8	170					2.8	170
		sobreponer la batería	ET-04	1.1	65					1.1	65
		Ensamblar el travesaño	ET-04	1.2	70					1.2	70
		Ensamblar los cables de batería	ET-04	2.1	127					2.1	127
	Instalar cables de fuerza	Instalar los cables de fuerza	ET-03	9.4	561					9.4	561
		Retirar pintura de bastidor	ET-02	3.0	177					3.0	177
	Instalar cables de tierra	Instalar el cable de tierra	ET-02	4.4	261					4.4	261

Elaboración propia

Tabla 22. Tiempo de las operaciones de la estación 2 de la línea de ensamble

Est.	Operación	Descripción de la actividad	Muestra 1			Muestra 2		Muestra 3		Media	
			Espacio físico	min	seg	min	seg	min	seg	77.8 min	4670 seg
Operaciones de la Estación 02 / modelo Perkins - 10 Kw Estándar											
ET-02	Instalación de sensores	Instalar el sensor de temperatura de agua	ET-02	2.4	145	2.1	123	3.1	185	2.5	151
		Instalar el conector del sensor de temperatura de agua	ET-02	0.9	55	0.8	48	1.2	69	1.0	57
		Instalar el sensor de presión	ET-02	2.3	135	2.4	142	2.7	161	2.4	146
	Instalación de arnés eléctrico	Instalar el tubo corrugado al arnés de tablero	ET-03	2.7	159	2.3	135	3.3	197	2.7	164
		Sujetar con cintillos el arnés al motor	ET-03	4.5	272	4.9	295	4.0	238	4.5	268
		Habilitar alimentación del polo negativo para transformadores	ET-03	21.0	1260	20.0	1200	17.8	1069	19.6	1176
		Conectar el arnés al arrancador, alternador y sensores	ET-03	32.3	1937	30.0	1800	25.6	1535	29.3	1757
		Habilitar la conexión a tierra en la caja de borneras alternador	ET-03	7.5	451	7.0	420	6.9	411	7.1	427
Instalar conectores de arnés de tablero al motor	ET-03	8.9	532	8.0	480	9.3	557	8.7	523		
Operaciones de la Estación 02 / modelo Perkins - 45 Kw Estándar											
ET-02	Instalación de sensores	Instalar el sensor de temperatura de agua	ET-02	2.7	159	2.0	117			2.3	138
		Instalar el conector del sensor de temperatura de agua	ET-02	1.3	80	0.6	34			1.0	57
		Instalar el sensor de presión	ET-02	2.1	125	2.2	131			2.1	128
	Instalación de arnés eléctrico	Instalar el tubo corrugado al arnés de tablero	ET-03	2.7	159	2.5	147			2.6	153
		Sujetar con cintillos el arnés al motor	ET-03	4.7	282	5.8	350			5.3	316
		Habilitar alimentación del polo negativo para transformadores	ET-03	21.1	1264	20.3	1215			20.7	1240
		Conectar el arnés al arrancador, alternador y sensores	ET-03	32.6	1954	29.7	1783			31.1	1869
		Habilitar la conexión a tierra en la caja de borneras alternador	ET-03	7.6	454	7.2	430			7.4	442
Instalar conectores de arnés de tablero al motor	ET-03	8.8	530	8.0	481			8.4	506		
Operaciones de la Estación 02 / modelo Perkins - 82 Kw Insonoro											
ET-02	Instalación de sensores	Instalar el sensor de temperatura de agua	ET-02	2.8	169					2.8	169
		Instalar el conector del sensor de temperatura de agua	ET-02	1.2	72					1.2	72
		Instalar el sensor de presión	ET-02	2.4	146					2.4	146
	Instalación de arnés eléctrico	Instalar el tubo corrugado al arnés de tablero	ET-03	3.0	181					3.0	181
		Sujetar con cintillos el arnés al motor	ET-03	4.7	283					4.7	283
		Habilitar alimentación del polo negativo para transformadores	ET-03	19.1	1146					19.1	1146
		Conectar el arnés al arrancador, alternador y sensores	ET-03	33.1	1987					33.1	1987
		Habilitar la conexión a tierra en la caja de borneras alternador	ET-03	6.6	394					6.6	394
Instalar conectores de arnés de tablero al motor	ET-03	9.4	565					9.4	565		

Elaboración propia

Luego de detallar las actividades de la estación 4 y la estación 2, se presenta la tabla 23 que resume los tiempos de las operaciones de las estaciones de la línea de ensamble. Finalmente, la tabla 24 nos muestra los tiempos de operación promedio por estación.

Tabla 23. Tiempo de las operaciones de las estaciones de la línea de ensamble

Estación 01				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Preparación del bastidor	6.90	6.70	6.70	6.77
Preparación del motor	5.20	4.10	4.80	4.70
Preparación del alternador	9.80	10.40	11.00	10.40
Posicionamiento del bastidor	4.20	3.70	3.70	3.87
Instalación de amortiguadores	4.90	11.00	9.20	8.37
Acoplar motor al bastidor	3.80	3.60	4.50	3.97
Acoplar alternador al bastidor	2.40	2.20	2.90	2.50
Acoplar motor/alternador	31.70	32.00	33.60	32.43
Inspección de acople	6.30	6.20	6.00	6.17
Ensamble del sistema de combustible	21.40	20.10	22.50	21.33
Total Estación 01	96.60	100.00	104.90	100.50

Estación 02				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Instalación de sensores	5.90	5.40	6.50	5.93
Instalación de arnés eléctrico	71.90	75.40	75.90	74.40
Total Estación 02	77.80	80.80	82.40	80.33

Estación 03				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Instalación del tablero de control	21.40	20.60	19.00	20.33
Instalación de transformadores	10.80	10.50	10.70	10.67
Total Estación 03	32.20	31.10	29.70	31.00

Estación 04				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Instalación de batería	5.60	11.80	7.20	8.20
Instalar cables de fuerza	9.90	11.00	9.40	10.10
Instalar cables de tierra	6.10	6.10	7.30	6.50
Total Estación 04	21.60	28.90	23.90	24.80

Estación Insonorizado - Ensamble de cabina				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Instalar paneles y conectores	-	-	55.20	55.20
Instalar silenciador	-	-	9.00	9.00
Instalar puertas	-	-	32.60	32.60
Total Estación Insonorizado	-	-	96.80	96.80

Estación 05				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Operaciones previas	12.00	11.70	15.50	13.07
Conectar cables al banco de prueba	3.80	3.90	4.20	3.97
Instalar tubo de escape	1.30	1.50	1.40	1.40
Realizar pruebas del grupo	50.30	50.10	50.90	50.43
Desconexión de cables del banco de prueba	5.90	5.80	6.00	5.90
Limpieza y emisión de certificados	8.10	8.30	7.90	8.10
Total Estación 05	81.40	81.30	85.90	82.87

Estación 06				
Operación	Tiempos (min)			Promedio
	P-10	P-45	P-82 I	
Instalar silenciador	3.10	5.90	-	4.50
Operaciones finales	9.40	10.40	8.20	9.33
Embalaje	4.40	4.20	9.20	5.93
Total Estación 06	16.90	20.50	17.40	18.27

Elaboración propia

Tabla 24. Tiempos promedio de las estaciones de la línea de ensamble

Estaciones	P-10	P-45	P-82I	Promedio
Estación 01	96.60	100.00	104.90	100.50
Estación 02	77.80	80.80	82.40	80.33
Estación 03	32.20	31.10	29.70	31.00
Estación 04	21.60	28.90	23.90	24.80
Estación 05	81.40	81.30	85.90	82.87
Estación Insonorizado	-	-	96.80	96.80
Estación 06	16.90	20.50	17.40	18.27
Minutos total del operario	326.50	342.60	441.00	434.57

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos de la tabla 24, se deduce que existen largos tiempo de espera para pasar de una estación a otra ya que los tiempos de operación de cada estación difieren en gran proporción, provocando excesivos tiempos muertos. La figura 90 muestra las gráficas de control de los productos P-10, P-45 y P-82I, estas graficas revelan que la desviación estándar respecto a la media es demasiada alta, es decir, no existe uniformidad en los tiempos de operación de cada estación, motivo por el cual se observa descontrol del tiempo promedio de operación de cada estación. Una razón más que demuestra que es necesario balancear la línea de ensamble, para posteriormente estandarizar los procesos; los tiempos de operación de cada estación deben ajustarse al tiempo de ciclo objetivo de 60 minutos, que hasta el momento ninguna estación cumple.

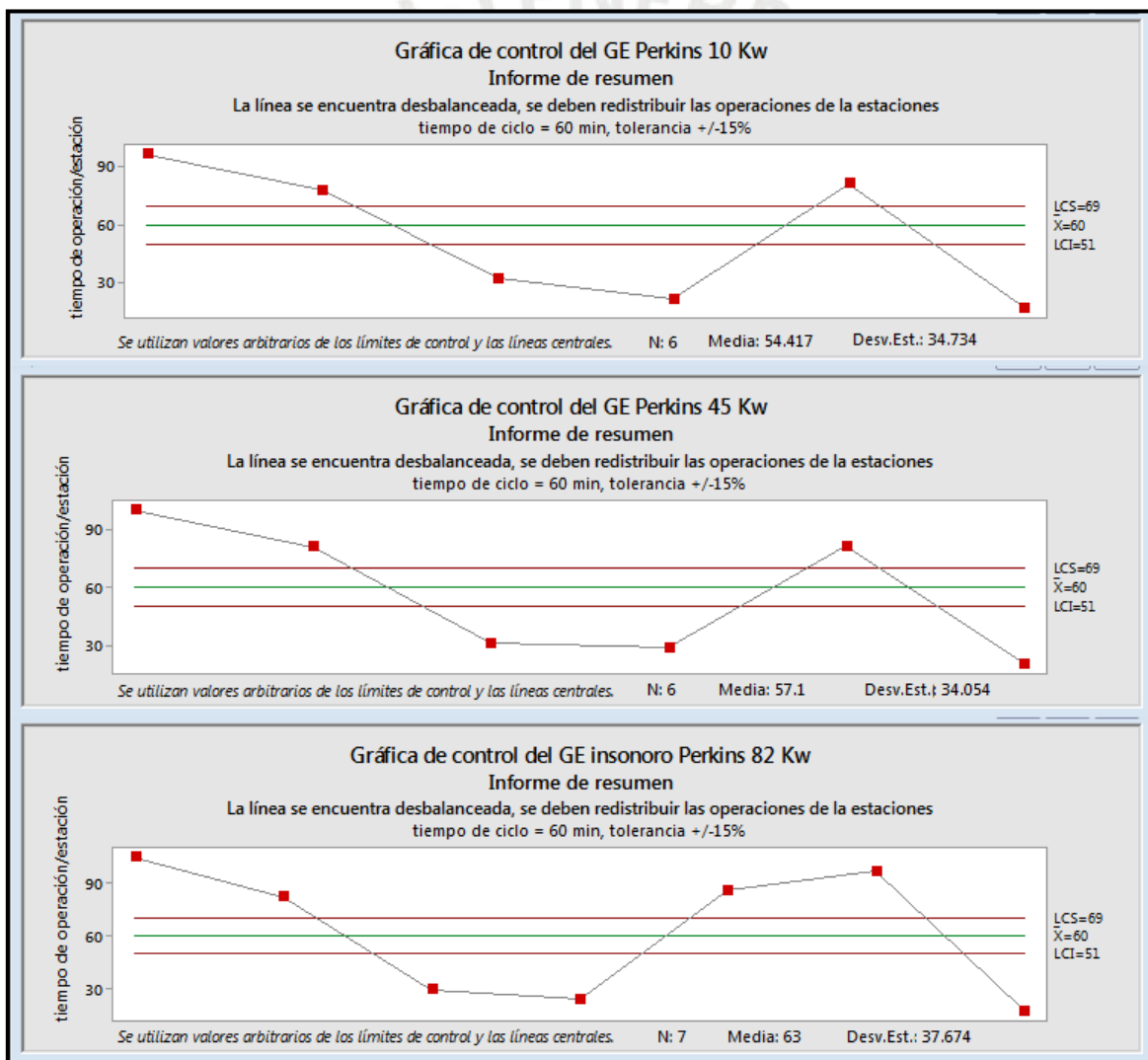


Figura 90. Graficas de control de los tiempos de operación de cada estación.

Elaboración propia

6.3.3. DMAIC - Etapa Analizar II

En esta etapa se recuerda conceptos del marco teórico que indicaban que una de las desventajas de las líneas de ensamble es que cuando se detiene el proceso en cualquier parte se detiene toda la operación, viéndose esto reflejado en los tiempos de entrega del producto. Entonces según los datos obtenidos en las tablas anteriores, se observan excesivos tiempos de operación de algunas estaciones que hacen detener el tiempo de operación de las demás estaciones ya que se encuentran en la misma línea. Estos retrasos en operaciones sucesivas posiblemente ocasionadas por los desperdicios (mudas) de tiempo de espera, movimientos innecesarios, sobreprocesamiento e inventario, además de presentar variabilidad (mura) y sobrecarga (muri) en cada estación, generan una línea desbalanceada y por lo tanto ineficiente. Utilizando los conceptos del marco teórico sobre diseño líneas de ensamble, se trata de analizar en cuales de los tres puntos, mencionados a continuación, se debe mejorar en la siguiente etapa.

- **Primero, capacidad de la línea;** tomando un tiempo de ciclo arbitrariamente de 60 minutos, debido a que nuestra restricción lo impone, obtenemos un máximo de 9 grupos por día, no siendo este resultado una limitante para nuestra producción.
- **Segundo, es correcta la secuencia y distribución de operaciones;** es aquí donde debemos actuar y redistribuir ciertas operaciones a las estaciones con holgura, se debe redefinir las operaciones de cada estación de la línea de ensamble. Este es uno de los puntos que se debe mejorar en la siguiente etapa.
- **Tercero, la eficiencia de la línea;** una desviación estándar alta revela que existe ineficiencia en la línea, los resultados de la tabla 25, muestran que la línea tiene una eficiencia de 62%, es decir, casi el 38% del tiempo de línea es de inactividad (se paga por no hacer nada). La eficiencia se debe mejorar en la siguiente etapa.

Tabla 25. Eficiencia de la línea de ensamble

Estaciones	P-10	P-45	P-82I	Promedio
Estación 01	96.60	100.00	104.90	100.50
Estación 02	77.80	80.80	82.40	80.33
Estación 03	32.20	31.10	29.70	31.00
Estación 04	21.60	28.90	23.90	24.80
Estación 05	81.40	81.30	85.90	82.87
Estación Insonorizado	-	-	96.80	96.80
Estación 06	16.90	20.50	17.40	18.27
Minutos total del operario	326.50	342.60	441.00	434.57
Eficiencia de línea de ensamble	56%	57%	60%	62%

Elaboración propia


6.3.4. DMAIC - Etapa Mejorar II

Esta etapa inicia con el desarrollo del balance de la línea de ensamble, para la cual se emplea seis conceptos básicos explicados en el marco teórico del capítulo I.

➤ **Definir actividades elementales.**

Debido a este concepto se verifica que todas las actividades son realmente necesarias, por lo tanto se procede a identificar cuáles son estas actividades que no formarán parte de la línea de ensamble y por ende del balance de línea, estas se mencionan en la tabla 26.

Tabla 26. Actividades que no deben formar parte de la línea de ensamble

Nombre	Operación	Descripción de la actividad	
Célula de preparación del motor / del alternador	Preparación del móvil	Identificación del móvil para GE a ensamblar	
		Almacenamiento del móvil en esta zona	
	Preparación del motor	Retirar empaque del motor	
		Retirar pernos de la parihuela	
		Desoxidar y limpiar (pintar de ser necesario)	
		Otras particulares (regular bomba de inyección, instalar gobernador calentadores de agua, calentador de aceite, etc)	
	Preparación del alternador	Retirar empaque del alternador	
		Retirar pernos de la parihuela	
		Retirar los pernos de los seguros para la protección del disco	
		Retirar tapas de la caja de las borneras de alternador	
		Enviar tapas caja de borneras de alternador a estructuras	
		Desoxidar y limpiar (pintar de ser necesario)	
		Cambiar posición AVR (si el GE es insonoro)	
		Perforar agujeros para soporte de trafo, pulir y pintar	
		Otras particulares (instalar resistencia deshumecedora, sistema de excitación-PMG, supresor de radiofrecuencia, etc)	
		Solución: Se debe crear esta célula de trabajo independiente a la línea de ensamble, otorgándole un espacio físico fuera de esta. Esta célula, al igual que en el caso de arneses y ensamble eléctrico de los tableros trabajará en paralelo a la línea de fabricación metal/mecánica.	

Elaboración propia

➤ **Identificar los requerimientos de la precedencia.**

Este concepto nos dice que de todas las actividades que forman parte de la línea de ensamble se debe realizar un diagrama de precedencia que nos indique cual debe ser la secuencia correcta; pero se hace notar que sólo se dará a conocer la secuencia de las operaciones más no indicar a que estaciones pertenecen. En la tabla 27, se muestra todas actividades que forman parte de la línea de ensamble, a cada una de estas se les asigna letras de abecedario, para que posteriormente la figura 91 se realice el diagrama de precedencia usando las letras asignadas, tanto para grupos electrógenos estándares como para grupos electrógenos insonoros.

Tabla 27. Resumen de las operaciones de la línea de ensamble

Operaciones	Indice	Operaciones	Indice
Posicionamiento del bastidor al móvil	A	Instalar cables de tierra	M
Preparación del bastidor	B	Abastecimiento de combustibles al GE	N
Instalación de amortiguadores en el bastidor	C	Conectar cables al banco de prueba	O
Acople motor/alternador al bastidor	D	Instalar tubo de escape	P
Inspección de acople	E	Realizar pruebas del grupo	Q
Ensamble del sistema de combustible	F	Desconexión de cables del banco de prueba	R
Instalación de sensores en el motor	G	Limpieza/emisión de certificados de sala de pruebas	S
Instalación de integral arnés eléctrico	H	Instalar silenciador y accesorios (GE estándar)	T
Instalación del tablero de control/ITM	I	Instalar tapas de alternador e ITM, etiquetas, placa y componentes sueltos	U
Instalación de transformadores en el alternador	J	Plastificado del GE	V
Instalación de la batería	K	Instalar paneles y conectores de drenaje (GE insonoro)	W
Instalar cables de fuerza	L	Instalar Sistema de escape de la cabina (GE insonoro)	X
		Instalar puertas de la cabina (GE insonoro)	Y

Elaboración propia

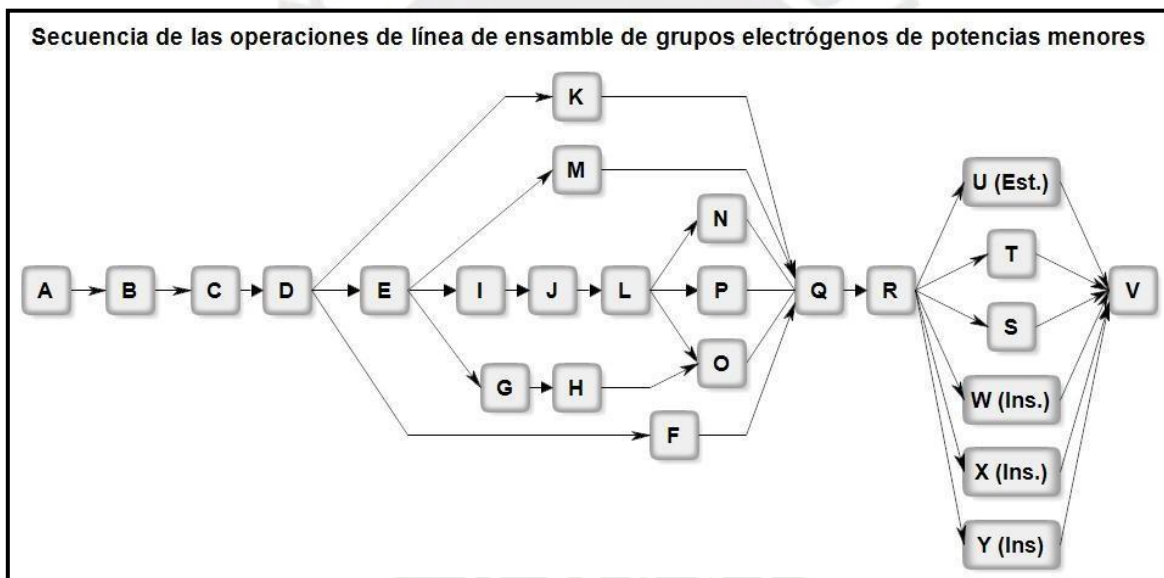


Figura 91. Diagrama de precedencia para las operaciones de la línea de ensamble

Elaboración propia

- **Calcular el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias.**

Para conseguir este objetivo se utiliza la ecuación alternativa, mencionada en el capítulo I del marco teórico, se procede hallar el número de estaciones de una línea de ensamble. Los resultados de la tabla 28 nos dice que deben ser 6 estaciones como mínimo para GE estándares y 7 estaciones como mínimo para GE insonoros.

