



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

**“DISEÑO DE UN MÉTODO DE DISMINUCIÓN DE DEFECTOS EN BAJO-
VOLUMEN/ALTA-MEZCLA COMPARANDO EL MODELO PDCA CONTRA EL
MODELO DMAIC A TRAVÉS DE LAS METODOLOGÍAS MANUFACTURA
ESBELTA Y SEIS SIGMA”**

Tesis de Investigación presentada por:
Jesús Santoyo Ortega

Para obtener el grado en la
Maestría en Estrategias para los Sistemas de Calidad

Asesor: M.E.S.C. Salomón Montejano García

Aguascalientes, Ags., Diciembre de 2008



UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES
Centro de Ciencias Económicas Administrativas

**DRA. MARIA DEL CARMEN MARTÍNEZ SERNA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS
ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS.
P R E S E N T E**

Por medio del presente como asesor designado del alumno **JESÚS SANTOYO ORTEGA** con ID **24474** quien realizó el trabajo práctico titulado: **“DISEÑO DE UN MÉTODO DE DISMINUCIÓN DE DEFECTOS EN BAJO-VOLUMEN/ALTA-MEZCLA COMPARANDO EL MODELO PDCA CONTRA EL MODELO DMAIC A TRAVÉS DE LAS METODOLOGÍAS MANUFACTURA ESBELTA Y SEIS SIGMA”**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que este alumno pueda proceder a imprimir dicho trabajo y así continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“Se Lumen Proferre”

Aguascalientes, Ags., a 24 de noviembre de 2008.

M.E.S.C. Salomón Montejano García.
Tutor de trabajo práctico.

- c.c.p.- Interesado
- c.c.p.- Secretaría de Investigación
- c.c.p.- Secretaría Técnica
- c.c.p.- Consejero Académico
- c.c.p.- Jefatura del Depto. de Recursos Humanos
- c.c.p.- Tutor Académico de la Maestría en Estrategias para Sistemas de Calidad



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
Centro de Ciencias Económicas y Administrativas
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y
POSGRADO

DICTAMEN DE TESIS

MAESTRIA EN ESTRATEGIAS PARA SISTEMAS DE CALIDAD

No. de expediente
TIT-MESC/041

DATOS DEL SUSPENDENTE	
NOMBRE DEL ALUMNO@: (incluir un e-mail) Jesús Santoyo Ortega. <u>Jesus.Santoyoo@mx.flextronics.com</u>	NO. DE REGISTRO: ID 24474
LUGAR DE TRABAJO, TELEFONO Flextronix, Guadalajara.	PUESTO/CARGO Ingeniero de Procesos

TITULO TESIS () TRABAJO PRACTICO (X)
“DISEÑO DE UN MÉTODO DE DISMINUCIÓN DE DEFECTOS EN BAJO-VOLUMEN/ALTA-MEZCLA COMPARANDO EL MODELO PDCA CONTRA EL MODELO DMAIC A TRAVÉS DE LAS METODOLOGÍAS MANUFACTURA ESBELTA Y SEIS SIGMA”.
OBJETIVO Comparar los modelos PDCA y DMAIC para seleccionar las técnicas más eficaces a fin de crear un método estándar para la disminución de defectos en la fuente aplicable al sistema productivo cada vez que sea necesario en el futuro.

CUERPO ACADÉMICO	LINEA GENERAL DE APLICACIÓN DE CONOCIMIENTO (LGAC)
DICTAMEN DE LA TESIS POR EL CONSEJO ACADÉMICO DE LA MAESTRÍA	
VOTO APROBATORIO	

COMITÉ TUTORAL		FIRMA
NOMBRE	Vo. Bo.	FIRMA
Director de Tesis: M.E.S.C. Salomón Montejano.		
Jefe de Departamento	MESC. Gabriel Leija Escamilla	
Consejero Académico	MESC. Salomón Montejano García	
Secretario de Investigación	Dra. Laura Romo Rojas	
Secretaría Técnica	M.A. Laura Elena López Rosales	

Aguascalientes, Ags. a 21 de noviembre de 2008.

A Dios, Quien siempre ha estado conmigo.

A mi querida esposa Maru,
Quien con su amor, paciencia y cuidados,
Hizo posible mi participación activa en los estudios de posgrado,
Y la conclusión exitosa de este documento.

A mi querido hijo Jesús,
Quien a sus dos años sacrificó la hora de juego y lectura,
Para que su papá pudiera cerrar un ciclo más.

A mis compañeros de maestría
Y muy especialmente a
Chavita, Sergio, Alma, Oswaldo,
Por su soporte y compañerismo
¡ Muchas Gracias ¡

A la Maestra Zaida y al Maestro Salomón,
Por su guía y ayuda.

RESUMEN

Hace ya varias décadas Genichi Taguchi, gurú de la calidad nacido en Japón en 1924, expresaba su consternación ante una calidad deficiente: “La persona que entrega al cliente un mal producto es peor que cualquier ladrón”. Un producto o servicio caracterizado por defectos es no solo el reflejo de una mala calidad; los defectos son los síntomas de los problemas al interior de un proceso, sea este de manufactura o de proveeduría de servicios. La pobre calidad ahuyenta a los clientes y pone en una situación no deseada a cualquier organización: se vuelve poco competitiva puesto que sus costos operativos aumentan, pierde credibilidad ante los clientes y difícilmente generará una cultura de estandarización en sus empleados.

El presente informe de tesis describe el proceso de una investigación cuyo propósito fue el diseño de un método para la disminución de defectos. Se tomaron los modelos de mejora continua denominados PDCA y DMAIC respectivamente como guía y a la vez como medio para enriquecer el método al hacer comparaciones entre ellos. Para las acciones correctivas correspondientes se tomaron las metodologías Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) y Seis-Sigma. En teoría estas metodologías ofrecerían lo mejor de dos mundos: la Manufactura Esbelta su simplicidad y rapidez en la ejecución; Seis sigma su precisión y rigor para atacar y controlar la variabilidad.

Esta investigación fue practicada en la empresa Parque Integral - Flextronics, ubicada en el campus Norte de la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Esta compañía pertenece al sector de industria de manufactura electrónica y presta sus servicios a muy diversas empresas dueñas de marca que buscan el servicio de manufactura con una cadena de integración vertical. Productos tales como equipo de telecomunicaciones, telefonía móvil, impresoras, consolas de videojuego, servidores y dispositivos de almacenamiento, entre otros son producidos aquí. Resalta el hecho de que esta empresa se ubica en un sector industrial de fuerte competencia y donde los productos tienen ciclos de vida breves, donde los márgenes de utilidad son pequeños y los clientes exigen los más estrictos controles de calidad posibles para sus productos. Por tanto se hace necesario contar con un método estándar que permita disminuir los defectos de manera simple, rápida, económica y precisa.

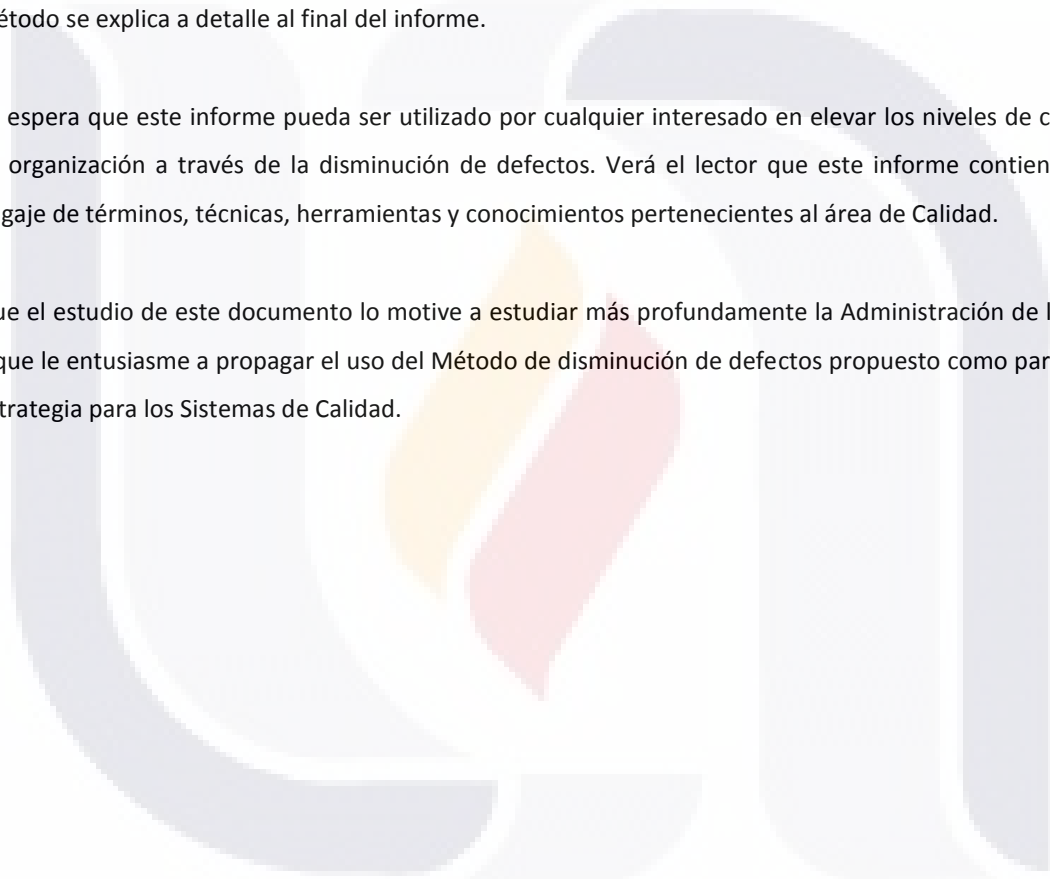
El universo estadístico tomado para efectuar la investigación consistió de dos líneas de producción con características similares, dentro de la categoría de bajo-volumen/alta-mezcla, ya que cada una de ellas manufactura productos pertenecientes a una misma familia. Debido a los acuerdos de confidencialidad existentes con el cliente se omite el nombre de la marca y se ha sustituido por identificaciones alternas.

Como muestra se tomaron los datos provenientes de la base de datos del sistema de control de piso de producción; estos datos describen la cantidad y el tipo de defectos, es decir, el nivel de calidad del producto.

Vale la pena decir que se tomó como marco de referencia el Método de la investigación científica. Esta investigación parte de lo general y llega a lo particular. Tras recopilar la información que fundamenta la base teórica de la investigación, establecer los objetivos y alcances, así como la hipótesis a demostrar, se planteó un procedimiento para llevar la investigación de manera que se obtuvieran resultados. Tras haber analizado los resultados y hecho las conclusiones se procedió a diseñar el método de disminución de defectos. Este método se explica a detalle al final del informe.

Se espera que este informe pueda ser utilizado por cualquier interesado en elevar los niveles de calidad de su organización a través de la disminución de defectos. Verá el lector que este informe contiene un rico bagaje de términos, técnicas, herramientas y conocimientos pertenecientes al área de Calidad.

Que el estudio de este documento lo motive a estudiar más profundamente la Administración de la Calidad y que le entusiasme a propagar el uso del Método de disminución de defectos propuesto como parte de una estrategia para los Sistemas de Calidad.



ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Definición del problema	4
1.2.1	Información preliminar	4
1.2.2	Descripción del problema	5
1.3	Justificación	6
1.3.1	Beneficios	6
1.3.2	Beneficiarios	6
1.3.3	Paradigma	6
1.3.4	Utilidad	6
1.3.5	Significado	6
1.4	Objetivo	6
1.5	Supuestos e Hipótesis	7
1.5.1	Supuestos	7
1.5.2	Hipótesis	7
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Esquema de Fundamentos	8
2.1.1	Fundamentos Conceptuales	8
2.1.1.1	<i>Diseño</i>	8
2.1.1.2	<i>Modelo</i>	9
2.1.1.3	<i>Método</i>	10
2.1.1.4	<i>Metodología</i>	11
2.1.1.5	<i>Disminución</i>	11
2.1.1.6	<i>Comparación</i>	11
2.1.2	Fundamentos Teóricos	12
2.1.2.1	<i>Estándar</i>	12
2.1.2.2	<i>Proceso de Manufactura</i>	13
2.1.2.3	<i>Experimento</i>	14
2.1.2.4	<i>Manufactura</i>	17
2.1.2.5	<i>Manufactura Esbelta</i>	19
2.1.2.6	<i>Seis-sigma</i>	25
2.1.2.7	<i>Sigma</i>	27
2.1.2.8	<i>Valor</i>	28
2.1.2.9	<i>Defecto</i>	29
2.1.2.10	<i>Desperdicio</i>	30
2.1.2.11	<i>Mejora continua</i>	31
2.1.2.12	<i>Calidad</i>	31

2.1.2.13	<i>El modelo PDCA</i>	34
2.1.2.14	<i>El modelo DMAIC</i>	37
2.1.2.15	<i>Bajo-volumen/Alta-mezcla</i>	39
2.1.2.16	<i>Costo</i>	40
2.1.2.17	<i>Entrega</i>	40
2.13	Fundamentos Contextuales	41
2.1.3.1	<i>Parque Integral</i>	41
2.1.3.2	<i>Líneas de producción H1 y O2</i>	41
2.2	Análisis de Fundamentos	41
3.	PROCEDIMIENTO	46
3.1	Identificación	47
3.2	Modelo PDCA versus modelo DMAIC	48
3.2.1	PDCA aplicado a la línea H1: pasos	48
3.2.1.1	<i>PLANEAR: uso de la Voz del Cliente</i>	48
3.2.1.2	<i>PLANEAR: determinar alcance</i>	49
3.2.1.3	<i>PLANEAR: recopilación y análisis de datos</i>	49
3.2.1.4	<i>PLANEAR: gráfica de Gantt</i>	52
3.2.1.5	<i>EJECUTAR: kaizen para cambiar el comportamiento de los CTQ</i>	53
3.2.1.6	<i>EJECUTAR: sesiones de comunicación y entrenamiento estándar</i>	53
3.2.1.7	<i>EJECUTAR: trabajo en equipo para ejecutar kaizen</i>	53
3.2.1.8	<i>EJECUTAR: seguimiento para el éxito</i>	55
3.2.1.9	<i>VERIFICAR: determinar si los kaizen fueron eficaces</i>	55
3.2.1.10	<i>VERIFICAR: validación de resultados</i>	56
3.2.1.11	<i>VERIFICAR: emisión de recomendaciones</i>	56
3.2.1.12	<i>AJUSTAR: establecer el nuevo paradigma</i>	57
3.2.1.13	<i>AJUSTAR: nuevas acciones y su verificación</i>	57
3.2.1.14	<i>AJUSTAR documentación para el sostenimiento</i>	60
3.2.1.15	<i>AJUSTAR: divulgación</i>	60
3.2.1.16	<i>AJUSTAR: reconocimiento</i>	60
3.2.2	<i>DMAIC aplicado a la línea O2</i>	60
3.2.2.1	<i>DEFINIR: delinear el contrato del proyecto</i>	61
3.2.2.2	<i>DEFINIR. Mapa general del proceso</i>	61
3.2.2.3	<i>DEFINIR: lo que los clientes piden</i>	62
3.2.2.4	<i>DEFINIR: las metas y los alcances</i>	63
3.2.2.5	<i>MEDIR: paso de puntualización</i>	63
3.2.2.6	<i>MEDIR: los datos de la situación original</i>	64
3.2.2.7	<i>MEDIR: ¿es real el problema?</i>	64
3.2.2.8	<i>MEDIR: sobre todo precisión</i>	67
3.2.2.9	<i>MEDIR: los métricos al detalle</i>	67
3.2.2.10	<i>ANALIZAR: método científico muy en lo particular</i>	68

3.2.2.11	ANALIZAR: Las hipótesis y sus comprobaciones son...	68
3.2.2.12	MEJORAR. Kaizen como solución	70
3.2.2.13	MEJORAR: varias soluciones son posibles	70
3.2.2.14	MEJORAR: prueba piloto	70
3.2.2.15	MEJORAR: evaluación de la piloto	71
3.2.2.16	MEJORAR: los ajustes y su plan de ejecución	72
3.2.2.17	CONTROLAR: apuntalando el nuevo estándar	73
3.2.2.18	CONTROLAR: monitoreo	74
3.2.2.19	CONTROLAR: estandarización	74
3.2.2.20	CONTROLAR: sistematización y sostenimiento	74
3.3	Recolección de Datos para el Experimento	75
3.4	Diseño de Experimentos	76
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS FINALES	78
5.	CONCLUSIONES	79
5.1	Nuevo Método para Disminuir Defectos	79
5.1.1	Reconocer el Problema	79
5.1.2	Definir el Score-card	79
5.1.3	Determinar la Vía	80
5.1.4	Aplicar los Cinco elementos de mejora	80
5.1.5	Estandarizar	80
5.1.6	Copiar	80
5.2	Palabras finales	81
6.	BIBLIOGRAFÍA	82
	ANEXOS	84
	Anexo A.- Modelo de la Investigación Científica (esquema)	84
	Anexo B.- Cronograma (Gráfico de Gantt)	85
	Anexo C.- Glosario de Términos	86
	Anexo D.- Presupuesto Estimado	96
	Anexo E.- Value-Stream Map (Estado original y resultante, líneas H1 y O2)	97
	Anexo F.- Diagramas de espagueti (Estado original y resultante, H1 y O2)	103
	Anexo G.- Especificaciones técnicas básicas sistema constructivo "Creform"	107

ÍNDICE DE CUADROS

1.1	Sistemas, herramientas y técnicas de Clase-Mundial	3
2.1	Clasificación de DOE según su aplicación	17
2.2	Elementos del VSM	21
2.3	Herramientas de Manufactura Esbelta	24
2.4	Evolución histórica de la calidad	32
2.5	Los siete tipos de manufactura	39
2.6	Comparación de cuatro modelos para la Mejora de la Calidad	42
2.7	Toolkit-70 para PDCA y DMAIC	44
3.1	Características de la investigación	46
3.2	Desperdicios en las líneas H1 y O2	47
3.3	Fase “P” aplicada a la línea H1	48
3.4	CTQ (“Critical-to-Quality”) para el PDCA de la línea H1	49
3.5	Acotamiento del PDCA de la línea H1 y su impacto en los CTQ	49
3.6	Conclusiones de los análisis: objetivos al corto plazo para cada CTQ	52
3.7	Fase “D” aplicada a la línea H1	53
3.8	Ejecución de los kaizen	54
3.9	Fase “C” aplicada a la línea H1	56
3.10	Fase “A” aplicada a la línea H1	57
3.11	Kaizen practicados durante la etapa AJUSTAR	59
3.12	Fase “D” aplicada a la línea O2	61
3.13	Voz del Cliente	62
3.14	Acotamiento del DMAIC de la línea O2 y su impacto en los CTQ	63
3.15	Fase “M” aplicada a la línea O2	63
3.16	Fase “A” aplicada a la línea O2	68
3.17	Hipótesis de causa-efecto a probar	69
3.18	Fase “I” aplicada a la línea O2	70
3.19	Kaizen más significativos de la prueba piloto en la fase MEJORAR	71
3.20	Kaizen más significativos después del éxito en la prueba piloto	72
3.21	Fase “C” aplicada a la línea O2	73
3.22	Prueba de hipótesis basada en modelo PDCA	77
3.23	Prueba de hipótesis basada en modelo DMAIC	77

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Ejemplo de modelo: Red de trenes de Tokio (2008)	9
2.2	Estándares para administración visual en piso de producción	13
2.3	Transformación de entradas en salidas	14
2.4	Ciclo de generación de aprendizaje y conocimiento	15
2.5	Proceso bajo la aplicación de un experimento	15
2.6	Modelo del proceso que sigue un DOE	16
2.7	Evolución hacia Manufactura Esbelta	18
2.8	Evento Kaizen para conseguir Manufactura Esbelta	20
2.9	VSM presente y futuro de la preparación de un huevo cocido	22
2.10	Pasos de Seis-sigma con base en DMAIC	26
2.11	Desviación estándar o “sigma”	28
2.12	VA vs. NVA y su relación con Kaizen	28
2.13	Principales Errores y Defectos	29
2.14	Áreas principales que conforman la Administración de la Calidad	33
2.15	Modelo PDCA	34
2.16	Modelo DMAIC	37
2.17	Matriz Producto/Volumen-Layout/Flujo	40
2.18	PSP de Xerox vs. PSM de Toyota	42
2.19	Los siete pasos de la Ruta de la Calidad	43
3.1	Modelo del Procedimiento	47
3.2	Análisis del CTQ “Yield”	50
3.3	Análisis del CTQ “WIP”	51
3.4	Análisis del CTQ “UPH”	51
3.5	Gráfico de Gantt	52
3.6	Validación de los CTQ en un mes	54
3.7	Diagrama de Ishikawa en la etapa de ajuste	57
3.8	Paretos de defectos específicos en la etapa de ajuste	58
3.9	Resultados finales del PDCA	60
3.10	SIPOC’s para los procesos clave del proyecto	62
3.11	Pareto de defectos en la Celda de Ensamble	64
3.12	Pareto de defectos o fallas en Prueba botón/LED + inicial	65
3.13	Estratificación de defectos o fallas según operación y CTQ	66
3.14	Formato de score-card para monitorear los métricos	66
3.15	Diagramas de Ishikawa en torno a los defectos más representativos	67
3.16	Formato de score-card con mayor enfoque	67
3.17	Diagrama de afinidad para los defectos más representativos	68
3.18	Score-card actualizado tras la ejecución de kaizen en la Celda	72
3.19	Score-card actualizado tras la ejecución de kaizen en Pruebas	73
3.20	Monitoreo de los CTQ a lo largo de las nueve semanas de proyecto	74
3.21	Datos de la mejora en ambos modelos	75
4.1	Distribución de elementos de mejora continua	78
5.1	Nuevo Método para disminución de defectos	79

ÍNDICE DE FÓRMULAS

1	Varianza y desviación estándar para X discreta	27
2	Varianza y desviación estándar para X continua	27



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Hoy en día los productos y servicios ofrecidos a escala global por marcas reconocidas son llevados a todos los rincones del planeta. Cada día más y más gente desea contar con dichos productos y servicios con el mismo nivel de calidad, la misma satisfacción pos-venta, la misma durabilidad, el mismo costo, sea esto en América, Asia o Europa. Para poder lograr estas condiciones, las empresas de Clase-Mundial invierten fuertes sumas de capital a lo largo de su cadena de suministro. Así, por ejemplo, un vehículo de marca “Opel” contará con las mismas especificaciones en Alemania o en Brasil, dependiendo de su configuración de características, dada la estandarización de procesos en forma extendida a todo el globo.

La estandarización de actividades y procesos ha marcado profundamente el desarrollo de las naciones desde el advenimiento de la revolución industrial. Gran multitud de técnicas y metodologías han sido desarrolladas para facilitar el trabajo al hombre a lo largo de los siglos XVIII, XIX y XX. Hablar de progreso es también hablar de avances tecnológicos; hablar de desarrollo industrial conlleva hablar de aplicación de la tecnología a la industria; una industria que cada vez cuenta con más elementos estándar

A lo largo del siglo pasado la industria adquiere un sentido más científico pues aplica los principios de probabilidad y estadística a sus procesos de fabricación. La administración de la producción incorpora el uso de técnicas de programación lineal y de investigación de operaciones para un control más eficiente de fabricación, embarque, almacenaje y venta. Y debido a las frecuentes crisis económicas, a la creciente competencia, a la escasez de recursos, diversos especialistas de la milicia, de las universidades y de la propia industria se dan a la tarea de crear técnicas para asegurar la supervivencia de las entidades productoras.

Surge entonces el concepto de manufactura enmarcado por las técnicas y las tecnologías aplicadas para maximizar los resultados de la producción industrial. Del mismo modo surge el concepto de calidad en la industria, caracterizada por los sistemas, modelos y metodologías aplicados para minimizar la variabilidad de los resultados esperados de la producción. Desde entonces se ha podido apreciar una estrecha relación entre la fabricación de productos y la calidad inherente a ellos.

La creciente globalización ha recortado de manera significativa las ventanas de oportunidad con las que las empresas pueden competir con productos y servicios para clientes cada día más exigentes; y cada vez más

los márgenes de utilidad se reducen debido a la fuerte competencia que busca abaratar los costos de operación para mantener vigente su presencia en el mercado. El contar con métodos de operación estándar debería entonces jugar un papel primordial en el diseño de productos y de procesos competitivos, donde la calidad ya es un factor imprescindible.

Contar con la tecnología de punta y con una alta sofisticación en los procesos de manufactura requiere una inyección importante de capital a la infraestructura de la planta productiva. Si bien, esta circunstancia es una condición de negocio común en las economías desarrolladas, donde la manufactura clase-mundial tiene arraigo desde hace tres décadas por lo menos; para el caso de economías emergentes o en vías de desarrollo, esta representa barreras considerables, ya que los procesos dependen en su mayor parte de la pericia del operador, y en muchos casos, se trata de actividades artesanales. Es innegable que en este caso se necesitará la aplicación de una adecuada administración de calidad, con sus técnicas y cultura, así como el desarrollo progresivo e implantación de tecnología para alcanzar unos estándares similares.

Al hablar de manufactura clase-mundial se trata de aquellas compañías que manufacturan productos cuyos estándares de calidad, confiabilidad, rendimiento, costo, rapidez en la entrega, valor para el cliente, excedieron las de sus competidores en el ámbito mundial. Entonces la manufactura clase-mundial quedó restringida durante varios años a un reducido número de firmas, todas ellas multinacionales. Sin embargo, con el auge de las tecnologías de información y de las telecomunicaciones, el conocimiento ha quedado más al alcance de todos, y así también la manufactura clase-mundial; de hecho, a causa de la creciente globalización en el corto plazo, es imprescindible actualmente tal y como sucedió con la calidad.

La manufactura y la calidad asociada tienen en el presente que considerar que la cadena completa de suministro de bienes ya no se limita a una sola planta y cuyo mercado es únicamente de alcance nacional. Las cadenas de suministro actuales dependen de la eficiencia de plantas de manufactura, de centros de distribución y de los sistemas de soporte correspondientes regados a nivel global y cuyas ubicaciones dependen principalmente de cuestiones financieras. Por ejemplo, ciertos materiales y componentes son fabricados tras procesar recursos naturales en localidades determinadas; luego estos insumos son requeridos por plantas que fabrican sub-ensambles en uno o más continentes; otro sitio de manufactura a su vez jala estas partes para integrarlas y entregar un producto terminado; dicho producto tiene que distribuirse a diferentes mercados, nuevamente a uno o más continentes.

CUADRO 1.1.- Sistemas, herramientas y técnicas de Clase-Mundial.

<i>Típicamente occidentales</i>	<i>Típicamente Orientales</i>
Administración por calidad total	Cero defectos
Teoría de Restricciones	Justo – a – tiempo + Sistema “Jalar” (Kanban)
Control estadístico de proceso	Siete herramientas estadísticas básicas
Listados de verificación	Siete herramientas administrativas
Tormenta de ideas	Tormenta de intentos
Papeletas de fallas o defectos	Mantenimiento Productivo Total
Benchmarking	Hanedashi + Chaku-chaku
Diseño asistido por computadora	Heijunka
Manufactura asistida por computadora	Jidoka
Ingeniería asistida por computadora	Celdas de manufactura
Manufactura integrada por computadora	Poka-yoke
Simulación por computadora	Cambio de herramental en menos de 10 minutos
Análisis de modos de falla	Disciplina de las 5 S’s
Ingeniería concurrente	Kaizen + Kaikaku
Seis-sigma	Manufactura Esbelta

El cuadro 1.1 muestra los elementos asociados con Clase-mundial. Vale la pena resaltar que las herramientas desarrolladas en occidente basan su éxito en la aplicación de la tecnología, mientras que aquellas herramientas desarrolladas en Japón, basan su éxito en la disciplina y la participación comprometida del personal de manufactura. En la práctica, la única dirección común entre especialistas occidentales y orientales ha sido la identificación de sus fortalezas y debilidades, creando métodos que van de acuerdo con su estilo de vida, costumbres, estereotipos e idiosincrasia.

Aquí se puede hacer la aclaración de que existe cierto paralelismo entre las herramientas usadas en occidente y oriente. En las últimas décadas las industrias orientales han tomado el liderazgo; en este caso occidente ha tenido que copiar y homologar dichas herramientas a su propio entorno. Este es el caso del Sistema de Producción Toyota, que, más o menos, ha sido adaptado a occidente con el mote de Manufactura Esbelta. (del inglés, “Lean Manufacturing”). Y, por otro lado la metodología Seis-sigma dado su componente mayoritariamente estadístico, ha mostrado una aplicación universal para los más diversos problemas en productos y servicios.

Para el caso de los países en vías de desarrollo, dependiendo del caso, la experiencia a priori muestra que una combinación de varias herramientas proporciona los resultados esperados.

Así pues, al ubicar la problemática que trae la implantación de manufactura y calidad clase-mundial en Latinoamérica, no será lo mismo la adquisición e implantación de tecnología en una economía desarrollada que en una economía emergente. En esta última, el costo de la tecnología se vuelve restrictivo, y por tanto es muy importante contar con sistemas alternos de bajo costo, bien identificados con la cultura de la región, y que de manera ágil ayuden a alcanzar, mantener y exceder los niveles de calidad clase-mundial esperados.

Al voltear a ver la problemática mundial actual, tomando en cuenta la cada vez mayor interrelación económica entre países desarrollados, países emergentes y países en vías de desarrollo, se hace urgente dotar a aquellos países con menor posibilidad de financiamiento, capacitación y participación en el mercado, de herramientas –retomando las características establecidas en la sección anterior: sencillas, eficaces, flexibles, económicas– que los pongan en situación equiparable a su competencia.

1.2. Definición del Problema

1.2.1. Información preliminar

Se desea generar un método y determinar su efectividad a través de parámetros cuantitativos como lo son la calidad (incremento en las piezas producidas que cumplen con las especificaciones del cliente), los costos (reducción tangible de recursos económicos dedicados a soportar la operación) y tiempo (reducción del período dedicado a la entrega del producto al cliente).

Para llegar a este método se desea aplicar las dos metodologías: Manufactura Esbelta y Seis-Sigma. Primero una de ellas en un caso de mejoramiento de calidad, luego la segunda en otro caso de mejoramiento. Tras comparar la efectividad en cada caso se establecerá entonces el método con la intención de que el procedimiento de aplicación siga pasos sencillos, tenga resultados rápidos y pueda ser estandarizado y repetible al corto plazo sin obligar altos costos asociados.

Debido a las características del método que se busca: sencillo, eficaz, flexible y económico, puede proponerse para su aplicación en un gran número de industrias y de empresas de la región latinoamericana, especialmente aquellas dentro del sector de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa.

La naturaleza del sector de manufactura de electrónicos depende de factores externos y comúnmente obliga a las plantas de ensamble a adaptar sus sistemas de producción en tiempos cortos; de hecho, la experiencia dicta que cada vez serán más cortos.

1.2.2. Descripción del problema

La empresa actual se debe a sus clientes. El que un proveedor de productos y servicios sea capaz de proporcionar niveles de satisfacción adecuados, incluso sobresalientes, a los consumidores, con costos competitivos y en tiempos de entrega reducidos depende cada vez más de un sistema eficiente. Es decir, es necesario reconocer la íntima relación entre calidad, costo, entrega, y la manera en que se despliegan y ejecutan los procesos de una operación de manufactura. Entonces surgen varias preguntas con las cuales puede describirse mejor el problema.

- *¿Cuál modelo demostrará ser más eficiente para cumplir los tres métricos: calidad, costo y entrega?*
- *¿Por qué los defectos afectan directamente el desempeño de estos métricos?*
- *¿Será suficiente el modelo PDCA? ¿Puede compararse con otros modelos?*
- *¿Por qué no usar mejor el modelo DMAIC?*
- *¿Por qué no una combinación de ambos?*
- *¿Qué pros y contras tienen la Manufactura Esbelta y la metodología Seis-Sigma?*
- *¿Por qué no usar lo mejor de ambas?*
- *¿Por qué no diseñar un método simple y de rápida aplicación?*

El problema en cuestión puede describirse como la falta de un método estándar que de forma simple y eficaz sea capaz de minimizar el impacto de los defectos en el proceso para elevar los métricos básicos de una organización dedicada a la manufactura de productos electrónicos. Por tal razón el problema a tratar por la presente investigación lleva el título de:

“Diseño de un método de disminución de defectos en bajo-volumen/alta-mezcla comparando el modelo PDCA contra el modelo DMAIC a través de las metodologías Manufactura Esbelta y Seis Sigma”.

1.3. Justificación

El diseño de un método para la reducción de defectos en líneas de producción de bajo-volumen/alta-mezcla tiene justificación debido a que México, así como algunos otros países en vías de desarrollo basan su progreso en la manufactura. Se hace urgente el disponer de métodos dedicados a la disminución y erradicación de defectos en la fuente que faciliten la administración de las operaciones correspondientes. Para tal motivo se compararán los modelos PDCA y DMAIC.

1.3.1. Beneficios.- Como resultado de esta investigación se espera que el método tenga efectos positivos sobre los métricos de calidad, costo y entrega.

1.3.2. Beneficiarios.- Empresas de manufactura y proveeduría de servicios del tipo bajo-volumen/alta-mezcla.

1.3.3. Paradigma.- Un nuevo método que aprovecha lo mejor de dos mundos: la simplicidad y rapidez de la Manufactura Esbelta, y la precisión y el rigor de Seis-sigma.

1.3.4. Utilidad.- Se espera que esta investigación tenga una utilidad científica, administrativa, social y económica.

1.3.5. Significado.- Otro resultado importante de esta investigación será el mostrar que el método de investigación científica puede aplicarse a la Gestión Total de la Calidad.

En síntesis: se espera que los resultados de esta investigación generen conocimiento que facilite la Gestión de la Calidad a través del uso de herramientas de calidad de clase mundial; y sobre todo, que tenga una aplicación directa con beneficios tangibles para las organizaciones que apliquen el método a diseñar.

1.4. Objetivo

Comparar los modelos PDCA y DMAIC para seleccionar las técnicas más eficaces a fin de crear un método estándar para la disminución de defectos en la fuente aplicable al sistema productivo cada vez que sea necesario en el futuro.