Tabla 28. Número de estaciones de la línea de ensamble

Grupo eléctrico estándar (abierto)		Grupo eléctrico insonoro	
Tiempo total de todas las operaciones	342.6 min	Tiempo total de todas las operaciones	441.0 min
Tiempo de ciclo	60 min	Tiempo de ciclo	60 min
Número de estaciones de trabajo	5.71	Número de estaciones de trabajo	7.35
Para GE estándares se necesita mínimo 6 estaciones		Para GE insonoros se necesita mínimo 7 estaciones	

Elaboración propia

- **Aplicar una heurística de asignación para especificar el contenido de trabajo de cada estación.**

Este concepto trata de utilizar los datos antes obtenidos como el número de estaciones y diagrama de precedencia para proceder a redistribuir las operaciones en cada estación. Este método heurístico es intuitivo, se toman en cuenta diferentes parámetros como las limitaciones físicas del área: caso del espacio físico de la estación 1 que existen herramientas y acondicionamientos sólo para ensambles mecánicos y no eléctricos, caso del espacio físico designado para las pruebas del GE (sala de pruebas) que tiene los surtidores de petróleo, aceite, refrigerante en el mismo lugar y está adaptado para todas las operaciones relacionadas a pruebas; también se considera que existen operaciones que pueden ser divididas para una mejor distribución: caso de la operación K que tiene ensamble mecánico y eléctrico, caso de la operación Q que necesita configuración y prueba en sí, caso de la operación W que la instalación de drenajes se puede realizar de forma independiente al ensamble de paneles; caso de la operación H donde se puede separar la conexión del arnés motor con la del arnés del tablero. Por último se consideran operaciones que han sido obviadas pero son totalmente necesarias: la fabricación de los cables de fuerza (no existe una fábrica de estos); operaciones adicionales de acabados como: cambio del tubo, soporte y protector del filtro de aire; colocación de cintas de protección al controlador de voltaje (AVR) y tapa del alternador; cambio mangueras de desfogue. Todas estas consideraciones servirán para ponderar los tiempos de operación de las estaciones, de modo de lograr una posible solución, no garantizando que sea una solución final, pero sí la mejor al momento. En la tabla 29 se indica la asignación de operaciones para cada estación, redistribuyendo las actividades, tomando en cuenta todas las mejoras que se pueden obtener con la redistribución de estas.

Tabla 29. Asignación de operaciones a cada estación de la línea de ensamble

Estación	Índice	Operaciones	Estación	Índice	Operaciones
01	A	Posicionamiento del bastidor al móvil	05	N	Abastecimiento de combustibles al GE
	B	Preparación del bastidor		O	Conectar cables al banco de prueba
	C	Instalación de amortiguadores en el bastidor		P	Instalar tubo de escape
	D	Acople motor/alternador al bastidor		Q1	Realizar programación del módulo de control
	E	Inspección de acople		Q2	Realizar pruebas del grupo electrógeno
	F	Ensamble del sistema de combustible		R	Desconexión de cables del banco de prueba
	K1	Instalación del soporte de batería en el bastidor		S	Limpieza y emisión de certificados
02	G	Instalación de sensores en el motor	Insonorizado	W1	Instalar paneles (GE insonoro)
	H1	Instalación de arnés eléctrico en el motor		X	Instalar Sistema de escape de la cabina (GE insonoro)
	W2	Instalación de conectores de drenajes para el radiador y cárter del motor (GE insonoro)		Y	Instalar puertas de la cabina (GE insonoro)
03	I	Instalación del tablero de control/ITM	06	T	Instalar silenciador y accesorios (GE estándar)
	J	Instalación de transformadores en el alternador		U	Instalar tapas de alternador e ITM, etiquetas, placa y componentes sueltos
	H1	Instalación de arnés eléctrico del tablero			Cambiar del tubo, soporte y protector del filtro de aire; colocar cintas de protección; cambiar mangueras de desfogue
	M	Instalar cables de tierra		V	Plastificado del GE
04	K2	Instalar batería y cables de batería			
	L	Instalar cables de fuerza			

Elaboración propia

Luego de haber redistribuido las operaciones o actividades de cada estación, eliminando o agregando estas donde han sido requeridas, se procede a tomar nuevas muestras de la reciente distribución de operaciones para validar que la solución haya sido acertada. Para tomar las muestras (registro de tiempos) se desarrollan diagramas de operaciones que indican los procedimientos y actividades de cada estación, identificando cuales actividades son de operación, transporte o inspección, tal como se realizó en las muestras iniciales se considera que sólo un operario realiza todas las actividades de la estación de trabajo. La figura 92 muestra el diagrama de operaciones (DOP) de la estación 1 (ET-01), cuales operaciones principales se resumen en el ensamble motor/alternador/bastidor, instalación del sistema de combustible y la instalación del soporte de batería, siendo el tiempo total de las operaciones 86.8 minutos. Mientras que la figura 93 muestra el diagrama de operaciones (DOP) de la estación 3 (ET-03), cuales operaciones principales se resumen en la instalación del tablero de control / Interruptor termo-magnético (ITM), la instalación de transformadores (trafos)/arnés eléctrico y la instalación de cables de tierra, siendo el tiempo total de las operaciones 50.3 minutos.

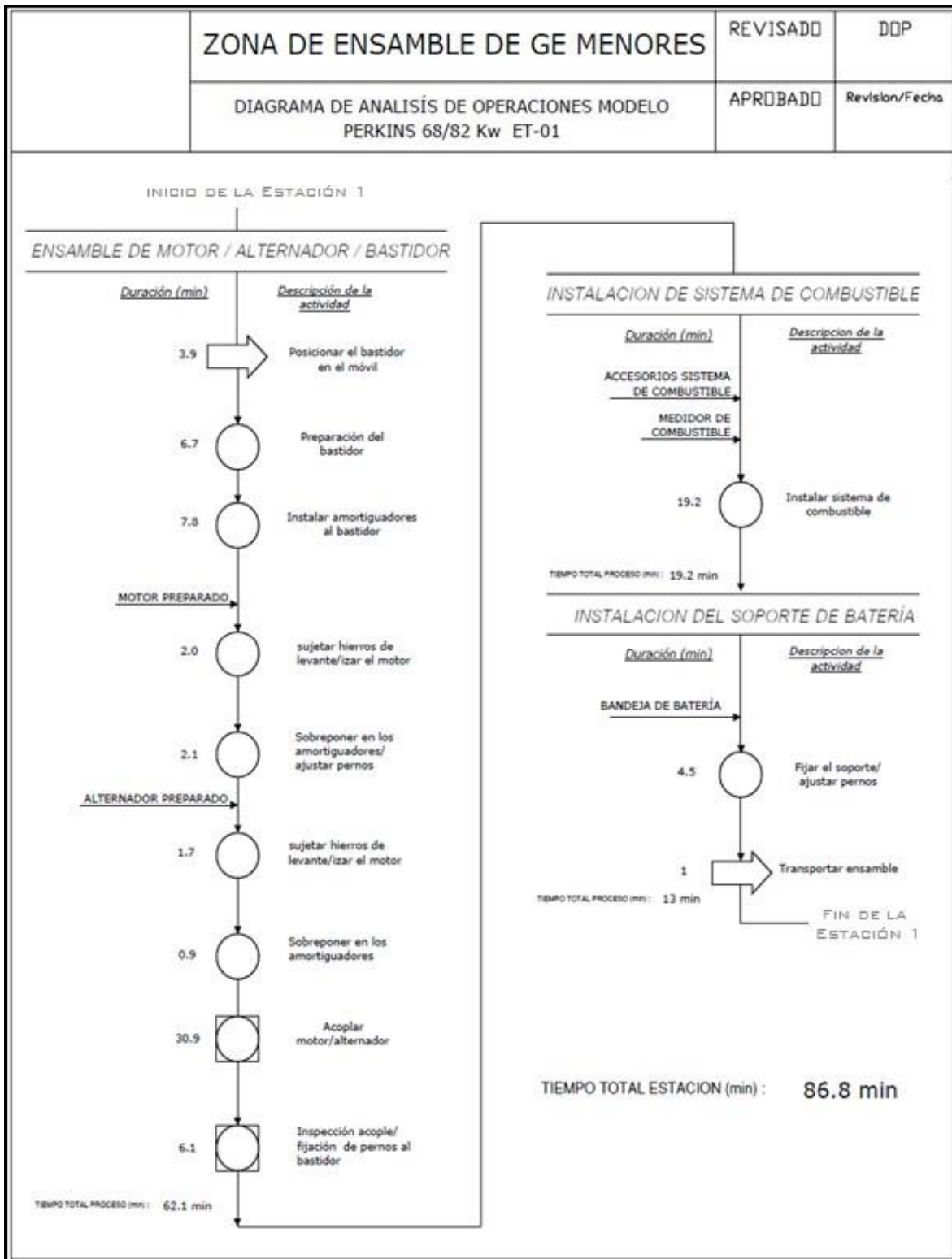


Figura 92. Diagrama de operaciones de las nuevas actividades de la estación 1
Elaboración propia

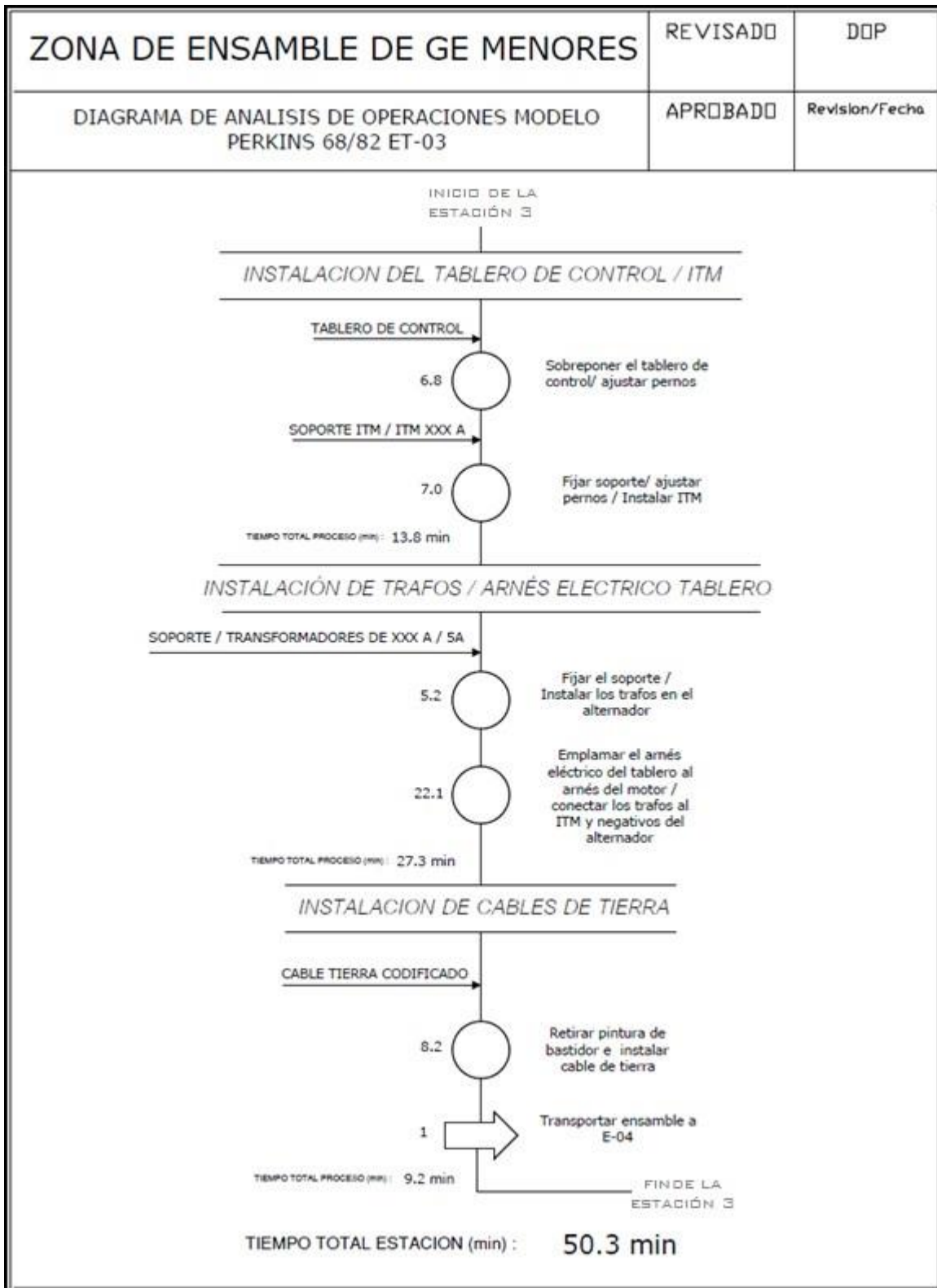


Figura 93. Diagrama de operaciones de las nuevas actividades de la estación 3
 Elaboración propia

Luego de realizar los DOP para cada estación, se obtiene los tiempos por estación que se resume en la tabla 30, a estos tiempos registrados se deben aplicar las tolerancias respectivas correspondientes al personal (24%), para finalmente obtener el valor que será empleado para un primer balance de la línea de ensamble, que debe tener en cuenta un tiempo de ciclo de 60 minutos. La tabla 30 que muestra el balance de línea, resalta que existen 2 estaciones que superan el tiempo de ciclo, motivo por la cual se les debe dar un seguimiento posterior en cuanto al personal asignado y las actividades que realiza.

Tabla 30. Balance inicial de la línea de ensamble según nueva distribución de actividades

Estaciones línea de ensamble	Operarios Actuales	T. promedio (min.)	Tolerancias (24%)	tiempos con tolerancias	Horas-hombre /estación	Balance H-H	Nuevo tiempo estimado
Estación 01	1	86.80	20.83	107.63	1.79	2	54
Estación 02 (Est.)	1	34.20	8.21	42.41	0.71	1	42
Estación 02 (Ins.)	1	44.60	10.70	55.30	0.92	1	55
Estación 03	1	50.30	12.07	62.37	1.04	1	62
Estación 04	1	47.40	11.38	58.78	0.98	1	59
Estación 05	1	104.80	25.15	129.95	2.17	2	65
Estación 06 (Est.)	1	42.80	10.27	53.07	0.88	1	53
Estación 06 (Ins.)	1	48.60	11.66	60.26	1.00	1	60
Estación Insonorizado	1	82.40	19.78	102.18	1.70	2	51
				Tolerancias			
				Fatiga	4%	Trabajo de pie	2%
				Calor	8%	Tensión mental	5%
tiempo de ciclo/estación		60.00	min.	Necesidades personales	5%	Total	24%

Elaboración propia

➤ **Calcular la eficacia y la eficiencia.**

Luego del balance de la línea se procede a realizar el cálculo de la nueva eficiencia, en la tabla 31 se muestran los resultados para los GE estándares 87% y para los GE insonoros 89%, siendo resultados muy superiores a los anteriores. Luego para ser eficaz en la línea de ensamble de GE se debe superar la capacidad de línea, la cual se logra con el tiempo de ciclo de 60 min., tal como se demostró en el análisis de la etapa anterior con los conceptos de diseño de una línea de ensamble.

Tabla 31. Nueva eficiencia de la línea de ensamble

Estaciones/ GE	Operarios	t/estación	Opx(t/est.)	Nueva eficiencia de la línea de ensamble metal/ mecánico de GE de potencias menores
Estación 01	2	54	107.63	
Estación 02 (Estándar)	1	42	42.41	
Estación 02 (Insonoro)	1	55	55.30	
Estación 03	1	62	62.37	
Estación 04	1	59	58.78	
Estación 05	2	65	129.95	
Estación 06 (Estándar)	1	53	53.07	
Estación 06 (Insonoro)	1	60	60.26	
Estación Insonorizado	2	51	102.18	
GE estándar (%)	8	65	454.21	87%
GE insonoro (%)	10	65	576.48	89%

Elaboración propia

➤ **Buscar mejoras subsecuentes.**

En base a este concepto se busca mejorar constantemente el diseño, con ensayo y error, este método heurístico nos permitirá verificar si funciona correctamente el balance inicial de la línea de ensamble. Para buscar mejoras subsecuentes al balance inicial de la línea, se procede a realizar pruebas con un pequeño lote de 18 grupos electrógenos de potencias del rango correspondiente que se muestran en la tabla 32.

Tabla 32. Lote de prueba para conseguir mejoras al balanceo

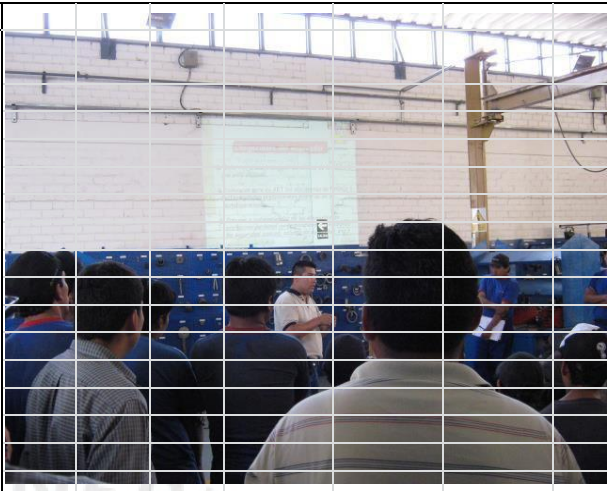
Cliente	Mercado	Potencia (Kw)	Tipo	Cantidad
SPATH	Exportación	55	Insonoro	1
NICOL	Exportación	60	Insonoro	4
LA LLAVE	Nacional	68	Insonoro	1
SAN JUAN	Nacional	76	Insonoro	1
JIDSA	Exportación	45	Insonoro	2
JIDSA	Exportación	55	Insonoro	2
SIVASA	Exportación	55	Estándar	1
MOTOREX	Nacional	68	Estándar	1
INTELEC	Nacional	76	Estándar	1
NTS	Exportación	60	Estándar	2
SAN JUAN	Nacional	60	Estándar	2
Total				18

Elaboración propia

Para obtener y mantener mejores resultados, el Líder del grupo o “Black Belt” capacita constantemente al grupo de trabajo (líderes y miembros del equipo) en los conceptos de balance de línea y herramientas TLS (TOC - Lean Manufacturing - Six Sigma). En la tabla 33 se muestra el grupo de trabajo que participará de las operaciones del lote de prueba.

Tabla 33. Grupo de trabajo del lote de prueba

Grupo de trabajo del lote de prueba			Área de Calidad: Black belt o Líder del grupo
Áreas Indirectamente Involucradas	Responsable	N° Operarios	
Línea de fabricación metal/mecánica	Supervisor 1	-	
Línea de pintura	Supervisor 2	-	
Almacén central	Jefe 1	-	
Célula de eléctrico de tableros	Encargado 1	-	
Célula de fabricación de arneses	Encargado 2	-	
Célula de insonorización semiterm.	Encargado 3	2	
Célula de prep. motor y alternador	Encargado 4	1	
Áreas Directamente Involucradas			
Estación 01	Supervisor 3	2	
Estación 02		1	
Estación 03		1	
Estación 04		1	
Estación 05		2	
Estación de insonorizado		2	
Estación 06		1	



Elaboración propia

De acuerdo a los conceptos recibidos, se inicia modificando el programa de producción semanal de la línea ensamble de forma de intercalar GE estándares con insonoros para no saturarla, también se tratar de agrupar modelos de potencias similares, tal como se muestra en la tabla 34. Además, se debe tratar de trasferir la mayor cantidad de información del requerimiento del cliente al programa, este programa de producción con otras informaciones necesarias, como las que se muestran en la tabla 35, se deben entregar al grupo de trabajo para que tomen conocimiento de las necesidades del cliente.

Tabla 34. Programa de producción del lote de prueba

PROGRAMA PRODUCCIÓN SEMANAL DE GRUPOS ELECTRÓGENOS												FC-07-01		Semana 06				Feb
Fecha: Lunes 4 de Febrero												Revisión / Fecha:		Lu	Ma	Mi	Ju	Vi
Item	Cliente	Cant	Línea	Modelo	COD SAP	S. Motor	Alternador	ITM	Modelo	O/C	Fases	Tensión	Obs.	4	5	6	7	8
1	SIVASA	1	Menores	55	TXXPE65205	1103A-33TG2	UCI 224D	ABB	3X200 A	EX - 030	Trifásico	220 V	Amarillo					
2	SPATH	1	Menores	55 I	TXXPI65215	1103A-33TG2	UCI 224D	ABB	3X200 A	EX - 040	Trifásico	220 V	Amarillo					
3	NICOL	1	Menores	60	TXXPE65206	1103A-33TG2	UCI 224G	ABB	3X250 A	EX - 042	Trifásico	208 V	Amarillo					
4	NTS	1	Menores	60 I	TXXPE65216	1103A-33TG2	UCI 224E	ABB	3X200 A	EX - 032	Trifásico	220 V	Amarillo					
5	NICOL	1	Menores	60	TXXPE65206	1103A-33TG2	UCI 224G	ABB	3X250 A	EX - 042	Trifásico	208 V	Amarillo					
6	NTS	1	Menores	60 I	TXXPI65216	1103A-33TG2	UCI 224E	ABB	3X200 A	EX - 032	Trifásico	220 V	Amarillo					
7	NICOL	1	Menores	60	TXXPE65206	1103A-33TG2	UCI 224G	ABB	3X250 A	EX - 042	Trifásico	208 V	Amarillo					
8	SAN JUAN	1	Menores	60 I	TXXPI65216	1103A-33TG2	UCI 224E	ABB	3X200 A	NA - 025	Trifásico	220 V	Amarillo					
9	NICOL	1	Menores	60	TXXPE65206	1103A-33TG2	UCI 224G	ABB	3X250 A	EX - 042	Trifásico	208 V	Amarillo					
10	SAN JUAN	1	Menores	60 I	TXXPI65216	1103A-33TG2	UCI 224E	ABB	3X200 A	NA - 025	Trifásico	220 V	Amarillo					
11	MOTOREX	1	Menores	68	TXXPE65207	1104A-44TG1	UCI 224F	ABB	3X200 A	NA - 032	Trifásico	220 V	Amarillo					
12	LA LLAVE	1	Menores	68 I	TXXPI65217	1104A-44TG1	UCI 224F	ABB	3X200 A	NA - 030	Trifásico	220 V	Amarillo					
13	INTELEC	1	Menores	76	TXXPE65208	1104A-44TG2	UCI 224F	ABB	3X250 A	NA - 036	Trifásico	220 V	Amarillo					
14	SAN JUAN	1	Menores	76 I	TXXPI65218	1104A-44TG2	UCI 224F	ABB	3X250 A	NA - 031	Trifásico	220 V	Amarillo					
15	JIDSA	1	Menores	45 I	TXXPI65214	1103A-33TG1	UCI 224D	ABB	3X200 A	EX - 045	Monofásico	240 V	Amarillo					
16	JIDSA	1	Menores	45 I	TXXPI65214	1103A-33TG1	UCI 224D	ABB	3X200 A	EX - 045	Monofásico	240 V	Amarillo					
17	JIDSA	1	Menores	55 I	TXXPI65215	1103A-33TG2	UCI 224E	ABB	3X200 A	EX - 045	Monofásico	240 V	Amarillo					
18	JIDSA	1	Menores	55 I	TXXPI65215	1103A-33TG2	UCI 224E	ABB	3X200 A	EX - 045	Monofásico	240 V	Amarillo					

Elaboración propia

Tabla 35. Necesidades del cliente de algunos grupos del lote de prueba

<p>P-45 I T33PI65214 Cliente: JIDSA 240V @ 60HZ, consta de:</p> <p>Motor Perkins 1103A-33TG1 y Alternador UCI 224D (reconectable a Trifásico) Cantidad: 02 Trifásico Altura sobre nivel del mar: 1000m Factor de potencia: 1.0 Potencia Prime Continua: 40 KW / 40 KVA Potencia Stand by: 44 KW / 44 KVA <input checked="" type="checkbox"/> Tablero de control/módulo Deep Sea Electronics 6110 *Puerta Tablero: 5880586 *Soporte ITM: 588158 Preparado para arranque remoto dos hilos Termomagnético 3 x 200 A, con puente entre 2do y 3er polo. Conexión neutra 120V, de la misma capacidad de conducción de las fases, conectado a aislador. Encapsulado e Insonorizado estacionario, preparado para intemperie, con chapas metálicas y con nivel de ruido 70 +2dBA a 7m de distancia en campo abierto. *Ingreso de aire: Panel Posterior *Salida de aire: Panel Frontal *Escape de motor: Por el techo (con codo)</p>	<p>P-60 TXXPE65206 Cliente: NICOL 208V @ 60HZ, consta de:</p> <p>Motor Perkins 1103A-33TG2 y Alternador UCI 224G Cantidad: 04 Trifásico Altura sobre nivel del mar: 1000m Potencia Prime Continua: 56 KW / 70 KVA Potencia Stand by: 61 KW / 76.3 KVA <input checked="" type="checkbox"/> Tablero de control/módulo Deep Sea Electronics 6110 *Tablero de Control (Caja/Tapa): 587895/587896 *Tapa de ITM: 587899 *Soporte ITM: 587898 Preparado para arranque remoto dos hilos Termomagnético 3 x 250 A Silenciador industrial + tubo conexión de escape Conexión neutra 120V, de la misma capacidad de conducción de las líneas, conectada a aislador. Transformadores instalados a fase completa 250/5A Excluir batería (debe ir marco y cables)</p>
<p>P-68 I TXXPI65218 Cliente: LA LLAVE 220V @ 60HZ, consta de:</p> <p>Motor Perkins 1104A-44TG1 y Alternador UCI 224F Cantidad: 01 Trifásico Altura sobre nivel del mar: 1000m Potencia Prime Continua: 62 KW / 77 KVA Potencia Stand by: 68 KW / 85 KVA <<< Tablero de control/módulo Deep Sea Electronics 6110 *Tablero de Control: 5880586 *Soporte ITM: 588158 Preparado para arranque remoto dos hilos Termomagnético 3 x 200 A Conexión neutra 127V, conectado al aislador Encapsulado e Insonorizado estacionario, preparado para intemperie, con nivel de ruido 70 +2dBA a 7m de distancia en campo abierto. *Ingreso de aire: Panel Posterior *Salida de aire: Panel Frontal *Escape de motor: Por el Techo</p>	<p>P-55 I TXXPI65215 Cliente: SPATH 220V @ 60HZ, consta de:</p> <p>Motor Perkins 1103A-33TG2 y Alternador UCI 224D Cantidad: 01 Trifásico Altura sobre nivel del mar: 1000m Potencia Prime Continua: 50 KW / 63 KVA Potencia Stand by: 53 KW / 66 KVA <<< Tablero de control/módulo Deep Sea Electronics 6110 *Tablero de Control: 5880586 *Soporte ITM: 588158 Preparado para arranque remoto dos hilos Termomagnético 3 x 200 A Conexión neutra 127V, conectado al aislador Encapsulado e Insonorizado estacionario, preparado para intemperie, con nivel de ruido 70 +2dBA a 7m de distancia en campo abierto. *Ingreso de aire: Panel Posterior *Salida de aire: Panel Frontal *Escape de motor: Por abajo</p>

Elaboración propia

Una vez formulado el programa nivelado de la tabla 34, se procede a comunicar a las líneas y células de fabricación que abastecen las estructuras necesarias para la línea de ensamble, este abastecimiento se realiza de 2 formas: de acuerdo al programa semanal o sistemas kanban. Por ejemplo, en la tabla 36 se indican que estructuras fabricadas por la línea metal/mecánica son abastecidas por la línea de pintura a la línea de ensamble, detallando si este abastecimiento es por el programa semanal o por kanban, esta decisión dependerá del costo del material o uso repetitivo de este. Todas las estructuras pintadas que necesitan ser insonorizadas pasan a la célula de insonorización para luego ser

abastecidas a la estación que ensambla la cabina, excepto la estructura del tablero que pasa a la célula de ensamble eléctrico de tableros. Adicionalmente en la tabla 37 se indican todos los materiales que pertenecen al almacén central que sirven de suministro para las diferentes líneas y células de fabricación o ensamble que también se abastecen de las 2 formas antes mencionadas; pero la planificación de estos materiales se realiza mediante sistemas *push* (de acuerdo a pronósticos de consumo) para aquellas que son importados; y mediante sistemas *pull* (de acuerdo a la demanda de los clientes) para aquellos que son del mercado nacional. Para todos los materiales mostrados en ambas tablas, un operario deberá ser responsable de verificar el abastecimiento o el kanban de estos, para lo cual se ayudará con el programa de recursos empresariales (ERP) de la empresa cuyo marca es SAP, cuales reportes del ERP se muestran como en la figura 94.

Tabla 36. Estructuras o semiterminados de acuerdo al tipo de abastecimiento

Elementos o estructuras abastecidos por la Línea de fabricación metal/mecánica & Línea de Pintura									
Grupos electrógenos estándares					Grupos electrógenos insonoro				
P-68	TXXPE65207	Cant.	Programa semanal	Kanban	P-45 I	TXXPI65214	Cant.	Programa semanal	Kanban
564360	Bastidor	1	X		564452	Bastidor (inc. Travesaños/soporte)	1	X	
564288	Travesaño de alternador	1	X		5880145	Techo único	1	X	
564244	Travesaño del motor	1	X		5880008	Panel lateral delantero derecho	1	X	
587895	Caja del tablero	1		X	5880007	Panel lateral delantero izquierdo	1	X	
587896	Tapa módulo 6110	1		X	5880019	Panel lateral posterior izquierdo	1	X	
587901	Tapa salida cables frontal	1		X	5880588	Panel lateral posterior derecho	1	X	
587902	Tapa salida cables lateral	1		X	5880147	Puerta delantera	1	X	
587984	Soporte de tablero	1	X		5880149	Puerta lateral	3	X	
587899	Tapa ITM	1	X		5880034	Puerta porta mica	1	X	
587898	Soporte ITM	1		X	5880151	Parante de puerta	2	X	
582152	Soporte de batería	1	X		5880016	Panel frontal	2	X	
582278	Travesaño de batería	1		X	588932	Panel de radiador	2	X	
546086	Silenciador	1	X		5880035	Deflector de Aire	1	X	
564495-1	Tapa med. de combustible	1		X	5880026	Panel posterior	1	X	
564495	Tapa hand hole (mantto.)	1		X	5880587	Tablero de control	1		X
52248	Soporte de filtro S1100	1		X	5880586	Puerta módulo 6110/ITM	1		X
52249	Soporte de bomba S1100	1		X	588158	Soporte ITM	1	X	
Obs: Para no tener problemas o faltantes en la línea de ensamble, un operario debe encargarse de verificar que se abastezcan o caso contrario exista stock de la estructuras a emplear, con la ayuda de un formato denominado "Relación de estructuras del GE" proveída por el área de diseño.					582281	Travesaño de batería	1	X	
					546180	Silenciador	1	X	
					546183	Tubo flexible	1	X	
					546185	Tubo silenciador	1	X	
					546216	Codo de t. escape	1	X	
					564495-1	Tapa med. de combustible	1		X
					564495	Tapa hand hole (mantto.)	2		X
					52248	Soporte de filtro S1100	1		X
					52249	Soporte de bomba S1100	1		X

Elaboración propia

Tabla 37. Materiales de Almacén según el tipo de abastecimiento y planificación

Elementos o materiales abastecidos por el Almacén Central																			
Materiales	Abast.		Planning		Materiales	Abast.		Planning		Materiales	Abast.		Planning						
	PS	Kb	Push	Pull		PS	Kb	Push	Pull		PS	Kb	Push	Pull					
Motor Perkins	X		X		Calentador de comb.	X			X	Bisagra cabinas	X		X		Ojales de jebe		X		X
Generador NS	X		X		Calentador de agua	X			X	Chapas empotradas	X		X		Cab. tierra est.	X			X
Pernos		X		X	Calentador de aceite	X			X	Bisagra puertas	X		X		Modulo control	X			X
Arandelas		X		X	borneras plásticas		X		X	Chapa con llave	X		X		Cables control		X		X
Tuercas		X		X	Tope de borneras		X		X	Mica para puerta	X			X	Cables fuerza		X		X
Refrigerante		X		X	Medidor de comb.	X		X		Tubo flexible esc.		X		X	Termin. control	X			X
Petroleo diesel		X		X	Conectores de arnés		X		X	Abrazaderas t. flex.		X		X	Termin. fuerza	X			X
Lubricante Gulf		X		X	Valvulas de drenaje	X			X	Tope abraz. t. flex		X		X	Transformad.	X		X	
Conectores bronce	X			X	Mang. de baja presión		X		X	Tela fibra de vidrio		X		X	ITM		X		X
Sensor temperatura	X		X		Mang. corrugados		X		X	Jebe prot. bordes		X		X	Aislador tensión	X			X
Sensor de presion	X		X		Abrazaderas mang.		X		X	Espuma fonac		X		X	Topes de jebe		X		X
Bateria 12v	X			X	Planchas de acero		X		X	Tubo cobre comb.		X		X	Fusibles		X		X
Cables de batería	X			X	Mang. Termocontraible		X		X	Uniones fierro		X		X	Canaletas		X		X
Amortiguadores	X			X	Anticorrosivo para pint.		X		X	Alambre carbofil		X		X	Portafusibles		X		X
Tapa de combustible	X			X	Disolventes para pint.		X		X	Tapones de fierro		X		X	Regletas DIN		X		X
Mang. de alta presión	X			X	Endurecedor para pint.		X		X	Elem. preact. pint.		X		X	Sop. Par. emerg.	X			X
Empaquetaduras		X		X	Pintura esmalte			X	X	Fosfato para pint.		X		X	Par. emergencia	X			X
Etiquetas		X		X	Conec. "t" corrugados		X		X	Elem. sellador pint.		X		X	Acrilicos			X	X
Pintura en polvo		X		X	Codo fierro s. escape		X		X	Desengrasant. pint.		X		X	Relés 12v	X			X
Lana de roca (silenc.)		X		X	Pintura alta temper.		X		X	Manuales		X		X	Porta relés	X			X
Tubo fierro s. escape		X		X	PS = Abastecimeinto programa semanal					Maletín manuales	X			X	Kb = Abastecimeinto kanban				

Elaboración propia

Material	TXXPI65214	GRUPO ELECTRÓGENO P-45I
Ciente	JIDSA	Cantidad 1.000
0 0000	TXXPI65214	GRUPO ELECTRÓGENO P-45I
1 0010	C16MT0009	1.000 UN L X
	MOTOR CBU 1103A-33TG1	
1 0160	C16AT0061	1.000 UN L X
	GENERADOR NS UCI 224D 50KW B3D11.5	
1 0162	C17NB0099	1.000 UN L X
	CONECTOR SENSOR DE TEMPERATURA	
1 0165	RPE2755884	1.000 UN L
	SENSOR TEMPERATURA AGUA	
1 0170	RPE2846071	1.000 UN L
	SENSOR DE PRESION DE ACEITE	
1 0190	C08BT0004	1.000 UN L X
	BATERIA 12V 90 A/H 15 PLACAS	
1 0200	C08CL582188	1.000 UN L
	CABLE BATERÍA POSITIVO 2 AWG	
1 0210	C08CL582189	1.000 UN L
	CABLE BATERÍA NEGATIVO 2 AWG	
1 0270	C02RE0006	4.000 UN L
	AMORTIGUADOR IMER GE. S1100	
1 0570	C08CL582220	1.000 UN L
	CABLE TIERRA ESTÁNDAR CHICO	
1 0650	C09M00006	1.000 UN L X
	MODULO CONTROL Y TRANSFER. 7320	
1 1370	C08TF0008	2.000 UN L X
	TRANSF. CORRIEN. 250/5A	
1 1410	C09IT0083	1.000 UN L X
	ITM CAJA MOLDEADA 3 X 200A	

Figura 94. Muestra de la lista de materiales (BOM) según ERP (SAP)

Elaboración propia

Una vez resuelto el tema de abastecimiento, se debe de enfocar en la distribución de estos en la línea de ensamble aplicando la herramienta Lean denominada POUS (ver figura 95); pero no sólo es enfocarse en estructuras y materiales sino también en distribuir en las herramientas para cada estación, las cuales se detallan en la tabla 38; para el lote de prueba se fijan los armarios móviles de herramientas de cada operario (ver figura 96).

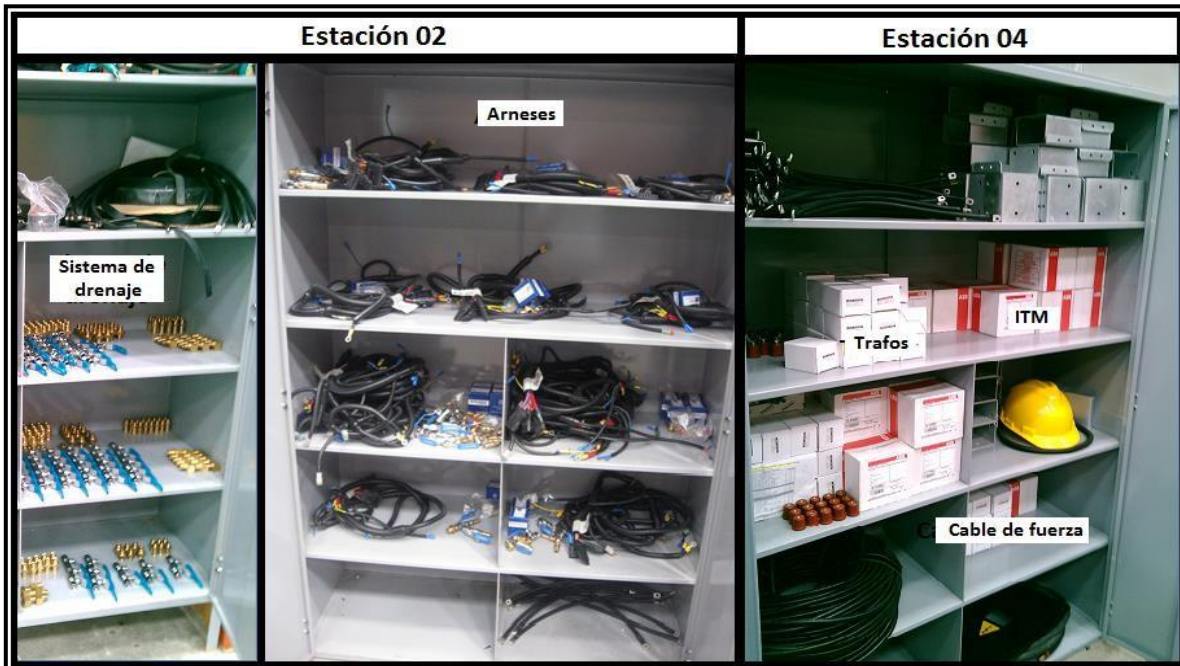


Figura 95. POU S enfocados a los materiales de almacén /arneses
Elaboración propia



Figura 96. POU S enfocados a las herramientas /tableros
Elaboración propia

Tabla 38. Distribución de herramientas/estación para ensamblar un GE estándar

Herramientas línea de ensamble de grupos electrógenos de potencias menores								
Estación 01		Cant.	Estación 03		Cant.	Estación 02		Cant.
Dado corto 5/8 (Encastre 1/4)		2UN	Alicate de corte		1Un	Alicate de corte		1Un
Dado tubular 7/16 (Encastre 1/2)		2UN	Alicate de punta		1Un	Alicate de punta		1Un
Dado tubular 7mm		2UN	Prensador de terminales		1Un	Prensador de terminales		1Un
Alicate de corte (manguera)		1UN	Pelacable		1Un	Pelacable		1Un
Llave mista de 30mm		1UN	Dado largo N° 17, 16, 19, 15, 13, 10, 8		1JG	Dado desarmador N° 10, 8		1JG
Corta tubo Uniweld (5/16" a 1- 5/8")		1UN	Llave Rache		1Un	Llave N° 17, 16, 13, 10		1JG
Torquímetero de 50Kg (500N-m)		1UN	Extensión larga		1Un	Dado largo N° 17, 16, 19, 15, 13, 10, 8		1JG
Pistola de aire pequeña		1UN	Llave francesa chica y grande		1JG	Extensión larga		1Un
Barra de extensión de 3"		2UN	Dado desarmador N° 8, 10, 7		1JG	Llave francesa chica y grande		1Un
Dado corredizo con castre de 3/4"		2UN	Llave N° 17, 19, 10, 8		1JG	Dado desarmador N° 8, 10, 7		1JG
			Taladro		1Un	Pistola de soldar		1Un
			Brocas N° 5, 6, 7, 8, 10		1JG	Multímetro		1Un
Estación 06		Cant.	Extensión de aire		1Un			
Datos: 8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20		1JG	Pistola de soldar		1Un			
Llaves mixtas 8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,24		1JG	Pasta para soldar		1Un			
Alicate de punta		1Un	Pistola de aire		1Un	Estación 05		Cant.
Alicate de corte		1Un	Llaves Allen (Juego completo)		1JG	Pistola de aire		1Un
Alicate universal		1Un	Multímetro		1Un	alicate de corte		1Un
Llave francesa de 8"		1Un				Alicate de punta		1Un
Llave francesa de 12"		1Un				Prensador de terminales		1Un
Desarmador		1JG				Pelacable		1Un
Perilleros		1JG	Estación 04		Cant.	Dado largo N° 17, 18, 16, 19, 15, 13, 10, 8		1JG
Llave Rache		1Un	Dado largo N° 13, 16, 17, 19		1JG	Llave mixta N° 7, 8, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 24		1JG
Barra de extensión 6"		1Un	Llave N° 13, 14, 15, 17, 19		1JG	Llave mixta 3/8", 9/16 "		1JG
Barra de extensión 10"		1Un	Llave Rache		1Un	Dado corto 1"		1Un
Cinta métrica metal 5M		1Un	Extensión grande		1Un	Llaves Allen (Juego completo)		1JG
Lima redonda		1Un	Alicate de corte		1Un	Multímetro		1Un
Lima cuadrada		1Un	Juegos de llaves Allen		1Un	Desarmador (Juego completo)		1JG
Macho de 6mm		1Un	Tijera		1Un	Perilleros (Juego completo)		1JG
Perillero dado N° 7,8,10		1JG				Alicate de punta, de corte		1Un
						Llave francesa N° 8, 12, 18		1JG
						Alicate de presión N°6		1Un

Elaboración propia

Después de haber definido el abastecimiento y distribución de materiales y estructuras, así como, haber indicado cuales son las herramientas que pertenecen a cada estación. Se debe verificar que las células de fabricación o ensamble mencionados en el SIPOC, con excepción de la célula de insonorización de semiterminados (restricción actual), generan algún retraso a alguna estación que afecte el balance de línea.