1.5. Supuestos e Hipótesis

1.5.1 Supuestos

Los defectos generados por un proceso de manufactura afectan directamente el desempeño de los métricos básicos de una empresa de manufactura: calidad, costo y entrega.

Debido a la naturaleza de los productos electrónicos (ciclos de vida cortos, demanda de producción variable, altos costos asociados) hay todavía empresas del ramo que han omitido el desarrollo de métodos estándar para la eliminación de defectos.

Los modelos asociados con el proceso de solución de problemas de calidad parten del ciclo de Deming/Shewhart denominado PDCA. Y cualquier modelo para la solución de problemas debería ser comparable al PDCA original.

Las herramientas de calidad actuales pueden englobarse principalmente en dos metodologías: Manufactura Esbelta y Seis-sigma. La primera es simple y rápida, la segunda es precisa y rigorista.

Será posible diseñar un nuevo método para la disminución de defectos aprovechando los supuestos anteriores.

1.5.2. Hipótesis

Al comparar el modelo PDCA contra el modelo DMAIC, aplicando metodologías Manufactura Esbelta y Seis-Sigma, ¿será el segundo más efectivo que el primero para lograr resultados positivos en variables tales como Calidad del producto, Inventario excesivo, Unidades por hora?

2. MARCO TEÓRICO

El Marco Teórico proviene del desglose de elementos que describen el nombre de la investigación. Para este informe de tesis el Marco Teórico se ha dividido en dos secciones: el Esquema de Fundamentos, donde se describen las definiciones utilizadas; y el Análisis de Fundamentos, donde se arma el núcleo teórico que soporta el proceso de investigación. A su vez el Esquema de Fundamentos se ha clasificado en tres tipos:

- Fundamentos Conceptuales.- Definen los elementos abstractos, ideas o conceptos. Aquí se habla de elementos tales como: *“Diseño”, “Modelo”, “Método”, “Metodología”, “Disminución”, “Comparación”*.
- Fundamentos Teóricos.- Definen los elementos prácticos, sistemas, métodos, técnicas o tecnicismos. En esta categoría se incluyen: *“Estándar”, “Proceso de manufactura”, “Experimento”, “Manufactura”, “Manufactura Esbelta”, “Seis-sigma”, “Sigma”, “Valor”, “Defecto”, “Desperdicio”, “Mejora Continua”, “Calidad”, “Modelo PDCA”, “Modelo DMAIC”, “Bajo-volumen/Alta-mezcla”, “Costo”, “Entrega”*.
- Fundamentos Contextuales.- Definen los espacios y tiempos de la investigación. Concretamente: *“Parque Integral”, “Líneas de producción H1 y O2”*.

2.1. Esquema de Fundamentos

2.1.1. Fundamentos conceptuales

2.1.1.1. **Diseño.**- Se trata de la generación de un método nuevo. Esto quiere decir que con los resultados de la investigación se buscará crear “las líneas y las formas”, es decir, los pasos lógicos y ordenados a seguir para disminuir los defectos en el proceso de manufactura. El autor Tamayo en su libro “El método de la investigación científica” menciona acerca del Diseño:

“Es la estructura a seguir en una investigación ejerciendo el control de la misma, a fin de encontrar resultados confiables y su relación con los interrogantes surgidos de la hipótesis problema. // Constituye la mejor estrategia a seguir por el investigados para la adecuada solución del problema planteado...” (Tamayo, 1997, 210).

Esta investigación busca diseñar la serie de pasos necesarios para mejorar la calidad de un proceso de manufactura. conocimiento

2.1.1.2. **Modelo.**- Se trata de una estructura de pensamiento construida a través de la investigación y de la experimentación, así como de su valoración, para ofrecer una “receta” para facilitar la toma de decisiones; o bien se trata de la explicación de un fenómeno en particular. Nuevamente, Mario Tamayo indica:

“Aproximación teórica a lo real, por medio de la cual los postulados y suposiciones conceptuales pueden ser aplicados a la realidad. Intento de sistematización y descripción de lo real, en función del presupuesto teórico...” (Tamayo, 1997, 217).

Por su parte, la Educational Society for Resource Management (APICS), ofrece también un concepto de modelo dirigido a los sistemas, a través de su diccionario:

“Representación de un proceso o sistema que busca relacionar las variables más relevantes, de manera tal que su análisis lleva a comprender el funcionamiento del sistema. Frecuentemente el modelo se usa para anticipar el resultado de una estrategia particular llevada a cabo en el sistema real”. (APICS, 2002, 73).

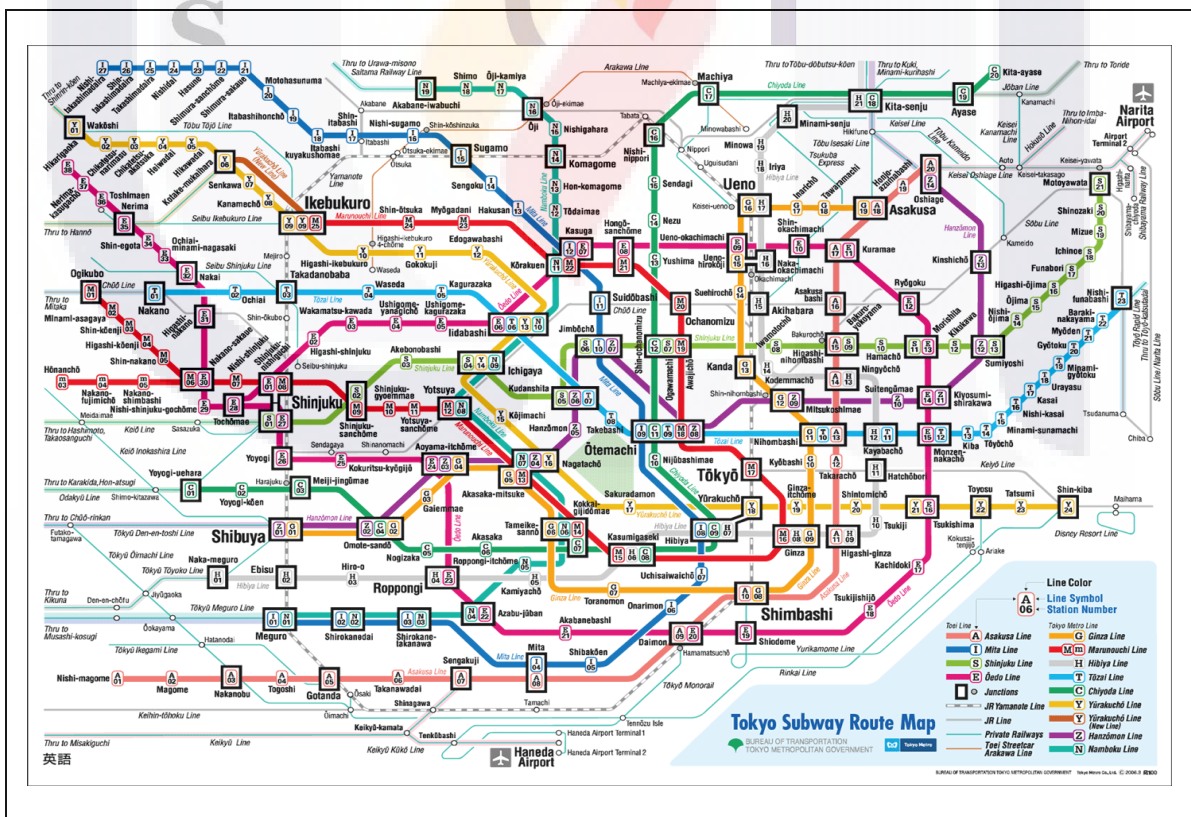


FIGURA 2.1.- Ejemplo de modelo: Red de trenes de Tokio (2008).

El concepto de Modelo es muy importante debido a que nos ayuda a comprender fenómenos naturales o producidos por el hombre, a enumerar sus pasos o procesos asociados, en una forma muy sencilla a pesar aunque se trate de elementos abstractos.

Un buen ejemplo es el modelo de trenes de Tokio; este le indica al usuario de forma simplificada, en una sola exhibición, toda la información necesaria para conocer ubicación, direcciones y nombres de destinos en una red con más de 15 diferentes líneas que combina trenes subterráneos, suburbanos “Expresso” y “Shinkansen” (de alta velocidad). La figura 2.1 exhibe este modelo.

Para esta investigación se habla de los modelos PDCA y DMAIC respectivamente. Ambos modelos describen en forma abstracta el método necesario a seguir para la resolución de problemas de calidad. Normalmente estos modelos son utilizados donde hay administración de calidad para buscar la mejora continua. El detalle de ambos modelos se describe más adelante.

2.1.1.3. **Método.**- Del concepto método se puede decir que se trata del conjunto de pasos necesarios para llevar a cabo una tarea. Corina Schmelkes en su “Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación”, enlista:

“Método: 1) Modo de decir o hacer con orden una cosa. 2) Manera razonada de conducir el pensamiento con objeto de llegar a un resultado determinado y preferentemente al descubrimiento de la verdad. 3) Un proceso o técnica de cuestionamiento sistemático utilizado por diferentes disciplinas.”... (Schmelkes, 1998, 52).

Burdamente hay quien le llama “la receta” para llegar al resultado deseado; hay quienes prefieren denominarle “procedimiento”. En las organizaciones actuales que presumen de contar con un sistema interno de calidad, hablar de procedimientos operativos con diferentes niveles de aplicación, es cosa común. Dichos procedimientos proveen de los pasos necesarios para ejecutar operaciones o procesos particulares, los cuales aseguran la correcta operatividad del negocio.

Un vicio común de las organizaciones es omitir durante el proceso de inducción de empleados la revisión de un manual con los lineamientos de su actividad. Generalmente dicho manual no existe. Esto provoca que el período de entrenamiento y de adaptación al puesto se convierta en un proceso de ensayo-error y que el nuevo empleado aprenda “a golpes”, desperdiciando tiempo valioso al querer desarrollar su talento. Otro vicio común se da cuando las organizaciones son muy estables y su personal tiene ya mucho tiempo

efectuando la misma actividad. Aquí se tiende a utilizar el “conocimiento tribal” que pasa de boca en boca y que nunca se ha documentado. Esto pone en riesgo el funcionamiento de los procesos porque en cuanto uno de los elementos sea removido no existe el documento que indique cómo hacer las cosas. Estos son ejemplos de la importancia de los métodos.

2.1.1.4. **Metodología.**- La metodología es a los métodos lo que el proceso es a las operaciones. Corina Schmelkes lo sintetiza con buenas descripciones:

“Metodología: 1) Ciencia del método. 2) Cuerpo de métodos, reglas y postulados empleados en una disciplina. 3) Análisis de los principios o procedimientos de cuestionamiento en las diferentes disciplinas. (Schmelkes, 1998, 52).

Entonces la metodología básicamente es la forma estratégica en que se gestionan los métodos. Si bien la metodología es estrategia, los métodos pertenecen más al ámbito de la táctica.

2.1.1.5. **Disminución.**- Siempre que se habla de disminución en términos de cantidad de defectos generados al interior de un proceso, se espera identificar la causa raíz y de ahí partir con técnicas y herramientas de orden estadístico o de orden práctico para su contención, su corrección y su prevención. Del Diccionario de la lengua española se tiene la definición genérica:

“Disminución. / (De disminuir). / 1. f. Merma o menoscabo de algo, tanto en lo físico como en lo moral. / 2. f. Arq. Cantidad en que el grueso de un muro es menor que su zarpa. / 3. f. Veter. Enfermedad que padecen las bestias en los cascos. // Disminuir algo, como la salud, el crédito, etc., en ~. / 1. loc. verb. Irse perdiendo. / 2. loc. verb. Irse estrechando o adelgazando en alguna de sus partes.” (Disminución - Diccionario de la Lengua Española - Vigésima segunda edición: http://buscon.rae.es/drae/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=disminución, 2008).

Entonces se dice que la disminución de defectos en un proceso de manufactura ayuda a que la cantidad de los mismos influya lo menos posible en el producto final, y por tanto, en la forma en que los métricos asociados se comporten más benéficamente para la organización. Por esto último es muy importante que una organización dedicada a la manufactura cuente con un método estándar para la disminución de defectos.

2.1.1.6. **Comparación.**- Se trata de “poner sobre las mesa” dos o más cosas, conceptos, ideas, dispositivos. La definición de la Real academia de la lengua dice:

“...(Del lat. comparatĭo, -ōnis). / 1. f. Acción y efecto de comparar. / 2. f. símil (retórico)... 1. loc. verb. Haber la igualdad y proporción correspondiente entre las cosas que se comparan.” (Comparación - Diccionario de la Lengua Española -

Vigésima segunda edición:
http://buscon.rae.es/drae/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=comparaci%C3%B3n
, 2008).

“...(Del lat. comparāre). / 1. tr. Fijar la atención en dos o más objetos para descubrir sus relaciones o estimar sus diferencias o semejanza. / 2. tr. cotejar.” (Comparar - Diccionario de la Lengua Española - Vigésima segunda edición: http://buscon.rae.es/drae/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=comparar, 2008).

En el caso de esta investigación se desea comparar dos modelos, el PDCA y el DMAIC, para encontrar sus diferencias y sus semejanzas.

Uno de los supuestos de la investigación prevé que debido a que el modelo original (PDCA) ha evolucionado hacia otros nuevos modelos (uno de ellos el DMAIC), su comparación es posible y la aplicación de metodologías Manufactura Esbelta y Seis-sigma, respectivamente, puede realizarse en forma controlada (como parte del experimento) utilizando ambos modelos.

2.1.2. Fundamentos teóricos

2.1.2.1. **Estándar**.- Por un lado se entiende “Estándar” como la norma o el conjunto de normas que rigen la uniformidad de los métodos; se trata de especificaciones o de requerimientos particulares establecidos por organismos de regulación y con reconocimiento internacionales. Por otro lado, en el campo de la administración de procesos se dice que un estándar es aquella actividad que no varía de un momento a otro, mantiene constantes sus pasos a seguir y su resultado esperado es en forma práctica el mismo. Dentro del bagaje de Manufactura Esbelta se dice que un estándar es la base de referencia para encontrar las anomalías a través de administración visual, 5S’s y dispositivos Poka-yoke (a prueba de error). De la enciclopedia Wikipedia en Internet se tiene:

“En administración estándar significa un modelo que se sigue para realizar un proceso o una guía que se sigue para no desviarnos del lugar al que se desea llegar. / En tecnología y otros campos, un estándar es una especificación que regula la realización de ciertos procesos o la fabricación de componentes para garantizar la interoperabilidad...” (Estándar – Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Estandar>, 2008).

La figura 2.2 ejemplifica algunos estándares de administración visual para un proceso, tal y como:

- **Códigos de colores**.- indican funciones o estados del proceso.

- **Luces o banderas (Andon).**- indican si existe algún problema en el proceso.
- **Encintados o marcajes.**- delimitan áreas, indican peligro, o dirigen los flujos del proceso.
- **Tableros.**- facilitan el seguimiento de la producción, muestran análisis y alcances.
- **Instructivos.**- proporcionan la secuencia de pasos a seguir en el punto de uso.
- **Kanban.**- tarjetas viajeras que rigen la secuencia de proceso y surtido de material.
- **Alturas.**- el mobiliario se estandariza a cierta altura para facilitar el control de la línea.
- **Máximos y mínimos.**- indicaciones que facilitan el resurtido de material para evitar paros.
- **Jidoka.**- alarma de paro ante cualquier anomalía y que llama al grupo de soporte.
- **Supermercados.**- inventarios que evitan paros de línea y ayudan a detectar falta de material.



FIGURA 2.2.- Estándares para administración visual en piso de producción.

2.1.2.2. **Proceso de Manufactura.**- La producción o la operación depende la conversión o transformación de elementos dados (entradas) hacia algo con mayor valor(salidas) mediante un proceso que efectúe la transformación o conversión.

El proceso de manufactura a estudiar está encaminado hacia la integración de sistemas, es decir, operación de ensamble de un producto terminado. Este tipo de proceso normalmente tiene como entradas materiales sueltos hasta nivel sub-ensamble; dichos materiales se arman juntos para resultar en un sistema completo; luego se prueba su funcionalidad y su conformidad de calidad;

finalmente se embalan o empaacan y se envían al cliente; debido a su nivel de integración pueden llegar a centros de distribución o configuración, o bien, hasta un cliente final en campo.



FIGURA 2.3.- Transformación de entradas en salidas.

La figura 2.3 expone en forma simple el concepto. Se subraya la aplicación industrial de la operación, es decir, el transformar materiales en un bien terminado y diferenciado a través de un proceso. Esto significa que el proceso viene formado por los sistemas, los métodos y los equipos necesarios para cumplir apropiadamente con la producción a escala industrial.

2.1.2.3. **Experimento.**- Aquí se tiene que hablar forzosamente del concepto “Experimento” debido a que su ejecución y el análisis de sus resultados determinará los pasos a seguir para la construcción del método propuesto.

Al conjunto de observaciones o de mediciones realizadas a un fenómeno estudiado en particular, con el propósito de generar un conocimiento a partir de estas, se le denomina experimento. Al respecto, los autores Gutiérrez Pulido y Vara Salazar explican:

“Es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio en una o varias propiedades del producto.” (Gutiérrez Pulido / Vara Salazar, 1982, 91).

Usualmente se ve a los experimentos como los ensayos o los pasos llevados a cabo dentro de un laboratorio. Esta es una visión muy básica del concepto, extendida a partir de las actividades propias de los laboratorios presentes en los centros escolares de educación secundaria y media-superior. En realidad para una investigación reportada a través de un informe de tesis, un “paper”-técnico o un artículo científico, los experimentos responden a métodos estadísticos que analizan las mediciones u observaciones tomadas del campo. Es decir, se utiliza la técnica estadística denominada “Diseño de Experimentos” (DOE, del inglés “Design-of-Experiments”) y se ejecuta y se analiza según el caso.

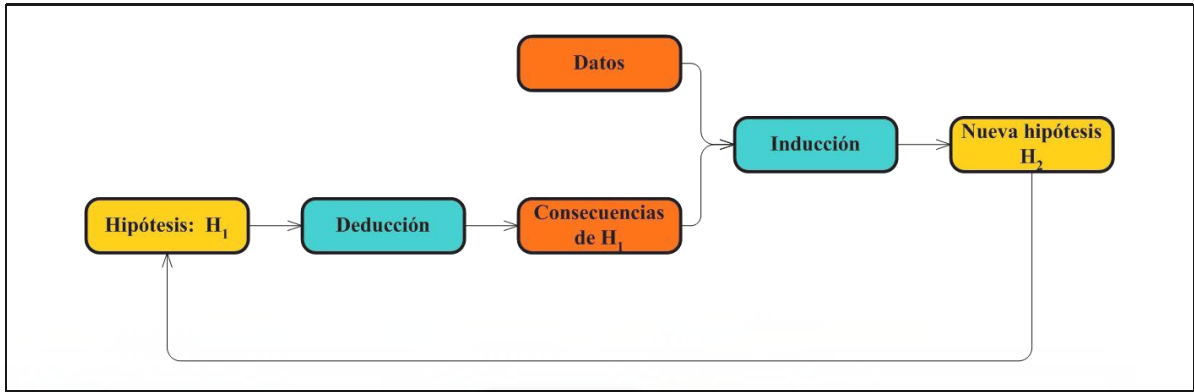


FIGURA 2.4.- Ciclo de generación de aprendizaje y conocimiento

Mediante esta técnica es posible conocer mejor el fenómeno, aprender de él y detectar con mayor exactitud las causas-raíz que ocasionan la variabilidad; para esta investigación, los defectos. Se trata de un ciclo cerrado que dispara la generación de conocimiento. La figura 2.4 muestra este ciclo. Cuando las consecuencias de la hipótesis original pueden compararse con los datos se está utilizando el proceso deductivo. En el caso de que dicha comparación no sea efectiva entonces se pasa al proceso inductivo donde la hipótesis será modificada y se reiniciará el experimento.

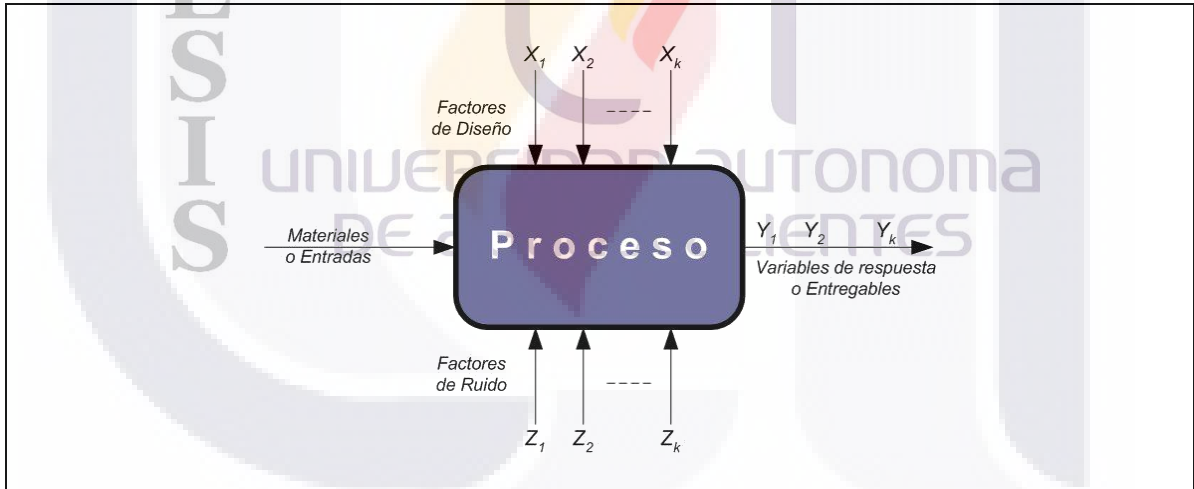


FIGURA 2.5.- Proceso bajo la aplicación de un Experimento.

Para diseñar un experimento es necesario conocer el fenómeno en cuestión, la población o cantidad de muestras a tomar, y las variables correspondientes. Dichas variables pueden ser dependientes –cuando su comportamiento responde a estímulos–, son el resultado del proceso; o independientes –cuando su comportamiento no responde a otros estímulos–, y se les llama factores. Estos factores pueden ser controlables o puede tratarse de ruido en el sistema. La hipótesis se plantea con base en esto. Mediante el DOE esta hipótesis será confirmada o refutada

estadísticamente de la forma más cercana a la realidad como describe el proceso de aprendizaje y generación de conocimiento. La figura 2.5 muestra un proceso tal y como lo ve un DOE.

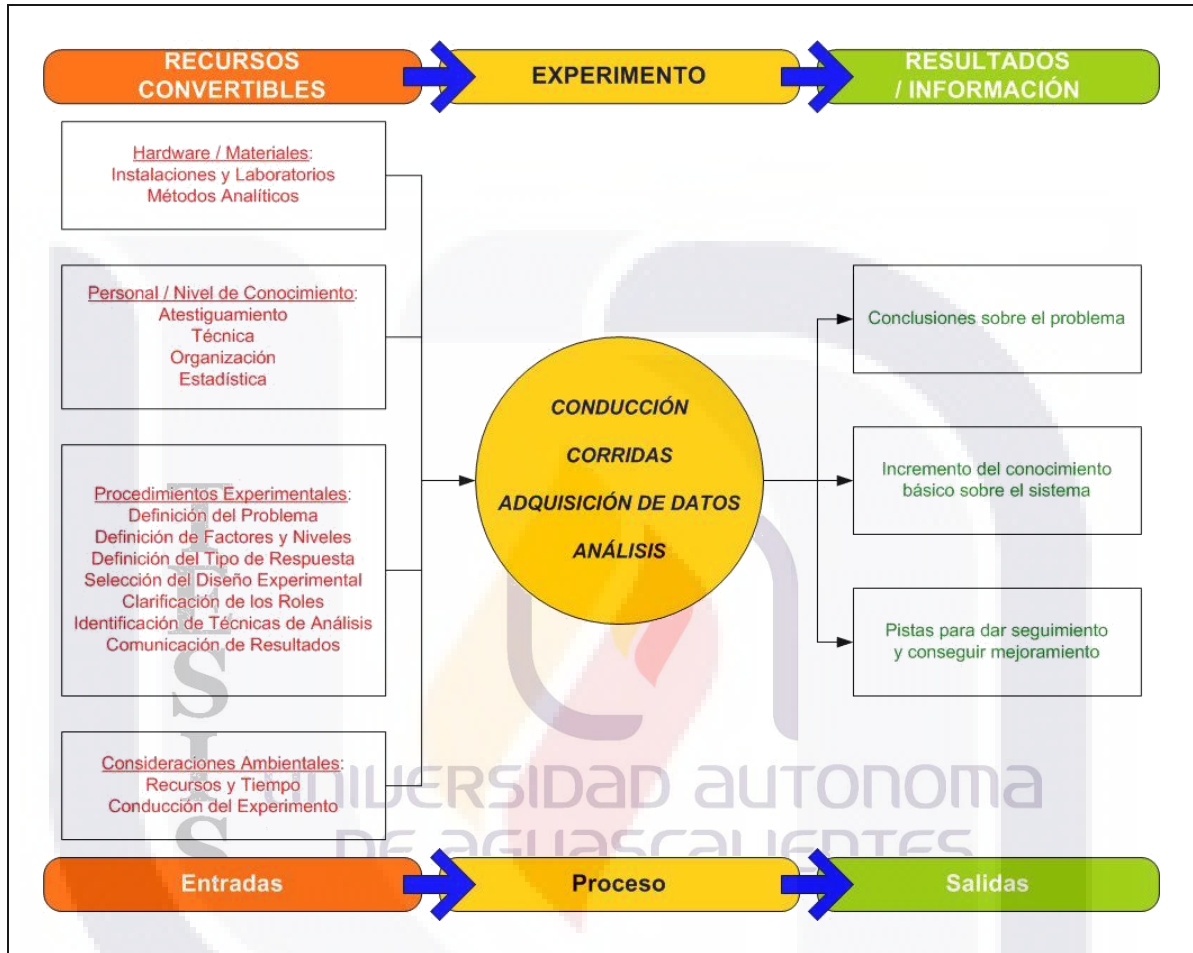


FIGURA 2.6.- Modelo del proceso que sigue un DOE.

Por otro lado, también se debe hablar del proceso seguido por un Diseño de Experimentos. Ver la figura 2.6. En base al tipo y cantidad de factores, el tamaño de la población y a la disponibilidad de muestras, se decide el tipo de experimento adecuado. Básicamente existen cuatro tipos de DOE: el que usa datos al azar, el que usa dos o más factores, el que usa bloques, y el que combina uno o más de estos tres tipos.

Se recomienda también utilizar la información no-estadística disponible. En muchas ocasiones el conocimiento empírico de los usuarios del proceso brinda datos valiosos que sirven para preparar mejor el diseño del experimento. Aquí la precaución a tomar es conocer también la información

teórica que sustenta el análisis para evitar cometer equivocaciones en la preparación del DOE. El cuadro 2.1 muestra los tipos principales de DOE de acuerdo con su aplicación.

CUADRO 2.1.- Clasificación de DOE según su aplicación

Diseño	Aplicación		Subclasificación
1	Comparación de dos o más tratamientos		<i>Completamente al azar</i>
			<i>En bloques completos al azar</i>
			<i>En cuadros latino y grecolatino</i>
2	Estudio de varios factores sobre una o más variables de respuesta		<i>Factoriales 2^k</i>
			<i>Factoriales 3^k</i>
			<i>Factoriales fraccionados 2^{k-p}</i>
3	Optimización de procesos	Modelo de 1er. orden	<i>Factoriales 2^k y 2^{k-p}</i>
			<i>Plakett-Burman</i>
			<i>Simplex</i>
	Modelo de 2do. orden	<i>Central compuesto</i>	
		<i>Box-Behnken</i>	
		<i>Factoriales 3^k y 3^{k-p}</i>	
4	Robustos		<i>Arreglos ortogonales</i>
			<i>Arreglos interno y externo</i>
5	Mezclas		<i>Latice-simplex</i>
			<i>Simplex con centroide</i>
			<i>Con restricciones</i>
			<i>Axial</i>

De acuerdo con el procedimiento y los elementos incluidos en él, se determinará el tipo de diseño, adecuado para el análisis.

Cabe mencionar que la Manufactura Esbelta se basa en una serie continua de “experimentos” (en realidad pares de ensayo-error) de ejecución de sus herramientas en el Gemba, con el fin de efectuar Kaizen. En el caso de Seis-sigma los experimentos son el elemento medular de esta metodología, con el fin de validar las causas-raíz y disminuir la variabilidad de los procesos.

2.1.2.4. **Manufactura**.- Sin preámbulo se ofrece la definición de APICS:

“Serie de actividades interrelacionadas y de operaciones que involucran el diseño la selección del material, la planeación, la producción, el aseguramiento de la calidad, la administración y las estrategias de venta para bienes de consumo discretos y durables.” (APICS, 2002, 66).

Típicamente cuando se describe una operación de manufactura inmediatamente se hace la relación con una línea de producción en serie. A pesar de esto, cabe aclarar que existen una gran variedad

de operaciones de manufactura y que por lo tanto sería injusto enmarcarlas solamente en el ámbito de industria automotriz.

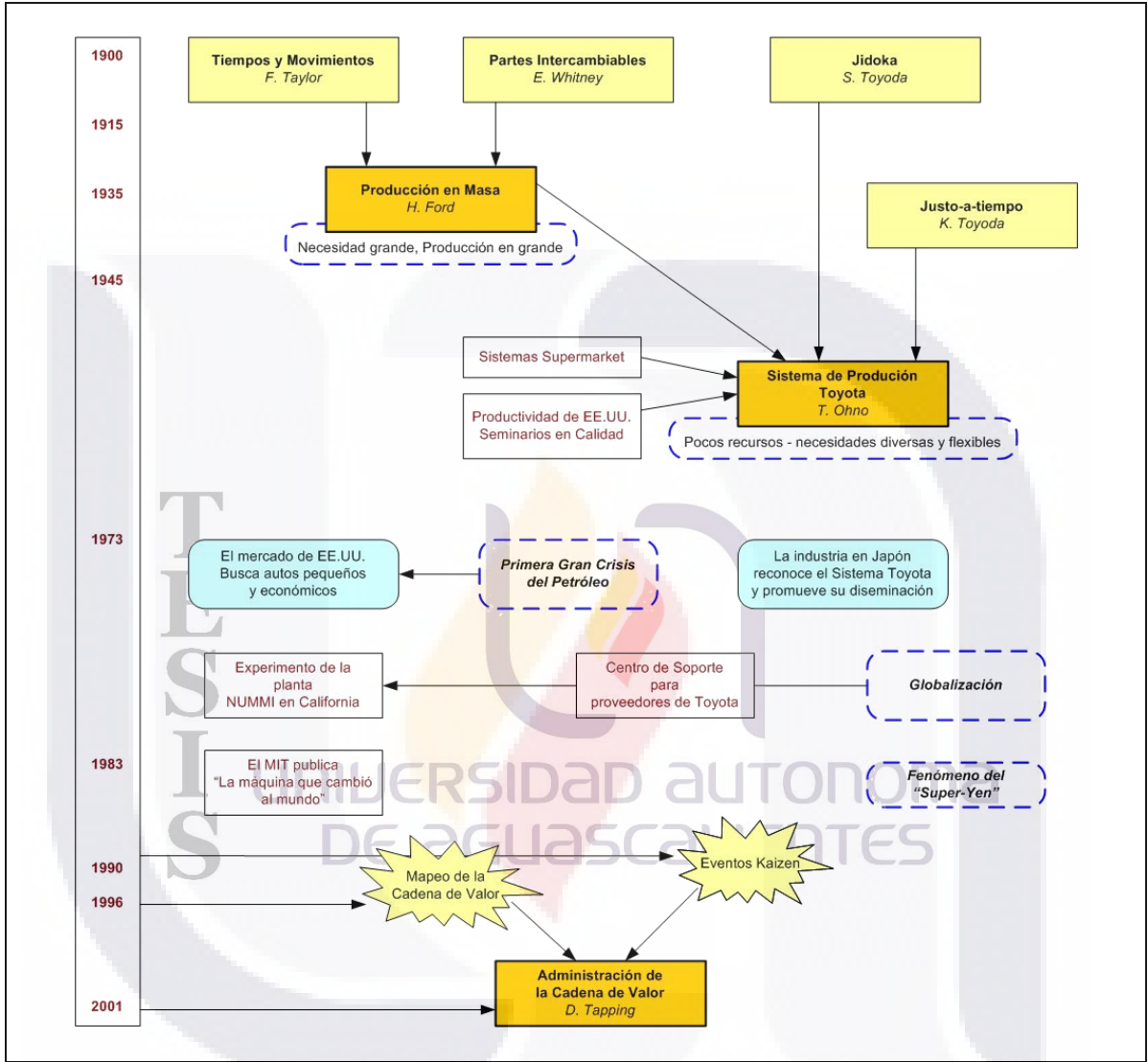


FIGURA 2.7.- Evolución hacia Manufactura Esbelta.

El concepto de manufactura es muy amplio ya que cubre todas las áreas de actividad humana donde se transforma la materia prima para otorgarle nuevas características. Se trata de una serie de actividades de valor-agregado y de no-valor-agregado transformando en algo más complejo. Asimismo históricamente ha habido modificaciones en la forma en que la manufactura ha funcionado. La figura 2.7 enseña la evolución de la manufactura teniendo como fin el ejercicio de la manufactura esbelta.

Se puede dividir a la manufactura por el volumen o por la complejidad de productos; entendiendo a la manufactura como parte importante de toda una cadena de suministro también se la puede clasificar según el tratamiento en la complejidad del mismo sistema de proveeduría. Esto se revisa más adelante dentro del concepto de “Bajo-volumen/Alta-mezcla”.

2.1.2.5. Manufactura Esbelta.- Se dice de la metodología que reúne conceptos tomados del Sistema de Producción Toyota. Fundamentalmente se trata de una filosofía con la que se debe trabajar en una línea de producción anteponiendo el interés del cliente por sobre todas las cosas. A partir de este punto, el resto de la metodología se despliega en pasos simples y bien identificados. Como toda metodología japonesa apoya su ejecución y la resolución de los problemas identificados en el Ciclo de mejora continua de Deming, del cual se verá más adelante el detalle.

Esta metodología busca primeramente identificar lo que le da valor a la cadena de suministro y subraya y separa aquellas actividades que dan valor de las que no dan valor al producto según el cliente. Una vez completada esta etapa enfoca el análisis hacia las causas raíz de lo que no tiene valor –desperdicio– para eliminarlo y de lo que tiene valor para maximizarlo. Todo esto en el marco de métricos que permitan evaluar la manera en que las eficiencias del sistema son mejoradas y por tanto calificar el nivel de eficacia del ejercicio. Finalmente se debe documentar, estandarizar y continuar en la búsqueda de la mejora. Bill Carreira lo define en forma simple en su libro “Lean Manufacturing that works”:

“En un intento por definir lo que es ‘Lean’ (esbelto), podríamos discutir sobre los principios que rigen la mentalidad ‘Lean’. El primero es el concepto de valor. En contraste con la visión convencional de negocio, en ‘Lean’, todo valor es definido desde la perspectiva del cliente... / Otro principio fundamental de ‘Lean’ es el evaluar el negocio desde una óptica completa: la cadena de valor... / Enseguida vienen los principios de flujo y jalar. Flujo idealmente implica una secuencia continua de actividad a través del proceso, sin cortes ni desconexiones. El concepto de jalar significa que las cosas suceden cada vez que se necesita que se hagan, no antes... / Quizás el principio básico de la mentalidad ‘Lean’ es la cotidiana y continua eliminación de desperdicio... / Para que estos principios sean implantados en cualquier organización la gerencia debe liderar su aplicación y todos los individuos a lo largo y ancho de la compañía deben hacerlos suyos...” (Carreira, 2005, 2)

Esto quiere decir que la manufactura esbelta es la gestión del sistema de producción tomando en cuenta las demandas del cliente y utilizando el Ciclo de mejora continua para eliminar los desperdicios que afectan el proceso.

La aplicación de Manufactura Esbelta en forma de evento kaizen básicamente consta de ocho pasos y tiene una duración de 5 días por lo que es un ejercicio muy intenso y requiere de la participación dedicada de todo el personal dedicado (Desde la gerencia hasta la labor directa). La figura 2.8 representa su modelo como ciclo de mejora continua.

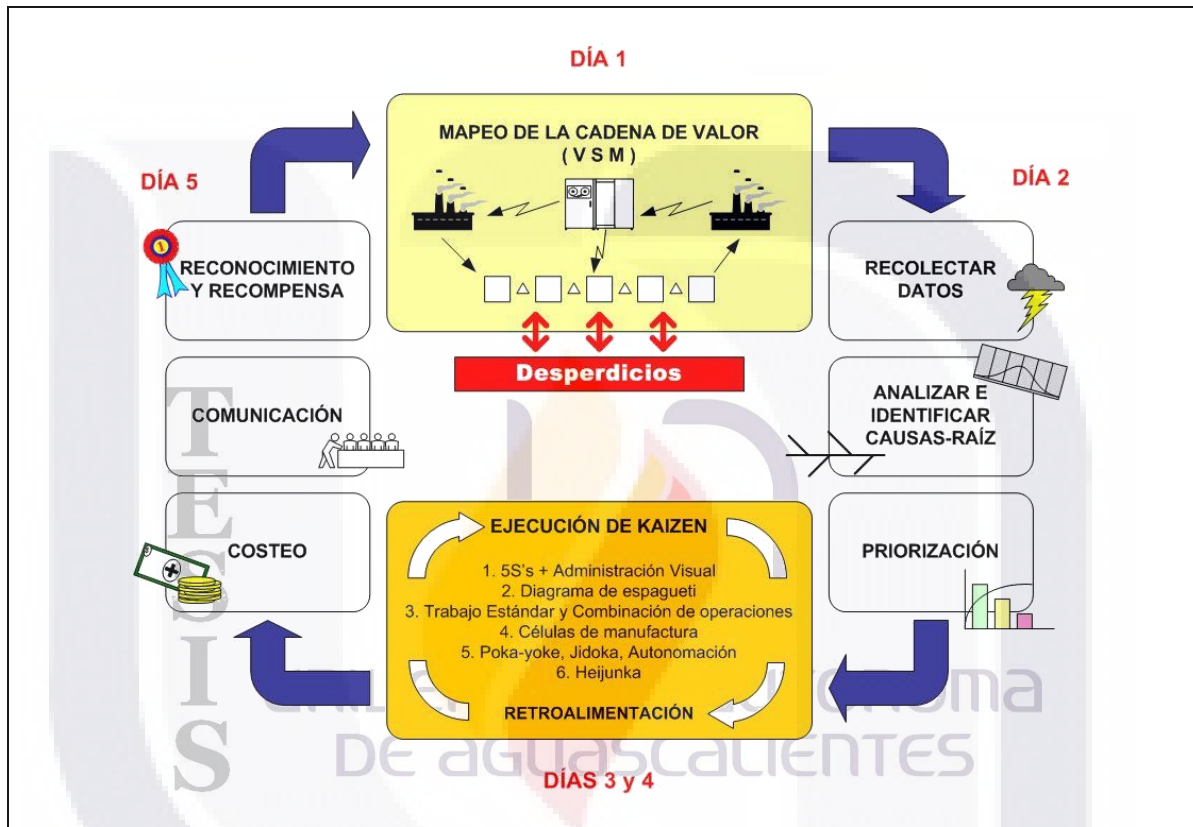


FIGURA 2.8.- Evento Kaizen para conseguir Manufactura Esbelta.

En base al modelo anterior vale la pena hablar algo más sobre sus pasos.

- **Mapeo de la Cadena de Valor** (VSM – Del inglés “Value-Stream Map”).- Se trata del modelado del proceso desde que inicia con los proveedores, atravesando todas sus operaciones, y finalizando con la entrega de productos al cliente. Con esta herramienta se hace posible visualizar al proceso como un todo, con los diferentes factores que influyen en él incluidos. Se puede comprender cuáles pasos son generadores de valor y cuáles caen en la categoría de desperdicios. Se puede ver la comunicación (generalmente mediante tecnologías de información) que existe entre el cliente y el proceso, y a su vez del proceso con sus proveedores. Se recordará que la intención es conceptualizar este basándose en la perspectiva del cliente. El cuadro 2.2 detalla los elementos que construyen este modelo.

CUADRO 2.2.- Elementos del VSM

No.	Elemento	Objetivo	Ubicación	Símbolo
1	Cliente	Identificar la entidad que pone la demanda del producto	<i>Esquina superior derecha</i>	
2	Proveedor	Identificar la entidad que surte los materiales	<i>Esquina superior izquierda</i>	
3	Transporte del proveedor	Identificar el medio de transporte del proveedor al proceso	<i>Del proveedor al inicio del proceso</i>	
4	Transporte hacia el cliente	Identificar el medio de transporte del proceso al cliente	<i>Del fin del proceso al cliente</i>	
5	Operación	Indicar el conjunto de pasos necesarios para obtener la transformación de los materiales del paso anterior	<i>Área inferior, a lo largo del proceso</i>	
6	Inventario	Indicar el lugar donde se acumula material durante el proceso	<i>Entre operaciones</i>	
7	Sistema Informático	Identificar las tecnologías de información o los sistemas que sirven para comunicar señales entre los diferentes elementos del mapa	<i>Parte superior central</i>	
8	Señal electrónica	Indicar aquella señal de naturaleza informática	<i>Área superior</i>	
9	Señal en duro	Indicar aquella señal que se mueve en forma de documentos, papeletas, hojas viajeras, pedidos en papel, etc.	<i>Área superior</i>	
10	Supermercado	Indicar el lugar que amortigua y alerta la falta o el exceso de materiales	<i>Área inferior, a lo largo del proceso</i>	
11	Kanban	Tarjeta que sirve para establecer el sistema Pull a través del proceso	<i>Entre operaciones y supermercados</i>	
12	Empujar	Indicador de que el flujo mueve material a la siguiente operación	<i>Entre operaciones</i>	
13	Jalar	Indicador de que el flujo responde al jalar de la operación inmediata siguiente	<i>Entre operaciones</i>	
14	Tiempo con valor	Línea de tiempo que identifica la operación de valor agregado	<i>Área inferior, bajo la operación correspondiente</i>	
15	Tiempo sin valor	Línea de tiempo que identifica la operación que no aporta valor al producto	<i>Área inferior, bajo la operación correspondiente</i>	
16	Explosión Kaizen (Kaizen starburst)	Marca que indica dónde se ha identificado el área de oportunidad a la cual aplicar Kaizen	<i>En cualquier lugar del mapa</i>	

El ejercicio de mapeo tiene que visualizar al proceso en su estado actual para poder identificar aquellos pasos o elementos que estén obstaculizando el fluir natural, ya sea del material o de la información. Por eso es muy importante que dicho mapa sea generado por todo el equipo involucrado o usuario del proceso. Mientras que el proceso de manufactura fluye de izquierda a

derecha en el área inferior, la información y las señales por lo general viajan en sentido contrario, usualmente en el área superior del mapa.

Tras haber identificado estos puntos se marcan con una Explosión Kaizen y se describe brevemente el tipo de acciones o las herramientas de Manufactura Esbelta, Estadísticas, Seis-sigma, que se utilizarán. Hasta aquí se cuenta con el mapa de "Estado Presente". Ahora es necesario establecer una meta hacia dónde dirigirse. Esto puede lograrse generando el mapa del "Estado Futuro". Este mapa se genera con la visión de alcanzar un sistema Pull donde jalar el material según el Justo-a-tiempo sea la regla y no la excepción. La figura 2.9 muestra los mapas de los estados presente y futuro del mismo proceso.

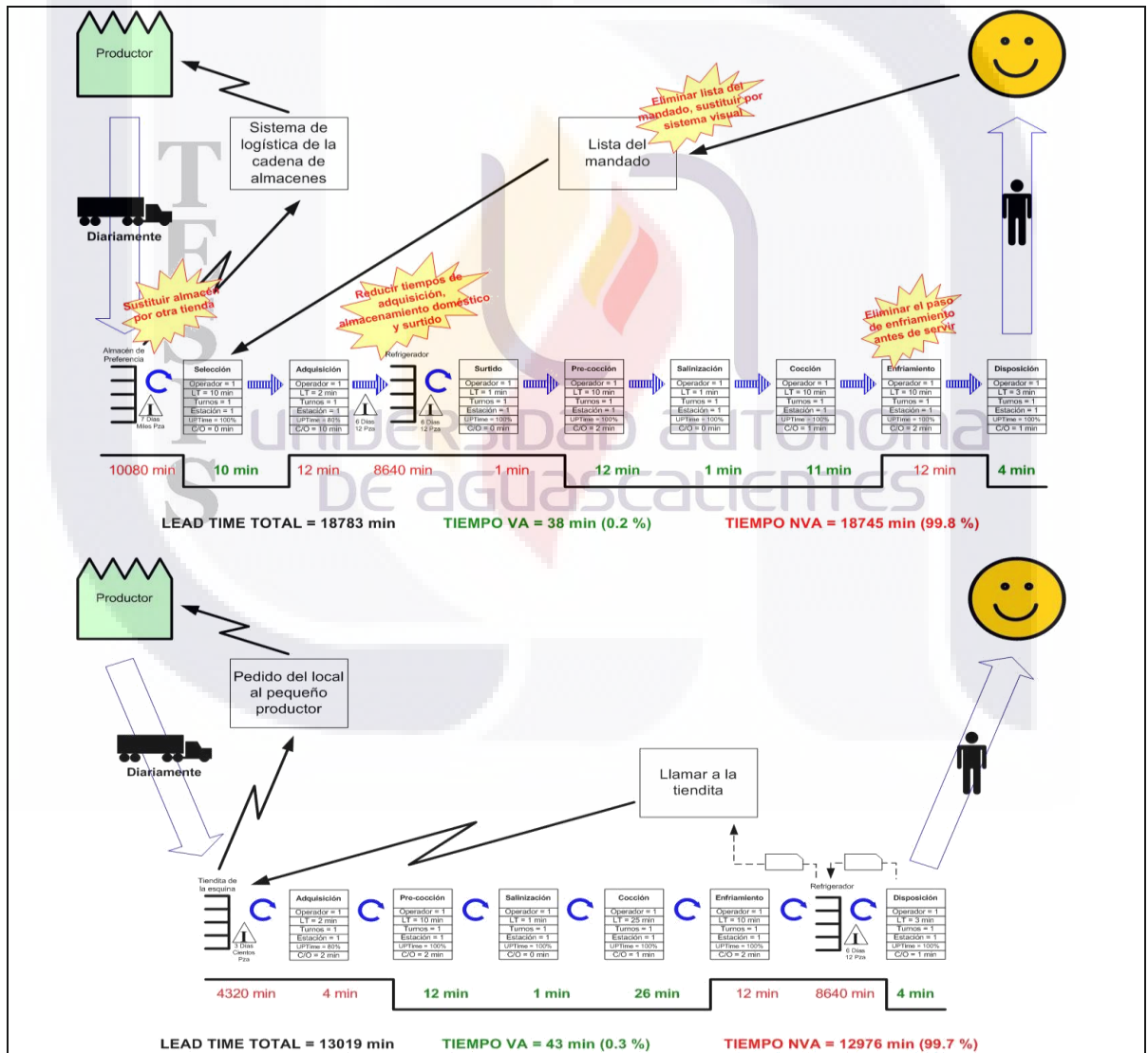


FIGURA 2.9.- VSM presente y futuro de la preparación de un huevo cocido.

-
- **Datos.-** De aquellos puntos del mapa en donde se tenga una Explosión Kaizen se tomarán datos. Ya sea que se genere un formato para la recolección de datos, una hoja de inspección, o se cuente con un sistema informático para el control de la producción, los datos deben reflejar el tipo de problema que se quiere analizar. Estos datos pueden ser parámetros o variables físicas, cantidad de piezas buenas y malas, tiempos, entre muchos otros. Tras la recolección se efectúa un análisis estadístico. El resultado de este análisis debe mostrar alguna tendencia o relación. Esta información sirve para tomar decisiones. Una de ellas será la búsqueda de las causas-raíz.
 - **Causas-Raíz.-** Se puede efectuar la búsqueda mediante un diagrama de Ishikawa, o bien, con la técnica de 5-*Por qué*s. El resultado será una serie de elementos que lógicamente interpretados darán una idea de lo que está provocando el síntoma. Se puede efectuar una tormenta de ideas, y si el resultado del análisis de datos muestra una fuerte relación con estas ideas, lo más seguro es que se tengan algunos puntos que será necesario investigar.
 - **Priorización.-** Mediante un diagrama de Pareto se pueden establecer las prioridades atendiendo al principio de “80-20”, es decir, el 80% de las causas se identifican con el 20% de las consecuencias. De esta forma es fácil enfocar los análisis, o las acciones necesarias para erradicar los problemas. Tras haber determinado las prioridades, se efectuará Kaizen utilizando las herramientas principales de la Manufactura Esbelta. Se da cuenta de estas herramientas en el cuadro 2.3.
 - **Costos.-** El fin último de la Manufactura Esbelta es ofrecer reducción de costos en la operación. Por eso es muy importante cotizar el impacto del Kaizen. Ya sea que se trate de un ahorro directo (del inglés “Hard-saving”) o indirecto (del inglés “Soft-saving”), o bien de la evasión de un costo (del inglés “Cost-avoidance”) es muy importante calcular el beneficio económico. Además, mediante este métrico será posible para el área financiera de la organización dar seguimiento a la efectividad del Kaizen.
 - **Comunicación.-** Un buen trabajo de equipo debe documentarse correctamente y comunicarse al resto de la organización adecuadamente. Este paso en el evento Kaizen permite que otras áreas conozcan el proyecto y sus resultados. Seguramente habrá otras áreas que puedan tomar las lecciones aprendidas y aplicar las mejores prácticas de este proyecto.

CUADRO 2.3.- Herramientas de Manufactura Esbelta.

No.	Elemento	Objetivo	Características
1	5 S's	Establecer estándares de orden y limpieza. Marcar las reglas de su sostenimiento. Identificar los desperdicios más básicos.	<i>Cinco pasos: Seiri (clasificar), Seiton (organizar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar), Shitsuke (mantener). Todo el personal debe involucrarse activamente.</i>
2	Administración Visual	Establecer estándares visuales. Facilitar la búsqueda de anomalías. Facilitar la administración del piso de producción.	<i>Códigos de color, luces, banderolas, tableros, marcas de área, dimensiones y alturas estándar, máximos y mínimos, sentido del flujo de material, alarmas y señales.</i>
3	Gemba + Gembutsu	Reconocer el área activa de trabajo. Identificar obstáculos en el flujo del material. Definir lugar de reunión del equipo de trabajo.	<i>Es el lugar donde ocurren los hechos: el piso de producción. (En procesos administrativos será la oficina o el sistema)</i>
4	Diagrama de Espagueti	Caminar el proceso. Identificar desperdicios de transporte. Prever la optimización del transporte.	<i>Trazo que copia el flujo del material en el layout, y que facilita la medición de los recorridos del material y del producto.</i>
7	Células de Manufactura	El inicio y final del proceso en el mismo lugar. Aprovechar mejor el área disponible. Mejorar la comunicación de los operadores.	<i>Arreglo de operaciones en 'U', con un flujo que es inverso a las manecillas del reloj. Espacios y distancias mínimas. Todo lo que ocupa el operador está al alcance de su mano.</i>
5	Trabajo Estándar y Combinación de operaciones	Definir las instrucciones y normas de operación. Aprovechar mejor el tiempo disponible. Que la labor directa se vuelva multi-habilidad.	<i>Documento disponible en piso de producción que establece la secuencia de eventos a seguir; así como la combinación de estos en una línea de tiempo determinada.</i>
8	Poka-yoke	Conseguir una operación libre de defectos. Detectar y prevenir los errores. Enfocar al personal en el valor agregado.	<i>Dispositivos que detectan características del producto y ayudan a determinar si existen errores, los previenen y alertan. Dispositivos "pasa/no-pasa", sensores, plantillas, mecanismos.</i>
6	SMED	Facilitar la preparación de operaciones. Aprovechar mejor el tiempo disponible. Maximizar la capacidad de la maquinaria.	<i>Dado un tiempo de preparación se identifican elementos internos y externos; se convierte la mayoría a externos; se reducen los tiempos y se estandariza.</i>
9	Jidoka	Detener el proceso ante cualquier anomalía. Comunicar rápidamente a todo el equipo. Disparar acciones correctivas y preventivas.	<i>Un medio o dispositivo de alerta audio-visual que además de detener el proceso obliga al grupo de soporte a generar las acciones y desarrollar poka-yokes.</i>
10	Autonomación	Simplificar ciertas operaciones combinando la experiencia del personal y la precisión de la maquinaria.	<i>Poka-yokes y dispositivos avanzados que combinan automatización y la experiencia que el usuario tiene en el proceso para simplificar la administración de la producción.</i>
11	Hanedashi	Expulsar automáticamente el producto bajo prueba o bajo trabajo de máquina una vez haya terminado, al tiempo correcto.	<i>Dispositivos de autonomación que evitan que el operador tenga que descargar el producto de un equipo de prueba o maquinaria. Se combinan con los elementos anteriores.</i>
12	Chaku-chaku	Combinar operaciones para reducir la labor directa dedicada en una celda de manufactura. Volver al personal en multi-habilidad.	<i>Unos cuantos operadores realizan el mismo trabajo en una celda de manufactura supliendo el viejo concepto de "un operador por estación". Los elementos anteriores lo soportan.</i>
13	Kanban	Indicar cuándo es necesario jalar material. Responder a la demanda del cliente. Mejorar el flujo de material.	<i>Un conjunto de tarjetas, tokens o señales que contienen los datos necesarios para jalar material: número de parte, cantidad, localidad, código de barras, codificación FIFO.</i>
14	Supermercados + Water-spiders	Evitar paros de línea por falta de material. Amortiguar excesos o carencias de material. Facilitar el flujo de material.	<i>Localidades que contienen materiales (sean insumos o de valor agregado) administrados por los operadores más hábiles que continuamente resurten de y hacia ellos, evitando paros.</i>
15	Heijunka	Nivelar la demanda del cliente. Crear la secuencia correcta según la demanda. Facilitar la administración de los pedidos.	<i>Plan de producción que sigue la demanda impuesta por el cliente y que se administra mediante tableros Kanban indicando secuencias y cantidades a producir.</i>
16	TPM	Evitar malfuncionamiento de la maquinaria. Maximizar la capacidad de la maquinaria. Reducir los costos de mantenimiento.	<i>Plan de mantenimiento productivo que previene los desperfectos y predice los tiempos en que refacciones críticas deben ser reemplazadas para evitar paros de línea y costos.</i>
17	Evaluación Lean	Medir en forma rápida y simple el nivel de madurez que tiene la planta en Manufactura Esbelta.	<i>Una gráfica de radar (Spider-web) generalmente con escala de 0 a 5 indica el nivel de madurez que la planta tiene en la aplicación y sostenimiento de la Manufactura Esbelta.</i>

- **Reconocimiento.**- Para cerrar el ciclo del evento Kaizen la gerencia debe reconocer y recompensar al equipo que hizo posible la mejora. De esta forma se invita a más personas a que participen de la metodología y se impulsa el sentido de pertenencia de gente a la organización para la que trabajan.

2.1.2.6. **Seis-Sigma.**- En forma general se dice que la metodología Seis-Sigma se fundamenta en el Ciclo de Mejora Continua y el uso de herramientas estadísticas específicas. En este caso el ciclo se ha “re-inventado” denominándolo “DMAIC”. Sobre este ciclo se trata con más detalle adelante. Los autores Rath y Strong en su “Six-Sigma pocket guide” dicen:

“DMAIC... Es una propuesta estructurada, disciplinada, rigurosa al mejoramiento de los procesos que consiste de las cinco fases mencionadas, donde cada fase se enlaza con la previa y la siguiente de manera lógica. La razón para seguir esta rigurosa metodología es la de alcanzar la estrecha meta de impuesta por Seis-Sigma o de 3.4 defectos por cada millón de oportunidades...” (Rath & Strong, 2000, 5)

Si bien parece demasiado exigente este requerimiento existen procesos y servicios cuyos resultados no pueden discutirse como es el caso del número de aterrizajes exitosos de un aeroplano, o el buen funcionamiento del sistema de frenado de un automóvil, o el proceso de fabricación de medicamentos o vacunas; o bien, lejos de la seguridad y cerca de la rentabilidad de una línea de producción de alto volumen, el incumplir con niveles Seis-sigma equivale a entregar unidades defectuosas por miles y por supuesto los costos de calidad asociados.

Al hablar de calidad Seis-Sigma se tiene:

“Es el término usado generalmente para indicar que un proceso está bien controlado, por ejemplo, los límites tolerables son de ± 6 sigma de la línea central en la gráfica de control. Este término usualmente se asocia con Motorola, que denominó una de sus iniciativas operativas clave como ‘Calidad 6-Sigma’.” (APICS, 2002, 110).

Los pasos que sigue la metodología Seis-sigma a través del ciclo de mejora DMAIC considera al menos tres elementos fundamentales:

- **La Visión.**- Definiendo el proyecto, recolectando datos y relacionándolos con las causas-raíz, estableciendo la capacidad del proceso, generando las soluciones posibles a las causas-raíz, estandarizando las mejores prácticas.
- **El proceso.**- Identificando entradas y salidas, analizando las causas especiales, graficando defectos, seleccionando la solución idónea, entrenando a los usuarios del proceso.

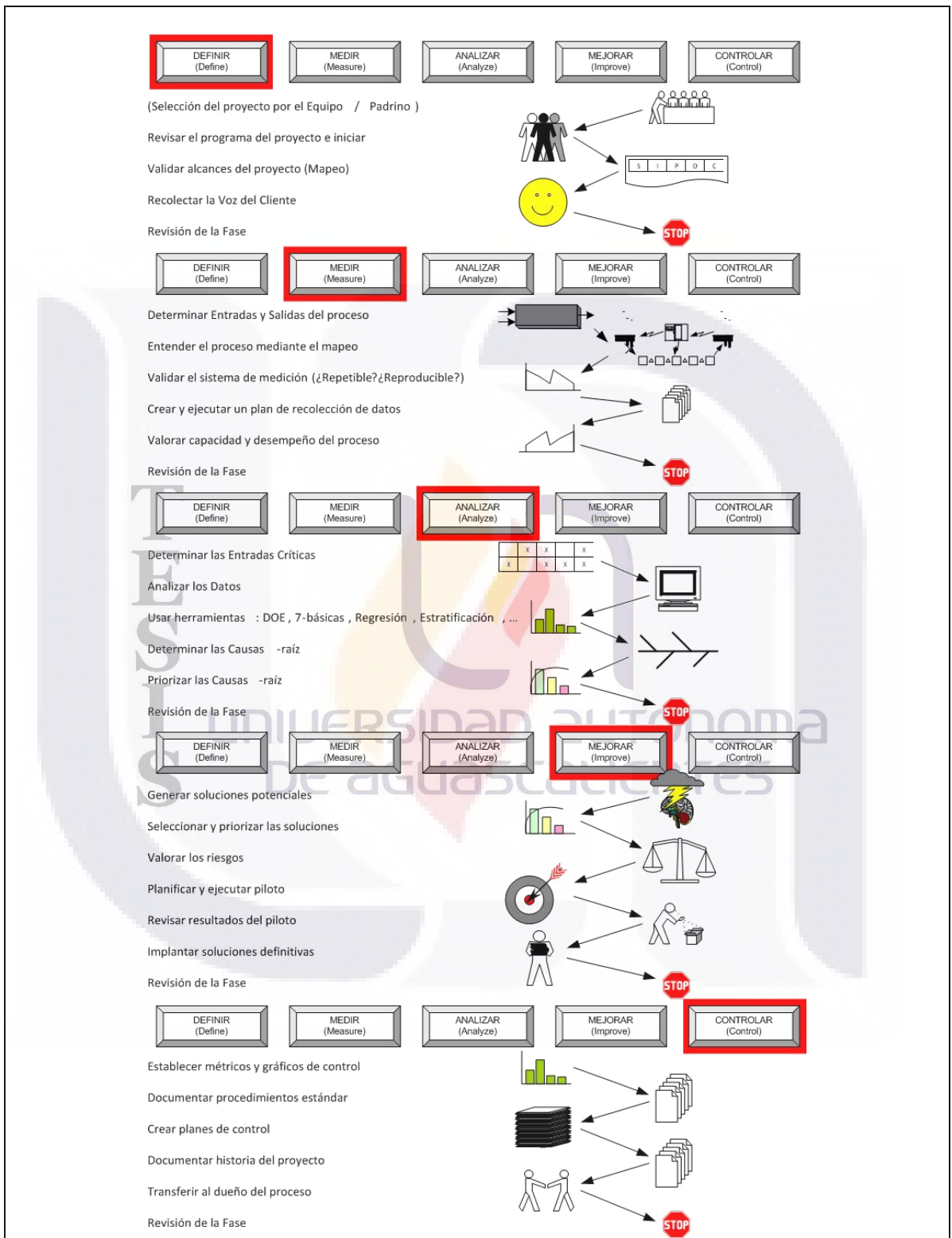


FIGURA 2.10.- Pasos de Seis-sigma con base en DMAIC.

- **El Negocio.-** Estratificando, calculando la desviación estándar original, creando el mapa del proceso, definiendo los objetivos, planificando, midiendo y evaluando los resultados, dando seguimiento a la mejora, sistematizando los procedimientos, comunicando los resultados y generando recomendaciones.

La figura 2.10 exhibe los pasos puntuales a seguir mediante la metodología Seis-sigma.

En resumen, la metodología Seis-sigma es aquella que con pasos rigurosos y apoyándose en las herramientas estadísticas para persigue un control de proceso estricto que cae en ± 6 sigma.

2.1.2.7. **Sigma.-** Se trata del concepto matemático de desviación estándar de una población o muestra dada. Se le identifica con la letra griega "sigma" (σ). Walpole, Myers y Myers lo describen en su libro "Probabilidad y estadística para ingenieros" de la siguiente forma:

"Sea X una variable aleatoria con distribución de probabilidad f(x) y media μ . La varianza de X es

$$\sigma^2 = E [X - \mu]^2 = \sum_x (x - \mu)^2 f(x) \tag{1}$$

Si X es discreta, y

$$\sigma^2 = E [X - \mu]^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \tag{2}$$

Si X es continua. La raíz cuadrada positiva de la varianza, σ , se llama desviación estándar de X." (Walpole, Myers & Myers, 1999, 93).

Los autores Harrington, Hoffherr y Reid en su "Statistical analysis simplified" llevan a términos más sencillos esta definición:

"La desviación estándar es la medida de la variabilidad total de los datos. Se trata del promedio de las desviaciones a la media..." (Harrington, Hoffherr, Reid, 1997, 38).

Para efectos prácticos la desviación estándar o sigma es la medida de qué tan lejos de la media o especificación estándar o que tan poco estable es un proceso, un fenómeno, producto o servicio. La figura 2.11 simplifica de forma gráfica el concepto.

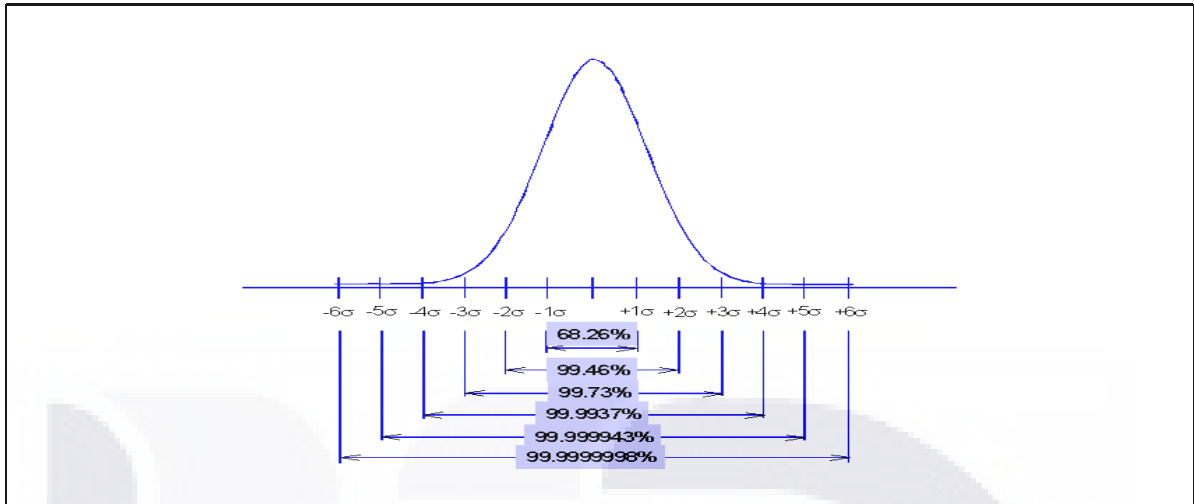


FIGURA 2.11.- Desviación estándar o "sigma".

2.1.2.8. **Valor.-** Todo proceso, sea este de manufactura o no, contiene operaciones que a su vez se dividen en pasos o actividades. Dichas actividades pueden ser de transformación, de transporte, de almacenaje, de evaluación, de comunicación, entre otras. Desde la perspectiva de la Manufactura Esbelta toda aquella actividad que sea de interés del cliente y que éste esté dispuesto a pagar por ella será una actividad de valor agregado.

En contraste, toda actividad dentro de un proceso que no reporte al cliente ningún beneficio y por tanto no esté dispuesto a pagar por ello, será de no-valor agregado. Según la Manufactura Esbelta, muchas de estas actividades que no tienen valor agregado serán desperdicios (del japonés *Muda*). Existe una tercer categoría; hay actividades sin valor agregado que sin embargo son necesarias para contar con un flujo continuo. La figura 2.12 describe el concepto de Valor Agregado (VA) y No-valor Agregado (NVA) o desperdicios en una cadena de suministro. Obsérvese la intención de efectuar Kaizen: reducir el tiempo de ciclo, y además incrementar los pasos de VA y eliminar los de NVA.

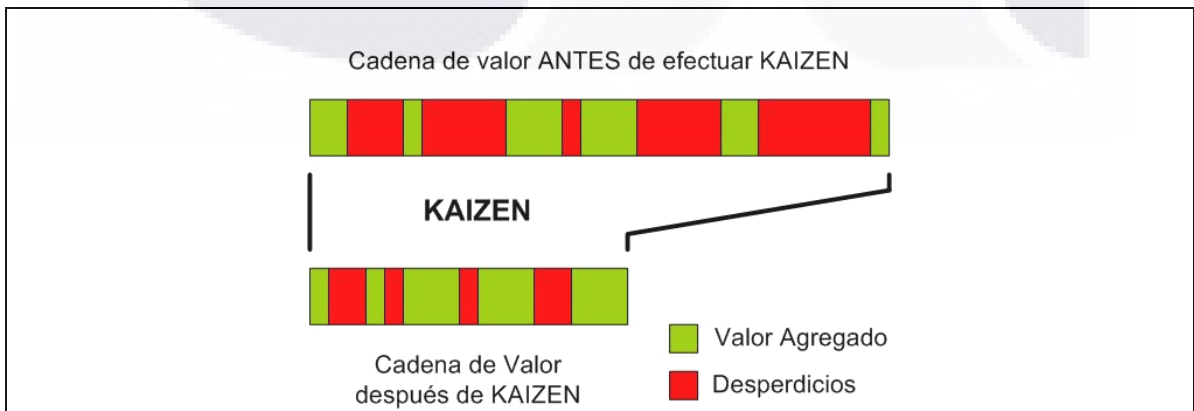


FIGURA 2.12.- VA vs. NVA y su relación con Kaizen.

En su libro “Lean Thinking”, Womack y Jones expresan acerca del concepto de Valor lo siguiente:

“Es vital que los productores acepten el reto de redefinir el valor porque esto es frecuentemente la clave para atraer más clientes... / ... Las organizaciones ‘Lean’, , siempre están liberando substanciales cantidades de recursos... / Una vez que la reconsideración del valor es hecha (en lo que se llamaría ‘kaikaku’), las empresas ‘Lean’ continuamente repasarían la cuestión del valor con sus equipos de soporte al producto para ver si tienen aún la mejor respuesta. Esta es la analogía del valor a la mejora continua del producto llamada ‘kaizen’...” (APICS, 2002, 67).