- *Célula de fabricación de arneses*; esta célula alimenta a la estación 02 e inicia paralelo a la línea de fabricación metal/mecánica, la figura 97 muestra que este proceso no supera los tiempos de entrega de línea metal/mecánica no afectando el balance de la línea de ensamble.
- *Célula de ensamble eléctrico de tableros de control*; esta célula alimenta a la estación 03 y también puede iniciar paralelo a la línea de fabricación metal/mecánica, la figura 97, al igual que el caso anterior, demuestra que este proceso tampoco no supera los tiempos de entrega de la línea metal/mecánica; por lo tanto, no afecta el balance de línea planteado.

Informe de la Producción de Arnases				Informe de la Producción de Arnases			
Día		Mes		Día		Mes	
05		Noviembre		07		Noviembre	
Modelo	Hora IN	Hora OUT	Observaciones	Modelo	Hora IN	Hora OUT	Observaciones
Personal: DAVID Belloh Firma:				Personal: David Belloh Firma:			
(3) P-30	8:30	16:00	Preso.	P-30	8:15	12:30	Falta Herramientas.
P-32	16:30	18:00	Proceso.	P-45	16:20	18:00	Proceso.
Personal: Christian Velasquez Firma:				Personal: Christian Velasquez Firma:			
P-45	8:30	10:00	Falta Herramientas.	P-14	8:10	9:30	
P-275	10:15	11:15	Falta Cronograma del mes.	P-460	9:35	10:50	
P-150	11:30	14:00	Falta Correos de los arneses	P-28	10:55	12:30	
P-14	14:20	15:40		D-410	13:30	15:30	
P-45	16:00	18:00	Tiempo de entrega: Perkins 45Kw = 120 min	P-215	15:35	18:00	Tiempo de entrega: Perkins 45Kw = 145 min

Informe de la Producción de Tableros / Operador				Informe de la Producción de Tableros / Operador			
Día		Mes		Día		Mes	
07		11		08		NOVIEMBRE	
Modelo	Hora IN	Hora OUT	Observaciones	Modelo	Hora IN	Hora OUT	Observaciones
Personal: Jorge L. Yencachilla C. Firma:				Personal: Angelo Ruiz Simon Firma: Angelo			
p 275	7:40am	9:00am	Terminado del dia anterior	P-460 I	9:00A	4:00PM	Tablero se usó entrega a esta hora !!
p 45	9:00am	12:00am		P-60 I	4:20	7:40pm	Prueba; Ajustamiento de capacitores para Rate
y 24	12:30	2:00pm	Se postergo por recablear el Tablero 275 en p 275	Tiempo de entrega: Perkins 60Kw ins. = 180min			
p 275	2:00	6:00pm	Se cambio de Tablero por equivocación de entrega de Tablero.				
y 24	6:00pm	8:00pm					

Figura 97. Reportes de las células: fabricación de arnés y ensamble eléctrico del tablero. Elaboración propia

- *Célula de preparación de motor/alternador*; adicionalmente, al seguir los conceptos de balance de línea, al inicio de esta etapa se observa la necesidad de la creación de esta célula que alimentará a la estación 1, al igual que los casos anteriores, inicia paralelo a la línea de fabricación metal/mecánica. La tabla 39 muestra las operaciones de esta célula realizadas en el lote de prueba, se observa que el tiempo total empleado para la preparación del 18 motores y 18 alternadores fue de 925 minutos, tiempo que no supera el tiempo de entrega en conjunto de la línea metal/mecánica (810 minutos) y la línea de pintura (540 minutos) que suman 1350 minutos; tomando en cuenta que sólo se ensamblara como máximo 9 motores/alternador por día (tiempo de ciclo igual a 60 minutos). Por lo tanto se demuestra que esta célula no afecta el balance línea debido a que tengo como máximo 1350 minutos para culminar la preparación de mínimo 9 motores y alternadores. Pero, se hace notar que existe casos fortuitos para esta célula de preparación con un pésimo tiempo de preparación de 190 minutos, al presentarse estos caos se debe dar seguimiento ya que de presentarse 9 casos similares superaría mi tiempo límite de 1350 minutos, para que no ocurra esto se debe incrementar la capacidad de personal para estos casos puntuales. La figura 98 muestra algunas operaciones de la célula de preparación de motor/alternador.

Tabla 39. Operaciones realizadas en la célula de preparación del lote de prueba

Nombre	Operación	Actividad realizadas para el lote de prueba	Tiempos Total	T/GE (peor caso)
Célula de preparación del motor / del alternador	Preparación del móvil	Identificación de 18 móviles según la potencia de GE y almacenarlos en el espacio físico designado para el ingreso a línea según su capacidad por día	36	2
	Preparación del motor / Preparación del alternador	El lote de prueba involucra la preparación de 18 motores y 18 alternadores, se desenvolvieron o desempaquetaron según la capacidad de la línea por día.	180	10
		Se necesitó retirar el óxido en 9 motores y 1 alternador. Se necesitó pintar 2 motores debido a partes visibles de óxido.	390	105
		Se necesitó regular la bomba de inyección en 2 motores de la serie 1103A-33TG (Perkins de 45/55/60 Kw)	120	60
		Se cambió la posición del AVR (controlador de voltaje) en el alternador de los 11 GE insonoros y se retiró la tapa lateral y posterior a los 18 alternadores para su posterior perforación.	145	10
		Se realizó la perforación de los agujeros en las tapas de los 18 alternadores para fijación de los soporte de transformadores.	54	3
	Tiempo por operario (minutos)		925	190

Elaboración propia



Figura 98. Operaciones realizadas en la célula de preparación del lote de prueba.

Elaboración propia

Posterior a corroborar las capacidades de las células de la línea de ensamble y verificar si alguna afecta el balance planteado, se procede con el ingreso del lote de prueba a la línea de ensamble, según el plan de programa semanal, para lo cual se va a considerar un horario particular, debido a que el horario administrativo (08:00) difiere del operativo (07:40), se estandariza la hora ingreso 08:00 descontando 10 minutos en el ingreso/salida del personal, también se considera una hora para alimentación (12:30 - 13:30), resultando un tiempo de prueba diario de 520 minutos; aunque se hace aclaración que el tiempo real de operación diaria de personal operativo es 540 minutos ya que el ingreso del personal a la planta de GE es a las 07:40 horas.

Por lo tanto, tomando en cuenta las consideraciones de horario se inicia con el ingreso del lote de prueba en la línea de ensamble, en la figura 99 se presentan los formatos donde se registran los tiempos de operación de cada estación, en este caso para un GE estándar, se realiza este procedimientos con todos los GE del lote de prueba.

Informe de la Producción de Grupos Electrógenos				
Grupo		Serie		Cliente
P-60		212373		Nico/
Estación	Hora	Día	Observaciones	
Personal: Jose Rojas		Firma: [Firma]		
Estación 1	Entrada:	Entrada:		
	11:50 AM	04/02		
Estación 1	Salida:	Salida:		
	1:40 PM	04/02		
Personal: David Acuña		Firma: [Firma]		
Estación 2	Entrada:	Entrada:		
	2:48 PM	04/02		
Estación 2	Salida:	Salida:		
	2:25 PM	04/02		
Personal: David		Firma: [Firma]		
Estación 3	Entrada:	Entrada:		
	3:12 PM	04/02		
Estación 3	Salida:	Salida:		
	4:08	4/2		
Personal: Jesus Contreras		Firma: [Firma]		
Estación 4	Entrada:	Entrada:		
	4:13	04/02		
Estación 4	Salida:	Salida:		
	5:00	04/02		
Personal:		Firma:		
Estación 5	Entrada:	Entrada:		
	5:25	04/02		
Estación 5	Salida:	Salida:		
	9:18 AM	05/02	Richard P. J.	
Personal:		Firma:		
Insonoros	Entrada:	Entrada:		
Insonoros	Salida:	Salida:		
Personal: Juan Alcarráz		Firma: [Firma]		
Estación 6	Entrada:	Entrada:		
	11:10	05/02		
Estación 6	Salida:	Salida:		
	12:15	05/02		
Personal: D. Chavez		Firma: [Firma]		
Ok Calidad	11.15	12.10		

Figura 99. Reporte de producción de GE estándar de 60 Kw

Elaboración propia

En la figura 100, al igual que el caso anterior, se presenta el formato donde registra los tiempos de cada estación; pero en este caso para un GE insonoro. También, en estos formatos se registran posibles observaciones a los procesos con el objetivo de lograr una mejora continua; como se mencionó, se realiza este registro para todo el lote de prueba

Informe de la Producción de Grupos Electrónicos				
Grupo		Serie		Cliente
P-551		Z/2319		SPATH
Estación	Hora	Día	Observaciones	
Personal: José Cuevas			Firma:	
Estación 1	Entrada:	Entrada:		
	11:00 AM	04/02		
Estación 1	Salida:	Salida:		
	11:50 AM	04/02		
Personal: Gary Huachuma			Firma:	
Estación 2	Entrada:	Entrada:		
	11:52 AM	04/02		
Estación 2	Salida:	Salida:		
	13:46 PM	04/02		
Personal: MANDIN			Firma:	
Estación 3	Entrada:	Entrada:		
	13:48 PM	04/02		
Estación 3	Salida:	Salida:		
	15:05	4/2		
Personal: JESÚS CONTRERAS			Firma:	
Estación 4	Entrada:	Entrada:		
	15:12	4/2		
Estación 4	Salida:	Salida:		
	16:10	4/2		
Personal: Alex Ramos			Firma:	
Estación 5	Entrada:	Entrada:		
	16:12	4/02		
Estación 5	Salida:	Salida:		
	17:40	04/02		
Personal: Junior Morales; Guin Carlos Jimpa			Firma:	
Insonoros	Entrada:	Entrada:		
	8:00	05/02		
Insonoros	Salida:	Salida:		
	9:50	05/02		
Personal: JUAN ALCARAZ			Firma:	
Estación 6	Entrada:	Entrada:		
	9:55	05/02		
Estación 6	Salida:	Salida:		
	11:10 am	05/02		
Personal: D. CHAUER			Firma:	
Ok Calidad	10:20	10:51		

Figura 100. Reporte de producción de un GE insonoro de 55 Kw

Elaboración propia

Una vez realizado el registro de los tiempos de operación por estación de cada uno de los grupos electrógenos del lote de prueba, se busca afinar las operaciones de cada estación aplicando en su mayoría herramientas Lean Manufacturing que permitan lograr mejoras subsecuentes al balance de línea de ensamble propuesto, de modo de crear un flujo uniforme en la línea, estableciendo procedimientos de estandarización adecuados. Además de tener en cuenta el concepto de que cualquier integrante del grupo de trabajo puede parar línea de ensamble al encontrar defectos (jidoka – calidad en cada estación).

- **Estación de ensamble 1;** definida las operaciones de la tabla 40, el tiempo de operación promedio de esta estación para GE estándares es 59 min. y para GE insonoros 56 min, la figura 101 muestra algunas operaciones, mientras que la figura 102 nos dice cuales tiempos de cada estación se encuentran bajo control.

Tabla 40. Registro de los tiempos de la estación 1 del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE estándares				Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones	GE	Serie	Cliente	ET-01	GE	Serie	Cliente	ET-01
10	Posicionamiento del bastidor al móvil	MP-55	Z12318	SIVASA	60	MP-55I	Z12319	SPATH	50
20	Preparación del bastidor	MP-60	Z12373	NICOL	50	MP-60I	Z12324	NTS	60
30	Instalación de amortiguadores en el bastidor	MP-60	Z12376	NICOL	60	MP-60I	Z12323	NTS	58
		MP-60	Z12374	NICOL	50	MP-60I	Z12322	SAN JUAN	60
40	Acople motor/alternador al bastidor	MP-60	Z12375	NICOL	65	MP-60I	Z12380	SAN JUAN	45
50	Inspección de acople	MP-68	Z12326	MOTOREX	60	MP-68I	Z12327	LA LLAVE	64
60	Ensamble del sistema de combustible	MP-76	Z12328	INTELEC	68	MP-76I	Z12329	SAN JUAN	52
70	Instalación del soporte de batería en el bastidor	Tiempo promedio			59	MP-45I	Z12361	JIDSA	61
						MP-45I	Z12393	JIDSA	56
Obs El GE serie Z12327 (64 min) se retiro óxido de la parte posterior del disco flexible del motor.						MP-55I	Z12362	JIDSA	55
						MP-55I	Z12394	JIDSA	53
						Tiempo promedio			55.8

Elaboración propia



Figura 101. Ensamble del lote de prueba en la estación 1.

Elaboración propia

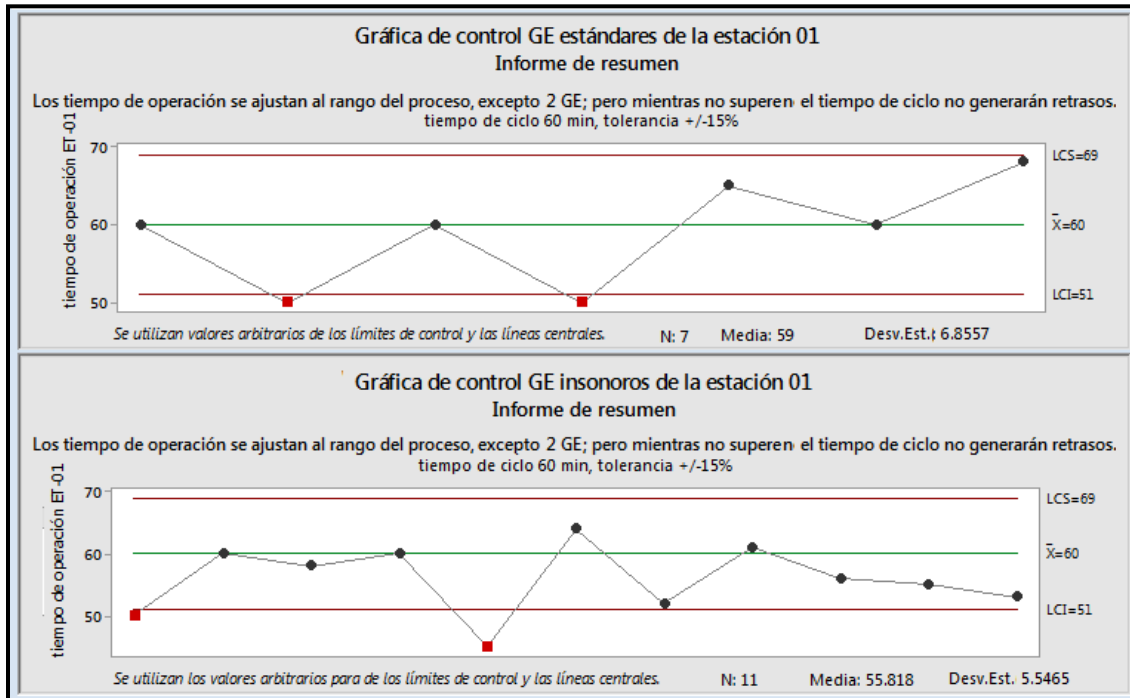


Figura 102. Grafica de control de los tiempos de la estación 1 del lote de prueba.

Elaboración propia

- **Estación de ensamble 2;** definida las operaciones de la tabla 41, el tiempo de operación promedio de esta estación para GE estándares es 36 min. y para GE insonoros 56 min, la figura 103 muestra ciertas operaciones y la figura 104 nos dice que los tiempos tienen variación, pero de valores menores al tiempo de ciclo.

Tabla 41. Registro de los tiempos de la estación 2 del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE estándares				Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones	GE	Serie	Cliente	ET-02	GE	Serie	Cliente	ET-02
10	Instalación de sensores en el motor	MP-55	Z12318	SIVASA	30	MP-55I	Z12319	SPATH	54
20	Instalación de arnés eléctrico en el motor	MP-60	Z12373	NICOL	37	MP-60I	Z12324	NTS	58
		MP-60	Z12376	NICOL	30	MP-60I	Z12323	NTS	60
30	Instalación de conectores de drenajes para el radiador y cárter del motor (GE insonoro)	MP-60	Z12374	NICOL	35	MP-60I	Z12322	SAN JUAN	55
		MP-60	Z12375	NICOL	40	MP-60I	Z12380	SAN JUAN	55
		MP-68	Z12326	MOTOREX	45	MP-68I	Z12327	LA LLAVE	50
		MP-76	Z12328	INTELEC	34	MP-76I	Z12329	SAN JUAN	50
		Tiempo promedio			35.86	MP-45I	Z12361	JIDSA	55
Obs: Tener en cuenta que la operación de instalación de drenajes sólo lo se realizan en los GE insonoros ese el motivo de la diferencia de los tiempos de operación en esta tabla.						MP-45I	Z12393	JIDSA	53
						MP-55I	Z12362	JIDSA	65
						MP-55I	Z12394	JIDSA	60
						Tiempo promedio		55.91	

Elaboración propia



Figura 103. Ensamble del lote de prueba en la estación 2.

Elaboración propia

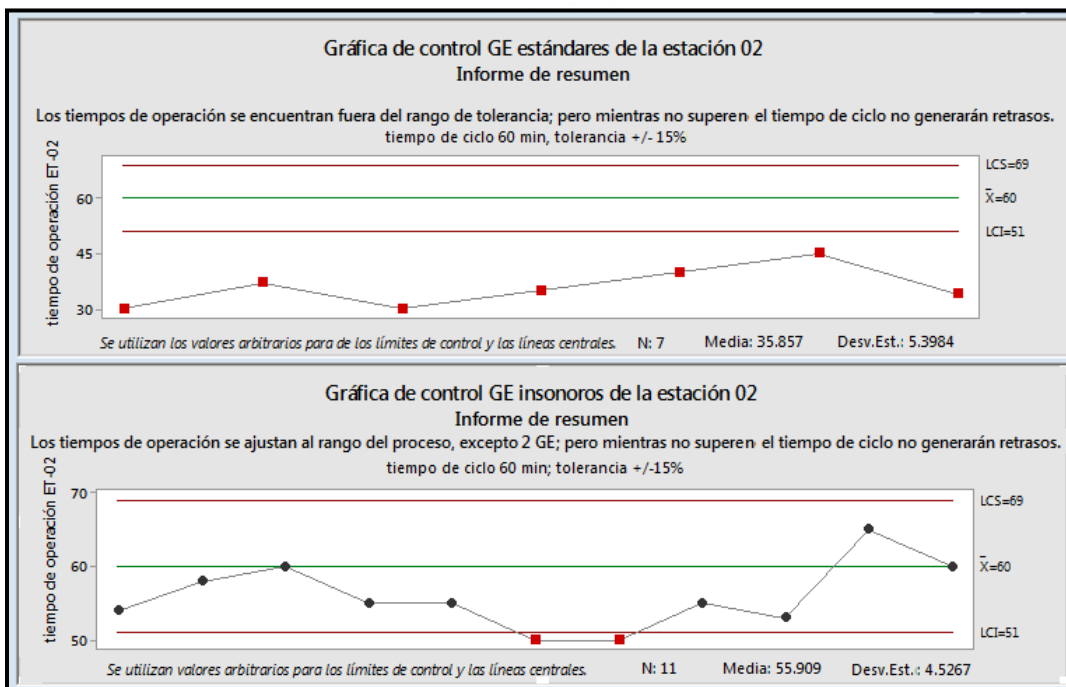


Figura 104. Grafica de control de los tiempos de la estación 2 del lote de prueba.

Elaboración propia

- **Estación de ensamble 3;** en la tabla 42 se muestra el tiempo de operación promedio de esta estación que para GE estándares es 56 min. y para GE insonoros 66 min; en esta estación debido a los retrasos en línea de las primeras muestras se modifica el balance inicial, cambiando dos operarios en lugar de uno, con el objetivo de no superar el tiempo de ciclo (ver figura 106), además debido al incremento de esta capacidad se incluyó en la estación la operación de instalación de batería con sus respectivos cables, la figura 105 muestra algunas operaciones.

Tabla 42. Registro de los tiempos de la estación 3 del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE estándares				Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones	GE	Serie	Cliente	ET-03	GE	Serie	Cliente	ET-03
10	Instalación del tablero de control/ITM	MP-55	Z12318	SIVASA	59	MP-55	Z12319	SPATH	77
		MP-60	Z12373	NICOL	56	MP-60	Z12324	NTS	70
20	Instalación de transformadores	MP-60	Z12376	NICOL	70	MP-60	Z12323	NTS	75
30	Instalación de arnés eléctrico del	MP-60	Z12374	NICOL	73	MP-60	Z12322	SAN JUAN	75
40	Instalar cables de tierra								
50	Instalar batería y cables de batería	MP-60	Z12375	NICOL	49	MP-60	Z12380	SAN JUAN	65
Obs1:	El Z12376 tuvo retraso en la entrega del soporte de tablero, el Z12319 se tuvo realizar el agujero para instalación del cable de tierra.	MP-68	Z12326	MOTOREX	35	MP-68	Z12327	LA LLAVE	60
		MP-76	Z12328	INTELEC	49				
		Tiempo promedio				55.857	MP-76	Z12329	SAN JUAN
Obs2:	Los tiempos de operación de las series Z12318, Z12319, Z12373, Z12324, Z12376, Z12323, Z12374, Z12322 están por encima del tiempo de ciclo objetivo razón por la cual se modificó el balance. Las próximas series se trabajará con dos operarios en esta estación en lugar de sólo uno; las series Z12329, Z12361, Z12393, Z12362, Z12394 se les agrega la operación de instalación de batería con sus cables.	MP-45	Z12361	JIDSA	51				
		MP-45	Z12393	JIDSA	68				
		MP-55	Z12362	JIDSA	60				
		MP-55	Z12394	JIDSA	61				
		Tiempo promedio							65.64

Elaboración propia



Figura 105. Ensamble del lote de prueba en la estación 3.

Elaboración propia

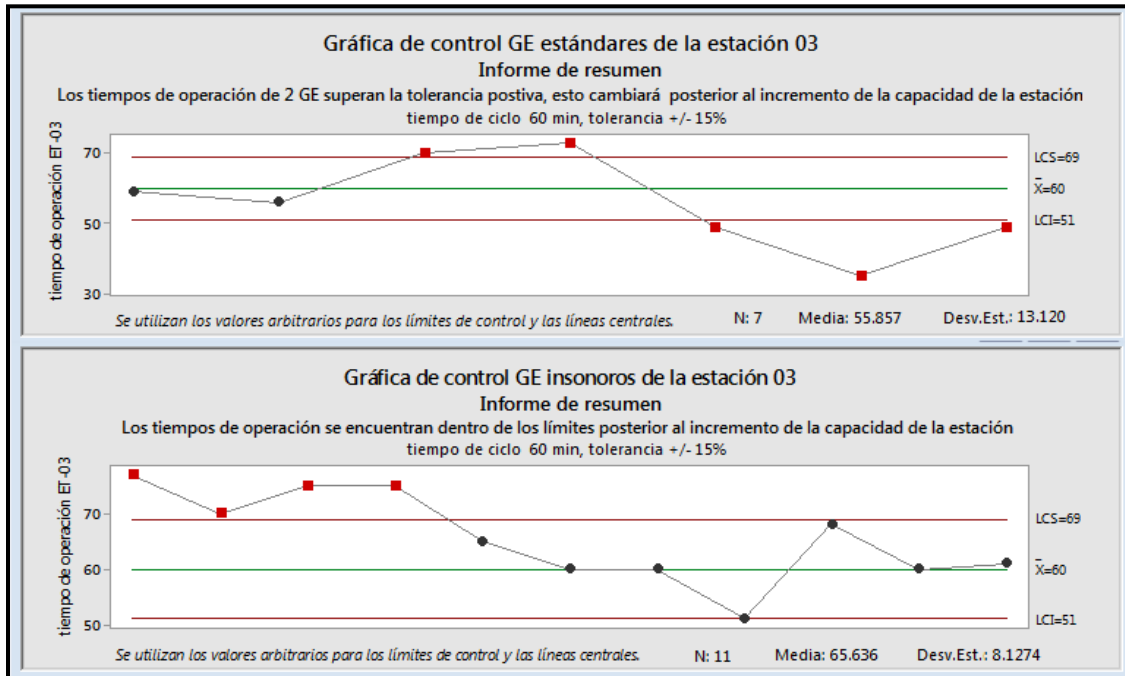


Figura 106. Grafica de control de los tiempos de la estación 3 del lote de prueba.
Elaboración propia

- **Estación de ensamble 4;** en la tabla 43 se muestra que el tiempo de operación promedio para GE estándares es 64 min. y para GE insonoros 60 min; pero se debe considerar que esta estación ha modificado sus operaciones debido a que se ha eliminado la instalación de batería y sus cables. La figura 107 muestra algunas operaciones. La figura 108 trata la gráfica de control de los tiempos de la estación.

Tabla 43. Registro de los tiempos de la estación 4 del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE estándares				Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones	GE	Serie	Cliente	ET-04	GE	Serie	Cliente	ET-04
10	Instalar batería y cables de batería	MP-55	Z12318	SIVASA	70	MP-55I	Z12319	SPATH	58
20	Fabricación de los cables de fuerza	MP-60	Z12373	NICOL	67	MP-60I	Z12324	NTS	55
30	Instalar cables de fuerza	MP-60	Z12376	NICOL	60	MP-60I	Z12323	NTS	55
Obs1: El Z12318 tuvo retraso por el cambio de ITM debido a su amperaje. Las series Z12329, Z12361, Z12393, Z12362, Z12394 no se les van a considerar de tiempo de inst. de batería con sus cables porque paso a la estación 3.		MP-60	Z12374	NICOL	50	MP-60I	Z12322	SAN JUAN	60
		MP-60	Z12375	NICOL	55	MP-60I	Z12380	SAN JUAN	45
		MP-68	Z12326	MOTOREX	82	MP-68I	Z12327	LA LLAVE	72
		MP-76	Z12328	INTELEC	65	MP-76I	Z12329	SAN JUAN	60
		Tiempo promedio				64.14	MP-45I	Z12361	JIDSA
Obs2: Para la serie Z12394 se fabrican sus cables de fuerza antes de su ingreso a la estación para demostrar que esta operación es la consume aprox. el 50% del tiempo total de la estación; pero al ser retirado la operación de instalación de batería es innecesario crear una célula de fabricación de estos cables.						MP-45I	Z12393	JIDSA	60
						MP-55I	Z12362	JIDSA	70
						MP-55I	Z12394	JIDSA	30
		Tiempo promedio							59.55

Elaboración propia



Figura 107. Ensamble del lote de prueba en la estación 4.

Elaboración propia

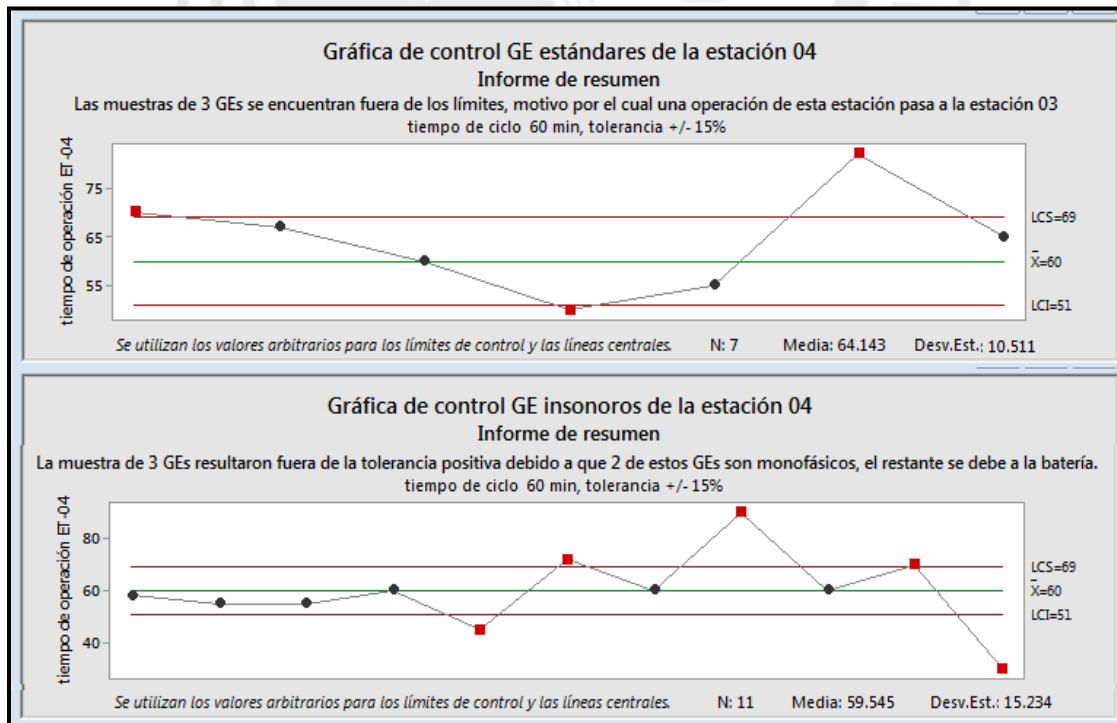


Figura 108. Grafica de control de los tiempos de la estación 4 del lote de prueba.

Elaboración propia

- **Estación de ensamble 05**; la distribución física final de esta estación se muestra en la figura 109. Inicialmente con los primeros GE del lote de prueba se realizó operaciones en un sólo espacio físico con ambos operarios actuando como una estación integral, posteriormente se realizó mejoras que convirtieron la estación integral en una célula de trabajo dividiéndola en dos subestaciones (espacios diferentes con una distribución en paralelo) con un operario en cada subestación, como se muestra en la figura 110. La primera subestación se encargará de las operaciones de preparación y retiro del GE de la sala de prueba; la segunda estación se encargara de la configuración y prueba del GE.

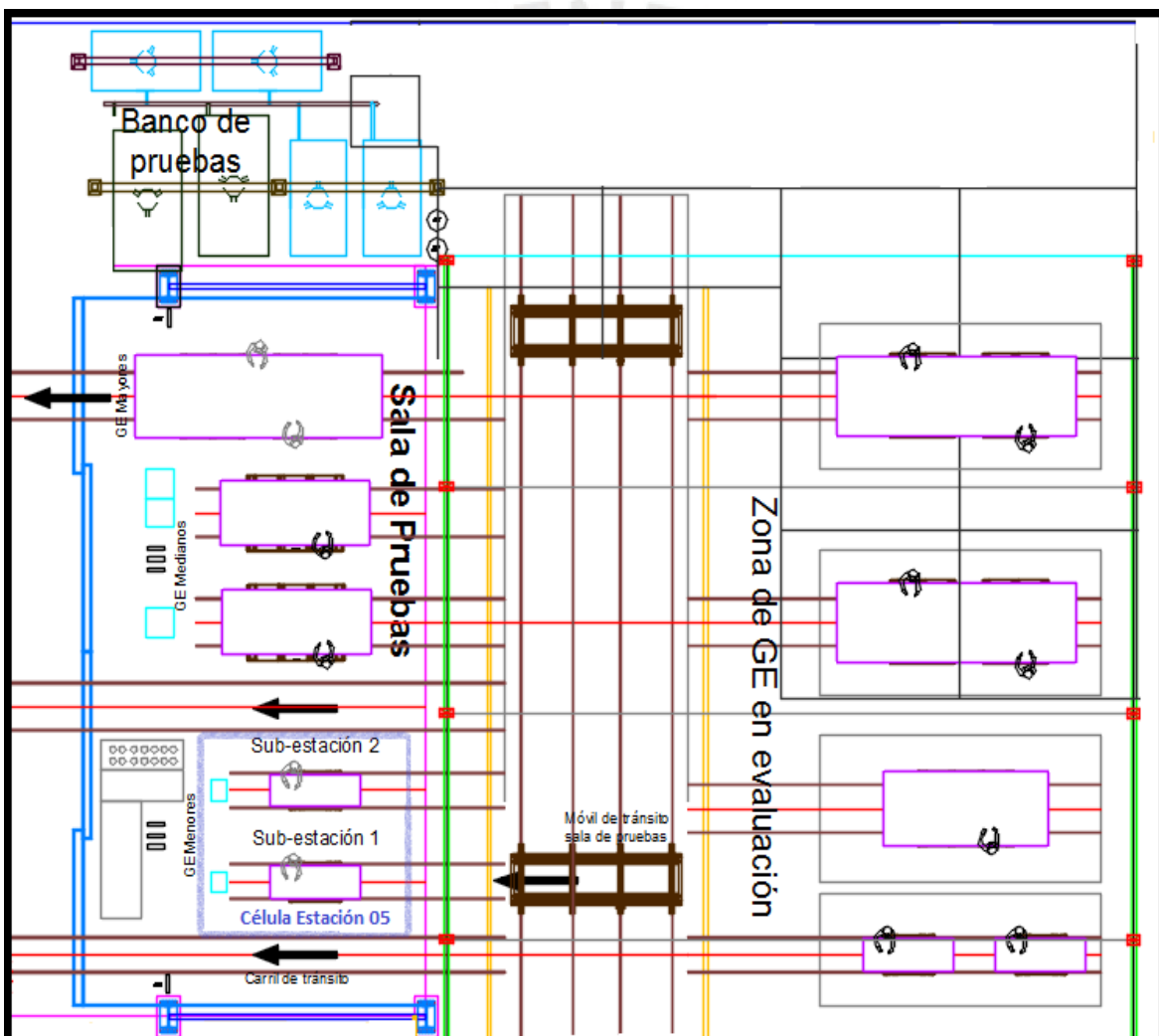


Figura 109. Nueva distribución física de la estación 05 del lote de prueba.

Elaboración propia

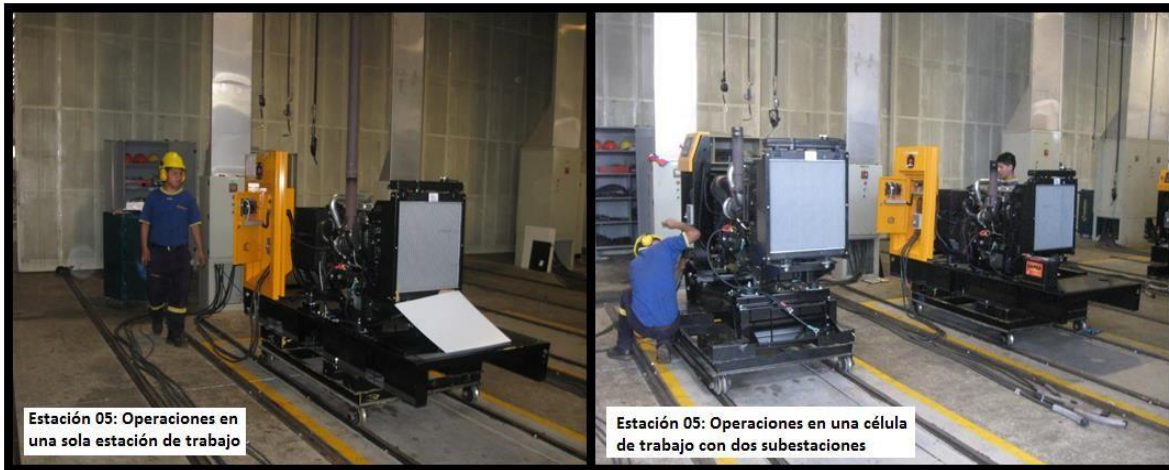


Figura 110. Operaciones de la estación 05 del lote de prueba.

Elaboración propia

En la tabla 44 se muestra el tiempo de operación promedio para GE estándares es 112.6 min. y para GE insonoros 117.2 min. Esta célula no debe superar los 120 min. de operación, por lo que cada subestación debe tener un tiempo máximo de 60 min. que permitirá estar acorde tiempo de ciclo de las demás estaciones de la línea de ensamble

Tabla 44. Registro de los tiempos de la estación 5 del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE estándares				Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones op. 1: preparación y retiro GE	GE	Serie	Cliente	ET-05	GE	Serie	Cliente	ET-05
10	Abastecimiento de combustibles al GE	MP-55	Z12318	SIVASA	318	MP-55I	Z12319	SPATH	88
20	Conectar cables al banco de prueba	MP-60	Z12373	NICOL	93	MP-60I	Z12324	NTS	107
30	Instalar tubo de escape	MP-60	Z12376	NICOL	193	MP-60I	Z12323	NTS	145
60	Desconectar cables del banco de prueba	MP-60	Z12374	NICOL	130	MP-60I	Z12322	SAN JUAN	420
70	Limpieza y emisión de certificados	MP-60	Z12375	NICOL	95	MP-60I	Z12380	SAN JUAN	140
Índice	Operaciones Op. 2: configuración y prueba	MP-68	Z12326	MOTOREX	133	MP-68I	Z12327	LA LLAVE	134
40	Programación del módulo de control	MP-76	Z12328	INTELEC	112	MP-76I	Z12329	SAN JUAN	190
50	Realizar pruebas del grupo electrógeno	Tiempo promedio			112.6	MP-45I	Z12361	JIDSA	95
Obs1: Los GE de series Z12318, Z12376, Z12322, Z12329 presentaron inestabilidad en la velocidad del motor cuando se probaron con carga (simulación de consumo de potencia), por lo tanto estos datos no van al promedio del tiempo de operación.						MP-45I	Z12393	JIDSA	110
						MP-55I	Z12362	JIDSA	120
						MP-55I	Z12394	JIDSA	116
						Tiempo promedio		117.2	
Obs2: Los tiempos de operación de esta estación superaron el tiempo de ciclo definido; aunque esta estación se le asigno 2 operarios y debido a la secuencia de las operaciones, estas no se pueden realizar en un mismo espacio físico, razón por la cual ocasionaron retrasos en la línea. Para resolver este problema se trató a la estación 05 como una célula de fabricación con 2 subestaciones en diferentes espacios físicos: Op. 1 - Preparación y Retiro GE, Op. 2 - configuración y prueba. Inicialmente debido a la saturación las series Z12328 y Z12329 se platearon 3 operarios: Op. 1 - Preparación, Op. 2 - Prueba, Op. 3 - Retiro; pero luego con las series Z12361, Z12393, Z12362, Z12394 se demostró que debido a los tiempos y secuencia de las operaciones, tomando en cuenta el espacio físico asignado, sólo es necesario un operario para preparación y retiro del GE y un operario para configuración y prueba del GE. Si bien el tiempo de operación de la estación es max. 120 min, se mantiene el tiempo de ciclo dentro de la célula no afectando la línea.									

Elaboración propia

- **Estación de ensamble insonorizado;** esta estación de trabajo debido a la secuencia de operaciones y disponibilidad de espacios físicos es rediseñada, al igual que la estación 05, como una célula de trabajo que se divide en dos subestaciones (espacios físicos diferentes con una distribución en línea) con un operario en cada subestación, tal como se muestra en la figura 111. La primera subestación se encargará del ensamble de paneles, excepto panel delantero y puertas; la segunda estación se encargará del ensamble del sistema de escape, panel frontal y las puertas. En la tabla 45 se muestra el tiempo de operación promedio para esta estación que sólo pertenece al ensamble de GE insonoros resultando 99.73 minutos. Esta célula no debe superar los 120 min. de operación, por lo tanto, cada subestación deberá tener un tiempo máximo de 60 minutos que permitirá estar acorde tiempo de ciclo de la línea de ensamble, misma consideración que se tomó en el diseño de la célula de la estación 05.

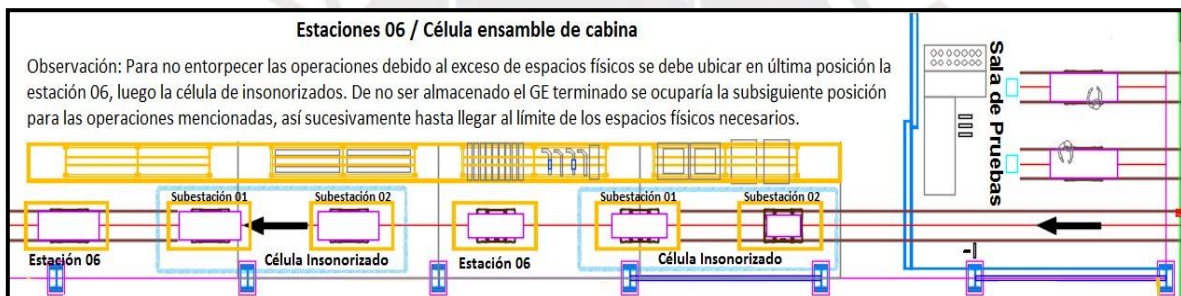


Figura 111. Nueva distribución física de la estación Insonorizado del lote de prueba.