2.1.2.9. **Defecto.**- Se trata del síntoma de un problema. Hablando en específico de una línea de ensamble los defectos son producidos por un proceso deficiente, el cual no ha tomado en cuenta las posibles variaciones que pudieran afectarlo. El diccionario APICS menciona lo siguiente:

“Falla al usar un bien o servicio que no cumple con un requerimiento específico o una expectativa razonable, incluyendo la seguridad del usuario. Existen cuatro clases de defectos: Clase-1, Muy Serios, llevan directamente al daño o merma económica catastróficos. Clase-2, Serios, llevan directamente al daño o merma económica significativos. Clase-3, Mayores, se relacionan a problemas mayores con respecto al uso normal; y Clase-4, Menores, relacionados a problemas menores...” (APICS, 2002, 30).

Al hablar de auditorías al sistema de calidad los defectos también son conocidos como “No-conformidades”. Los defectos se asocian a los desperdicios o “muda” según define el Sistema de Producción Toyota. Los Defectos y los Errores no son la misma cosa. El Defecto es el resultado, el Error es la causa. La FIGURA 2.13 especifica los tipos de Errores y en qué Defectos se transforman.

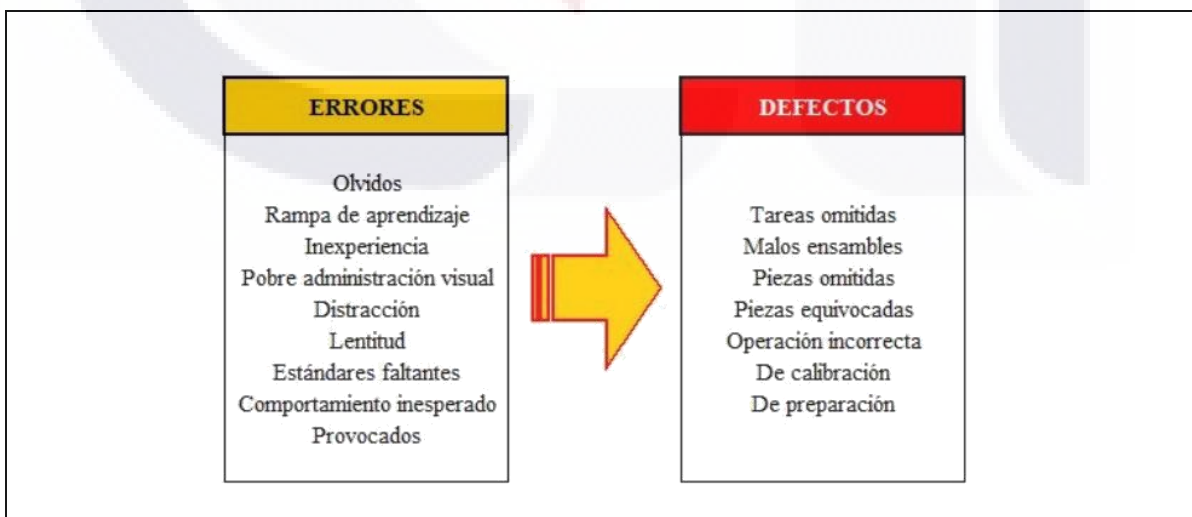


FIGURA 2.13.- Principales Errores y Defectos.

2.1.2.10. **Desperdicio.**- (Del japonés *Muda*) Enmarcado dentro de la Manufactura Esbelta existen siete tipos básicos de desperdicio. Incluso diferentes autores han definido un octavo. El desperdicio tal y como se observó anteriormente es toda la serie de actividades que no conlleva ningún valor para el cliente, y que por lo tanto, alejan al sistema de producción de un estado óptimo.

Los siete tipos de desperdicio que típicamente han sido identificados son los siguientes:

- **Transporte.**- traslado de material debido a una deficiente disposición de las operaciones.
- **Inventario.**- exceso de materiales debido a que el cliente no los ha requerido, o debido a que el proceso no ha sido diseñado de acuerdo con la demanda de producción.
- **Movimiento.**- aquellas actividades de sobra en el proceso, como por ejemplo empacar una pieza para posteriormente desempacarla y usarla.
- **Espera.**- tiempos en que el producto o el operador están aguardando a que algo suceda para poder continuar.
- **Sobre-proceso.**- actividad efectuada en forma redundante como un retrabajo.
- **Sobre-producción.**- aquellas piezas o productos terminados producidos en exceso.
- **Defectos.**- cuando el producto no cumple con las especificaciones del cliente. Típicamente los seis desperdicios anteriores provocan y esconden este último.

Algunos autores citan la falta o el exceso de información como un octavo desperdicio. Cuando esto sucede, las señales entre las diferentes partes de la cadena de valor no suceden en el tiempo indicado o no entregan los datos suficientes, ocasionando los siete desperdicios originales. Otros más citan la sub-utilización de Talento como otro posible desperdicio. Desde la perspectiva del diseño también se habla de Sobre-diseño en lugar de sobre-proceso.

Bill Carreira dice:

“Existen varias categorías de desperdicio que son tomadas por la teoría de ‘Lean’, las más generales son: 1. Sobre-producción, 2. Inventario innecesario, 3. Transporte, 4. Proceso en exceso, 5. Actividad resultante de producto rechazado, 6. Esperas, 7. Movimiento innecesario. Estas actividades agregan costo y no provocan que el producto sea transformado en un producto más completo, desde la óptica del cliente. Son actividades sin valor agregado ya que no lo agregan desde el punto de vista del cliente... / Me gusta agregar una octava categoría llamada Trabajo (Obviamente esta es una categoría aparte y no es un desperdicio). El Trabajo es la actividad que genera la ganancia económica al modificar la forma del producto hacia un estado más completo...” (Carreira, 2005, 53)

Como se ha comentado anteriormente, una vez que los desperdicios han sido identificados la metodología de Manufactura Esbelta busca eliminarlos del sistema a través de la mejora continua.

2.1.2.11. **Mejora continua.**- (Del japonés Kaizen) Cuando Deming estableció que los procesos de producción podían ser mejorados en forma constante, y habiendo definido el ciclo continuo de la calidad, también conocido como el círculo de Deming, del cual se detalla más adelante, los japoneses no solo lo tomaron como una herramienta, lo convirtieron en un modo de vida. A este ‘modus vivendi’ le denominaron ‘Kai-zen’.

En su libro “Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa”, Masaaki Imai cita en su glosario:

“KAIZEN significa mejoramiento. Por otra parte, significa mejoramiento continuo en la vida personal, familiar, social y de trabajo. Cuando se aplica al lugar del trabajo, KAIZEN significa un mejoramiento continuo que involucra a todos –gerentes y trabajadores por igual.” (Imai, 2004, 23).

En otra parte del libro Masaaki Imai dice:

“La esencia de KAIZEN es sencilla y directa: KAIZEN significa mejoramiento. Más aún, KAIZEN significa mejoramiento progresivo que involucra a todos, incluyendo tanto a gerentes como a trabajadores. La filosofía de KAIZEN supone que nuestra forma de vida –sea nuestra vida de trabajo, vida social o vida familiar– merece ser mejorada de manera constante.” (Imai, 2004, 39).

Para esta investigación se toma muy en serio este concepto ya que facilita la ejecución del método propuesto. En la práctica la metodología de manufactura esbelta toma el concepto de Kaizen y lo vuelve realidad en forma de un “Evento Kaizen”. El Kaizen se contrapone al ‘Kaikaku’. Este último representa una mejora extraordinaria, un salto cuántico, en inglés también denominado ‘breakthrough’. Usualmente en occidente se confunde Kaikaku por Kaizen.

2.1.2.12. **Calidad.**- No hay un solo concepto para el término calidad, aunque se puede decir que esta tiene que ver con cumplir con los requerimientos del cliente, con las especificaciones del producto o buscar continuamente la minimización de los costos de la operación. Calidad también podría consistir en asegurar que el talento de la gente es aprovechado para evitar equivocaciones, encontrar maneras innovadoras y redituables para ejecutar la operación, brindando beneficios a la empresa, clientes y proveedores y empleados.

A través de la Maestría en Estrategias para los Sistemas de Calidad se han revisado las filosofías que dan vida a este campo del conocimiento. Se han estudiado diversos conceptos, modelos y sistemas desarrollados a lo largo del siglo XX. Se han puesto en práctica herramientas estadísticas para entender los casos de aplicación. Esta investigación utiliza algunos de ellos.

La Administración de la Calidad ya no es negociable y en todo el mundo las organizaciones empujan hacia procesos estandarizados, estructuras muy completas y elemento sistémicos. Tal y como se muestra en el cuadro 2.4 y en el modelo de la figura 2.14, la calidad ya no es solo un término bonito que sirve para vender.

CUADRO 2.4.- Evolución histórica de la calidad.

Etapa	Nombre	Tiempo	Características	Herramientas
1	Autocracia	Antes de 1750 D.C.	El Cliente es quien detentaba el poder. Los productos tienen motivos religiosos, militares, ornamentales. Talleres artesanales / Grupos especializados. Producción selectiva. Muy baja repetitividad / Muy alta variación.	Acciones empíricas. Maestros artesanos.
2	Revolución Industrial	De 1750 a 1900	El Cliente es quien concentraba la riqueza. Los productos son requeridos por la burguesía y el colonialismo. Talleres mecanizados / Fábricas con mucha mano de obra. Producción para llenar almacenes. Baja repetitividad / Alta variación.	Controles primarios. Educación básica. Ensayo y error.
3	Administración de las Industrias	De 1900 a 1930	El Cliente es quien pedía mejores condiciones de vida. Los productos son requeridos por los pueblos y las naciones. Fábricas funcionales. La maquinaria es más especializada. Producción para elevar el nivel de vida de la población. Baja repetitividad / Alta variación.	Gráficos de Gantt Tiempos y movimientos. Educación técnica. Inspección y reacción.
4	Estadística aplicada a la Industria	De 1930 a 1950	El Cliente es ejército y gobierno. Los productos son requeridos para la guerra. Fábricas adaptadas para producir armamento. Muy especializadas. Producción en masa para vencer al enemigo. Repetitividad por control estadístico / Menor variación.	Gráficos de Control Hojas de Inspección Siete herramientas estadísticas Inspección de lotes Estándares militares Educación superior
5	Administración por Calidad Total	De 1950 a 1980	El Cliente es el mismo que produce. No desea defectos. Los productos son requeridos por capitalistas y comunistas. Plantas de manufactura en gran escala con alta tecnificación. Producción para mantener la competencia entre los bloques. Repetitividad por Métodos estándar / Mucho menor variación.	Jidoka, JIT, Autonomación Sistema Productivo Toyota Círculos de Calidad - Kaizen Poka-yoke, Hane-dashi, Chaku-chaku Administración Visual Involucramiento a todos los niveles Educación superior y posgrado
6	Normalización	De 1980 a 2000	El Cliente quiere el mismo nivel de calidad en cualquier parte del mundo. Los productos son requeridos a escala global. Plantas de manufactura especializadas / Centros de distribución globales. Producción con altos estándares de calidad reconocidos por todo el mundo. Estricta repetitividad por Normalización / Las especificaciones mandan.	Organismos de regulación (ISO p.ej.) Reingeniería, QFD, FMEA, Benchmarking DOE, Técnicas Taguchi Tecnologías de información Manufactura asistida por Computadora Zonas de libre comercio Concientización Ambiental Educación especializada y Certificación
7	Empresa Esbelta	De 2000 al Presente	El Cliente es el que dicta Qué, Cuándo, Dónde, Cómo desea la Calidad. Los productos son específicos, altamente diferenciados y crean estilos de vida. Cadenas de suministro regadas a escala global produciendo lotes de hasta 1 sola pieza. Producción de altísima calidad, óptimo tiempo de entrega y costos mínimos. Repetitividad asegurada a niveles 6-sigma / El Cliente manda.	Cadenas de suministro con integración vertical. Subcontratación de Diseño/Manufactura/Distribución Pedidos a través de Internet Manufactura Esbelta / Oficina Esbelta Metodología Seis-sigma Sistemas de Manufactura con Inteligencia Artificial Nuevos materiales y Nanotecnología

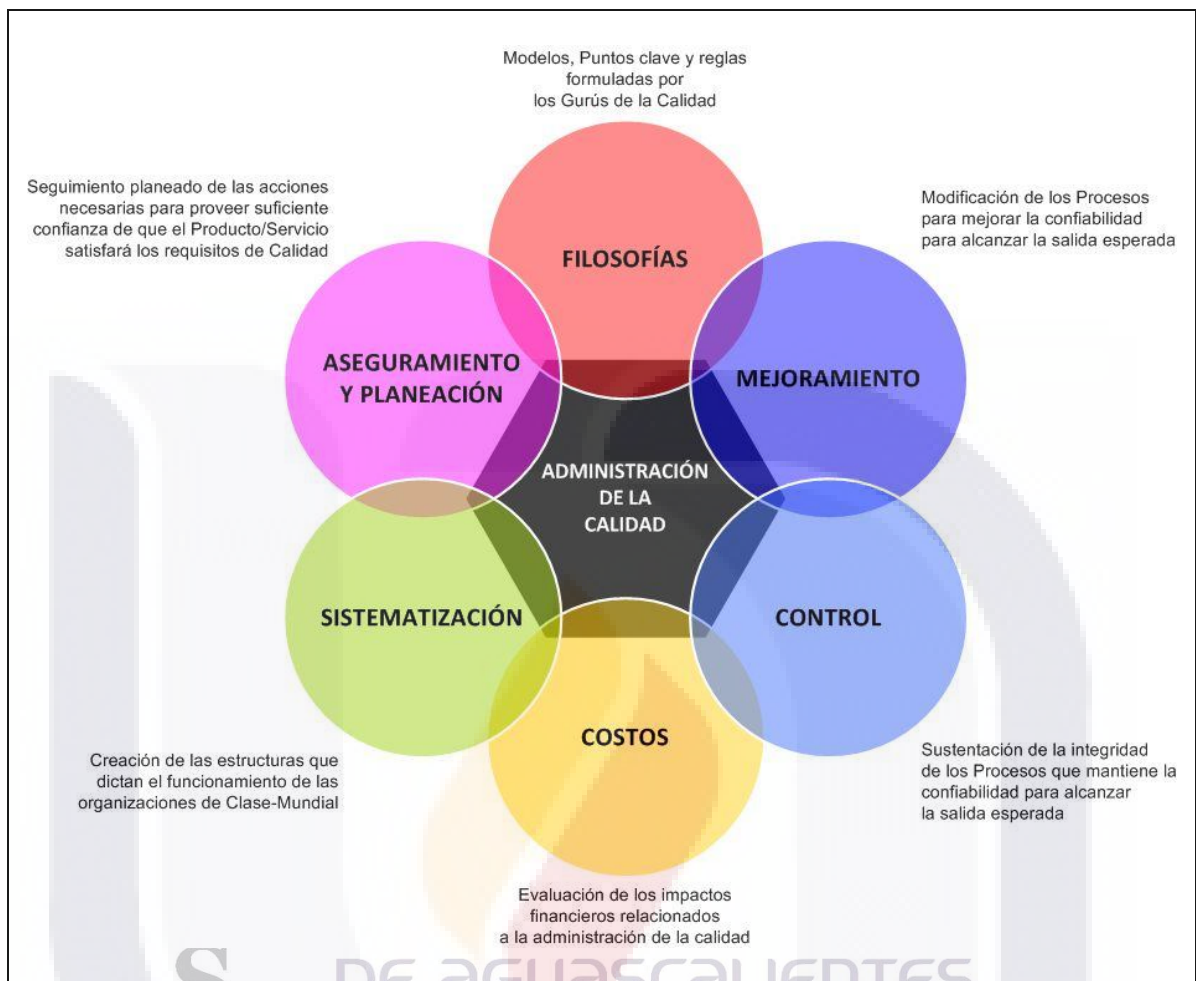


FIGURA 2.14.- Áreas principales que conforman la Administración de la Calidad.

A continuación se exponen las opiniones de diferentes autoridades en la materia:

“La calidad es la conformidad con los requerimientos...” (Philip B.Crosby).

“Calidad es traducir las necesidades de los usuarios en características medibles...” (W.Edwards Deming).

“Calidad es todas y cada una de las características provenientes de Marketing, Ingeniería, Manufactura y Servicio, que se relacionen directamente con las necesidades del cliente...” (Armand V. Feigenbaum).

“La calidad es igual a la satisfacción del cliente” (Kaoru Ishikawa).

“Calidad consiste en libertad después de las deficiencias” (Joseph M. Juran)

“Calidad es una característica de fortaleza y estabilidad que es reconocida por un proceso inerte...” (Robert M. Pirsig)

“Existen dos caras de la calidad: 1) subjetiva, lo que el cliente quiere; 2) objetiva, las propiedades del producto...” (Walter A. Shewhart)

“La calidad es la magnitud de la pérdida que sufre la sociedad por obtener un producto o servicio que no cumple con sus estándares...” (Genichi Taguchi)

“Grado al que un conjunto de características inherentes al proceso cumplen con los correspondientes requerimientos”. (ISO 9000)

“Número de defectos por millón de oportunidades”. (Metodología Seis-sigma)

“Exceder las expectativas del Cliente eliminando los desperdicios”. (Manufactura Esbelta)

“Término subjetivo para la que cada persona tiene su propia definición. Técnicamente hablando, Calidad tiene dos significados: (a) la facilidad con que un producto o servicio satisfacen sus requerimientos específicos o implícitos. (b) Un producto o servicio libre de deficiencias”. (American Society for Quality)

A estas definiciones se proponen también el “cliché”: **“Calidad es hacer las cosas bien y a la primera”**. ¿Por qué? Porque es la forma más común en que la gente promedio sabe o ha oído hablar del término. También se tiene: **“Calidad consiste en reducir la variabilidad”**. ¿Por qué? Porque es la forma que refleja más simplemente la preocupación actual por llevar los procesos a niveles Seis-sigma.

2.1.2.13. **El modelo PDCA.**- Conocido como el Ciclo de Deming fue en realidad desarrollado primero por Shewhart y luego perfeccionado por Deming. Ver la figura 2.15.

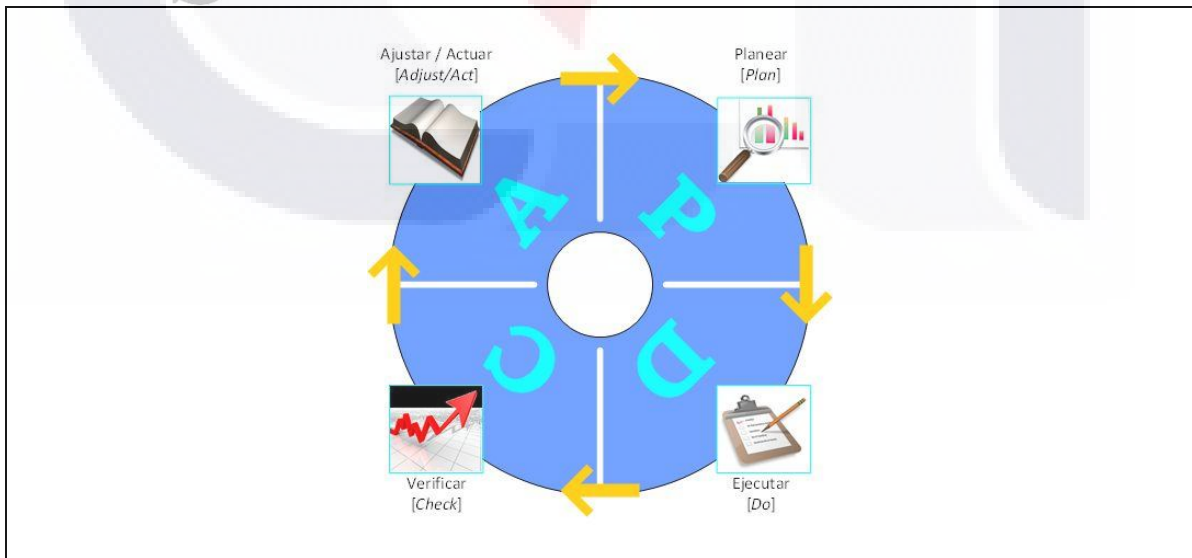


FIGURA 2.15.- Modelo PDCA.

Dos aspectos muy importantes del modelo PDCA son la facilidad de aplicación en prácticamente cualquier proceso humano y la simplificación que representa del Método de la investigación científica. Sus cuatro fases funcionan como guía confiable para resolver problemas.

Etapa PLANEAR [Plan]: La sección de planeación sirve básicamente para marcar el punto de partida de la resolución del problema. En ella se tienen los siguientes aspectos:

- *Identificación del problema*
- *Definición de objetivos, metas y alcance*
- *Definición de métricos*
- *Recopilación de datos*
- *Uso de herramientas estadísticas*
- *Establecimiento de métodos para llegar a los objetivos*

Se parte del reconocimiento de que existe una situación anormal. Es conveniente contar con estándares o referencias que sirvan para detectar las anomalías de los procesos. Así es más fácil establecer objetivos, metas, factibilidad y alcances del proyecto, manteniendo el enfoque durante el proceso. Los métricos sirven para monitorear la efectividad de las acciones a lo largo del proyecto. Asimismo esta definición de métricos dispara la recolección adecuada de datos. El uso de herramientas estadísticas básicas, herramientas administrativas, técnicas Lean o de Seis-sigma sirve para tratar con dos cuestiones: el análisis de los datos que salen de la situación original; la toma de decisiones en torno a las acciones a desarrollar en el plan. Finalmente es necesario bosquejar el método a utilizar, es decir el plan, para cumplir los objetivos exitosamente.

Etapa EJECUTAR [Do]: Pone en práctica las acciones. Consta básicamente de:

- *Entrenamiento a los involucrados*
- *Trabajo en equipo (Teamwork)*
- *Seguimiento a las acciones*

Es importante que al interior del equipo se hable el mismo idioma. De lo contrario podría haber confusión en algún momento. De ahí la importancia del entrenamiento. El trabajo en equipo se crea al momento en que todos los involucrados entienden el impacto de sus acciones o la falta de ellas. Finalmente el equipo deberá estar seguro de que todas las acciones propuestas en la etapa de planeación han sido ejecutadas efectivamente.

Etapa VERIFICAR [Check]: Esta etapa obliga a los miembros del equipo revisar el comportamiento o desempeño del proceso tras la implantación de las acciones provenientes de la etapa anterior.

- *Verificación de resultados*
- *Recomendaciones*

Se trata de voltear a ver el comportamiento de los métricos previamente definidos para confirmar o no su efectividad. Si se le compara con el método de investigación científica es en esta etapa donde se confirma que las hipótesis planteadas cumplan con las expectativas. Las recomendaciones surgen al evaluar y entender la reacción de los métricos tras ejecución de las acciones.

Etapa AJUSTAR / ACTUAR [Adjust / Act]: Durante esta etapa se procede a tomar las recomendaciones generadas en la etapa previa y efectuar los ajustes o las contramedidas correspondientes según haya sido el resultado de la verificación. Consta de:

- *Ajustes o nuevas acciones y su verificación*
- *Documentación o estandarización*
- *Divulgación*
- *Reconocimiento*

Usualmente un problema no se resuelve en primera instancia. Es común realizar “ajustes finos” que satisfarán más adecuadamente los requerimientos. Es muy importante que se realice la documentación del proyecto ya que desde el punto de vista de un sistema de calidad la solución de problemas debe evitar la dependencia de las personas y sus conocimientos (Trabajar por proceso y no por esfuerzo). Esta documentación establece el nuevo estándar (el nuevo paradigma) listo para ser mejorado tan pronto sea posible a través de un nuevo ciclo PDCA. Toda solución debe “cacaraquearse”, es decir, divulgarse ya que es posible que en otro grupo de la misma organización esta solución pueda aplicarse de igual forma. El reconocimiento al esfuerzo de los integrantes del equipo es muy importante; consolida la cultura de trabajo en equipo, fortalece los lazos entre la organización y el individuo, y enriquece el Sistema de Calidad de la organización.

2.1.2.14. El modelo DMAIC .- Se han escrito ríos de tinta desde que se formó el modelo PDCA en torno a su uso y aplicaciones. Muchos de estos estudios se han enfocado en la adaptación del modelo a diferentes situaciones. A partir de la base del ciclo PDCA se han formado infinidad de

modelos similares. Uno de los más populares ha sido el modelo DMAIC utilizado especialmente en el método Seis-sigma. Hay quien incluso afirma que el DMAIC sustituye completamente al PDCA debido a la rigurosidad con que trata los problemas y a sus consideraciones por el papel que juegan clientes y proveedores en el proceso. El modelo DMAIC se muestra en la figura 2.16.

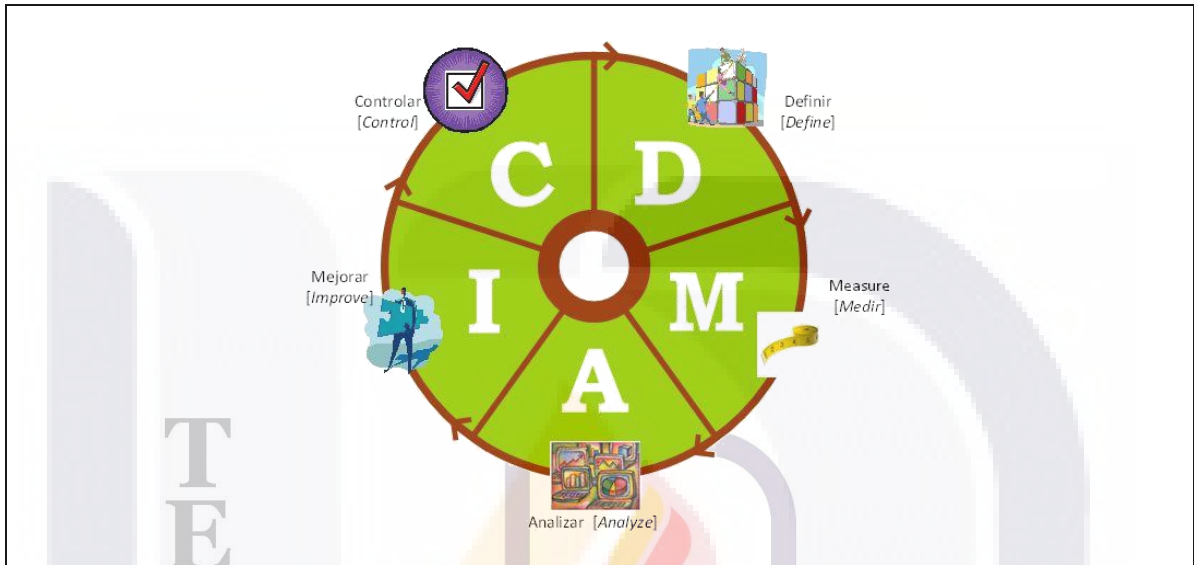


Figura 2.16.- Modelo DMAIC.

Fase DEFINIR [Define]: La primera fase del DMAIC toma en cuenta al cliente y al proceso mismo. De aquí se parte para definir propósito y alcance.

- *Identificación clara y contundente del problema*
- *Mapeo de alto nivel del proceso*
- *Definición de requerimientos de clientes y proveedores del proceso*
- *Definición de metas y alcances*

Se observa la similitud con la fase de planeación del PDCA. Sin embargo vale la pena mencionar la importancia dada a clientes y proveedores y los pasos que conforman dicho proceso.

Etapa MEDIR [Measure]: La segunda fase, Medir, sirve para determinar tan puntualmente como es posible la existencia y la ubicación del problema. Existen varios aspectos que esta fase cubre:

- *Recopilación de datos de la situación original*
- *Validación de la existencia del problema*
- *Ubicación precisa del problema*
- *Definición de métricos para los pasos clave*

Tras haber completado la primera fase la recopilación de tantos datos como sea posible de la situación original sirve para dar más peso al reconocimiento del problema. Se vuelve más fácil asegurar su ubicación . Al establecer los métricos y efectuar la medición de los mismos se “filtran” todas las causas-raíz posibles y se conservan solo aquellas de mayor impacto para que en la etapa Analizar prevalezca un enfoque riguroso.

Etapa ANALIZAR [Analyze]: La fase Analizar se enfoca a la generación y confirmación de teorías sobre las relaciones causales entre causas-raíz y el o los problemas identificados. En esta fase se tiene:

- *Desarrollo de hipótesis causales*
- *Análisis a través de métodos estadísticos y otras herramientas*
- *Validación de las hipótesis*

El establecimiento de las hipótesis, el análisis de las teorías y la confirmación o no de las mismas mantiene el rigor que requiere el método de investigación científica. Obsérvese que se trata de relaciones causales muy precisas tras haber eliminado aquellas con menor peso. El resultado de esta fase determinará el tipo de acciones a desarrollar en la siguiente fase.

Etapa MEJORAR [Improve]: Esta fase es en DMAIC lo que las fases Ejecutar y Verificar en el PDCA. Esta fase consta principalmente de los siguientes pasos:

- *Desarrollo de soluciones*
- *Prueba piloto de las soluciones*
- *Evaluación de las soluciones*
- *Planeación de la ejecución de soluciones ajustadas*
- *Ejecución del plan*

Tras haber determinado las causas-raíz lo que sigue es la implantación de las acciones correctivas. Nótese que en DMAIC no se les llama así sino “soluciones”. Esto tiene un fin doble: un tratamiento más administrativo y no mencionar la palabra “correctiva” asociada con reacción en lugar de prevención. La prueba de la solución y su ajuste pasan a la implantación mediante un plan de ejecución. (El rigor se conserva).

Etapa CONTROLAR [Control]: Esta es la etapa final. El propósito primordial de esta fase es asegurar la continuidad de las soluciones implantadas tras todo el trabajo efectuado durante las cuatro fases anteriores. Consta de:

- *Monitoreo del comportamiento de la solución*
- *Estandarización de la solución final*
- *Sistematización del proceso*
- *Mantenimiento del proceso*

Una cosa es llegar a la solución final, otra muy diferente es mantener los logros obtenidos. Por eso se hace importante evaluar y controlar esta nueva situación. Documentar y estandarizar para generar el nuevo paradigma y así compartir el conocimiento. Al sistematizar el proceso se logra su apertura ante la aplicación del DMAIC nuevamente tan pronto como sea posible, en busca de nuevas áreas de oportunidad. Finalmente el proceso, en su nuevo estado mejorado, debe mantener su sistema de mejora continua.

2.1.2.15. **Bajo-volumen/Alta-mezcla.**- Existen clasificaciones según el tipo de manufactura. Para entender un poco más sobre la clasificación de los tipos de manufactura los más representativos se muestran en el cuadro 2.5. Otros tipos de manufactura son el resultado de diferentes combinaciones entre estos siete tipos

CUADRO 2.5.- Los siete tipos de manufactura.

Sistema de Producción	Producto / Volumen		Lay-out / Flujo	
SISTEMAS TRADICIONALES				
Taller Artesanal	Muchísima variedad / Uno sólo o algunos cuantos	A	Lay-out funcional / Flujo extremadamente variado	1
Por lotes	Muchos productos / Bajo a medio volumen	B	Lay-out celular / Flujo variado con patrones	2
Movidos por el operador	Varios a muchos productos / Medio volumen	C	Lay-out lineal / Flujo muy regular, movido por operadores	3
Movidos por el equipo	Algunos productos / Altos volúmenes	D	Lay-out lineal / Flujo regular, movido por el equipo	4
Flujo Continuo	Uno sólo o algunos productos / Altísimos volúmenes	E	Lay-out lineal / Flujo rígido y continuo	5
SISTEMAS NUEVOS				
Justo-a-tiempo (JIT)	Muchos productos / Bajo a medio volumen	F	Lay-out lineal / Flujo muy regular, movido por operadores	6
Manufactura Esbelta	Muchísima variedad / Bajos volúmenes	G	Lay-out celular o lineal / Flujo muy regular, movido por la demanda	7

Así la clase de bajo volumen / alta mezcla identifica aquellas operaciones de manufactura cuyo tamaño de lote puede llegar a ser incluso de una sola pieza (según los conceptos de Justo-a-tiempo) al tiempo que maneja una gran diversidad de configuraciones posibles. Actualmente las plantas de manufactura del sector electrónico llevan a cabo procesos que van muy de la mano de esta clasificación. Ejemplos típicos de esta manufactura son sistemas computacionales hechos a la

medida del cliente a través de una conexión de Internet. El Sistema productivo Toyota promete llegar a este nivel de flexibilidad y por tanto Manufactura Esbelta también.

Esto también puede ser descrito mediante la Matriz “Producto/Volumen-Layout/Flujo”. La figura 2.17 muestra dicha matriz. El proceso de manufactura bajo estudio se encuentra incluido en el área dominada por JIT y Manufactura Esbelta.