Elaboración propia

Tabla 45. Registro de los tiempos de la estación Insonorizado del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones op. 1: Paneles de la cabina	GE	Serie	Cliente	ET-Ins.
10	Ensamblar paneles laterales y deflector	MP-55I	Z12319	SPATH	100
20	Ensamblar panel posterior	MP-60I	Z12324	NTS	85
30	Ensamblar techo	MP-60I	Z12323	NTS	100
Índice	Operaciones Op. 2: Sist. Escape y puertas	MP-60I	Z12322	SAN JUAN	85
10	Instalar sistema de escape	MP-60I	Z12380	SAN JUAN	100
20	Ensamblar puertas	MP-68I	Z12327	LA LLAVE	77
30	Ensamblar panel frontal	MP-76I	Z12329	SAN JUAN	85
Obs1: El GE Z12394 no será considerado debido a que la cabina insonora necesito de retrabajos.		MP-45I	Z12361	JIDSA	105
		MP-45I	Z12393	JIDSA	105
Obs2: Debido a las secuencia de las operaciones esta estación debe ser rediseñada como célula de trabajo: 2 subestaciones en diferentes espacios.		MP-55I	Z12362	JIDSA	100
		MP-55I	Z12394	JIDSA	155
Tiempo promedio					99.73

Elaboración propia

- **Estación de ensamble 06;** en la tabla 46 se muestra el tiempo de operación promedio para GE estándares que es 53.4 minutos y para GE insonoros que es 67 minutos; el tiempo de limpieza y operaciones finales en un GE insonoro es superior a un GE estándar debido al tamaño de este y difícil acceso de las zonas a tratar. El tiempo de ciclo de esta estación ocasionalmente es superado por las operaciones para GE insonoros; pero por ser la última estación y contar con un exceso de espacios para la ubicación de la estación, esta diferencia de tiempo no genera retrasos a las estaciones anteriores de la línea. La figura 112 muestra algunas de las operaciones y espacios disponibles para esta estación

Tabla 46. Registro de los tiempos de la estación 6 del lote de prueba

Resumen de operaciones		Reporte GE estándares				Reporte GE insonoros			
Índice	Operaciones	GE	Serie	Cliente	ET-06	GE	Serie	Cliente	ET-06
10	Instalar silenciador (GE estándar)	MP-55	Z12318	SIVASA	47	MP-55I	Z12319	SPATH	75
20	Instalar tapas de alternador e ITM, etiquetas, placa y comp. sueltos	MP-60	Z12373	NICOL	65	MP-60I	Z12324	NTS	74
		MP-60	Z12376	NICOL	45	MP-60I	Z12323	NTS	60
30	Cambiar del tubo, soporte (GE ins,) y protector del filtro de aire; colocar cintras de protección; cambiar mangueras de desfogue (GE ins.)	MP-60	Z12374	NICOL	53	MP-60I	Z12322	SAN JUAN	74
		MP-60	Z12375	NICOL	50	MP-60I	Z12380	SAN JUAN	79
		MP-68	Z12326	MOTOREX	60	MP-68I	Z12327	LA LLAVE	83
		MP-76	Z12328	INTELEC	54	MP-76I	Z12329	SAN JUAN	90
40	Plastificado del GE	Tiempo promedio			53.4	MP-45I	Z12361	JIDSA	110
Obs 1: Tener en cuenta que existen ciertas operaciones que sólo se realizan en los GE insonoros, motivo de la diferencia de los tiempos de operación en esta tabla. Además el tratamiento de limpieza y acabados es superior en un GE insonoro debido al tamaño y espacios de difícil acceso.						MP-45I	Z12393	JIDSA	40
						MP-55I	Z12362	JIDSA	93
						MP-55I	Z12394	JIDSA	120
						Tiempo promedio			67.0
Obs 2: Las series Z12327, Z12329, Z12361, Z12362, Z12394 presentaron problemas de abastecimiento (kanban), por lo que no se toman en cuenta en el promedio por ser un factor externo a las operaciones de ensamble.									

Elaboración propia



Figura 112. Ensamble del lote de prueba en la estación 6.

Elaboración propia

La tabla 47 resume las mejores o más estables muestras de los tiempos de operación de cada estación, retirando aquellos que mostraron retrasos ocasionados por factores externos que no competían a las operaciones de las estaciones. Luego de obtener los tiempos por estación se consigue el tiempo de entrega (lead time) promedio que para GE insonoros es 627.4 minutos y para GE estándares es 592 minutos. El %VA para GE insonoros resulta 82.4% y para GE estándares 64.5%, muy superiores a los valores %VA antes de la aplicación de las mejoras, entre ellos, el balance de línea.

Tabla 47. Tiempo de entrega promedio y %VA promedio de los GE del lote de prueba

Reporte del lote de prueba - GE sin retrasos externos (Tiempo en minutos, TR = transición de una estación a otra)																		
GE	Serie	Cliente	ET-01	TR-01	ET-02	TR-02	ET-03	TR-03	ET-04	TR-04	ET-05	TR-05	ET-Ins.	TR-Ins.	ET-06	Lead Time	VA	% VA
MP-55I	Z12319	SPATH	50	2	54	2	77	7	58	2	88	20	100	5	75	540	502	93.0%
MP-60I	Z12324	NTS	60	20	58	2	70	5	55	44	107	9	85	50	74	639	509	79.7%
MP-60I	Z12323	NTS	58	15	60	0	75	5	55	10	145	15	100	20	60	618	553	89.5%
MP-60I	Z12380	SAN JUAN	45	35	55	0	65	5	45	15	140	5	100	3	79	592	529	89.4%
MP-45I	Z12393	JIDSA	56	19	53	10	68	22	60	10	110	120	105	75	40	748	492	65.8%
Promedio GE insonoro			53.8	18.2	56.0	2.8	71.0	8.8	54.6	16.2	118.0	33.8	98.0	30.6	65.6	627.4	517.0	82.4%
MP-60	Z12373	NICOL	50	8	37	47	56	5	67	5	93	112	-	-	65	545	368	67.5%
MP-60	Z12374	NICOL	50	25	35	40	73	2	50	33	130	119	-	-	53	610	391	64.1%
MP-60	Z12375	NICOL	65	10	40	50	49	11	55	10	95	95	-	-	50	530	354	66.8%
MP-68	Z12326	MOTOREX	60	5	45	15	35	10	82	8	133	127	-	-	60	580	415	71.6%
MP-76	Z12328	INTELEC	68	0	34	21	49	23	65	73	112	196	-	-	54	695	382	55.0%
Promedio GE estándar			58.6	9.6	38.2	34.6	52.4	10.2	63.8	25.8	112.6	129.8	-	-	56.4	592.0	382	64.5%

Elaboración propia

La tabla 48 muestra los tiempos promedios finales de cada estación tanto para un GE estándar como para un GE insonoro observando lo similitud entre ellos ya que como se explicó anteriormente como forman parte de una misma línea de ensamble estos tiempos, en lo posible, deben tratar de ser iguales. Se obtiene el tiempo promedio de cada estación que debe cumplir cada grupo muy indiferente del modelo, y los números de operarios que se tiene que emplear para mantener estos tiempos de operación del balance de línea.

Tabla 48. Tiempo promedio y cantidad de operarios por estación en el lote de prueba

Estaciones	T. prom. GE est. (min)	T. prom. GE ins. (min)	T. prom. Línea (min)	Operarios (Cant.)
Estación 01	58.6	53.8	56.2	2
Estación 02	38.2	56.0	47.1	1
Estación 03	52.4	71.0	61.7	2
Estación 04	63.8	54.6	59.2	1
Célula ET-05	112.6	118.0	115.3	2
Célula ET-Ins	-	98.0	98.0	2
Estación 06	56.4	65.6	61.0	1
Total	382.0	517.0	-	11

Elaboración propia

En la tabla 49 se muestra el incremento del %VA en la línea de ensamble y se comparara sus valores del antes y después del balance de línea, para GE insonoros un %VA que incremento de 15.4% a 82.4% y para GE estandares incremento de 12.8% a 64.5%.

Tabla 49. Comparación e Incremento del %VA de la línea antes y después del balance

Comparación del %VA de la línea de ensamble de GE de potencias menores antes y después del balance				
Tiempo de entrega GE Insonoros después del balance (min.)	627.4	Tiempo VA después balance	517.0	82.4%
Tiempo de entrega GE Insonoros antes del balance (min.)	2860.0	Tiempo VA antes balance	440.0	15.4%
Tiempo de entrega GE Estándares después del balance (min.)	592.0	Tiempo VA después balance	382.0	64.5%
Tiempo de entrega GE estándares antes del balance (min.)	2660.0	Tiempo VA antes balance	340.0	12.8%

Elaboración propia

Luego de mostrar el incremento del tiempo de entrega de la línea de ensamble después de realizado el balance de línea, se realiza el diagrama del mapa de la cadena de valor (VSM) de toda la línea de producción (línea de fabricación metal/mecánica, línea de fabricación pintura y línea de ensamble mecánico/eléctrico) para GE de potencias menores. Se realizara un diagrama que revele estado inicial en la línea de ensamble antes del balance y otro diagrama que muestre el estado final de línea de ensamble después del balance para mostrar el impacto de todas las mejoras realizadas aplicando las herramientas de la metodología TLS, ya que en este tercer paso de TOC también se utilizaron las herramientas Lean Manufacturing que más adelante se resumen.

La figura 113 muestra el diagrama VSM inicial (antes del balance de línea) con un tiempo de entrega del GE insonoro al cliente de máximo 4212 minutos, que en horas laborales significa entregar el GE insonoro en 7 días, 7 hora y 12 minutos, mostrando un tiempo de las operaciones de valor agregado de mínimo 1041 minutos, que resultan en un %VA de 24.7% de la línea de producción de GE de potencias menores.

La figura 114 muestra el diagrama VSM final (después del balance de línea) que demuestra que el tiempo de entrega del GE insonoro al cliente se redujo a máximo 1977 minutos, que en horas laborales significa entregar el GE insonoro en 3 días, 5 hora y 57 minutos, a la vez se redujo el tiempo de las operaciones de valor agregado a mínimo 1002 minutos, que resultan en un incremento del %VA a 50.7% de la línea de producción de GE de potencias menores. En esta figura se perciben las mejoras sustanciales que se lograron con este tercer paso que es subordinar todo a la restricción.

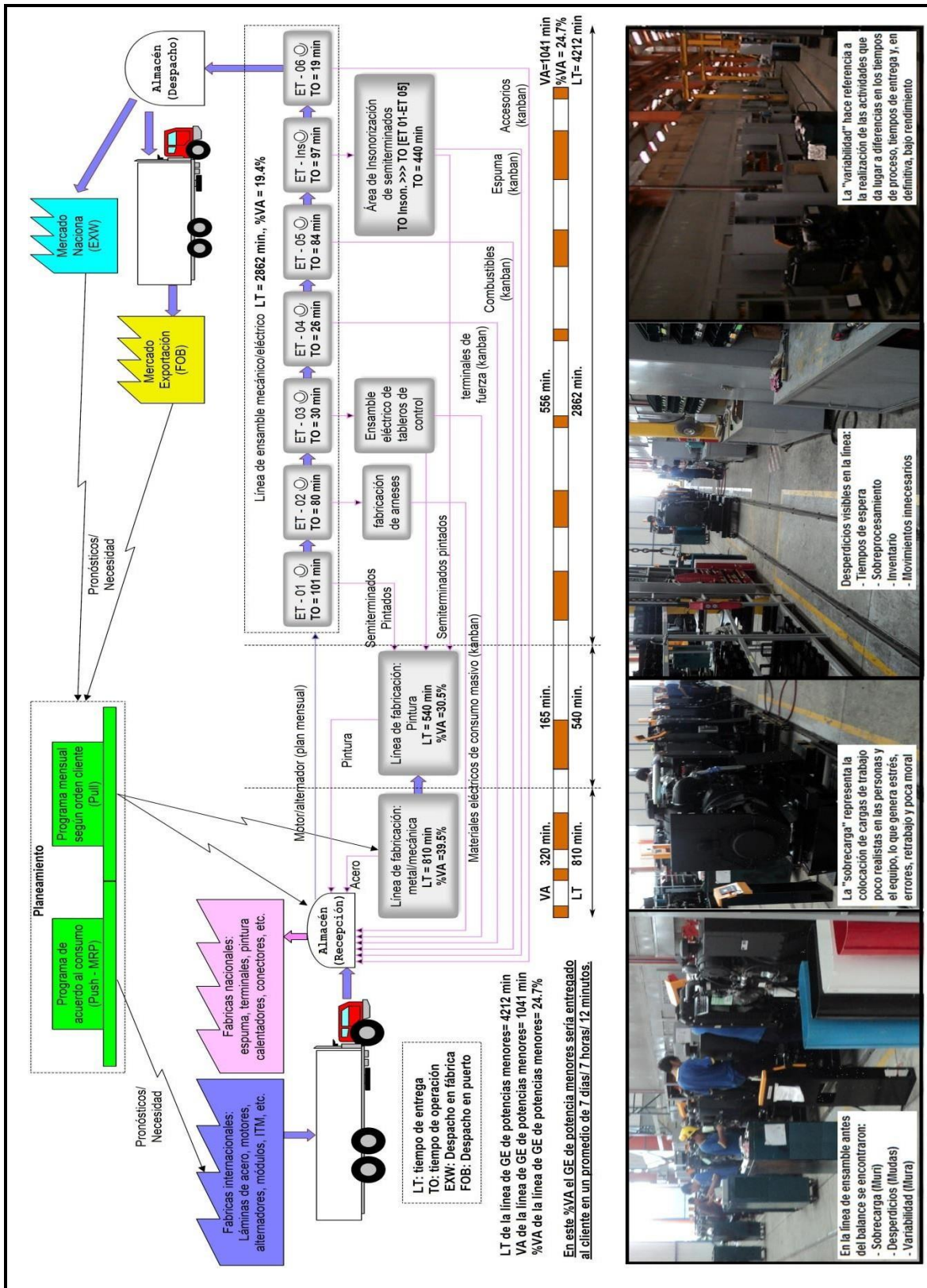


Figura 113. VSM inicial (antes del balance) de la línea de producción GE.

Elaboración propia

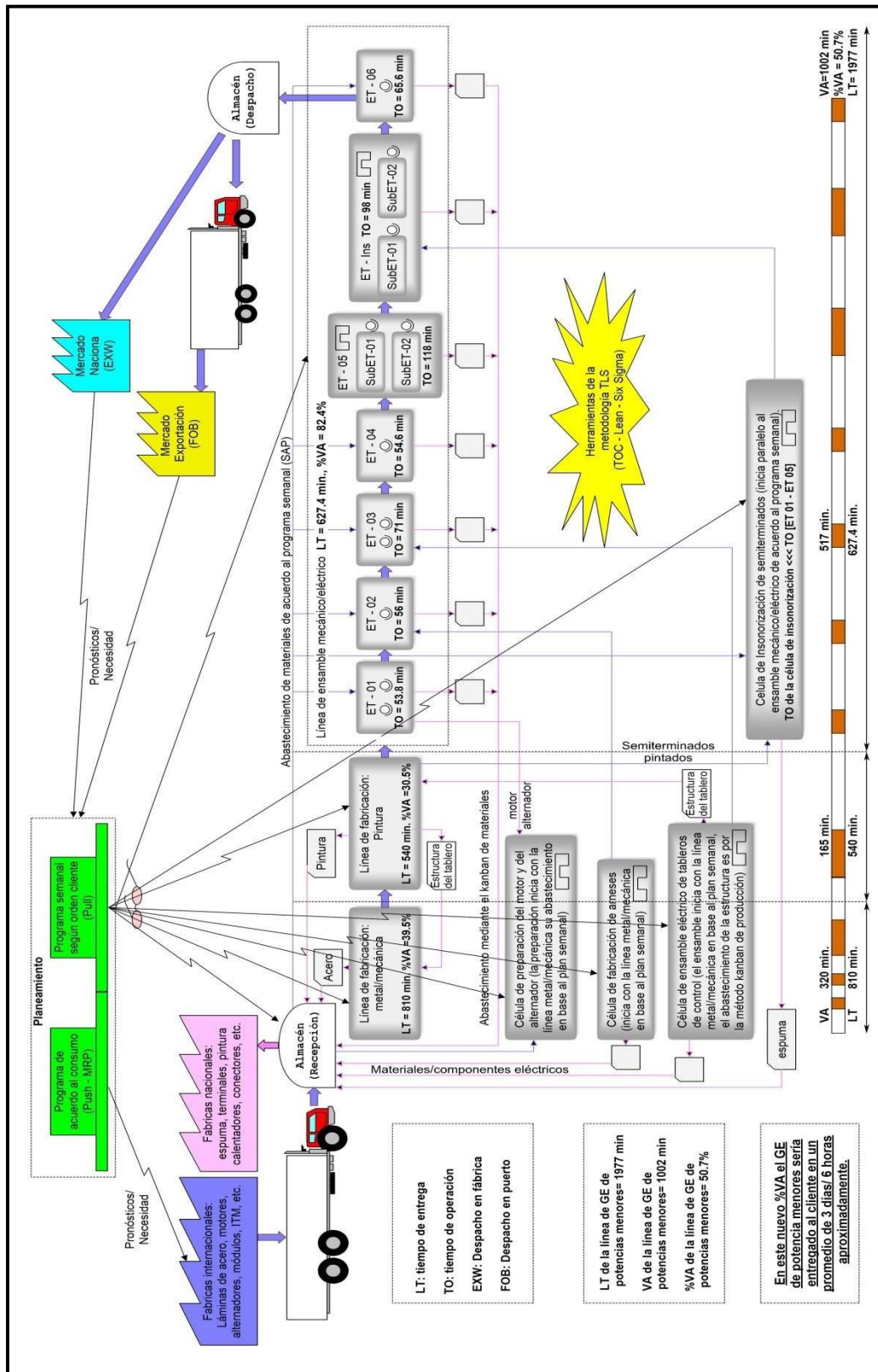


Figura 114. VSM final (después del balance) de la línea de producción GE.

Elaboración propia

6.3.4.1. Herramientas Lean Manufacturing II

En este nivel resumiremos todas las herramientas Lean Manufacturing que se han sido empleadas para lograr el objetivo de subordinar todo a la restricción, algunas de estas herramientas, aparte de aplicar la mejora también se utilizan para realizar un control continuo a esta. En la tabla 50 se enumera cada una que las herramientas de mejora Lean que fueron aplicadas a las complicaciones encontrados en la línea de ensamble al momento de tratar de conseguir el balance de línea y sus mejoras subsecuentes.

Tabla 50. Mejoras implementadas en el balance de la línea de ensamble

Aplicación de las herramientas de mejora Lean Manufacturing II		
Complicaciones de la línea de ensamble	Herramientas	Mejoras a implementar
Sobrecarga (Muri)	Programa de producción desbalanceado	Programación nivelada Se realiza un programa de producción semanal de acuerdo a las órdenes de compra del cliente, además en este programa se debe equilibrar la producción de GE estándares con GE insonoros
Sobreprocesamiento (Muda)	Mala comunicación y deficiente traducción de lo que desea el cliente	Grupos de trabajo Se involucra a todo el personal para mantener los proyectos de mejora, todos deben tener conocimiento de las herramientas TLS
	Débil empoderamiento del personal	Jidoka Se empodera al operario o equipo tanto que le permitan detener la línea para solucionar algún problema y no generar retrabajos
Exceso de Inventario (Muda)	Líneas de fabricación metal/mecánica no sincronizada con la línea de ensamble	Sistema pull Se abastece y/o fabrica las estructuras de acuerdo al plan de producción semanal
		Sistema kanban Se fabrica la estructura de los tableros y los accesorios de metal de menor coste según kanban
Movimientos Innecesarios (Muda)	Elementos no abastecidos a tiempo y préstamos de herramientas	POUS Se ubica los componentes necesarios y las herramientas necesarias para el ensamble del GE en el lugar donde serán utilizados
	Desorden de materiales en cada estación	5'S Dentro de cada estación se realiza las sencillas funciones que clasificar, ordenar, limpiar de modo de mantener estas y crear disciplina
	No se respeta los límites físicos de las estaciones	Control Visual Se delimita físicamente los espacios y se publica paneles con información relevante de las operaciones
Tiempos de espera (Muda)	No se toma en cuenta los bajos índices de %VA	VSM Se realiza el VSM de toda la línea de producción de GEs para identificar los índices tiempo de entrega y %VA de todas las líneas de fabricación y ensamble
Variabilidad (Mura)	Amplias diferencias de tiempos de operación entre estaciones	Estandarización Se define y estandariza las operaciones de cada estación de trabajo, buscando crear la menor variación de tiempos de operación entre estaciones

Elaboración propia

6.3.5. DMAIC - Etapa Controlar II

La etapa controlar finaliza el segundo ciclo DMAIC aplicado para subordinar todo a la restricción que para nuestro caso se entendía subordinar las operaciones de las estaciones del 1 al 5 al nuevo proceso de insonorización y por ende a toda la línea de ensamble, que se consiguió mediante el balance de línea explicado en la etapa anterior. Luego de conseguido este objetivo, como antes se ha mencionado, es muy importante tratar mantener esta solución en el tiempo, por lo que es importante aplicar y validar, cada cierto periodo, algunas herramientas de control mencionadas en el cuadro anterior.