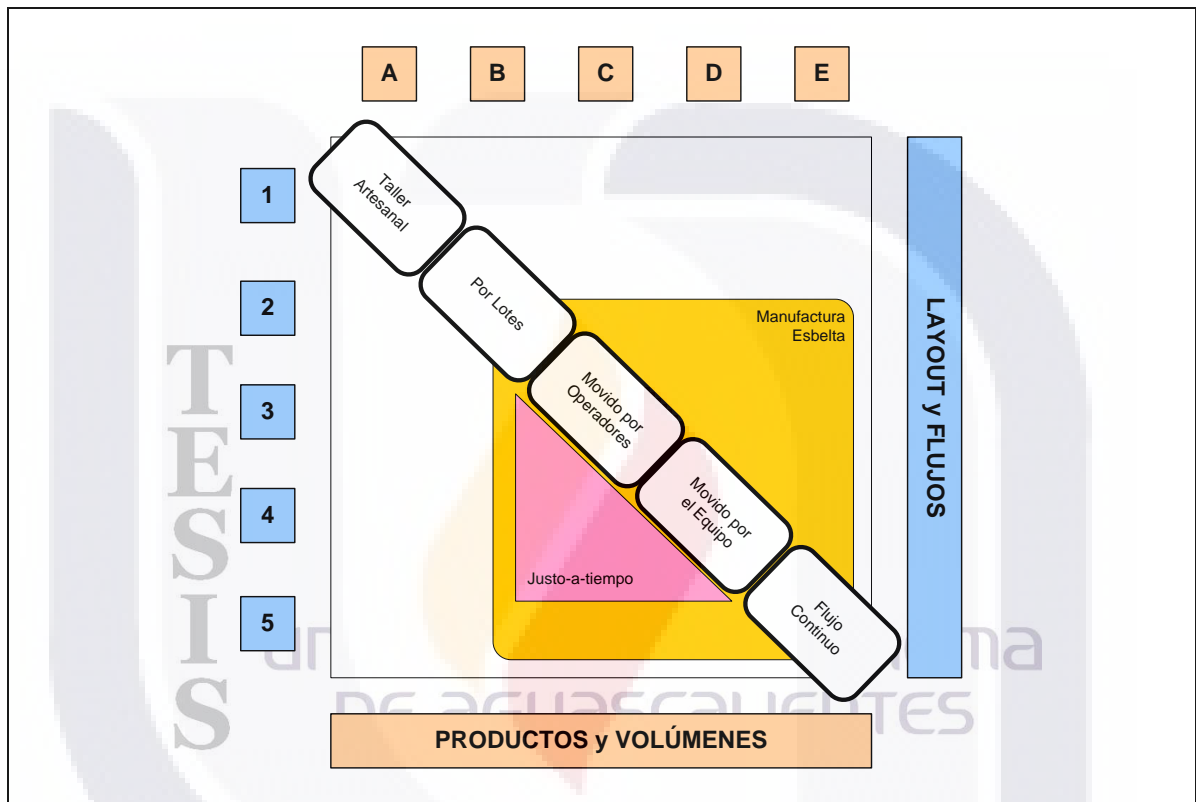


FIGURA 2.17.- Matriz Producto/Volumen-Layout/Flujo.

2.1.2.16. **Costo.**- Dado que la sociedad ha definido un sistema de oferta y demanda con la cual controlar la dotación y adquisición de bienes y servicios, existe el concepto de costo como aquella cantidad que representa el valor tangible de los mismos. Cuando un costo sirve para generar riqueza (producir diferencia a favor del comprador a través de una actividad productiva) recibe el nombre de inversión. Cuando por el contrario este costo se relaciona con un bien o servicio que no produce riqueza –aunque sí satisfacción del adquirente en algunos casos, se le conoce como gasto.

2.1.2.17. **Entrega.**- Se trata del mínimo tiempo posible al que se puede comprometer el proceso de manufactura para proveer los bienes producidos al cliente. En Manufactura Esbelta este término comúnmente aparece como “Lead-time”. Se recordará que al hablar de los Desperdicios se hizo

hincapié en la identificación de todos aquellos factores que obstaculizan la reducción de este tiempo. Entre más pequeño sea este tiempo, más atractivo será el proceso para los clientes.

2.1.3. Fundamentos contextuales

2.1.3.1. **Parque Integral.**- Empresa ubicada en el estado occidental de Jalisco, México. Localizada en Carretera Base Aérea 5850, municipio de Zapopan. La razón principal de su ubicación en dicha localidad se debe al desarrollo de la infraestructura disponible en la zona metropolitana de Guadalajara. Su historia se remonta al año de 1997, cuando Flextronics Internacional inicia operaciones de Servicio de Manufactura de Electrónicos en esta ciudad. Sirve a diversos clientes entre los que han destacado reconocidas firmas de diversos sectores tal como el automotriz, las telecomunicaciones, la infraestructura, el computacional, el médico, el de entretenimiento, el de electrodomésticos, entre muchos otros.

Para mayor información sobre cifras y datos en general se recomienda consultar el sitio en Internet de Flextronics Internacional, así como, de la Asociación de la Cadena Productiva de la Electrónica A.C., (CADELEC), en Jalisco.

2.1.3.2. **Líneas de producción H1 y O2.**- El sitio de manufactura descrito posee dos líneas de producción con características semejantes. Las configuraciones que por ellas son procesados pertenecen a la misma familia de producto. Por tanto representan poblaciones, estadísticamente hablando, ideales para la comparación de datos. Vale la pena resaltar que por medidas de confidencialidad, se omiten los verdaderos nombres de los productos, configuraciones y cliente en cuestión. En su lugar, se identificarán como “H1” y “O2” respectivamente.

2.2. Análisis de Fundamentos

En esta sección se efectúa la interrelación entre los diferentes fundamentos conceptuales, teóricos y contextuales del esquema de fundamentos. El objetivo es conformar los pilares sobre los cuales se construirá el procedimiento de la investigación. El resultado será contar con una “carta de navegación” teórica. De este análisis se obtendrán los razonamientos que justifican la comparación de los modelos PDCA y DMAIC.

Lo primero que se hará será una revisión de estos dos modelos con respecto a otros dos modelos de solución de problemas enfocado hacia la calidad: el Proceso de solución de Problemas de Xerox, y el método de solución de problemas de Toyota. Ver la figura 2.18. Obsérvese la virtual igualdad entre ambos modelos. Ambos modelos a su vez provienen del PDCA original.

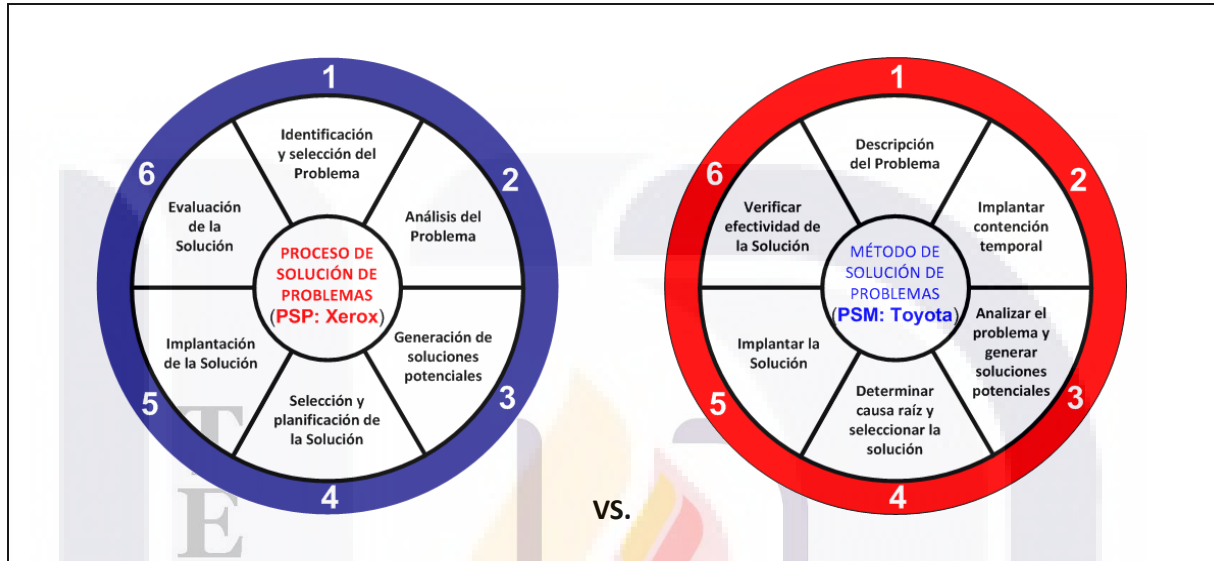


Figura 2.18.- PSP de Xerox vs. PSM de Toyota.

Enseguida se realiza su comparación de los cuatro modelos, declarando las actividades que en general destacan de cada fase de cada modelo. Ver el cuadro 2.6.

CUADRO 2.6.- Comparación de cuatro modelos para la Mejora de la Calidad.

Actividad genérica de los modelos	Ciclo PDCA				Toyota - PSM						Xerox - PSP						Ciclo DMAIC				
	P	D	C	A	T1	T2	T3	T4	T5	T6	X1	X2	X3	X4	X5	X6	D	M	A	I	C
Identificar Problema	✓				✓						✓						✓				
Establecer objetivos	✓				✓						✓						✓				
Establecer alcance	✓				✓						✓						✓				
Contener problema	✓					✓					✓						✓				
Establecer métricos	✓						✓					✓						✓			
Recopilar datos	✓						✓					✓						✓			
Analizar problema	✓						✓					✓							✓		
Desarrollar hipótesis	✓						✓					✓							✓		
Identificar causas-raíz	✓							✓				✓							✓		
Generar soluciones		✓					✓					✓								✓	
Validar hipótesis		✓					✓					✓								✓	
Planificar soluciones		✓						✓						✓						✓	
Implantar soluciones		✓							✓						✓					✓	
Verificar soluciones			✓							✓						✓				✓	
Ajustar soluciones				✓						✓						✓				✓	
Estandarizar soluciones				✓						✓						✓				✓	
Mantener soluciones				✓						✓						✓				✓	

En realidad los cuatro modelos contienen todas las actividades genéricas mencionadas. El orden en que esto sucede varía según el acercamiento de cada modelo. En resumen se puede decir que:

- PDCA – enfatiza la identificación del problema, su análisis y la identificación de la causa raíz.
- PSM – Toyota resalta la contención y pone en primer lugar las soluciones antes de las causas.
- PSP – Xerox retoma el modelo de Toyota y le da una secuencia más lógica.
- DMAIC – Distribuye la carga de trabajo haciendo caso a los requerimientos del cliente; utiliza herramientas estadísticas y administrativas manteniendo rigor. Al final no olvida cerrar el ciclo a través del mantenimiento de la solución. Puede decirse que el ciclo DMAIC es un refinamiento de los primeros tres.

¿Por qué entonces tomarse la molestia de compararlo con el modelo original? ¿El DMAIC no es lo suficientemente estructurado como para tomarlo y ya? Precisamente en la diferencia entre lo simple y lo estructurado está el interés de compararlos. Manufactura esbelta pugna por mantener la simplicidad y ejecutar las soluciones rápidamente. Seis-sigma por otro lado impulsa la implantación de las soluciones basado en una planeación estructurada y rigurosa que requiere más tiempo. Se recordará que el diseño del método para disminución de problemas requiere lo mejor de ambos mundos.

Por otro lado se toma el procedimiento denominado “La Ruta de la Calidad” como otra referencia más. Este procedimiento que consta de siete pasos también está enfocado en la solución de problemas para la mejora de la calidad. Una correcta aplicación de este procedimiento también representa una estrategia para los Sistemas de Calidad. Véase la similitud con los cuatro modelos antes citados. “La Ruta de la Calidad” se muestra en la figura 2.19.

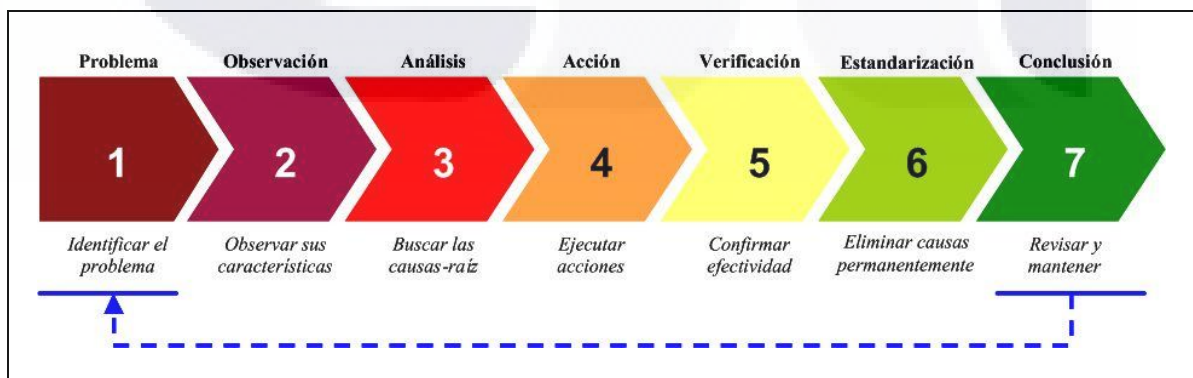


FIGURA 2.19.- Los siete pasos de la Ruta de la Calidad.

Los cuatro modelos presentados coinciden al 100% con este procedimiento. Es entonces posible aseverar que la comparación de estos modelos queda demostrada.

Habiendo demostrado la posibilidad de comparación entre PDCA y DMAIC, lo que sigue es describir las diferentes herramientas y técnicas más populares disponibles provenientes de los procesos de mejoramiento de la calidad. En el cuadro 2.7 se enlistan las Siete Herramientas estadísticas básicas, las Nuevas Siete Herramientas administrativas, las herramientas de Manufactura Esbelta, las herramientas de Seis-Sigma y algunas otras utilizadas en la mejora continua. A este conjunto de herramientas se le ha denominado el "Toolkit-70". Obsérvese que más de una es compartida por los diferentes métodos o tipos. ¡Y es natural! Todas ellas parten de la necesidad de mejorar la calidad.

CUADRO 2.7.- Toolkit-70 para PDCA y DMAIC.

Item	Caja de herramientas [Tool Kit]	Método o Tipo					Ciclo PDCA		Ciclo DMAIC					
		Estadísticas	Administrativas	Lean	Seis-sigma	Otras	Fase en que aplica la herramienta							
							Planear	Ejecutar	Verificar	Ajustar	Definir	Medir	Analizar	Mejorar
						P	D	C	A	D	M	A	I	C
1	5 Por qué (5Why)	✓					*		*			*		
2	8 Disciplinas (8'D)					✓	*	*	*	*	*	*	*	*
3	Actividad en grupos pequeños (SGA/CC)			✓			*	*					*	*
4	Administración Visual			✓			*	*	*				*	*
5	Análisis de Falla (FMEA)				✓		*	*			*		*	
6	Análisis de Patrocinadores				✓		*			*				
7	Análisis de Regresión				✓		*					*		
8	ANOVA				✓		*					*		
9	Benchmarking					✓	*				*			
10	Cambio de modelo (SMED)			✓			*	*					*	
11	Carta de estatutos				✓		*			*				
12	Caso de negocio				✓		*			*				
13	Celdas			✓			*	*					*	*
14	Ciclo de las 5S's			✓			*	*					*	*
15	Combinación de trabajo Estándar			✓			*	*	*				*	*
16	Consenso				✓		*	*					*	
17	Diagrama de afinidad (Método KJ)		✓		✓		*			*		*		
18	Diagrama de Árbol		✓				*		*			*		*
19	Diagrama de dispersión	✓			✓		*					*		
20	Diagrama de Espaguetti			✓			*				*	*		
21	Diagrama de Flechas (PERT/CPM)		✓				*		*			*		*
22	Diagrama de flujo	✓			✓		*	*	*	*	*	*	*	*
23	Diagrama de Relaciones		✓				*		*			*	*	*
24	Diagrama Matricial		✓				*		*			*		*
25	Diseño de Experimentos (DOE)				✓		*	*				*	*	*
26	Empowerment					✓	*	*	*	*	*	*	*	*
27	Estadístico-T				✓		*					*		
28	Estandarización				✓		*		*					*
29	Estratificación	✓			✓		*	*	*	*	*	*	*	*
30	Estudio de Capacidad (CPK)	✓			✓		*	*	*		*	*	*	*
31	Familias de productos (Model-mix)			✓			*				*	*		
32	Flujo Continuo			✓			*	*	*				*	*
33	Formato A3			✓			*		*				*	*
34	Gage R&R				✓		*				*			
35	Gemba + 3 Mu's			✓			*	*	*	*	*	*	*	*

CUADRO 2.7.- Toolkit-70 (Continuación).

Item	Caja de herramientas [Tool Kit]	Método o Tipo					Ciclo PDCA				Ciclo DMAIC							
		Estadísticas	Administrativas	Lean	Seis-sigma	Otras	Fase en que aplica la herramienta											
							Planear	Ejecutar	Verificar	Ajustar	Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar			
P	D	C	A	D	M	A	I	C										
36	Gráfica de barras	✓			✓		★		★			★						
37	Gráfica de control	✓			✓		★	★	★	★			★	★	★	★		
38	Gráfica de corridas	✓			✓		★		★				★					
39	Gráfica de pastel	✓					★						★					
40	Gráfica de Programa de Decisiones		✓				★			★				★				★
41	Gráfica por atributos	✓					★			★			★					
42	Gráfica X-R	✓			✓		★	★	★	★			★	★	★	★		
43	Gráfico de Gantt				✓			★									★	
44	Histograma	✓			✓		★	★	★	★			★	★	★	★		
45	Hoja de inspección	✓					★		★				★					★
46	Hoja de trabajo Estándar			✓				★		★						★	★	
47	Ishikawa (Causa-Efecto)	✓			✓		★			★				★				
48	Ji-Cuadrada				✓		★							★				
49	Jidoka			✓				★									★	
50	Kanban			✓				★									★	
51	Mantenimiento Productivo Total (TPM)			✓				★		★						★	★	
52	Mapeo de cadena de valor (VSM)			✓			★						★					
53	Marcapasos			✓			★			★				★				★
54	Matriz de Análisis de Datos		✓				★			★				★				★
55	Muestreo				✓		★	★	★	★			★	★	★	★		
56	Nivelación y secuenciación (Heijunka)			✓				★		★						★	★	
57	Pareto	✓			✓		★	★	★				★	★	★			
58	Pictograma	✓					★		★			★						★
59	Plan de recopilación de Datos				✓		★	★					★	★	★	★		
60	Poka-Yoke			✓				★									★	
61	Primeras entradas/Primeras salidas (FIFO)					✓		★		★							★	★
62	Recopilación de Datos				✓		★	★					★	★	★	★		
63	Simulación			✓			★			★			★	★				★
64	SIPOC				✓		★					★						
65	Supermercado			✓				★									★	
66	Teoría de Restricciones (TOC)			✓			★			★			★	★			★	
67	Tiempo Takt (TT)			✓			★						★					
68	Tormenta de ideas (Brainstroming)	✓			✓		★	★		★				★	★			
69	Tormenta de intentos (Trystorming)	✓						★									★	
70	Voz del Cliente (VOC)				✓		★						★					

3. PROCEDIMIENTO

Para la ejecución de la investigación se aprovecharon los lineamientos marcados por el Método de Investigación Científica. El modelo correspondiente puede encontrarse en el Anexo A. En forma más particular, como se ha visto anteriormente, se desarrollaron los pasos que marcan los modelos de mejora continua. En cuanto a las características de esta investigación, el cuadro 3.1 las describe.

CUADRO 3.1.- Características de la investigación.

<i>Características</i>	<i>Descripción</i>
Cualitativas	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de dos modelos • Aplicación de técnicas según los modelos • Selección de técnicas • Diseño de un método
Cuantitativas	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos • Análisis estadístico • Evaluación de la hipótesis • Evaluación de métricos

La investigación se dividió en los nueve pasos que a continuación se enlistan. Tanto el PDCA como el DMAIC tomaron las herramientas aplicables del “Toolkit-70” enfocados a la disminución de los defectos en ambas líneas de producción. Los datos se recolectaron del sistema de control de piso de producción. La figura 3.1 presenta un modelo simplificado del procedimiento de investigación llevado a cabo.

- **Identificación.**- Los problemas de las líneas H1 y O2, respectivamente.
- **PDCA.**- Desarrollado en la línea H1.
- **DMAIC.**- Desarrollado en la línea O2.
- **Datos.**- Recolección del sistema de control de piso, ambas líneas.
- **DOE.**- Definición del Experimento adecuado.
- **Análisis.**- Procesamiento estadístico definido por el DOE.
- **Comparación.**- Evaluación de la hipótesis.
- **Selección.**- Técnicas que se adecuaron mejor.
- **Diseño.**- Método final.

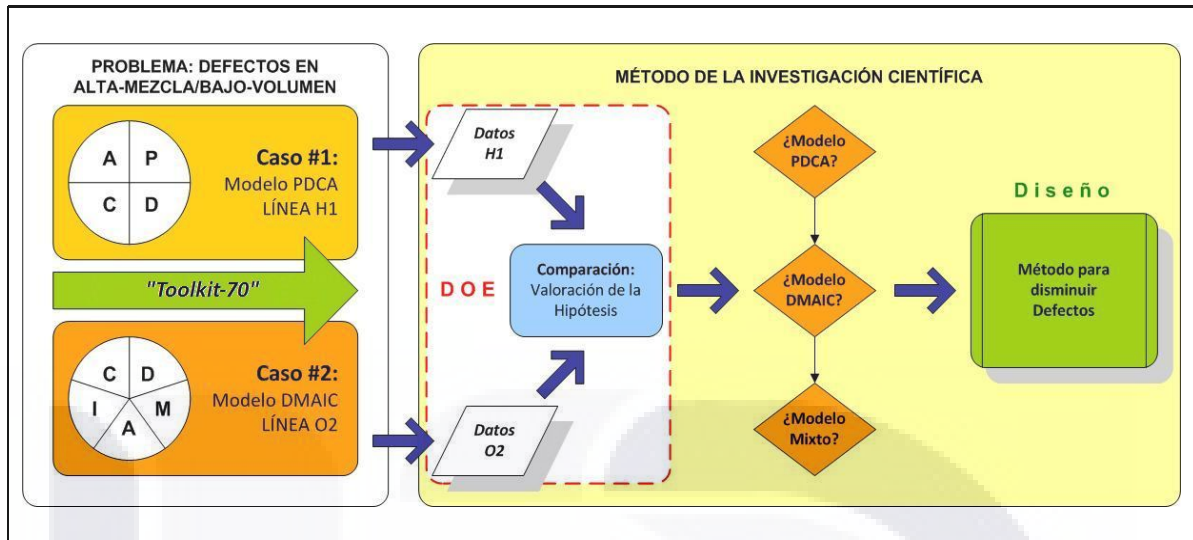


FIGURA 3.1.- Modelo del Procedimiento.

3.1. Identificación

Durante esta etapa se realizó el mapeo de proceso y el diagrama de espaguetti. Mientras que el primero sirve para entender los problemas del proceso, el segundo sirve para seguir y comprender el flujo del proceso. Los mapas se incluyen en el Anexo E. Los diagramas de espaguetti en el Anexo F. Estos dos procesos mostraron grandes áreas de oportunidad para aplicar la mejora continua. Los grupos cualitativos de defectos hallados se produjeron como consecuencia de los errores en los procesos. La descripción de los desperdicios encontrados en las líneas H1 y O2 se detalla en el cuadro 3.2.

CUADRO 3.2.- Desperdicios en las líneas H1 y O2.

Desperdicio	Característica Principal
Transporte	La disposición de estaciones rompe el flujo; existen cruces y distancias grandes.
Inventario	Enormes excesos a lo largo de todo el proceso. La línea H1 cuenta con una banda transportadora que provoca acumulación de unidades en ensamble.
Movimiento	El mobiliario en las operaciones de prueba no es ergonómico y tampoco observa un cuidado adecuado para el producto; defectos cosméticos, riesgo de accidentes.
Esperas	Debido a que no se ha tomado en cuenta el Takt-time hay operaciones paradas.
Sobre-proceso	Debido a los defectos cosméticos provenientes del área de pruebas, hay un exceso de retrabajos que disminuyen aún más el ritmo de operación.
Defectos	Los errores en el proceso ocasionan defectos de ensamble, defectos cosméticos y defectos en la configuración de empaque.

3.2. Modelo PDCA versus modelo DMAIC

3.2.1 PDCA aplicado a la línea H1: pasos

Para este primer caso se aplicó el ciclo PDCA. El cuadro 3.3 enlista los aspectos y las herramientas aplicadas respectivamente durante la primera etapa: PLAN.

CUADRO 3.3.- Fase “P” aplicada a la línea H1.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
PLANEAR 	Identificar el problema	Exceso de defectos en el producto	Voz del cliente Tormenta de ideas
	Definir objetivos	Disminuir la cantidad de defectos Crear flujo con mínimo inventario Mejorar la salida de producción	
	Definir metas	20% menos de defectos 100 unidades menos de inventario Producir de 35 a 220 unidades diarias	
	Definir alcance	Línea H1	Mapeo de cadena de valor Diagrama de espagueti
	Definir métricos	Unidades buenas del total Inventario en piso Salida de producción	Voz del cliente Tormenta de ideas
	Recopilar/Analizar datos	Datos provenientes del sistema de control en piso de producción	Recopilación de datos Gráfica lineal (o de barras) Diagrama de pareto Diagrama de Ishikawa
	Establecer métodos	Conjunto de acciones para cumplir los objetivos y llegar a las metas	Gráfica de Gantt

3.2.1.1 PLANEAR: uso de la Voz del Cliente.- En base a la retroalimentación del cliente de la línea H1 se enlistaron las necesidades del mismo. La retroalimentación se sintetizó en los siguientes enunciados:

“El producto de la línea H1 no alcanzaba el nivel de calidad deseado ya que el número de defectos estaba fuera de control”. “Esta gran cantidad de defectos impedía que el sistema de

producción fuera capaz de entregar la cantidad esperada de acuerdo con su capacidad esperada". "Para empujar a que la línea tuviera alguna salida de producción se saturó con inventario; y de todas formas este inventario no fluía debido a los problemas del proceso".

Las necesidades se sintetizaron en los requerimientos ‘Críticos-para-la-calidad’, o simplemente en inglés “CTQ”. Para cada CTQ se determinó un métrico con el cual dar seguimiento al avance del proyecto. Ver el cuadro 3.4:

CUADRO 3.4.- CTQ (“Critical-to-Quality”) para el PDCA de la línea H1.

No.	CTQ	Métrico	
1	Yield	U.Buenas del Total	%
2	WIP	Días de inventario	DOS
3	Producción	Unidades por Hora	UPH

3.2.1.2 PLANEAR: determinar alcance mediante el mapa de valor y el espagueti.- Aquí se tomó el Mapeo de la cadena de valor y el Diagrama de espagueti previamente realizados para entender los alcances e influencia del sistema bajo análisis. Con esto el proyecto se acotó únicamente al sistema de producción existente justo entre el Almacén local y el área de Embarques. Específicamente se estableció el impacto de los CTQ de acuerdo con las operaciones mostradas por el mapa. Ver el cuadro 3.5:

CUADRO 3.5.- Acotamiento del PDCA de la línea H1 y su impacto en los CTQ.

No.	CTQ	Acotamiento por operación
1	Yield	Prueba inicial, Prueba funcional, Empaque
2	WIP	Todas las operaciones
3	UPH	Ensamble, Prueba inicial, Empaque

Con esta determinación se logró una dirección básica hacia dónde encaminar las acciones para mejorar la situación original de la línea H1.

3.2.1.3 PLANEAR: la recopilación y el análisis de datos.- Los datos fueron recopilados de acuerdo con el CTQ correspondiente. En el caso del “Yield” y de la salida de producción se pudieron tomar los datos de unidades buenas y unidades defectuosas, los defectos, las operaciones, el total producido por día, entre otros. En el caso del WIP hubo necesidad de buscar los históricos de material transferido a línea de producción.

En paralelo, se partió de los CTQ para desarrollar los respectivos análisis de causa raíz mediante los Diagramas de Ishikawa. Una vez establecidas las principales causas raíz el análisis tomó los datos recopilados para generar los diagramas de pareto para cada métrico.

En este punto el análisis muestra suficiente información para tomar decisiones y plasmarlas en un plan. Fue necesario retornar al mapa de la cadena de valor para formalizar la ubicación de los kaizen “Starburst” correspondientes a las decisiones provenientes de la generación de información. Las figuras 3.2 a 3.4 muestran los análisis de causa raíz y de pareto de estos datos. El mapa de la cadena de valor, especificando las ubicaciones y acciones de cada kaizen se incluye en el Anexo E.

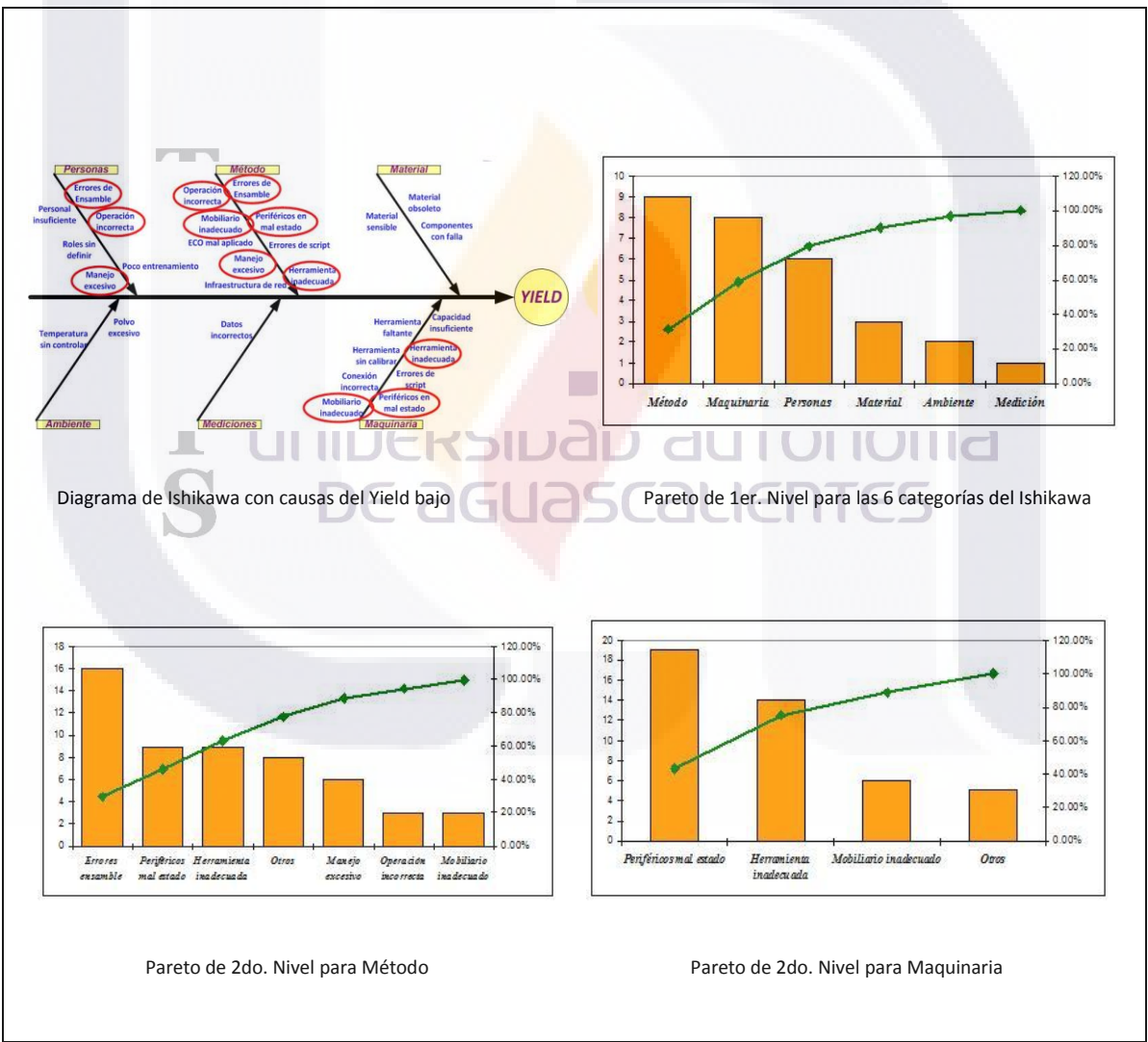


Figura 3.2.- Análisis del CTQ “Yield”.

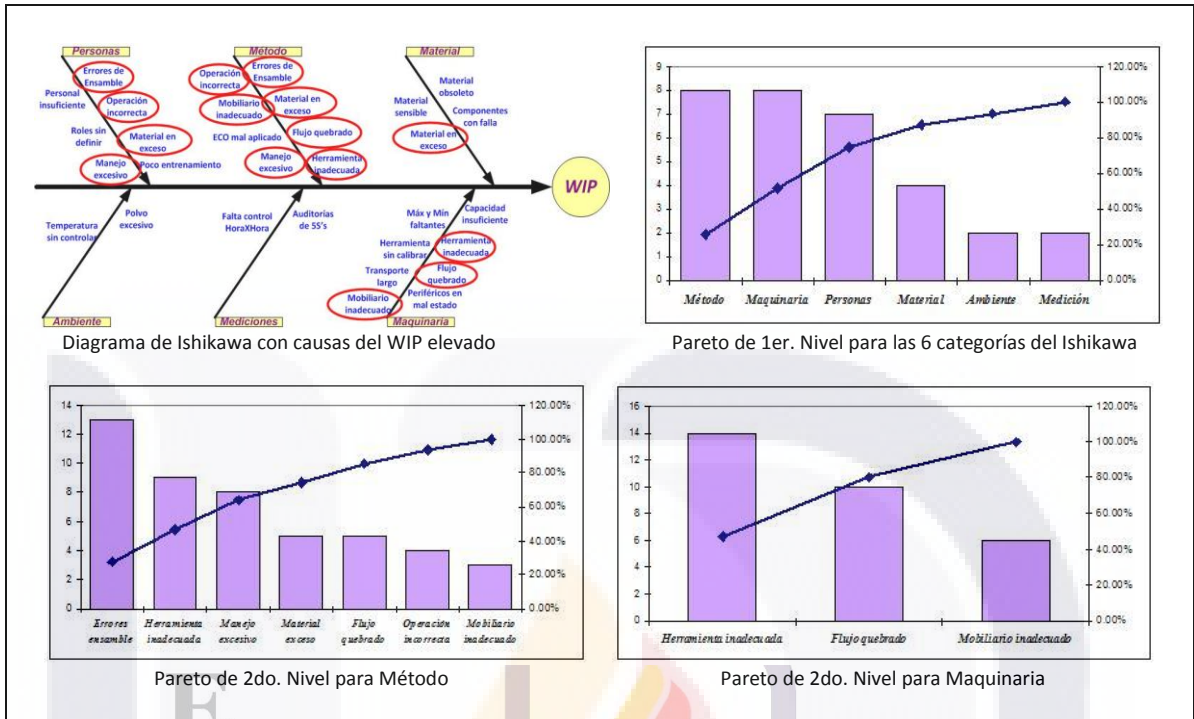


Figura 3.3- Análisis del CTQ "WIP".

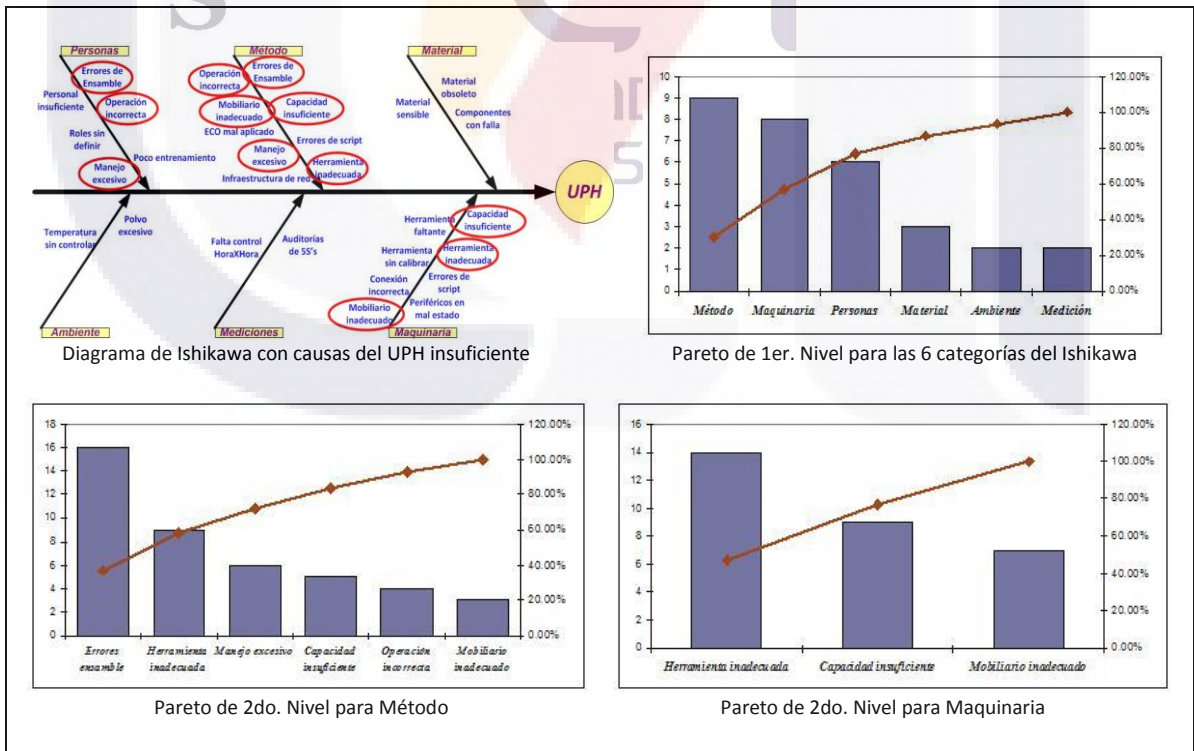


Figura 3.4.- Análisis del CTQ "UPH".

Las conclusiones de estos análisis se sintetizaron en el cuadro 3.6. :

CUADRO 3.6.- Conclusiones de los análisis: objetivos al corto plazo para cada CTQ.

No.	CTQ	Conclusiones
1	Yield	Método: separar operaciones internas y externas, implantar poka-yoke, establecer flujo continuo, establecer Jidoka. Maquinaria: reemplazar mobiliario con sistema "Creform"
2	WIP	Método: 5S's y validación de Gemba, establecer flujo en base al Takt time, establecer sistema de secuenciación. Maquinaria: establecer supermercados, celda en "U".
3	UPH	Método: establecer flujo en base al Takt time, separar operaciones internas y externas, establecer sistema de secuenciación. Maquinaria: celda en "U", establecer supermercados, modificar el lay-out para simplificar el flujo.

3.2.1.4 PLANEAR: gráfica de Gantt para formalizar el Plan, mapa del estado futuro para visualizar la meta.- El gráfico de Gantt enlista las actividades. Para el caso estas fueron determinadas en base a las conclusiones del análisis de datos. Su ejecución queda enmarcada en fechas bien establecidas. Esta herramienta facilita la administración de actividades que preceden o que suceden. La figura 3.5 muestra el gráfico de Gantt.

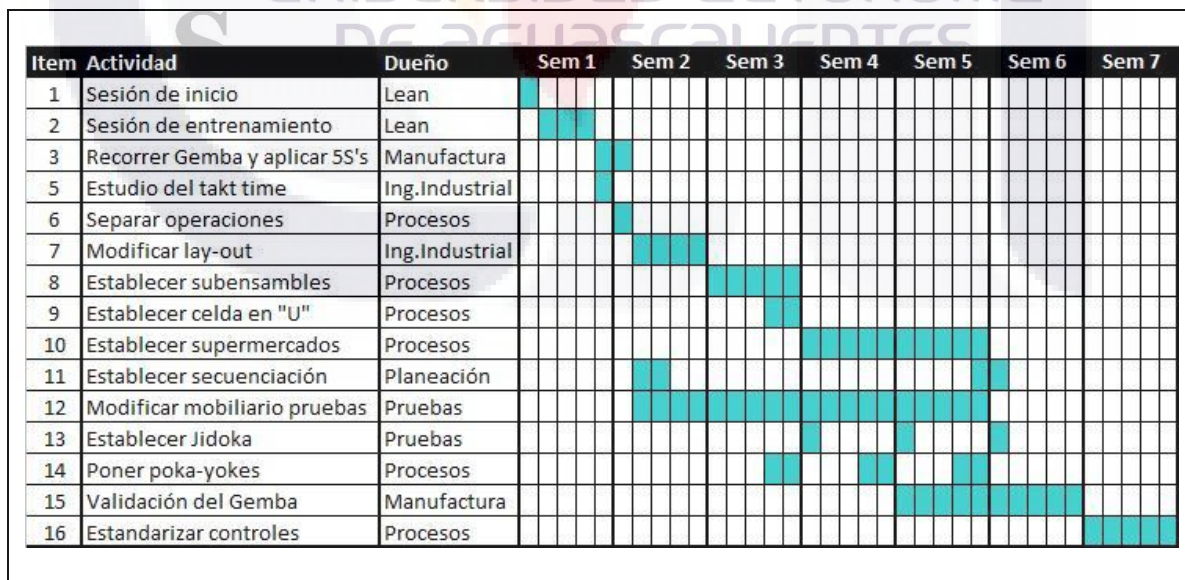



Figura 3.5- Gráfico de Gantt.

3.2.1.5 EJECUTAR: kaizen para cambiar el comportamiento de los CTQ

Con el programa de actividades a la mano lo siguiente es la ejecución. Para cada acción contenida en el programa se efectuó kaizen aprovechando otra vez las herramientas de ejecución listadas en el “Toolkit-70”.

CUADRO 3.7.- Fase “D” aplicada a la línea H1.

<i>Fase</i>	<i>Aspecto</i>	<i>Descripción</i>	<i>Herramienta</i>
EJECUTAR 	Entrenar al equipo	Estandarización de conceptos sobre las herramientas a aplicar y “predicar con el ejemplo” ejerciendo liderazgo en la práctica	5S’s / Gemba + 3Mu’s Empowerment / SGA Tormenta de intentos Flujo continuo Takt time
	Trabajar en equipo	Actividades asignadas a grupos pequeños (2 a 4 personas), enfocados al 100% de los resultados de acuerdo con el plan.	Celda en U Supermercados Secuenciación Poka-yoke Jidoka
	Dar seguimiento	Monitoreo del avance del plan ejerciendo liderazgo, funcionando como mentor y reconociendo los resultados inmediatos.	Gráfico de Gantt Empowerment

3.2.1.6 EJECUTAR: sesiones de comunicación y entrenamiento estándar.- Al tener disponible el plan de actividades fue necesario comunicarlo al grupo involucrado en el soporte de la línea H1. Hubo otra sesión para explicar los conceptos y así estandarizar el lenguaje y confirmar la intención de las acciones con el equipo.





Vale la pena señalar que se le recomendó al equipo el reemplazo del mobiliario existente con un sistema de construcción denominado “Creform”. El Anexo G incluye sus especificaciones técnicas básicas. El uso de este sistema permitió darle mayor flexibilidad a la línea H1.

3.2.1.7 EJECUTAR: trabajo en equipo para ejecutar kaizen.- El equipo se “volcó” al Gemba, y diseñó, construyó e implantó las modificaciones que sirvieron para establecer flujo, reducir la cantidad de inventario, incrementar la salida de unidades y disminuir los defectos generados por el proceso original. El cuadro 3.8 sintetiza estas actividades.

CUADRO 3.8.- Ejecución de los kaizen.

No.	Kaizen	Descripción	Antes	Después
1	5S's	Eliminación de lo que no servía. Organización de lo que sí servía. Limpieza. Varias modificaciones del layout en beneficio del flujo.		
2	Carro "una pieza a la vez"	Se eliminaron bandas y se construyeron carritos para contener la unidad y su material correspondiente.		
3	Takt-time	Se calculó el tiempo Takt (6 min). Las operaciones se balancearon a este tiempo o por debajo de él.		
4	Sub-ensambles	Se identificaron las operaciones externas del ensamble y se organizaron en siete estaciones individuales y balanceadas contra el Takt time.	<i>No existía</i>	
5	Celda en "U"	El proceso de ensamble se distribuyó en cuatro estaciones con un arreglo en "U". El espacio se redujo y el flujo se agilizó.		
6	Pruebas	Se reemplazaron las estaciones originales por racks hechos de "Creform" con 8 estaciones por rack. Se optimizó el espacio.		
7	Supermercados	Se construyó un supermercado a la salida del almacén y entre sub ensambles y la celda en "U". Se mejoró la producción.	<i>No existía</i>	

CUADRO 3.8.- Ejecución de los kaizen (Continuación).


No.	Kaizen	Descripción	Antes	Después
8	Secuenciación	Se integró al sistema el uso de una hoja viajera que indica el listado de materiales por cada unidad.	<i>No existía</i>	
9	Jidoka	Se instaló una alarma para llamar al equipo y parar línea cada vez que existiera un problema en el área de pruebas.	<i>No existía</i>	
10	Poka-yoke	Varios dispositivos mecánicos, plantillas y secuencias de ensamble se instalaron para prevenir defectos.	<i>No existía</i>	
11	Administración visual	Se instalaron tableros de comunicación y de control de la producción para mejorar el desempeño de la línea.	<i>No existía</i>	

3.2.1.8 EJECUTAR: seguimiento para el éxito.- Durante la implantación de los kaizen fue necesario monitorear los avances e intervenir siempre que hubo algún imprevisto. El Gantt sirvió como la referencia para que todo el equipo estuviera al pendiente del avance, y el uso de Empowerment sirvió para crear sentido de propiedad sobre los kaizen.

3.2.1.9 VERIFICAR: determinar si los kaizen fueron eficaces

La fase VERIFICAR sirvió para evaluar la eficacia de los kaizen practicados al proceso. Tras haber confirmado su eficacia se pasó directamente a la documentación para mantener el nuevo estándar. Para aquellos kaizen que todavía necesitaban ajustes se generaron recomendaciones que se aplicaron en el primer paso de la siguiente fase. Ver el cuadro 3.9.

CUADRO 3.9.- Fase “C” aplicada a la línea H1.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
VERIFICAR 	Verificar resultados	Medición del comportamiento de los CTQ durante un tiempo determinado (2 semanas).	Empowerment Gráfica de barras Gráfica de control Hoja de inspección
	Emitir recomendaciones	Revisión de los datos nuevos para cada CTQ. Análisis y generación de recomendaciones.	

3.2.1.10 VERIFICAR: validación de resultados.- tras haber concluido con los kaizen de acuerdo al programa establecido en el Gantt se midió el comportamiento de los CTQ durante el lapso de un mes. La figura 3.6 exhibe dicho monitoreo. Fue posible ver el mejoramiento de la calidad debido a que hubo más unidades buenas de primera pasada. El inventario disminuyó considerablemente en el lapso de dos meses. La salida de producción también mejoró notablemente al haber aplicado kaizen sobre el sistema de producción y haber eliminado muchos de los errores que producían los defectos del inicio.

PRUEBA INICIAL	Mes 0	Mes 1	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb
Total en primera pasada	1140	5184	1153	1259	1314	1458	238	265	243	235	240	237
Fallas en primera pasada	904	2556	547	378	372	398	73	63	65	70	63	64
Yield	20.7%	66.6%	52.6%	69.7%	71.5%	72.7%	69.5%	76.1%	73.4%	70.2%	73.6%	73.2%

INVENTARIO EN SISTEMA	Inicial	Final	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb
WIP diario	2395	627	2094	1743	1004	>>>>>	895	812	768	726	651	627

PRODUCCIÓN TOTAL	Mes 0	Mes 1	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb
Unidades producidas	875	5172	1142	1207	1301	1522	245	243	269	258	244	263
UPH promedio	2	9	8	8	9	11	10	10	11	11	10	11

Figura 3.6.- Validación de los CTQ en un mes.


3.2.1.11 VERIFICAR: emisión de recomendaciones

De acuerdo con la validación de resultados el equipo determinó que podría generar un nuevo análisis –en forma más particular. La recomendación para ir a la siguiente fase consistió en analizar nuevamente las áreas de oportunidad y seleccionar, priorizar y hacer kaizen sobre causas raíz específicas. Si bien la cantidad de defectos disminuyó y facilitó la salida de producción y la disminución de inventario en línea, existían defectos que mantenían alto número de incidencias por día.

3.2.1.12 AJUSTAR: establecer el nuevo paradigma

En la parte final del evento kaizen los ajustes y cambios menores sirvieron para corregir algunos vacíos todavía existentes para la consecución de los resultados esperados. El cuadro 3.10 sintetiza las actividades.

CUADRO 3.10.- Fase "A" aplicada a la línea H1.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
AJUSTAR 	Nuevas acciones	Ejecución de ajustes o modificaciones menores en base al listado de recomendaciones previas.	Referirse a las herramientas descritas en las fases D y C.
	Documentación	Registro de las modificaciones en forma de instructivos de operación y de controles visuales.	TPM Trabajo estándar Administración visual
	Divulgación	Sesión de comunicación para compartir los resultados del evento kaizen.	Comunicación Retroalimentación positiva
	Reconocimiento	Sesión para reconocer al equipo de trabajo e invitar a otros grupos a hacer kaizen.	

3.2.1.13 AJUSTAR: nuevas acciones y su verificación.- El análisis que a continuación se muestra en las figuras 3.7 y 3.8 fue practicado para ajustar algunos detalles que aún necesitaban un kaizen adicional.

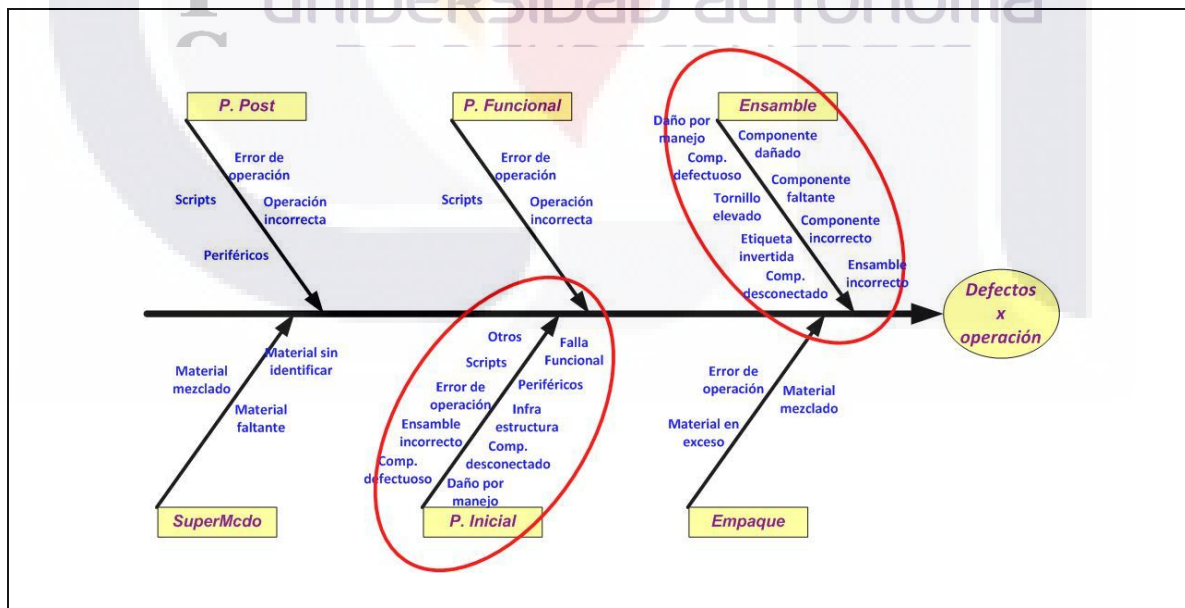


Figura 3.7.- Diagrama de Ishikawa en la etapa de ajuste.

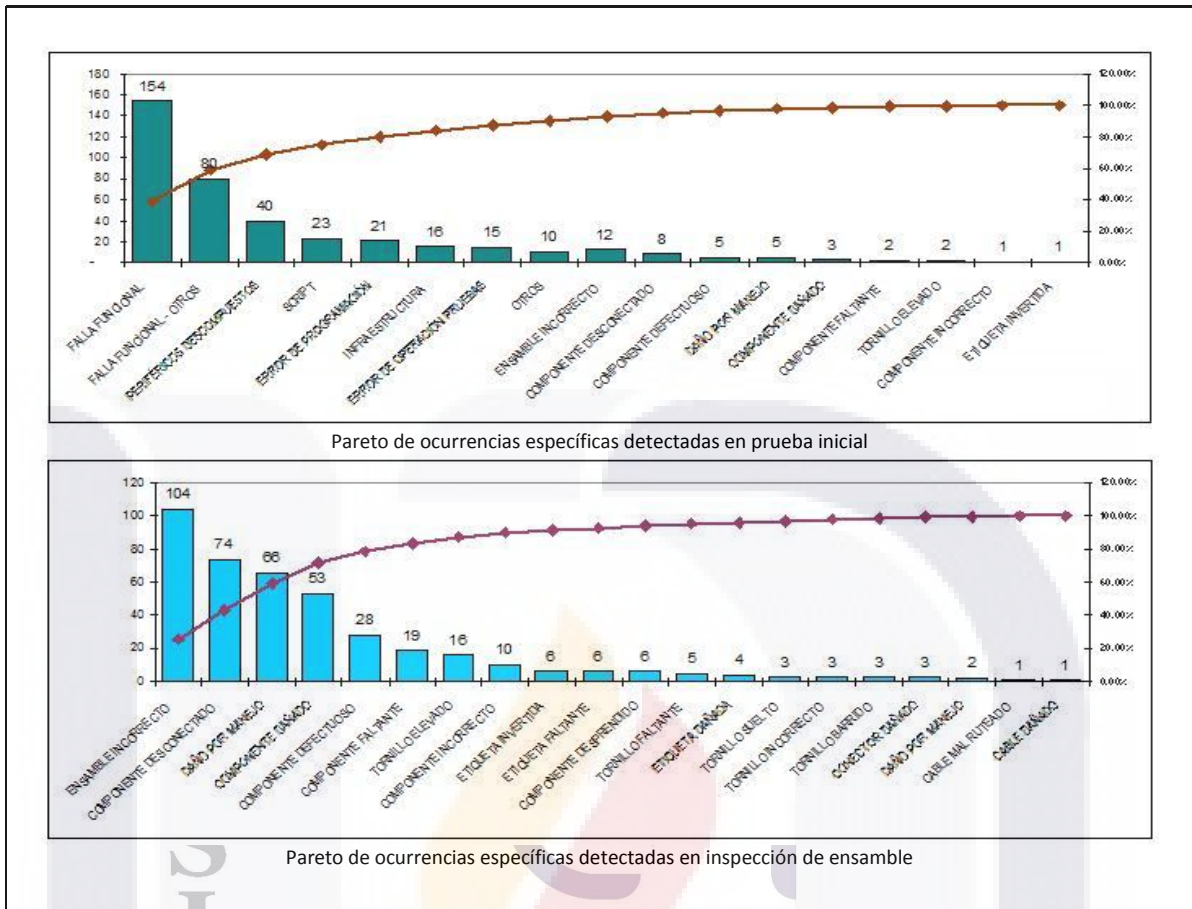


Figura 3.8.- Paretos de defectos específicos en la etapa de ajuste.

El diagrama de Ishikawa y los paretos se centraron en dos de las estaciones del proceso: prueba inicial e inspección de ensamble respectivamente. El cuadro 3.11 sintetiza los kaizen correspondientes. Estas estaciones sirven en la práctica como cribas naturales del proceso. De los paretos se puede concluir :

Prueba inicial.- más del 80% de ocurrencias encontradas estaban relacionadas con el sistema de pruebas en sí, o con la infraestructura montada. Fue en la segunda donde se pudo aplicar algunos kaizen con efecto inmediato. Para el caso del sistema de pruebas hubo necesidad de involucrar al área de ingeniería de software y al diseñador del producto. Sus análisis y conclusiones quedaron fuera del alcance de este proyecto. Para el 20% restante sirvieron los mismos kaizen atribuibles a los hallazgos de la inspección de ensamble.

Inspección de ensamble.- Aquí se aplicaron poka-yoke para prevenir o detectar los errores de ensamble, el manejo inadecuado del material, o la falta de este. La categoría de componente defectuoso en cambio requirió de la intervención de calidad de proveedores y de los mismos proveedores por lo que también quedó fuera del alcance de este proyecto.

CUADRO 3.11.- Kaizen practicados durante la etapa AJUSTAR.

No.	Kaizen	Descripción	Aplicación
1	Base para chasis en carro de una pieza	La base soporta el chasis mientras se mueve o se ensambla. Elimina daños por manejo y reduce el ensamble incorrecto.	
2	Niveles máximo y mínimo en supermercado	Los niveles son visuales y mejoran el manejo de material y el nivel de inventario. Reducen componente dañados, daño por manejo, componente incorrecto, componentes faltantes.	
3	Cero teclados	La captura se hace con código de barras a través de escáner en lugar de teclados. Eliminan los errores de captura al hacer el ensamble en el sistema de control de piso.	
4	Racks en 8 vertical	Los racks fueron modificados para contener las 8 unidades bajo prueba en distribución vertical. Se aprovecha mejor el espacio y se reducen los daños por manejo.	
5	Foam protector	A los racks se les incorporó estos foams recuperados de material de desecho. Se eliminan daños por manejo.	
6	Clamps de prueba	Los conectores de prueba fueron incorporados a este dispositivo llamado "clamp". Este arreglo elimina ciertos errores de operación, facilita el monitoreo de conectores para su reemplazo. Elimina errores de desconexión.	
7	Instalaciones aéreas	El cableado que originalmente se había tendido a nivel de piso mediante canaletas se elevó. Esto facilita el movimiento de la línea y mejora el control visual. Hace mucho más flexible el sistema de producción y reduce los tiempos de instalación y puesta a punto.	
8	Poka-yokes en área de subensambles	Mediante plantillas, fixtures hechos con nylamid ESD, modificación a las secuencias de ensamble, arreglos a la calibración de torques, herramientas adaptadas, entre otras, se eliminaron los errores de ensamble, componentes y tornillos sueltos, faltantes, así como defectos en etiquetas.	

3.2.1.14 AJUSTAR: documentación para el sostenimiento .- Después de haber aplicado kaizen en estos puntos del proceso el equipo de trabajo documentó en los instructivos de ensamble y prueba el uso de las diferentes herramientas implantadas. Algunos otros controles visuales fueron colocados de forma que se convirtieron en el nuevo estándar de la operación.

Para las estaciones de prueba se inició la construcción de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) con el propósito de asegurar el funcionamiento óptimo del sistema y evitar posibles paros debido a malfuncionamiento de los equipos.

El uso correcto de las herramientas, la consulta oportuna de la documentación, el conocimiento de los estándares recién instalados, dependió de una serie de sesiones de capacitación al personal de línea restante.

3.2.1.15 AJUSTAR: divulgación.- La promoción de la metodología aplicada a la mejora continua fue llevada a cabo mediante juntas informativas. Compartir los resultados del proyecto con otros grupos de la organización fue necesario para invitar a la ejecución de kaizen. La figura 3.9 muestra el resultado de los tres CTQ tras haber concluido la última fase del PDCA.

PRUEBA INICIAL				INVENTARIO EN SISTEMA				PRODUCCIÓN TOTAL			
	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Inicial	Mes 1	Mes 2		Mes 0	Mes 1	Mes 2	
Total en primera pasada	1140	5184	5441	WIP diario	2395	627	597	Unidades producidas	875	5172	5419
Fallas en primera pasada	904	2556	1513					UPH promedio	2	9	9
Yield	20.7%	66.6%	72.2%								
Porcentaje de mejora		221.7%	8.4%	Porcentaje de mejora	73.8%	4.8%	Porcentaje de mejora	491.1%	4.8%		

Figura 3.9.- Resultados finales del PDCA.


3.2.1.16 AJUSTAR: reconocimiento.- Al finalizar el proyecto, la alta gerencia reconoció el esfuerzo enfocado a la mejora continua del equipo de trabajo.

3.2.2 DMAIC aplicado a la línea O2: pasos

La línea O2 fue seleccionada para aplicar el ciclo DMAIC debido a que por sus características, tanto del proceso como del producto, se asemejaba al menos en un 95% a la línea H1 y representaba un buen caso para la comparación de los dos modelos. Existía una gran ventaja: tras haber desarrollado el PDCA y haber encontrado las principales causas raíz el problema podía ser mejor acotado. Adicionalmente todo el ejercicio

de modificación al proceso base ya tenía un avance puesto que la línea O2 había tomado las mejores prácticas de los kaizen practicados sobre la línea H1. El cuadro 3.12 enlista los aspectos y las herramientas aplicadas respectivamente durante la primera etapa: DEFINIR.

CUADRO 3.12.- Fase “D” aplicada a la línea O2.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
DEFINIR 	Asignar clara y contundentemente el problema	“Exceso de defectos en el producto”. Equipo: mismo de línea H1. Padrino: la gerencia.	Carta de estatutos o contrato
	Hacer el mapa del proceso (en lo general)	Identificación de entradas, salidas y proceso, así como sus proveedores y clientes.	SIPOC
	Definir requerimientos de los clientes	Las salidas específicas del proceso y que quedan expresadas como los CTQ.	Voz del cliente Caso de negocio
	Definición de metas	La declaración de expectativas de acuerdo con los pasos anteriores.	Voz del cliente Caso de negocio
	Definición de alcances	El acotamiento del proyecto, en este caso, el mapa de la cadena de valor y el diagrama de espagueti sirven para poner límites y mostrar enfoques.	Caso de negocio Mapeo de cadena de valor Diagrama de espagueti

3.2.2.1 DEFINIR: delinear el contrato del proyecto.- El DMAIC para la línea O2 inició con un “contrato” en el que se establecieron claramente 3 elementos: El Problema, El Equipo a cargo de la ejecución del proyecto, El padrino o entidad patrocinadora. Los detalles para completar este “contrato” son generados a través de cada paso de la etapa “D”. La intención de este documento formal fue dotarle de seriedad al proyecto y contar con una base de referencia que le recordara al equipo de trabajo las intenciones del proyecto.

3.2.2.2 DEFINIR: mapa general del proceso.- La figura 3.10 muestra el uso de SIPOC. Las siglas SIPOC vienen del inglés (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*). Esta herramienta describe los elementos involucrados en determinado proceso de forma general. Se generó el SIPOC de los dos procesos clave: el proceso en la Celda de ensamble y el proceso de prueba inicial. Cabe mencionar que para la línea O2 esta última prueba también combinaba una pre-prueba denominada “Botón/LED”.

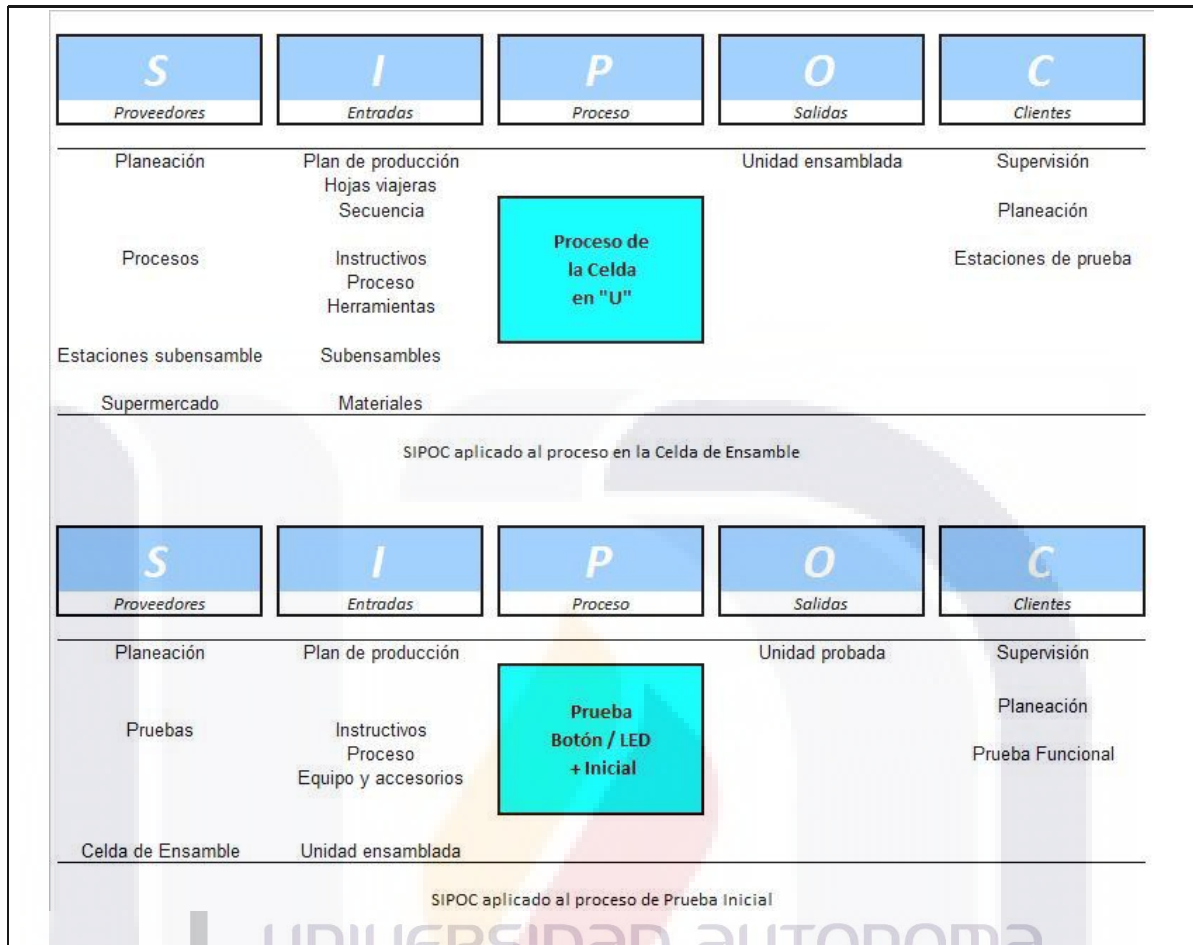


Figura 3.10.- SIPOC's para los procesos clave del proyecto.

3.2.2.3 DEFINIR: lo que los clientes piden.- El cuadro 3.13 resume estas características. La herramienta usada fue la Voz del cliente ya que esta traduce las necesidades del cliente en métricos (CTQ).

CUADRO 3.13.- Voz del cliente.

Proceso	Requerimientos de Cliente	Traducción a CTQ's
Celda en "U"	Unidades ensambladas a tiempo	UPH del proceso de acuerdo con Takt (operación balanceada)
	Unidades ensambladas sin defectos	Prevenir defectos en la fuente: Yield (más unidades buenas por hora)
	Sin acumulación de unidades	Reducir el inventario: WIP (operación balanceada contra el Takt)
Prueba Botón/LED + inicial	Unidades probadas a tiempo	UPH de pruebas de acuerdo con Takt (suficiente capacidad y buena operación)
	Unidades sin fallas	No pasar unidades con falla: Yield (más unidades buenas por hora)
	Sin acumulación de unidades	Reducir el inventario: WIP (operación balanceada contra el Takt)

3.2.2.4 DEFINIR: las metas y los alcances.- En los anexos E y F se incluyen el mapa de la cadena de valor y el diagrama de espagueti respectivamente para el proceso de la línea O2. Dichos ejercicios fueron generados al igual que en la línea H1 para facilitar la visualización del proceso en detalle, y la ubicación de los puntos focales hacia los cuales se concentraron los kaizen. El cuadro 3.14 muestra los límites del DMAIC.

CUADRO 3.14.- Acotamiento del DMAIC de la línea O2 y su impacto en los CTQ.


No.	CTQ	Acotamiento por operación
1	Yield	Procesos: Celda de ensamble, Prueba botón/LED+inicial Metas: mejorar Yield en 25%, reducir WIP en 100 unidades, alcanzar 11 UPH.
2	WIP	
3	UPH	

Una vez determinados todos los pasos anteriores el “contrato” perfilado en la asignación del proyecto fue completado y tanto el equipo como el padrino y los clientes “firmaron” de conformidad. El DMAIC había generado el compromiso correspondiente y el caso de negocio había sido delineado.

3.2.2.5 MEDIR: paso de puntualización

Para esta fase hubo necesidad de particularizar el tipo de datos y el origen de los mismos para atacar las causas raíz. El cuadro 3.15 indica los pasos de esta fase.

CUADRO 3.15.- Fase “M” aplicada a la línea O2.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
MEDIR 	Recopilar datos	Plan que establece la justificación, el tipo y el origen de los datos, la frecuencia de recolección y el instrumento de registro.	Plan de recopilación de datos Tormenta de ideas
	Validar los datos	Análisis preliminar mediante el uso de herramientas estadísticas básicas para confirmar que los datos en cuestión si son la pista correcta.	Pareto Estratificación
	Precisar las causas raíz	Determinación de las causas raíz con un enfoque rigorista que evite al equipo de trabajo perder tiempo en la siguiente fase.	Diagrama de Ishikawa 5 Por qué 8 Disciplinas
	Afinar los CTQ iniciales	En caso de existir discrepancias con alguno de los CTQ debido a la naturaleza del problema estos son segregados.	Pareto Capacidad del proceso

3.2.2.6 MEDIR: los datos de la situación original.- El plan de recopilación de datos fue esbozado por el equipo de trabajo tras haber practicado una tormenta de ideas. Durante dicho ejercicio el equipo definió los siguientes aspectos a considerar:

- **Tipo de datos.**- Yield, UPH, lecturas entre estaciones, del sistema de control de piso.
- **Origen de los datos.**- Celda de ensamble y Prueba botón/LED + Inicial. (8 estaciones).
- **Método de recolección.**- Para el Yield y las UPH se usó un muestreo practicado en las 8 estaciones durante 12 horas diario durante una semana. Para el inventario se tomaron las lecturas y las diferencias marcaron el inventario acumulado.
- **Frecuencia de recolección.**- Durante una semana, en forma diaria. El sistema de control de piso facilita la recolección en forma automática.
- **Registro.**- Los datos fueron vaciados en forma diaria en una hoja de Excel.