La herramientas control visual y la herramienta 5'S son las herramientas control más sencillas: el control visual es de simple inspección donde se visualiza en un panel o periódico mural ubicado en cada estación que se estén ejecutando las operaciones pertenecientes a la estación correspondiente, además en el mismo panel se pueden publicar los formatos de la figura 115; la herramientas 5'S, además de ser una herramienta de autocontrol, se debe utilizar para realizar auditorías de los procesos en cada estación corroborando que se esté cumpliendo con las políticas de autocontrol. Otra herramienta importante de control interno es la herramienta de mejora jidoka o automatización que le permite al operario detener toda la línea si debe realizar algún cambio. Además, es importante no olvidar las capacitaciones a todo el personal sobre las herramientas de mejora que les permitirán realizar un autocontrol de los procesos que se ejecutan en la línea de ensamble mecánica/eléctrica, manteniendo el balance de esta.

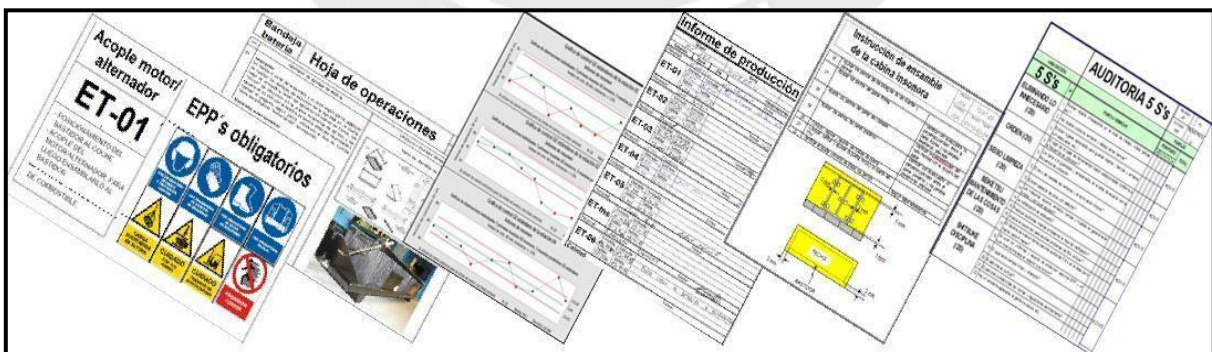


Figura 115. Herramientas de control para mantener el balance de la línea de ensamble.

Elaboración propia

6.4. TOC - Paso 4: Aumentar la capacidad de la restricción

Luego de haber subordinado todo a la restricción, la metodología te exige que evalúes la posibilidad de incrementar la capacidad de la restricción. No olvidar que hasta el momento la restricción inicial sigue siendo la insonorización de semiterminados, que luego de ser explotada al máximo en el segundo de la metodología, la nueva capacidad para la insonorización de semiterminados es 300 minutos, donde se utiliza mínimo dos operarios. Para conseguir elevar la capacidad de la restricción primero se debe conocer cuántos GE insonoros produce la línea de ensamble, como se explicó en el tercer paso, la línea está diseñada para el ingreso de 9 GE al día; donde para saber qué proporción de los 9 son GE insonoros, se tomara de referencia la producción de 12 meses.

Tabla 51. Producción de GE de potencias menores por mes

Meses	GE menores	GE estándares	GE insonoros	% GE estándares	% GE insonoros
Mes 1	61	23	38	38%	62%
Mes 2	90	43	47	48%	52%
Mes 3	51	26	25	51%	49%
Mes 4	69	58	11	84%	16%
Mes 5	70	44	26	63%	37%
Mes 6	47	6	41	13%	87%
Mes 7	80	34	46	43%	58%
Mes 8	79	30	49	38%	62%
Mes 9	92	45	47	49%	51%
Mes 10	88	45	43	51%	49%
Mes 11	97	7	90	7%	93%
Mes 12	90	35	55	39%	61%
Promedio	76	33	43	44%	56%

Elaboración propia

Por lo tanto, según la tabla 51 la producción de GE insonoros la línea de potencias menores es alrededor del 56%, entonces de acuerdo a esta proporción la línea de ensamble debe estar diseñada para entregar 5 GEs insonoros al día, una vez obtenido este indicador se procede a elevar la capacidad de la restricción. Pero antes se recuerda que la línea de ensamble tiene un tiempo de ciclo de 60 minutos, además se cuenta con 540 minutos de operación diaria. También, mencionar que cuando se realizó el programa de ensamble semanal para el lote de prueba, se programó de forma intercalada (por cada GE insonoro un GE estándar) el ingreso del GE a la línea, es muy importante recordar este punto ya que en la figura 116 se demuestra porque se debe mantener este diseño.

La figura 116 muestra las operaciones del nuevo proceso de insonorización, que se explicó en el segundo paso de la metodología, donde la restricción que es la insonorización de semiterminados es realizada por dos operarios en 300 minutos; en ese diseño se consideró para el operario “1” una tolerancia (descansos) de aproximadamente 60 minutos y para el operario “2” una tolerancia de aproximadamente 43 minutos.

Al mismo tiempo, utilizando la misma figura 116, se muestra lo solicitado por este cuarto paso de la metodología que es elevar la capacidad con el fin de reducir el tiempo de la restricción; pero se debe tener en cuenta que es necesario mantener las tolerancias para el personal involucrado ya que siempre el diseño tomará en cuenta las necesidades personales. En ese sentido, en la figura se observa que es posible que el tiempo total de la restricción pueda ser reducida a 240 minutos: incrementando la capacidad de la estación pegado (estación que termina en la colocación de accesorios) a dos operarios (operario “1” y operario “3”) reduciendo el tiempo de operación 105 minutos a 60 minutos, esto permitirá mantener tolerancias para los tres operarios (operario “1” = 44 minutos cada 240 minutos, operario “2” = 42 minutos cada 240 minutos, operario “3” = 60 minutos cada 120 minutos, ya que este último sólo trabaja en la primera estación de pegado), tolerancias necesarias para no saturar al operario. Por lo tanto, reduciendo el tiempo de insonorización a 240 minutos, además de conocer que el tiempo de ciclo objetivo de la línea de ensamble es 60 minutos, se corrobora en la figura que la condición del ingreso del GE a la línea de ensamble debe ser intercalado (GE estándar después de cada GE insonoro) ya que de esta forma el ingreso de un nuevo GE insonoro se daría después de cada 120 minutos, con esta condición bastaría con elevar la capacidad de la restricción al doble, es decir, la nueva célula de insonorización de semiterminados (restricción) debe tener dos grupos de trabajo con tres operarios cada uno que cuenten con sus respectivas herramientas; aunque como el operario “3” que sólo trabaja en una estación debe ser compartido en ambos grupos de trabajo de modos de mejorar el diseño de la célula. En resumen el primer grupo de trabajo lo conforman los operarios “1”, “2” y “3”, mientras que el segundo grupo de trabajo lo conforman los operarios “4”, “5” y, nuevamente, “3”.

De este modo se consigue elevar la capacidad de la restricción, reduciendo del tiempo de operación de la célula de insonorización, este paso no perjudica el balance de línea; pero si elimina la restricción del sistema que es explicado en el último paso.

La figura 117 muestra como debe ser la distribución física de las operaciones de la célula de fabricación de insonorización de semiterminados, después de haber elevado su capacidad, permitiendo obtener tiempos de respuesta acorde con la línea de ensamble.

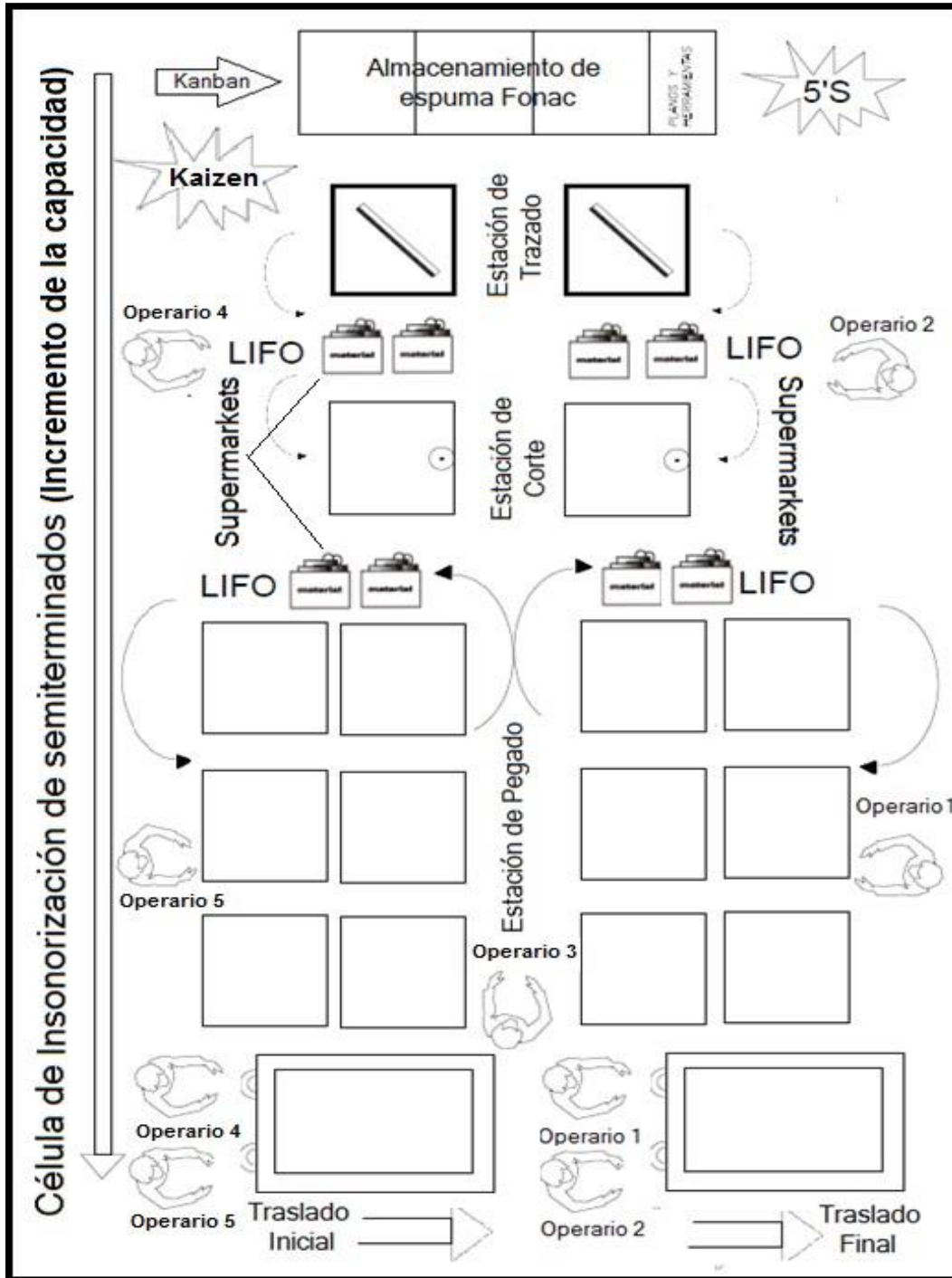


Figura 117. Distribución física luego de incrementar la capacidad de la restricción

Elaboración propia

La figura 118 demuestra que el espacio físico en planta destinado para la célula de insonorización aún sigue siendo el correcto, incluso luego de haber elevado la capacidad de la célula de insonorización las operaciones se pueden seguir realizando.

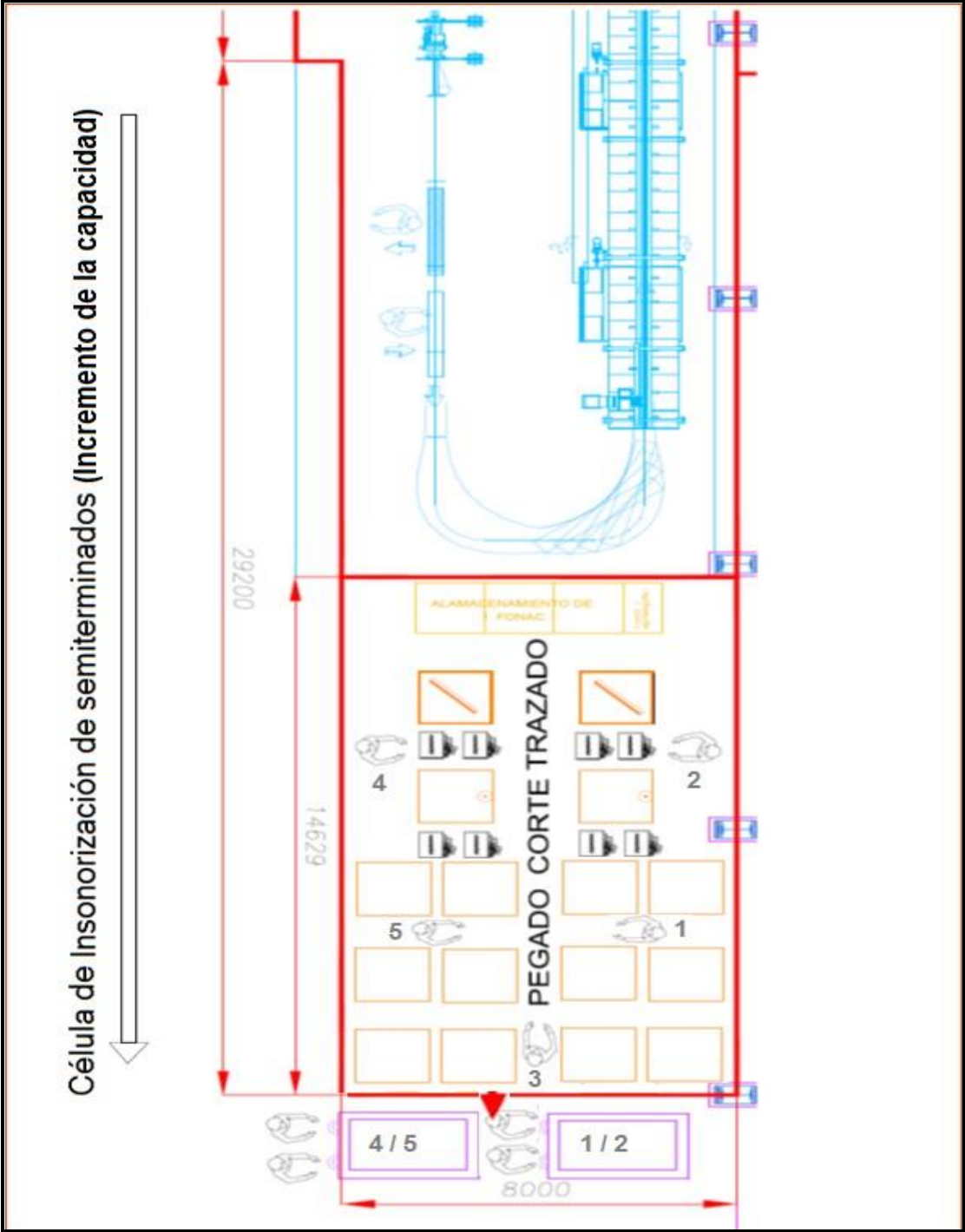


Figura 118. Distribución en planta luego de incrementar la capacidad de la restricción

Elaboración propia

6.5. TOC - Paso 5: La restricción ha sido eliminada, regresa al paso 1

En este quinto paso se pone fin a la metodología empleada, corroborando que si se emplean correctamente los cinco pasos de la metodología TOC se puede conseguir eliminar la restricción del sistema; aunque esto signifique la aparición de una nueva restricción. La figura 119, nos muestra que la restricción inicial (insonorización de semiterminados) ha sido eliminada al elevar la capacidad de la restricción, capacidad que es necesario elevar para atender la demanda de la línea; pero como ya se ha dicho anteriormente al eliminar la restricción inicial, siempre surgirá una nueva restricción que en este caso es el tiempo de operación por estación de la línea de ensamble.

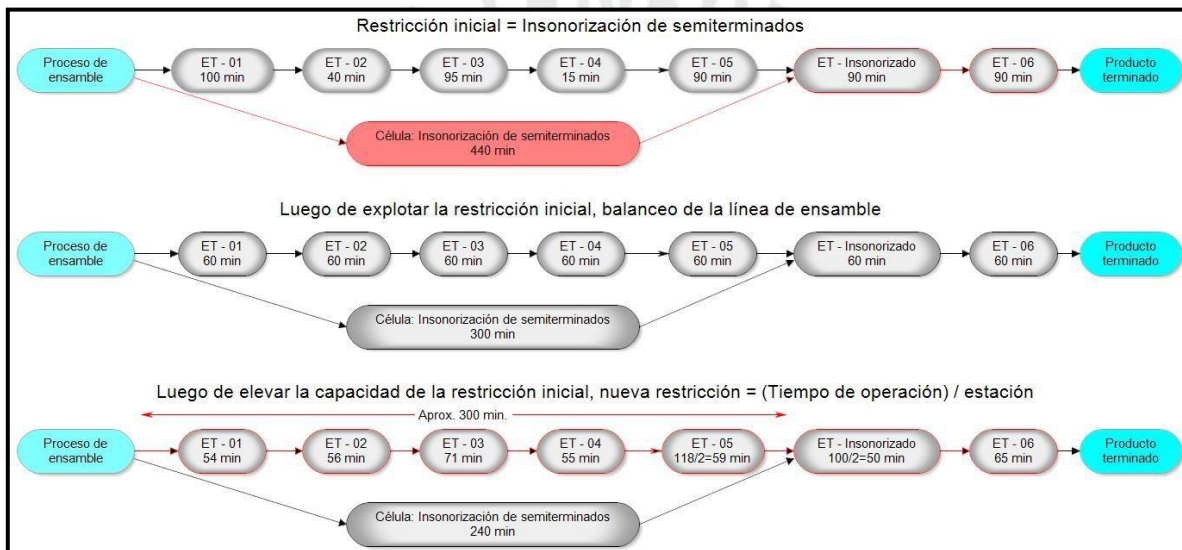


Figura 119. Nueva de la restricción de la línea de ensamble

Elaboración propia

La decisión de analizar una nueva restricción, como en este caso decidir si es necesario que el tiempo de operación por estación disminuya, debe ser considerado tema de otro caso de estudio, ya que se debe analizar nuevamente la factibilidad de aplicación de los cinco pasos del enfoque TOC, aunque como se mencionó anteriormente se debe estar atento en no caer en un círculo vicioso donde se actúa por inercia.

Por lo tanto, con este quinto paso que culmina la implementación de metodología TLS se logró demostrar que aplicando las herramientas TOC, Lean Manufacturing y Six Sigma en forma conjunta se puede mejorar en forma integral la línea de ensamble metal/mecánica.

TERCERA PARTE: EVALUACIÓN ECONÓMICA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La tercera parte presenta el cierre del caso de estudio, esta se divide en dos capítulos: un capítulo donde se describe la evaluación económica del caso y el otro capítulo donde se indican las conclusiones y recomendaciones. La evaluación económica presenta los ingresos y egresos del caso, que finalmente acaban dando la factibilidad económica para aplicación del caso. Las conclusiones, nos describen resultados puntuales del desarrollo del caso. Las recomendaciones, nos agrega algunas consideraciones a tener en cuenta.

CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL CASO DE ESTUDIO

Este capítulo que desarrolla la última fase del esquema metodológico, comprende la evaluación económica que permitirá la factibilidad económica para el desarrollo del caso de estudio. En el primer nivel analiza todos los ingresos que se obtiene al aplicar las mejoras en la línea. En el segundo nivel se analiza los egresos requeridos que permiten ejecutar las mejoras en la línea. Por último, se muestra el flujo de caja económico del caso de estudio cuyos indicadores nos permite tomar decisiones al respecto. Además, se debe tener en cuenta que adicional al beneficio económico que se obtendrá, la empresa generará una mayor satisfacción al cliente, que en el tiempo esto se puede traducir en mayores indicadores financieros y de calidad para la mencionada empresa.

7.1. Ingresos económicos obtenidos por la implantación de mejoras

El desarrollo del caso de estudio genera visibles ahorros en horas-hombre (H-H) debido al incremento del %VA de las operaciones en toda la línea de ensamble. También se genera ahorros en horas-hombre a causas de las mejoras que lograron reducir el tiempo de las operaciones, tanto en el proceso de insonorización de semiterminados como en la línea de ensamble. Por último, se genera un ahorro en almacenamiento de los motores y alternadores debido a la reducción de los tiempos de entrega, tanto en la planta de producción como en almacenes logísticos de los puertos del Callao.