3.2.2.7 MEDIR: ¿es real el problema?.- Las figuras 3.11 y 3.12 muestran el análisis de datos efectuado sobre las dos operaciones. En el caso de la Celda de Ensamble destacan los defectos debidos al manejo del material y los descuidos o errores de ensamble.

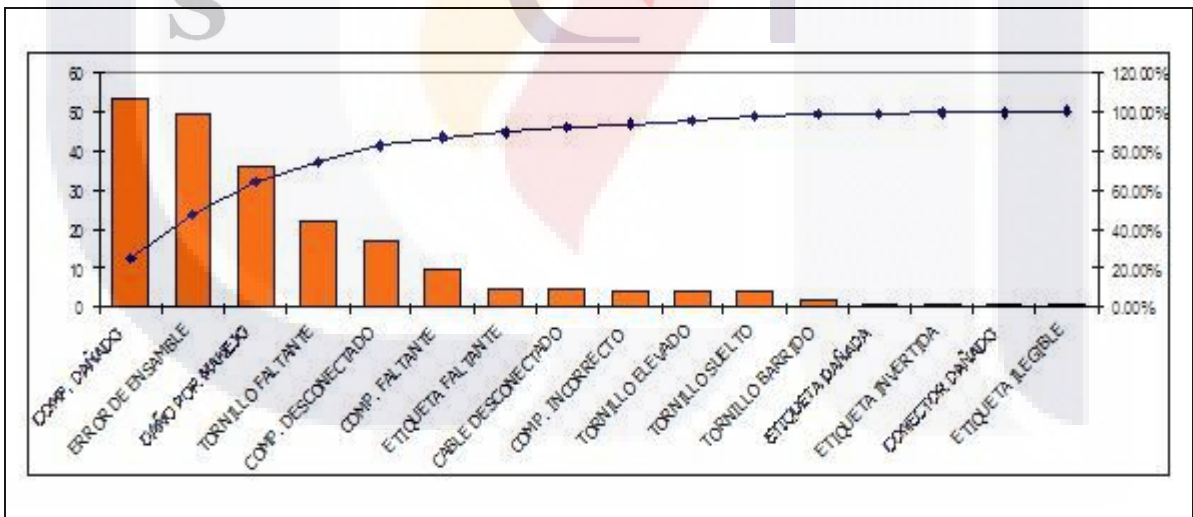


Figura 3.11.- Pareto de defectos en la Celda de Ensamble.

Para la Prueba botón/LED + inicial se encontró algo notable: a diferencia del análisis practicado antes en la línea H1, donde los componentes defectuosos no tenían tanto peso, para la línea O2 representaban la categoría más impactante.

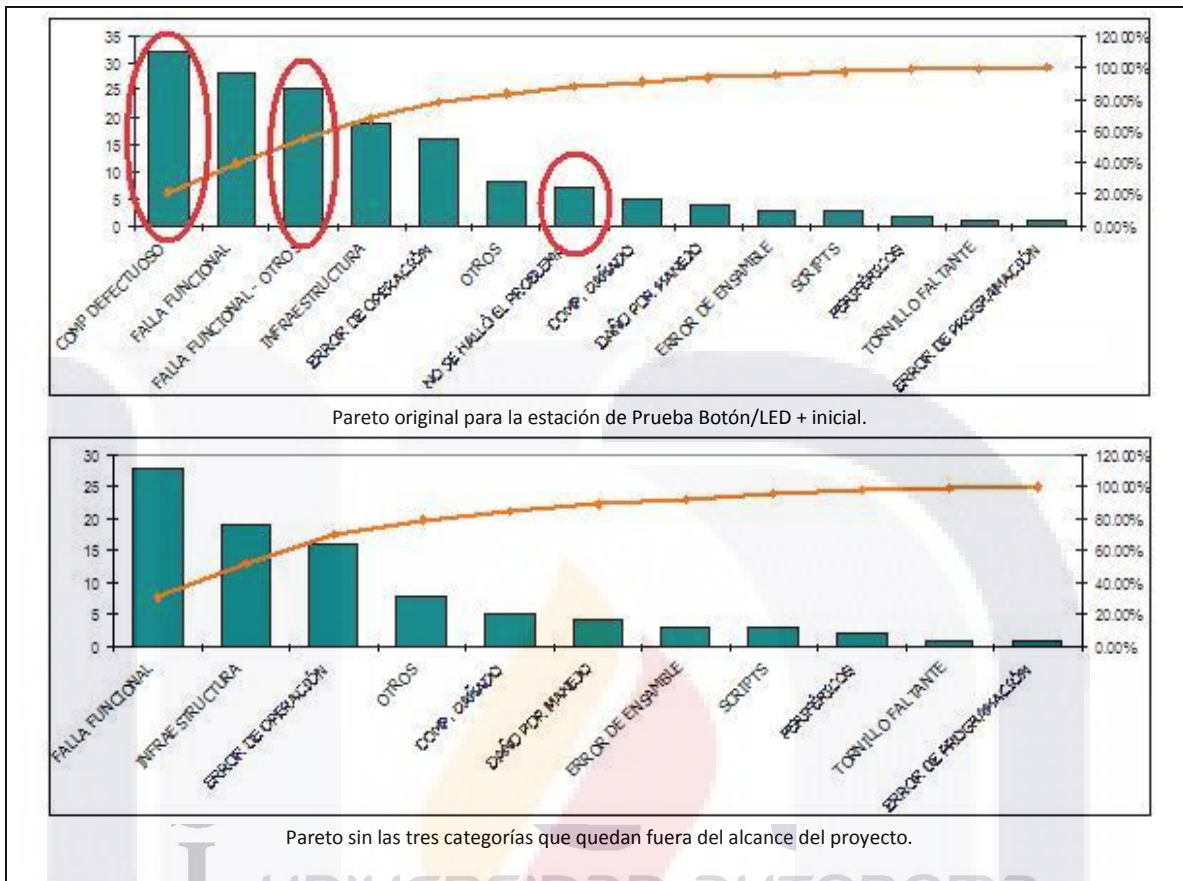


Figura 3.12.- Pareto de defectos o fallas en Prueba botón/LED + inicial.

Se encontró que tres categorías de defectos o fallas quedaban fuera del alcance del proyecto ya que involucraban la participación de proveedores y del diseñador del producto. Estas eran: “componente defectuoso”, “falla funcional-otros”, “no se halló el problema”. Las acciones correspondientes fueron turnadas con ingeniería de pruebas y de calidad de proveedores. El pareto quedó como se muestra arriba.

El principal objetivo de estratificar los datos tuvo relación con la definición de un instrumento de monitoreo que le ayudase al equipo de trabajo a monitorear continuamente los resultados de sus acciones. A este instrumento se le conoce usualmente como “Score-card” o “Tablero de marcador”.

Para determinar el formato del score-card fue necesario llevar a cabo un ejercicio de estratificación, relacionando los CTQ definidos durante la fase “D” con los defectos o fallas más representativas de los paretos. La figura 3.13 exhibe la estratificación que se hizo tomando en cuenta las categorías que contribuían entre un 70 y un 80 por ciento de los defectos o fallas.

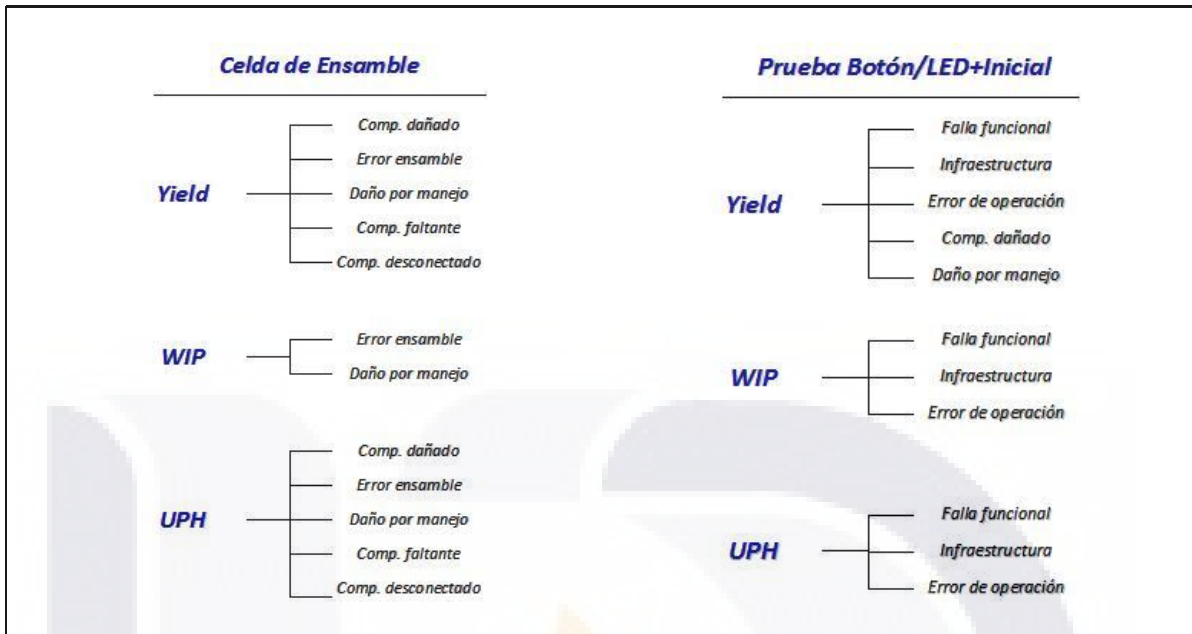


Figura 3.13.- Estratificación de defectos o fallas según operación y CTQ.

El score-card generado se muestra en la figura 3.14. Se diseñó partiendo de las categorías a monitorear agrupadas en torno a los CTQ y a su vez a las dos operaciones en particular. El formato de score-card consideró 8 semanas para poder comparar luego con el modelo de PDCA.

Operación	CTQ	Categorías	Semana 1 (Datos base)	Metas	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	
CELDA DE ENSAMBLE	Yield / UPH	Comp. Dañado	53	36									
		Error de Ensamble	49	35									
		Daño por Manejo	23	18									
		Comp. Faltante	36	32									
		Comp. Desconectado	22	20									
	WIP	Error de Ensamble	7	3									
		Daño por Manejo	6	3									
	Sumatoria			196	147	0	0	0	0	0	0	0	
	Mejora promedio				25.0%	100.0%							
	PRUEBA BOTÓN/LED + INICIAL	Yield	Falla Funcional	24	20								
Infraestructura			14	12									
Error de operación			9	6									
Comp. Dañado			5	3									
Daño por Manejo			4	2									
WIP / UPH		Falla Funcional	4	3									
		Infraestructura	5	3									
		Error de operación	7	5									
Sumatoria			72	54	0	0	0	0	0	0	0		
Mejora promedio				25.0%	100.0%								

Clave del Score-card: score Menor al 75% score Entre 75% y 90% score Mayor al 90%

Figura 3.14.- Formato de score-card para monitorear los métricos.

3.2.2.8 MEDIR: sobre todo precisión.- La figura 3.15 muestra los análisis de causa raíz practicados sobre las dos operaciones así como su relación con los defectos o fallas más representativos. Se observó que los “errores de ensamble” y los “errores de operación” repetían en ambos casos. Las categorías afectadas fueron el Manejo, los Descuidos y el Proceso.

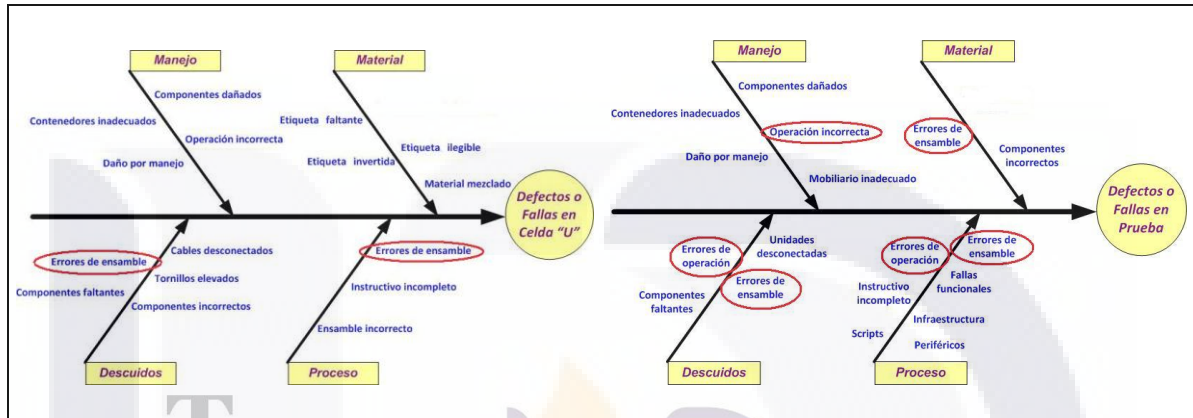


Figura 3.15.- Diagramas de Ishikawa en torno a los defectos más representativos por operación.

3.2.2.9 MEDIR: los métricos al detalle.- Entonces el score-card definido originalmente pudo enfocarse aún más a sólo unos pocos aspectos –determinados por el análisis de causa-raíz- que permitan describir la mayor parte de las fallas o defectos. La figura 3.16 exhibe el score-card detallado.

Operación	CTQ	Categorías	Semana 1 (Datos base)	Metas	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
CELDA DE ENSAMBLE	Yield / UPH	Error de Ensamble	21	12	22							
		Daño por Manejo	10	8	16							
	WIP	Error de Ensamble	6	5	7							
		Daño por Manejo	4	2	2							
Sumatoria			41	27	47	0	0	0	0	0	0	0
Producción			603	1320	692	0	0	0	0	0	0	0
Proporción			6.80%	2.05%	6.79%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Mejora promedio			100.00%		0.16%							
PRUEBA BOTÓN/LED + INICIAL	Yield	Error de operación	8	3	7							
		Daño por Manejo	2	2	5							
	WIP / UPH	Error de operación	6	2	5							
Sumatoria			16	7	17	0	0	0	0	0	0	
Producción			603	1320	692	0	0	0	0	0	0	
Proporción			2.65%	0.53%	2.46%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Mejora promedio			100.00%		9.27%							

Clave del Score-card: score Menor al 75% score Entre 75% y 90% score Mayor al 90%


Figura 3.16.- Formato de score-card con mayor enfoque.

Se observó que el enfoque de los CTQ debía caer en la mejora de los métodos de manejo de material originales así como en el aseguramiento de un ensamble y una operación libre de defectos. También se mejoró el formato original haciendo la evaluación de las mejoras en un rubro denominado “Proporción”.

3.2.2.10 ANALIZAR: método científico muy en lo particular

Esta fase representó el mayor reto para el equipo debido a que su manejo de herramientas estadísticas era limitado. Aún así se contó con algunos recursos temporales de soporte. El cuadro 3.16 indica los pasos de esta fase. Asimismo se volvió a consultar el ejercicio del mapa de la cadena de valor para reforzar la intención de esta fase sobre los CTQ y defectos correspondientes.

CUADRO 3.16.- Fase “A” aplicada a la línea O2.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
 ANALIZAR	Desarrollar las hipótesis	De acuerdo con los métricos definidos previamente se elaboran las hipótesis a comprobar.	Diagramas de afinidad Tormenta de ideas Mapeo de cadena de valor
	Analizar y validar causas raíz	Mediante el uso de herramientas estadísticas y análisis de causa raíz se confirma su relación con las hipótesis.	5 Por qué Diagrama de Ishikawa Prueba de hipótesis
	Validación de las hipótesis	Mediante estadísticos Z, t, ji ² , F, o métodos como ANOVA se acepta o rechaza la hipótesis.	Prueba de hipótesis

3.2.2.11 ANALIZAR: las hipótesis y sus comprobaciones son... - El equipo de trabajo tuvo una sesión para generar un diagrama de afinidad mediante una tormenta de ideas. Ver la figura 3.17.

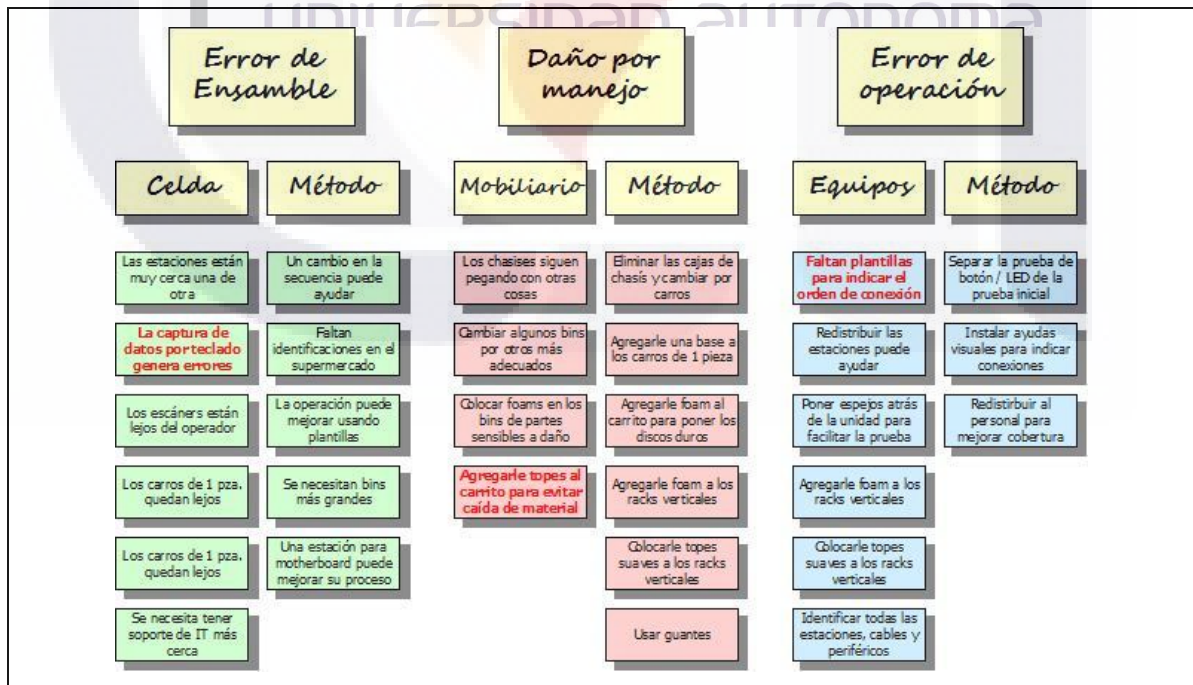


Figura 3.17.- Diagrama de afinidad para los defectos más representativos.

El mismo equipo determinó que muchas de estas sugerencias podían impulsar acciones inmediatas que no necesariamente necesitarían la prueba de hipótesis ya que sus resultados serían inmediatos (*“Low-hanging fruits”*). Estas acciones posteriormente fueron incluidas en el plan de mejora. En cambio hubo algunas sugerencias (marcadas en rojo) que se acordó comprobar como hipótesis de la relación causa-efecto. Las tres hipótesis quedaron enunciadas de la siguiente forma:

1. *“En promedio el 1% de errores de ensamble se deben a mala captura de datos”*
2. *“En promedio el 0.5% de daños por manejo se deben a caída de material del carrito de 1 pieza”*
3. *“En promedio el 3% de errores de operación se atribuyen a conexiones incorrectas”*

El cuadro 3.17 declara los parámetros para la prueba de hipótesis. Dichos parámetros fueron determinados a partir de la recopilación de datos proveniente del sistema de control de producción.

CUADRO 3.17.- Hipótesis de causa-efecto a probar.


H	H₀	H_a	Muestra	Media	Varianza	Estadístico	Z
1	= 1.0%	≠ 1.0 %	50	1.0019 %	0.00013 %	$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}, \alpha = 0.05$	+1.17
2	= 0.5%	≠ 0.5 %	45	0.5056 %	0.00134 %		+1.02
3	= 3.0 %	≠ 3.0 %	55	2.9983 %	0.00380 %		-0.93

Para el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ se busca que el estadístico demuestre que el valor queda dentro del rango $-1.96 \leq Z \leq +1.96$. Esto fue determinado al consultar las tablas correspondientes para el valor Z crítico y un área normal igual a 0.4750 (dado que si $\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$, y por tanto para la mitad de la curva el área es igual a $0.5 - 0.025$). Se observó que en los tres casos los valores de Z quedaban enmarcados dentro del rango definido. Por tanto las hipótesis nulas no pueden rechazarse y puede decirse que existe una relación de causa-efecto para estos casos.

Dado que el resto de los datos correspondientes a errores o fallas podrían haberse tomado del sistema de control de producción existe la posibilidad de que se pudieran comprobar las hipótesis respectivas. Sin embargo para el proyecto se mantuvo el rigor de DMAIC. Las otras sugerencias tuvieron una solución potencial correspondiente en forma de kaizen a la manera de manufactura esbelta.

3.2.2.12 MEJORAR: kaizen como solución

CUADRO 3.18.- Fase “I” aplicada a la línea O2.

<i>Fase</i>	<i>Aspecto</i>	<i>Descripción</i>	<i>Herramienta</i>
MEJORAR 	Desarrollo de soluciones	Se enlistan todas aquellas soluciones potenciales que serán aplicadas para corregir la situación actual.	Tormenta de ideas Pareto FMEA Mapeo de cadena de valor
	Prueba piloto	En consenso el equipo de trabajo determina el mejor punto del proceso para implantar soluciones prototipo.	Consenso Kaizen con Manufactura esbelta
	Evaluación de soluciones	Se trata de monitorear las soluciones prototipo y confirmar su efectividad.	Empowerment Score-card Gráficos en general Hoja de inspección
	Plan de soluciones ajustadas	Tras haber confirmado o rechazado las soluciones prototipo se genera el plan para su despliegue en todo el proceso.	Consenso Pareto Gráfico de Gantt
	Ejecución del plan	Se efectúa “Yokoten” de las soluciones de acuerdo con el plan.	Gráfico de Gantt Kaizen con Manufactura Esbelta







3.2.2.13 MEJORAR: varias soluciones son posibles.- la gran ventaja de haber realizado el mapeo de la cadena de valor y haber comprendido las similitudes entre los procesos de las líneas H1 y O2 es que las soluciones potenciales no necesitaron un amplio análisis. Aquí se tomó en cuenta la experiencia previa para determinar dichas soluciones. En el anexo E quedó incluido el mapa de la cadena de valor en su estado futuro. Hacia este estado se dirigieron los kaizen practicados durante esta etapa.

3.2.2.14 MEJORAR: prueba piloto.- Por consenso el equipo de trabajo determinó que el mejor punto del proceso para aplicar las soluciones era la Celda de ensamble. Esto obedeció los siguientes criterios:

- Al aplicar las soluciones a la celda de ensamble se tendría un efecto inmediato en los CTQ. No solo en la propia celda sino también en la estación de prueba.
- La experiencia previa en la línea H1 mostraba que era el lugar más lógico para iniciar los kaizen.
- Los kaizen en la estación de prueba tomarían un poco más de tiempo debido a los tiempos de entrega de mobiliarios e instalaciones.
- Los kaizen practicados sobre el área de ensamble serían muy visibles para todos.

La aplicación de los kaizen en la prueba piloto tomó dos semanas tras haber concluido la fase “A”. El cuadro 3.19 incluye los kaizen más significativos de este paso.

CUADRO 3.19.- Kaizen más significativos de la prueba piloto en la fase MEJORAR.

No.	Kaizen	Descripción	Aplicación
1	Base para chasis en carro de una pieza	La base soporta el chasis mientras se mueve o se ensambla. Elimina daños por manejo y disminuye los errores de ensamble.	
2	Ampliación de celda en “U”	Aunque las distancias se incrementaron en 60cm entre estaciones, se mejoró el control visual y se agilizó la operación al contribuir a una ergonomía adecuada. Se reducen los errores de ensamble.	
3	Cero teclados	La captura se hace con código de barras a través de escáner en lugar de teclados. Eliminan los errores de captura al hacer el ensamble en el sistema de control de piso.	
4	Poka-yokes en el área	Mediante plantillas, fixtures hechos con nylamid ESD, modificación a las secuencias de ensamble, arreglos a la calibración de torques, herramientas adaptadas, entre otras, se eliminaron los errores de ensamble, componentes y tornillos sueltos, faltantes, así como defectos en etiquetas.	
5	Poka-yoke para evitar caída de material	Se modificó la posición de las charolas inferiores de manera que la misma estructura sirve como tope y evita que el material caiga. Un foam rosa sirve para colocar los discos duros. Se reducen los daños por manejo.	
6	Instalaciones aéreas	El cableado que originalmente se había tendido a nivel de piso mediante canaletas se elevó. Esto facilita el movimiento de la línea y mejora el control visual. Hace mucho más flexible el sistema de producción y reduce los tiempos de instalación y puesta a punto.	

3.2.2.15 MEJORAR: evaluación de la piloto.- Aquí se retomó el formato de score-card a donde se vaciaron los nuevos datos provenientes del sistema de control de producción. La figura 3.18 muestra la actualización del score-card. Se observó que si bien no se habían ejecutado kaizen en la estación de Prueba el simple hecho de haber hecho kaizen en la Celda de Ensamble motivó una mejora en la proporción de defectos atribuibles a los errores de operación y daño por manejo.






Operación	CTQ	Categorías	Semana 1 (Datos base)	Metas	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	
CELDA DE ENSAMBLE	Yield / UPH	Error de Ensamble	21	12	22	22	20						
		Daño por Manejo	10	8	16	15	14						
	WIP	Error de Ensamble	6	5	7	6	9						
		Daño por Manejo	4	2	2	2	4						
	Sumatoria			41	27	47	45	47	0	0	0	0	0
	Producción			603	1320	692	774	916	0	0	0	0	0
Proporción			6.80%	2.05%	6.79%	5.81%	5.13%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Mejora promedio				100.00%	0.16%	20.73%	35.09%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
PRUEBA BOTÓN/LED + INICIAL	Yield	Error de operación	8	3	7	9	11						
		Daño por Manejo	2	2	5	6	6						
	WIP / UPH	Error de operación	6	2	5	5	4						
		Sumatoria		16	7	17	20	21	0	0	0	0	0
	Producción			603	1320	692	774	916	0	0	0	0	0
	Proporción			2.65%	0.53%	2.46%	2.58%	2.29%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Mejora promedio				100.00%	9.27%	3.27%	17.00%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Clave del Score-card: score Menor al 75% score Entre 75% y 90% score Mayor al 90%

Figura 3.18.- Score-card actualizado tras la ejecución de kaizen en la Celda de Ensamble.

3.2.2.16 MEJORAR: los ajustes y su plan de ejecución.- Solo restaba continuar los kaizen en la estación de Prueba. Se generó el Gantt correspondiente. Ver el cuadro 3.20 con los kaizen.

CUADRO 3.20.- Kaizen más significativos después del éxito en la prueba piloto.

No.	Kaizen	Descripción	Aplicación
1	Separación de Botón/LED de Prueba inicial	Se separaron estas operaciones asignado 4 estaciones a Botón/LED y 32 a Prueba inicial. Se mejoró el flujo, se redujo el daño por manejo y los errores de operación.	
2	Espejos	Con estos espejos en la prueba Botón/LED se agilizó la operación y se obligó al operador a prestar más atención. Los errores de operación disminuyeron.	
3	Cintillos poka-yoke	Al agregar un simple cintillo a dos conectores USB se crea un elegante poka-yoke. Con esto se redujeron aún más los errores de operación.	
4	Foams rosas	Con la adición de estos foams rosas a los racks de prueba se mejoró el manejo del material. Daños por manejo disminuyeron.	
5	Plantilla de conectores	Esta plantilla elimina la necesidad de verificar el orden de los conectores ya que todo el conjunto está incrustado en ella. Los errores de operación disminuyeron.	

La figura 3.19 muestra una nueva actualización del score-card tras la aplicación de estos últimos kaizen.

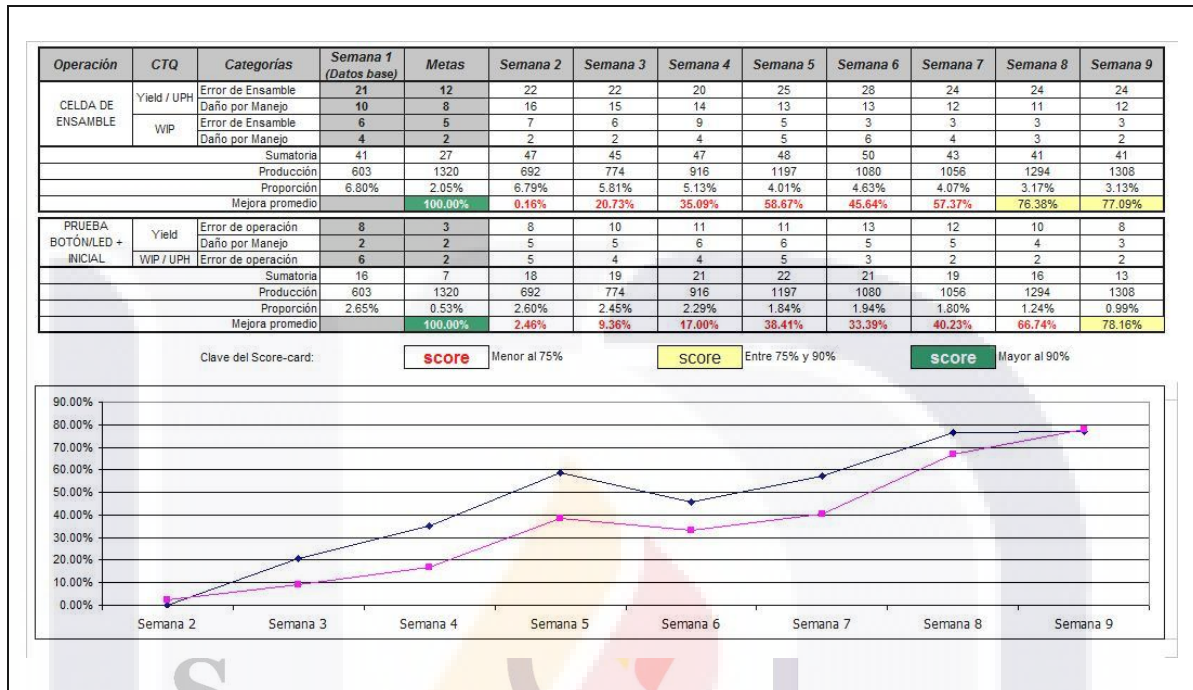



Figura 3.19.- Score-card actualizado tras la ejecución de kaizen en el área de Pruebas.

3.2.2.17 CONTROLAR: apuntalando el nuevo estándar

CUADRO 3.21.- Fase "C" aplicada a la línea O2.

Fase	Aspecto	Descripción	Herramienta
CONTROLAR 	Monitoreo	Paso que sirve para observar el comportamiento del proceso después de haber implantado las soluciones.	Gráficas de control Gráficos en general
	Estandarización	Documentación de la nueva situación para establecer los estándares de operación del proceso mejorado.	Trabajo estándar Procedimientos Instructivos de trabajo Controles visuales
	Sistematización y Sostenimiento	Generación de una plan de control de la calidad en base a los nuevos estándares para su transferencia a los dueños del proceso.	Plan de control de calidad TPM

3.2.2.18 CONTROLAR: monitoreo.- La figura 3.20 exhibe el monitoreo practicado mediante el acceso a los datos contenidos en el sistema de control de producción. A través del seguimiento al modelo DMAIC y la ejecución de kaizen se observó una mejora notable en los CTQ. Si bien durante las fases “M” y “A” se determinó que el proyecto se enfocaba únicamente en tres categorías, una de las ventajas del modelo es que al precisar hacia donde encaminar los esfuerzos los beneficios se extienden por todo el sistema.

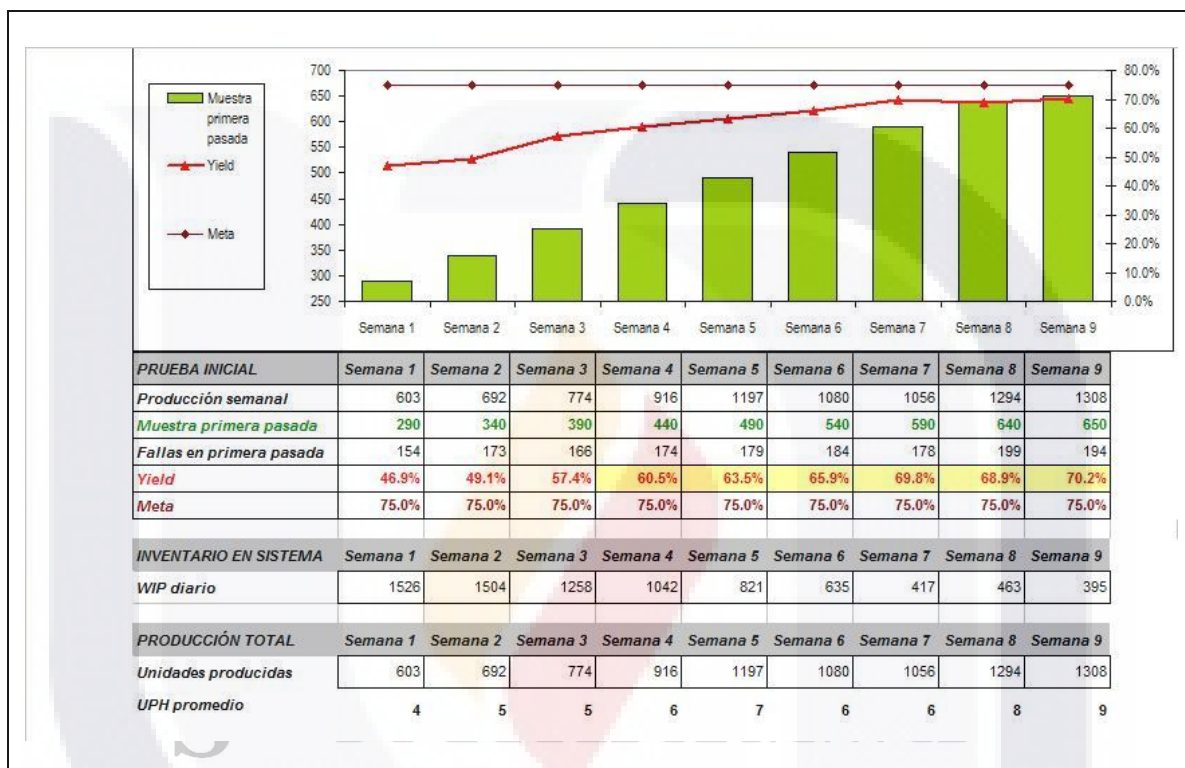


Figura 3.20.- Monitoreo de los CTQ a lo largo de las nueve semanas del proyecto.