➤ **Ahorro en H-H debido al incremento del %VA**

El ahorro en este punto se considera en base al horario diario de trabajo del personal operativo. En la tabla 52 se muestra que inicialmente para ejecutar operaciones que son útiles sólo se utilizaba el 12.8% del trabajo diario (%VA del GE estándar); pero ahora debido a las mejoras realizadas este %VA se incrementó, logrando utilizar el 64.5% del trabajo diario en operaciones útiles. Resultando que antes de implementar las mejoras, 102.4 horas mensuales de cada operario de la línea de ensamble los utilizaba para otras actividades que no generaban valor a la línea de ensamble, es decir, se les ha pagado por no hacer nada debido a que los desperdicios que no lo dejaban culminar sus operaciones. El ingreso recaudado anualmente debido al incremento %VA, tomando de referencia el incremento más bajo que para el caso se dio para los GE estándares, es S/. 122,839.20.

Tabla 52. Ingreso "1": Ahorro H-H generado por el incremento del %VA

Ingreso 2: Ahorro H-H generado debido al incremento del %VA	
Reducción del costo del producto en proceso / Incremento del proceso de producción	
Minutos efectivos de trabajo diario (min)	540
Tiempo efectivo de trabajo mensual (min)	11880
% valor agregado inicial (promedio)	12.8%
Valor agregado inicial mensual de la línea (min)	1520.6
% de Nuevo valor agregado (promedio)	64.5%
Valor agregado final mensual de la línea (min)	7662.6
Diferencia (VA "no empleado en un mes") (min)	6142.0
Diferencia (VA "no empleado en un mes") (horas)	102.4
Personal involucrado en toda la línea de ensamble	10
Costo de horas-hombre	S/. 10.00
Ahorro mensual en H-H generados desperdicios	S/. 10,236.60
Ahorro anual en H-H generados desperdicios	S/. 122,839.20

Elaboración propia

➤ **Ahorro H-H debido a la reducción del tiempo de operaciones**

Este ahorro es considerado en base a la producción mensual actual y capacidad actual de la planta. En la tabla 53 se muestra los ahorros generados por haber reducido los tiempos de insonorización de 362 minutos a 239 minutos, los tiempos de operación para ensamblar un GE insonoro de 576 minutos a 517 minutos y los tiempos de operación para ensamblar un GE estándar de 454 minutos a 382 minutos. El reducción de estos minutos operación mensualmente me generan un ingreso anual de S/. 21,347.20.

Tabla 53. Ingreso “2”: Ahorro H-H de debido a la reducción de tiempo de operación

Ingreso 1: Ahorro H-H debido a la reducción de tiempo de operación					
Producción promedio mensual GEs menores					80
Producción mensual GEs insonorizados (56%)					45
Producción mensual GEs estándar					35
Costo de horas-hombre					S/. 10.00
Insonorización de Semiterminados					
Antes	Después	Ahorro			
Tiempo VA (min)	Tiempo VA (min)	Tiempo VA (min)	Mensual (min)	Mensual (horas)	Mensual
362	239	123	5510.4	91.8	S/. 918.40
Línea de ensamble GE insonoro					
Antes	Después	Ahorro			
Tiempo VA (min)	Tiempo VA (min)	Tiempo VA (min)	Mensual (min)	Mensual (horas)	Mensual
576	517	59	2643.2	44.1	S/. 440.53
Línea de ensamble GE estándar					
Antes	Después	Ahorro			
Tiempo VA (min)	Tiempo VA (min)	Tiempo VA (min)	Mensual (min)	Mensual (horas)	Mensual
454	382	72	2520.0	42.0	S/. 420.00
Total H-H efectivos mensual					S/. 1,778.93
Total H-H efectivos anual					S/. 21,347.20

Elaboración propia

➤ **Ahorro en almacenamiento debido a la reducción de los tiempos de entrega**

Este ahorro es considerado en base a la producción mensual actual. La tabla 54 muestra cómo debido a la reducción de tiempos de entrega (LT), por ejemplo para GE insonoros de 2860 minutos a 627.4 minutos se ahorra en almacenamiento anual S/ 9,393.46.

Tabla 54. Ingreso “3”: Ahorro en almacenamiento debido reducción del LT

Ingreso 3: Ahorro de almacenamiento de motores y alternadores en puerto					
Producción promedio mensual GEs menores					80
Minutos efectivos de trabajo diario					540
Costo mensual por paleta m3 (1.2x1.1x1.1) aprox.					S/. 35.50
Costo diario por paleta estándar (ST) m3 (1.2x1.1x1.1) aprox.					S/. 1.18
Motor más grande P-82 (1104A-44TG2) LxWxH (1046x629x951)					1 Pallet ST
Alternador más grande P-82 (UCI-224G) LxWxH (910x452x690)					1 Pallet ST
Almacenamiento del Motor del GE en Almacén (Puerto)					
Antes	Después	Ahorro			
LT (min)	LT (min)	T (min)	T (días)	Alm. Motor/GE	Alm. Total (80GE)
2860	627.4	2232.6	4.1	S/. 4.89	S/. 391.39
Almacenamiento del Alternador del GE en Almacén (Puerto)					
Antes	Después	Ahorro			
LT (min)	LT (min)	T (min)	T (días)	Alm. Motor/GE	Alm. Total (80GE)
2860	627.4	2232.6	4.1	S/. 4.89	S/. 391.39
Costo Mensual de almacenamiento de motores y alternadores					S/. 782.79
Costo Anual de almacenamiento de motores y alternadores					S/. 9,393.46

Elaboración propia

Adicional los ingresos descritos en los párrafos anteriores, es bueno mencionar que debido a la reducción del tiempo de entrega nuestra planta tiene la posibilidad de incrementar su capacidad de producción; pero esto dependerá de la estrategia comercial de la empresa ya que no hay que olvidar que uno de los objetivos de la metodología es fabricar o iniciar el proceso productivo debido a una orden de compra o pedido del cliente.

7.2. Egresos económicos ocasionados por la implantación de mejoras

Los egresos económicos son ocasionados por la capacitación del personal, aunque como también se hace una inversión en comprar nuevas herramientas para el proceso insonorización, tal como se muestra en la tabla 55. Respecto al personal empleado en el caso de estudio, todos ellos pertenecen a la planta de producción, motivo por el cual no ocasiona egresos, este personal sólo fue redistribuido al requerimiento del caso. También todas las estructuras requeridas fueron conseguidas en planta. El personal capacitado se divide en administrativo y operativo. El personal administrativo debe tener capacitaciones en forma bienal fuera de la planta debido a su complejidad. El personal operativo necesita la capacitación en planta, se enfocan en la practicidad de las herramientas de mejora, su capacitación debe ser anual; a excepción de los líderes de equipo (bienal).

Tabla 55. Egresos económicos ocasionados por la implantación de mejoras

Egreso 1: Pago de capacitación del personal							
Cursos	Cantidad	Horas	Presupuesto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Lider de grupo (TOC -Lean SixSigma Black Belt)	1	234	S/. 14,000.00	S/. 14,000.00	-	S/. 14,000.00	-
Green Belts (Administrativos)	2	126	S/. 6,000.00	S/. 12,000.00	-	S/. 12,000.00	-
Lider de Equipos (Operativos)	2	90	S/. 4,000.00	S/. 8,000.00	-	S/. 8,000.00	-
Miembros de los equipos (Yellow Belts)	20	45	S/. 1,200.00	S/. 24,000.00	S/. 24,000.00	S/. 24,000.00	S/. 24,000.00
Monto Total requerido en capacitación anualmente				S/. 58,000.00	S/. 24,000.00	S/. 58,000.00	S/. 24,000.00
Egreso 2: Pago H-H del personal involucrados en capacitación							
Cursos	Cantidad	Horas	Lugar	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Lider de grupo (TOC -Lean SixSigma Black Belt)	1	234	Externo	-	-	-	-
Green Belts (Administrativos)	2	126	Externo	-	-	-	-
Lider de Equipos (Operativos)	2	90	In house	S/. 1,800.00	-	S/. 1,800.00	-
Miembros de los equipos (Yellow Belts)	20	45	In house	S/. 9,000.00	S/. 9,000.00	S/. 9,000.00	S/. 9,000.00
Monto Total H-H utilizado para la capacitación anualmente				S/. 10,800.00	S/. 9,000.00	S/. 10,800.00	S/. 9,000.00
Costo de horas-hombre				S/. 10.00			
Egreso 3: Pago de herramientas para la célula de insonorización							
Herramientas y/o materiales	Cantidad	Precio UN	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	
Sierra neumática	2	S/. 6,448.00	S/. 12,896.00	-	-	-	
Aspersores de pegamento	2	S/. 1,280.00	S/. 2,560.00	-	-	-	
Kit protec. Sierra (guantes/mangas)	2	S/. 821.00	S/. 1,642.00	S/. 1,642.00	S/. 1,642.00	S/. 1,642.00	S/. 1,642.00
Pack Identificador/marcadores	24	S/. 80.00	S/. 1,920.00	S/. 1,920.00	S/. 1,920.00	S/. 1,920.00	S/. 1,920.00
Monto Total de las herramientas necesarias			S/. 19,018.00	S/. 3,562.00	S/. 3,562.00	S/. 3,562.00	S/. 3,562.00

Elaboración propia

7.3. Indicadores y flujo de caja económico del caso de estudio

Sí bien la mejora de los procesos son evidentes, se debe cumplir con la formalidad de presentar el flujo de caja que muestra la factibilidad de implantar las mejoras en el caso de estudio. Para obtener los indicadores mostrados en la tabla 56 se emplea una tasa de descuento de Tasa de Interés Pasiva Promedio del Mercado (TIPMN) que se encuentra publicada por la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (ver figura 120).

Tasa de Interés Pasiva Promedio de Mercado Efectiva				
Moneda Nacional(TIPMN)	2.25%	Anual		
Moneda Extranjera(TIPMEX)	0.59%	Anual		
(1) Moneda Nacional de 181 a 360 días ¹	4.07%	Anual		
(2) Moneda Nacional a más de 360 días ²	5.12%	Anual	Factor Diario	0.00014
			* Factor Acumulado	9.77401
1: D.S. N° 291-91-EF. 2: R.M.N° 143-94/EF-75. Acumulado desde el 15 de julio de 1994.				

Figura 120. Tasa de interés pasiva promedio del mercado

Fuente: Superintendencia de Banca, Seguros y AFP

Tabla 56. Flujo de caja económico del caso de estudio

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Tasa de descuento (COK)	2.25%			
Tasa de descuento actualizada	100%	97.75%	95.50%	93.25%
Ingresos				
Ingreso 1		S/. 122,839.20	S/. 122,839.20	S/. 122,839.20
Ingreso 2		S/. 21,347.20	S/. 21,347.20	S/. 21,347.20
Ingreso 3		S/. 9,393.46	S/. 9,393.46	S/. 9,393.46
Total de ingresos		S/. 153,579.86	S/. 153,579.86	S/. 153,579.86
Actualización anual de los ingresos		S/. 153,579.86	S/. 150,200.35	S/. 146,895.21
Egresos				
Egreso 1	S/. 58,000.00	S/. 24,000.00	S/. 58,000.00	S/. 24,000.00
Egreso 2	S/. 10,800.00	S/. 9,000.00	S/. 10,800.00	S/. 9,000.00
Egreso 3	S/. 19,018.00	S/. 3,562.00	S/. 3,562.00	S/. 3,562.00
Total de egresos	S/. 87,818.00	S/. 36,562.00	S/. 72,362.00	S/. 36,562.00
Actualización anual de los egresos		S/. 35,757.46	S/. 69,212.40	S/. 34,201.09
Flujo de caja económico	S/. -87,818.00	S/. 117,017.86	S/. 81,217.86	S/. 117,017.86
Valor Presente Neto (VAN)	S/. 213,769.52	Mayor a cero, entonces se acepta		
tasa interna de retorno (TIR)	108%	Mayor que COK, entonces se acepta		
relación beneficio/costo (B/C)	1.99	Mayor que uno, entonces se acepta		

Elaboración propia

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se especifican las conclusiones del caso de estudio, mencionando aquellas conclusiones que más resaltaron a lo largo del desarrollo del caso. Así mismo, se plantean ciertas recomendaciones que se deben tener en cuenta de modo de mantener la mejora continua en las operaciones; pero sobretodo mantener o incrementar el %VA de la línea de ensamble mecánico/eléctrico que ha sido el objetivo del caso de estudio.

8.1. Conclusiones

El desarrollo del caso de estudio cumplió con el objetivo principal de elevar el porcentaje de valor agregado (%VA) en la línea de ensamble mecánico/eléctrico de planta grupos electrógenos de potencia menores, para lograr este objetivo se tuvo que implementar las herramientas de mejora de la metodología TLS. Los resultados que se obtuvieron fue el incremento del %VA para GEs insonoros de 15.4% a 82.4% y para GE estándares de 12.8% a 64.5%. Este incremento permite reducir el tiempo de entrega al cliente, por ejemplo para un GE insonoro de 4212 minutos a 1977 minutos. Además, la aplicación de esta metodología permitió eliminar o reducir desperdicios, variación y sobrecarga de los procesos, esto se traducen en ahorros visibles por la empresa. También mencionar que en el desarrollo del caso de estudio se aplicó cada una de las herramientas de la metodología TLS mencionadas en marco teórico, corroborando la practicidad de estas.

El esquema metodológico demostró que es posible combinar las diferentes técnicas de las metodologías TOC, Lean Manufacturing y Six Sigma para obtener una mejora integral de cualquier proceso, en este caso la línea de ensamble mecánico/eléctrico de GE de potencias menores. Pero para este objetivo, se debe tener en cuenta que la teoría de restricciones debe ser la metodología donde se diseñe el esquema general del caso donde se estructuran todas las estrategias; y la metodología Lean, Six Sigma o Lean Six Sigma deben ser los encargados de mejorar los procesos en forma particular, procesos internos dentro del esquema planteado; es importante mantener este esquema para las futuras aplicaciones de la metodología ya que nos permite concadenar o enlazar de mejor manera las herramientas y métodos a utilizar.

El rediseño de la línea de ensamble ayudo a obtener mejores resultados logrando conseguir reducir drásticamente el tiempo de entrega de la línea de ensamble de 2860 minutos a 627 minutos para GE insonoros y de 2660 minutos a 592 minutos para GE estándares. Por lo tanto, se puede decir que antes de implementar cualquier técnica o herramienta de mejora sobre un esquema de producción del tipo flujo, es importante verificar que este se encuentre correctamente diseñado, para el caso de estudio el diseño correcto es 7 estaciones para GE insonoros y 6 estaciones para GE estándares con un tiempo de ciclo de 60 minutos. Además, se debe corroborar que el balance de carga entre las áreas, departamentos, divisiones, zonas o estaciones de trabajo sea uniforme.

Los indicadores de rentabilidad aprobaron la factibilidad de implementación del caso de estudio, resultando un VAN de alrededor S/. 214,000.00 soles en un periodo de tiempo de tres años. Aunque en términos de recursos (personal, tiempo, espacios, entre otros) haya sido visible el ahorro, siempre se debe de corroborar la factibilidad económica de la implantación de la mejora. Además, con este análisis se corrobora la frase: “cualquier mejora en la calidad, por mínima que sea, genera un ahorro (ingreso) a la empresa”.

El alcance del caso de estudio se enfocó en mejorar los indicadores de las operaciones de la línea de ensamble mecánico/eléctrico; pero se necesita tener conocimiento integral de toda la planta si desea aplicar el VSM. Por lo tanto, es importante tener la visión holística de toda la planta ya que con la ayuda de la herramienta VSM nos permitirá conocer el estado inicial (antes de la mejora) y el estado futuro (después de la mejora) de la planta de producción de GE de potencias menores. El estado inicial resulto con un %VA de 24.7% mientras que el estado final resulto un %VA de 50.7%, este incremento es traducido en mejora del tiempo de entrega del GE al cliente, de 7.29 días a 3.25 días.

Finalmente, haber desarrollado el caso de estudio comprobó uno de los principios de la teoría de las restricciones (TOC), que nos dice que al eliminar la restricción del sistema, inmediatamente aparecerá una nueva restricción. En nuestro caso se eliminó la restricción inicial que fue proceso de insonorización; pero inmediatamente después surgió la nueva restricción que son los tiempos de operación por estación de trabajo, la nueva restricción ha de generar un nuevo caso de estudio, se debe tener cuidado en este punto para no generar un ciclo infinito de los cinco pasos del enfoque TOC debido a la inercia.

8.2. Recomendaciones

Las capacitaciones son elementales para mantener la cultura de mejor continúa en los procesos, por eso no se debería dejar de invertir en capacitaciones, enfocándonos sobre todo en mantener las capacitaciones del personal operativo; también considerar en este punto las charlas diarias o semanales al personal sobre mejoras kaizen, herramientas 5'S, charlas seguridad entre otras herramientas sencillas de responsabilidad de la organización. La única forma de no regresar al caos en planta de producción es el compromiso de la dirección en mantener la metodología TLS.

Existe una herramienta que no se menciona en el caso de estudio porque la planta de producción no la posee; pero es altamente útil debido a la alta visibilidad que genera cuando se produce un problema o se para la línea. Esta herramienta se le denomina sistemas "Andon", que son avisos luminosos con diferentes colores para cada problema que se presenta en la línea de ensamble. Esta herramienta debe ser la más próxima a ser implementada para generar un mayor control a la línea.

El registro de información es de vital importancia para que los proyectos de mejora subsistan, por lo que se debe implementar una política adecuada sobre gestión de la información que permitirá la retroalimentación de las herramientas de mejora a los grupos o equipos de trabajo. Además, esta información es altamente utilizada en la estandarización de los procesos que es la base de una organización Lean.

La organización no tiene una gerencia enfocada al desarrollo de modelos o métodos de mejora por lo que se debería plantear la idea de crear esta, que debe ser transversal a las demás gerencias, para que tenga una visión integral de la organización de modo que le permitan crear mejoras en las distintas áreas de trabajo (producción, logística, finanzas, entre otras). Por ejemplo, en la línea de producción de GE aún están pendientes los aplicación de herramientas de mejora en la línea de GEs de potencias intermedias y en la línea de GE de potencias mayores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, E. E. y Ebert, R. J. (1991). Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento. Cuarta Edición. México: Pearson Prentice Hall.
- Bell, S. y Orzen, M. (2011). Lean IT - Enabling and sustaining your lean transformation. New York. Productivity Press - Taylor & Francis Group
- Bhasin, S. (2015). Lean Management beyond Manufacturing - A Holistic Approach. Switzerland. Springer International Publishing
- Cabrera, R. C. (2011). TOC, lean y Six Sigma. Simplificado. PYMES. México: Rafael Carlos Cabrera Silva.
- Carro, P. R. y Gonzales, G. D. (2009-A). Administración de las operaciones: El sistema de Producción y Operaciones. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Carro, P. R. y Gonzales, G. D. (2009-B). Administración de las operaciones: Diseño y selección de procesos. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Chapman, S. (2006). Planificación y control de la producción. Primera Edición. México: Pearson Prentice Hall.
- Chase, R.B.; Jacobs. F.R. y Aquilano, N J. (2009). Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros. Duodécima Edición. México: The McGraw-Hill Companies.
- COX III, J. F. y Schleier, J. G. Jr. (2010). Theory of Constraints, Handbook. The McGraw-Hill Companies.
- Cuatrecasas, L. (2010). Lean management: la gestión competitiva por excelencia. Barcelona. Profit Editorial

- Evans, J. y Lindsay, W. (2008). Administración y control de la calidad. Séptima Edición. México: Cengage Learning Editores.
- Feld, W. (2000). Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them. Florida. St. Lucie Press
- Gaither, N. y Frazier, G. (2000). Administración de Producción y Operaciones. Octava Edición. México: International Thomson Editores.
- Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. Tercera Edición. México: The McGraw-Hill Companies
- Gutiérrez, H. (2010). Calidad Total y Productividad. Tercera Edición. México: The McGraw-Hill Companies
- Heizer, J. y Render, B. (2009). Principios de Administración de Operaciones. Séptima Edición. México: Pearson Prentice Hall.
- Krajewski, L.; Ritzman, L. y Malhotra, M. (2007). Administración de Operaciones, procesos y cadenas de valor. Octava edición. México: Pearson Prentice Hall
- Liker, J. (2006). Las claves del éxito de Toyota, 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo. Barcelona. Ediciones Gestión 2000
- Melrom (2015). Edificio ecológico Eko. [Figura]. Recuperado de <http://blog.melrom.com/arquitectura/eko-un-edificio-ecologico-inspirado-en-la-torre-eiffel-de-paris>
- Pascal, D. (2007). Lean production simplified a plain-language guide to the world's most powerful production system. Second Edition. New York. Productivity Press
- Pyzdek, T. (2003). The Six Sigma Handbook. The McGraw-Hill Companies.
- Rajadell, M. y Sánchez, J. (2010). Lean manufacturing - La evidencia de una necesidad. Madrid. Ediciones Díaz de Santos

- Sheldon, D. (2007). Lean Materials Planning and Execution: A Guide to Internal and External Supply Management Excellence. Florida. J. Ross Publishing
- Sipper, D. y Bulfin, R.L. (1998). Planeación y control de la producción. Primera Edición. México: The McGraw-Hill Companies.
- Voehl, F., Harrington, H. J., Mignosa, C. y Charron, R. (2014). The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration. Florida. Productivity Press