3.2.2.19 CONTROLAR: estandarización.- Aquí el equipo de trabajo se dio a la tarea de documentar en los instructivos de trabajo las modificaciones que impactaron las operaciones. Otra adaptación importante fue la actualización del diagrama de flujo de proceso ya que la original prueba Botón/LED + inicial se separó en dos. Se instalaron otros dos nuevos tableros de control hora x hora. Se instalaron algunos otros controles visuales.

3.2.2.20 CONTROLAR: sistematización y sostenimiento.- El último paso consistió en generar un documento que sirviera como Plan de Control de Calidad. Así cualquier modificación nueva podría referirse a una base y la actualización de un documento de referencia sería sistemática.

3.3. Recolección de Datos para el Experimento

En ambos casos los datos se recolectaron del sistema de control de piso. A este nivel de la investigación ya se tenían registros del monitoreo para cada modelo. La figura 3.21 muestra el comportamiento de este registro a lo largo de 8 semanas para cada caso.

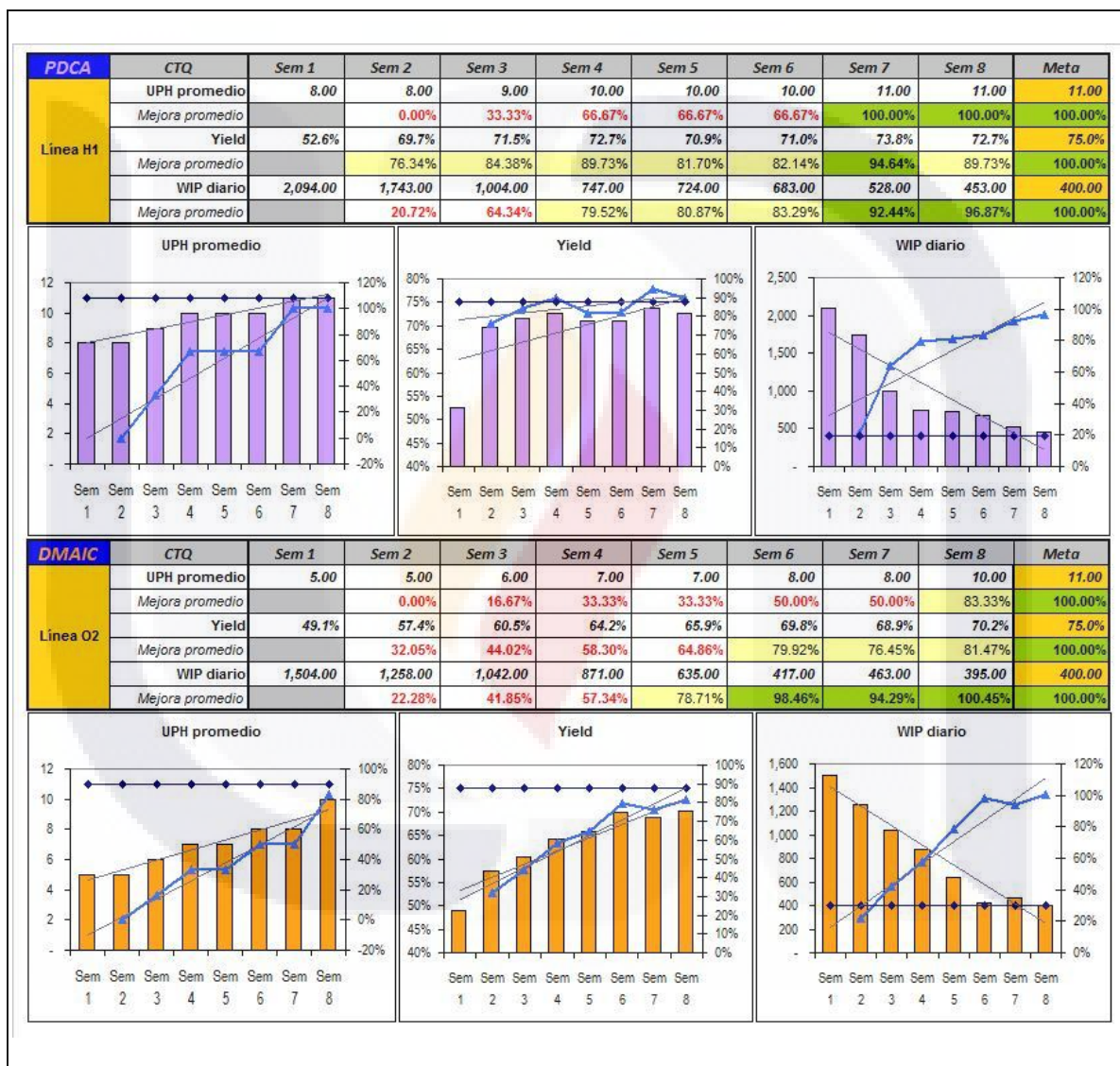


Figura 3.21.- Datos de la mejora en ambos modelos.

Aunque para ambos modelos se pudo comprobar una tendencia a la mejora se observaron algunos detalles interesantes en el comportamiento de los CTQ:

-
- Para el PDCA y su efecto sobre las UPH se observó una mejora notable desde un principio. Sin embargo a lo largo del tiempo tardó en alcanzar la meta. En cambio para el DMAIC se observó una mejora gradual y que al final se acercaba a la meta según lo programado.
 - Para el PDCA y su relación con el Yield se observó igualmente una mejora considerable al inicio y una marcada dificultad a alcanzar la meta a lo largo del tiempo. Al contrario el DMAIC demostró una mejora gradual.
 - Un comportamiento similar pudo observarse para el CTQ de inventario.

Estas características aparentemente indicaban una naturaleza propia para cada modelo. Era como si el PDCA hubiera servido para “salir del atolladero” mientras que el DMAIC “mantuvo paso firme”. Estas cualidades sirvieron para caracterizar el Experimento y el nuevo Método diseñado.

3.4. Diseño de Experimentos

El experimento fue seleccionado para demostrar que ya sea el modelo PDCA o el modelo DMAIC era más efectivo uno que el otro. Para tal fin se utilizó un modelo de experimento para comparación de dos tratamientos. Debido a la “naturaleza” de los dos modelos mostrada en la figura 3.21, se optó por diseñar el experimento de manera que nos permitiera considerar dos matices destacables:

- La rapidez con la que se suceden las mejoras (Comportamiento mostrado por PDCA)
- La consistencia con la que se suceden las mejoras (Comportamiento mostrado por DMAIC)

Para los experimentos fue necesario establecer los siguientes supuestos:

- Muestras grandes (mayores a 30 datos)
- Muestras independientes
- Comparación de dos medias (para cada uno de los CTQ, según los dos modelos)
- Varianzas conocidas (determinadas de las muestras)

La primera prueba de hipótesis se realizó comparando los modelos con los datos de la semana 4, que denotó el mayor avance probable para PDCA. El enunciado quedó formulado de la siguiente manera:

- “El yield promedio, las unidades por hora promedio y el inventario promedio, tratados mediante el modelo PDCA (a) tuvieron mejoras más probables que con el modelo DMAIC (b)”

CUADRO 3.22.- Prueba de hipótesis basado en modelo PDCA.

CTQ	H_0	H_a	Muestra	Media	Varianza	Estadístico	Z
Yield	$\mu_{Ya} = \mu_{Yb}$	$\mu_{Ya} \neq \mu_{Yb}$	70	70.57% 62.97%	0.46% 0.54%	$Z = \frac{(\bar{X}_a - \bar{X}_b) - (\mu_a - \mu_b)}{\sqrt{\frac{\sigma_a^2}{n_a} + \frac{\sigma_b^2}{n_b}}}$ para $\alpha = 0.05$	-0.5073
UPH	$\mu_{Ua} = \mu_{Ub}$	$\mu_{Ua} \neq \mu_{Ub}$	100	10 7	1.98 3.20		0.0000
WIP	$\mu_{Wa} = \mu_{Wb}$	$\mu_{Wa} \neq \mu_{Wb}$	50	751 868	3659.87 12533.66		-0.4445

De la tabla para el estadístico Z se tiene:

Para un intervalo de confianza de 0.95, dado $\alpha=0.05$, todos los valores dentro del intervalo [-1.96,1.96] confirmarán la hipótesis nula y por tanto los valores de Z encontrados todos satisfacen dicha condición. Por tanto se rechaza la hipótesis de que PDCA probablemente mejora más que DMAIC.

La segunda prueba de hipótesis se realizó comparando los modelos con los datos de la semana 8, que denotó el mayor avance probable para DMAIC. El enunciado quedó formulado de la siguiente manera:

- “El yield promedio, las unidades por hora promedio y el inventario promedio, tratados mediante el modelo DMAIC (a) tuvieron mejoras más probables que con el modelo PDCA (b)”

CUADRO 3.23.- Prueba de hipótesis basado en modelo DMAIC.

CTQ	H_0	H_a	Muestra	Media	Varianza	Estadístico	Z
Yield	$\mu_{Ya} = \mu_{Yb}$	$\mu_{Ya} \neq \mu_{Yb}$	70	75.13% 71.62%	0.56% 0.24%	$Z = \frac{(\bar{X}_a - \bar{X}_b) - (\mu_a - \mu_b)}{\sqrt{\frac{\sigma_a^2}{n_a} + \frac{\sigma_b^2}{n_b}}}$ para $\alpha = 0.05$	-0.9465
UPH	$\mu_{Ua} = \mu_{Ub}$	$\mu_{Ua} \neq \mu_{Ub}$	100	10 9	1.626 2.958		0.0000
WIP	$\mu_{Wa} = \mu_{Wb}$	$\mu_{Wa} \neq \mu_{Wb}$	50	437 386	12025.23 792.01		0.4684

Al igual que en las pruebas de hipótesis anteriores se observó que no era posible rechazar la probabilidad de que el modelo DMAIC rindiera mejoras más impactantes que el PDCA.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS FINALES

Después de haber comprobado que ninguno de los dos modelos brinda mejores resultados uno que otro en cuanto al impacto de las mejoras, se propuso tomar lo mejor de ambos modelos para generar el nuevo Método.

Ambos modelos aseguran la disminución de defectos como se vio a lo largo del proyecto de investigación. Debido a que no se pudo rechazar ninguna de las hipótesis se utilizará como base los datos de mejora descritos en la sección 3.3.

Los elementos considerados para el nuevo método son los siguientes, ver la figura 4.1.

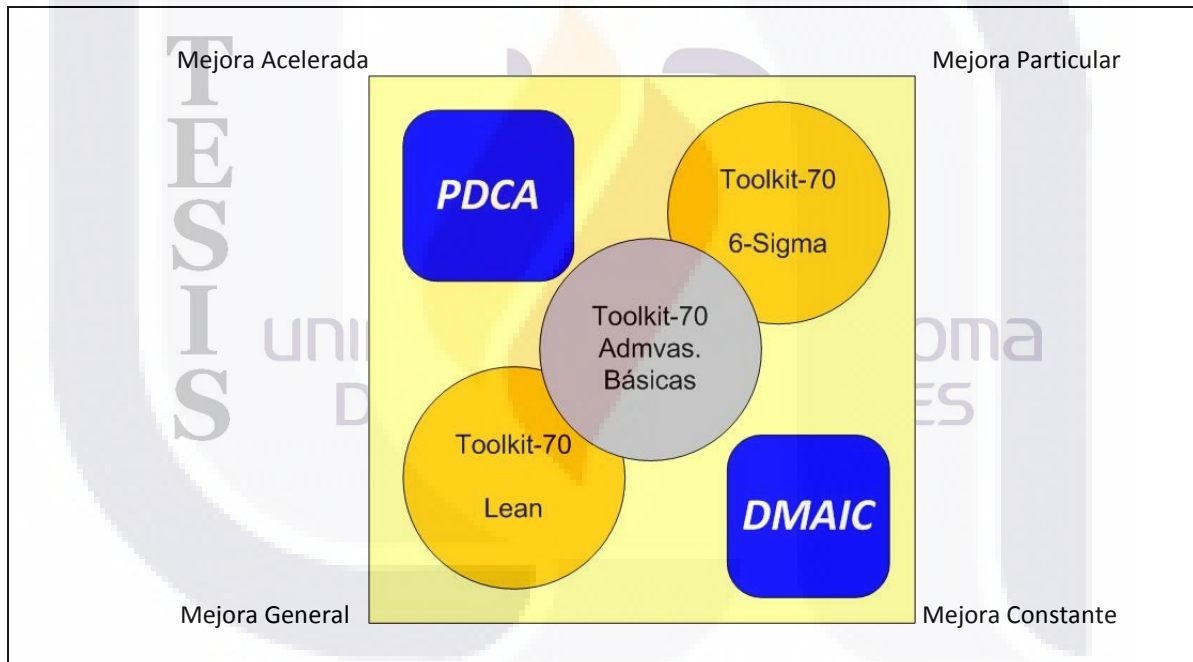


Figura 4.1.- Distribución de elementos de mejora continua.

PDCA para una mejora acelerada. DMAIC para una mejora constante. Las herramientas del Toolkit-70 como elementos eje para la mejora continua, con las herramientas Lean en la base y las herramientas Seis-sigma en la cúspide.

5. CONCLUSIONES

5.1. Nuevo Método para disminuir Defectos

La figura 5.1 exhibe este método.

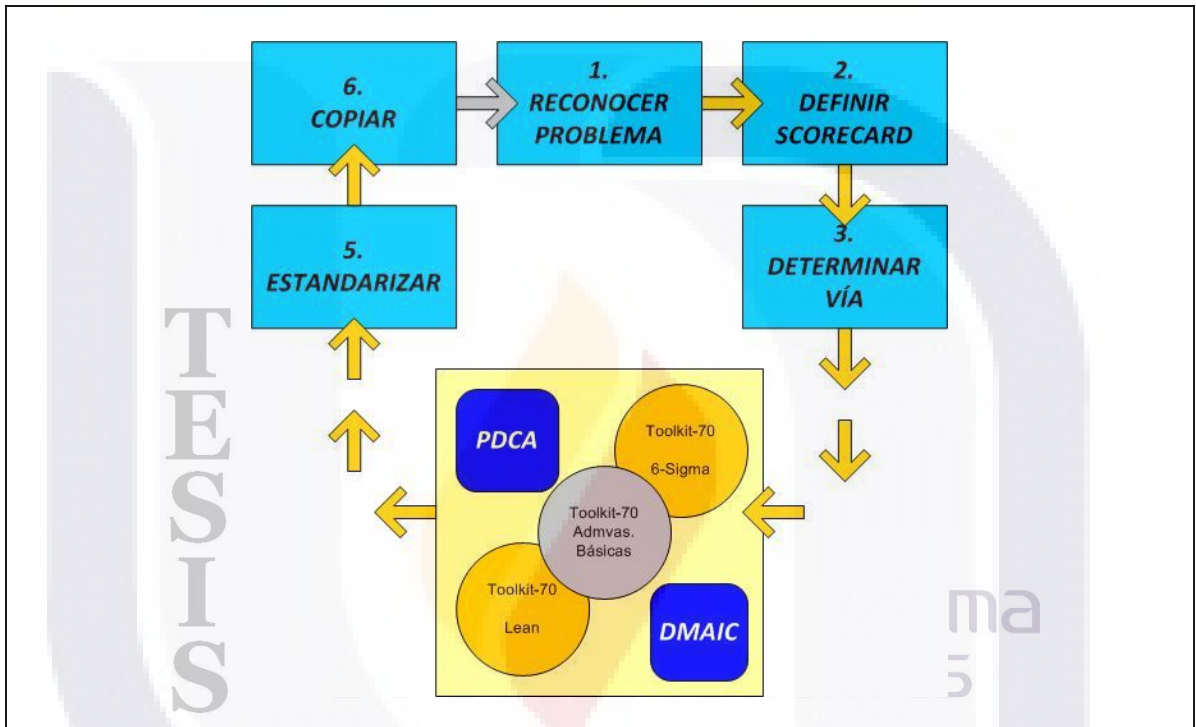


Figura 5.1.- Nuevo método para disminución de Defectos.

5.1.1. Reconocer el Problema

Sirve para “ponerle nombre al problema” e invitar a la formación de un equipo de trabajo de entre 3 y 5 personas.

5.1.2. Definir el Score-card

Se trata de la definición de los alcances y métricos del proyecto: lo que se desea alcanzar, las entradas y salidas del proceso, el mismo proceso y su relación con clientes y proveedores. A través de un instrumento de medición como lo es un Score-card será posible para el equipo monitorear el avance del proyecto.

5.1.3. Determinar la vía

¿Se desea mejora acelerada? ¿O mejora constante? La respuesta a estas dos preguntas determinará el modelo y el conjunto de herramientas del Toolkit-70 a seguir.

5.1.4. Aplicar los Cinco elementos de mejora

- Utilizar PDCA para resultados acelerados.
- Utilizar DMAIC para resultados uniformes, constantes y graduales.
- Utilizar herramientas Lean para mejoras de carácter general.
- Utilizar herramientas Seis-sigma para mejoras al detalle, con carácter particular.
- Utilizar herramientas Administrativas o Estadísticas Básicas para asegurar la conexión entre los 4 elementos.

5.1.5. Estandarizar

Establecer la documentación, procedimiento, carta de estatutos, contrato, instructivo, control visual, necesarios para declarar el nuevo estándar. Crear el paquete que describe la solución para los usuarios del proceso.

5.1.6. Copiar

Efectuar la divulgación del proyecto para desencadenar una reacción masiva de mejora continua a lo largo y ancho de la organización.

Manteniendo el espíritu de mejora continua se ha diseñado este nuevo Método para reducción de defectos tomando en cuenta el uso de muy diversas herramientas. La solución final no está escrita en piedra, simplemente se trata de un nuevo estándar esperando a ser criticado y modificado en pro de la mejora una y otra vez.

5.2. Palabras finales

Este proyecto de investigación representó la culminación de ejercicios encaminados a diseñar una nueva herramienta disponible a todo aquél interesado en la mejora continua.

Este Método es en sí una Estrategia para mejorar los Sistemas de Calidad.

El proceso de investigación no solo ha contribuido a generar conocimiento sino también a conocer con más profundidad conceptos nuevos.

Invito al lector a que el uso de este nuevo Método de disminución de defectos lo impulse a preguntarse si no habrá mejores formas de efectuar mejora continua.

TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES

Jesús Santoyo Ortega

Guadalajara, Jalisco, México. Diciembre 2008.

6. BIBLIOGRAFÍA

Referencias impresas:

APICS. The educational society for resource management. [Diccionario APICS] *APICS, Dictionary*. 10th Edition.. U.S.A. 2002.

ASQ Quality Costs Committee CAMPANELLA, Jack. [Principios de Costos de Calidad] *Principles of Quality costs*. 3rd. Edition. ASQ. U.S.A. 1999.

CANTÚ DELGADO, Humberto. *Desarrollo de una cultura de calidad*. 2ª. Edición. McGraw-Hill. México. 2001.

CARREIRA, Bill. [Manufactura Esbelta que sí funciona] *Lean Manufacturing that works*. 1st Edition. American Management Association. U.S.A. 2005.

CHASE, AQUILANO & JACOBS. [Gestión de la producción y operaciones] *Production and Operations Management*. 8th Edition. McGraw-Hill. U.S.A. 1998.

GEORGE, Michael L., et.al. [Libro de bolsillo de las herramientas Lean Six-Sigma] *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook - A Quick Reference Guide to Nearly 100 Tools for Improving Process Quality, Speed, and Complexity*. 1st Edition. McGraw-Hill. U.S.A. 2005.

GUTIÉRREZ , Humberto y DE LA VARA, Román. Análisis y diseño e experimentos. Mc-Graw Hill. México. 2004.

HERNÁNDEZ LECANDA, Roberto Jesús. *Módulo: "Manufactura Clase Mundial". Tomos I y II*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. 2000.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. México.

IMAI, Masaaki. *Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa*. 17ª. Re-impresión. C.E.C.S.A. México. 2004.

KUME, Hitoshi. *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. Grupo editorial Norma. Colombia. 2005.

PANDE, NEUMAN, CAVANAGH. [El camino a Seis Sigma] *The Six Sigma way*. Mc-Graw Hill. U.S.A. 2000.

RATH & STRONG Management Consultants. [Guía de bolsillo Seis Sigma] *Six Sigma pocket guide*. Second Printing. AON Consulting. U.S.A. 2001.

SCHMELKES, Corina. *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación*. 2ª. Edición. Oxford University Press. México. 1998.

SOCCONINI, Luis. *Lean Manufacturing, paso a paso*. Grupo editorial Norma. México. 2008.

SOCCONINI, Luis y BARRANTES, Marco. *El proceso de las 5's en Acción*. Grupo editorial Norma. México. 2005.

TAMAYO y TAMAYO, Mario. *El proceso de la investigación científica*. 3ra. Edición. Editorial Limusa. México. 1997.

The National Lexicographic board. [Nuevo diccionario universitario americano Webster, portátil] *The new american Webster handy college dictionary*. 123ª. Impresión. Signet books. U.S.A. 1995.

U.A.A. Universidad Autónoma de Aguascalientes. *Correo Universitario – Reglamento general de docencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 5ª. Época. México. 2004.

WALPOLE, MYERS & MYERS. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6ª. Edición. Prentice may. México. 1999.

WOMACK, James & JONES, Daniel. [El pensamiento esbelto] *Lean Thinking*. Simon & Schuster. U.S.A. 1996.

En Internet:

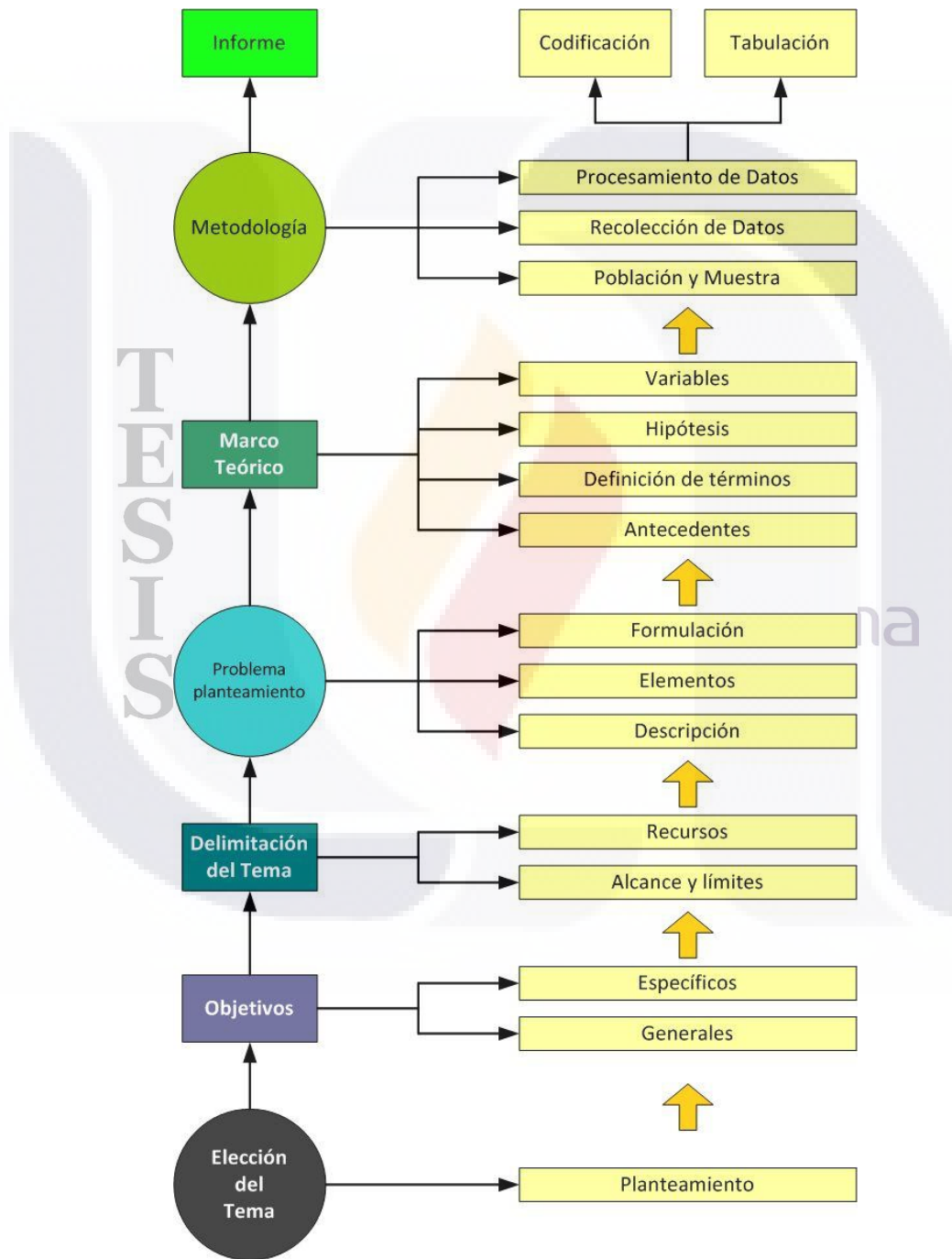
- | | |
|-------------------------------------|---|
| MERRIAM-WEBSTER ONLINE (Dictionary) | http://www.merriam-webster.com |
| REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DE LA LENGUA | http://www.rae.es/rae.html |
| WIKIPEDIA, LA ENCICLOPEDIA LIBRE. | http://es.wikipedia.org/wiki/Portada |



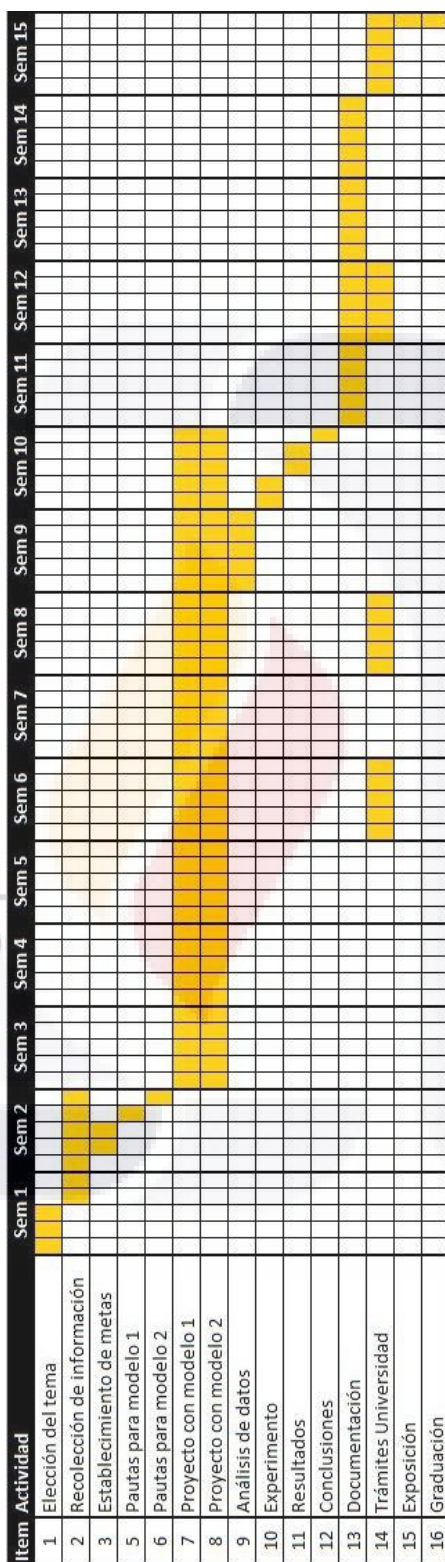
ANEXOS

Anexo A.- Modelo de la Investigación Científica (esquema)

Tomado de: "El proceso de la investigación científica", TAMAYO Y TAMAYO, Mario.



Anexo B.- Cronograma (Gráfico de Gantt)



Anexo C.- Glosario de términos

Este anexo concentra una serie de términos especializados utilizados a lo largo del documento, o bien, relacionados con la materia. Obsérvese que para la generación de esta parte del documento se tomó expresamente información de las siguientes obras:

CANTÚ DELGADO, Humberto. *Desarrollo de una cultura de calidad*. 2ª. Edición. McGraw-Hill. México. 2001.
 TAMAYO y TAMAYO, Mario. *El proceso de la investigación científica*. 3ra. Edición. Limusa. México. 1997.

- Administración científica** .- Concepto basado en el principio de la división del trabajo, en la que el diseño y planeación del trabajo es responsabilidad de la administración. Busca, mediante actividades altamente simplificadas y cuantificables, que los operarios bien entrenados con habilidades no muy complejas y sistemas de recompensa apropiados, realicen operaciones altamente productivas.
- Administración de la calidad total** .- (TQM, por sus siglas en inglés). Sistema administrativo basado en el enfoque total de sistemas, que permite a una organización el desarrollo de una cultura de mejoramiento continuo para el cumplimiento de su misión. La TQM debe ser una parte integral del plan estratégico, y funciona a todo lo largo y ancho de una empresa, facultando a los empleados para aprender de su experiencia y transferir ese conocimiento a situaciones nuevas en búsqueda de los cambios que permitan desarrollar la capacidad de crear e influir en el futuro de la organización.
- Aleatorización** .- Consiste en hacer corridas experimentales en orden aleatorio; este principio aumenta la posibilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla.
- Análisis** .- Descomposición de elementos que conforman la totalidad de datos, para clasificar y reclasificar el material recogido desde diferentes puntos de vista hasta optar por el más preciso y representativo.
- Análisis de datos** .- Es el procedimiento práctico que permite confirmar relaciones establecidas en la hipótesis, así como sus propias características.
- Análisis estratégico** .- Estudio que se realiza con el objeto de evaluar la posibilidad de entrar a competir en el mercado, analizar las tendencias de la competencia o definir estrategias futuras. Se hace bajo la consideración de la fuerza ejercida por cinco factores en el medio industrial y comercial, que son: 1) la amenaza de entrada de nuevos competidores, 2) el poder de los consumidores, 3) la fuerza de los competidores actuales, 4) la amenaza de competencia por parte de productos y servicios sustitutos, y 5) la rivalidad existente entre las empresas que participan en el mercado.
- Análisis factorial** .- Descomposición de un fenómeno en sus factores, los cuales pueden enfocarse desde diferentes puntos de vista.
- Antecedente** .- Acontecimiento que precede a la situación problema, o de investigación, y que tiene con ella cierta relación causal.

Aseguramiento de la calidad	.- El conjunto de las actividades planeadas formalmente para proporcionar la debida certeza de que el resultado del proceso productivo tendrá los niveles de calidad requeridos, a través del involucramiento de todos los departamentos de la organización en el diseño, planeación y ejecución de políticas de calidad. El proceso de manufactura requiere de servicios de soporte de calidad, por lo que se deben coordinar esfuerzos entre producción y las áreas de diseño de producto, ingeniería de proceso, abastecimiento, laboratorio, etcétera.
Azar	.- Hecho que acontece sin ningún influjo por parte del investigador.
"Benchmarking"	.- Estudio cuyo objetivo es conocer las características del producto de la competencia, así como las prácticas y procedimientos que las empresas más competitivas, competidoras o no, utilizan para serlo.
Bloqueo	.- Técnica estadística para tratamiento de datos mediante diseños especiales. Agrupamiento de unidades experimentales en bloques homogéneos, formados previos a la aplicación de los tratamientos, con sujetos que presentan valores iguales en relación con alguna característica conductual.
Cadena de valor	.- Es el conjunto de eslabones que representan los diversos procesos que una organización tiene para proporcionar al consumidor un producto y un servicio de calidad. El último eslabón de la cadena es el consumidor, que "jala" el resto de los procesos hacia la satisfacción de sus propias necesidades. En general, los procesos mayores que componen la cadena de valor son los siguientes: el mercado de consumo, los canales de distribución y comercialización, la elaboración o fabricación y el abastecimiento de insumos.
Calidad de diseño	.- Conjunto de características que satisfacen las necesidades del consumidor potencial y que proporcionan al producto factibilidad tecnológica de fabricación.
Capacidad de proceso	.- Índice que representa el número de veces que es mayor la tolerancia de especificación respecto a seis veces la variabilidad del proceso. Entre mayor sea el índice Cp, mayores serán las posibilidades del proceso de cumplir con las especificaciones del producto, aun cuando llegaran a existir problemas con el control del mismo.
Casual	.- Sucesos inesperados o contingentes (ver Azar).
Causa	.- Todo aquello que produce un efecto o cambio; condiciones que preceden a un hecho.
Celda de manufactura	.- Sistema de producción formado por un conjunto de procesos ordenados de la forma más conveniente para la elaboración del producto en cuestión. En una versión más elaborada, un grupo de manufactura flexible consiste de un conjunto de celdas interconectadas mediante un sistema automatizado de manejo de materiales. Un sistema flexible de producción está formado por un conjunto de grupos de manufactura flexible que conecta diferentes áreas del proceso de fabricación. Por último, una línea de manufactura flexible consiste de un arreglo de máquinas automáticas conectadas mediante vehículos guiados en forma automática, robots, y transportadores y almacenes automáticos.

Cero defectos	.- Programa desarrollado por Crosby inicialmente en la compañía Martin orientado hacia la motivación y la concientización de los trabajadores para realizar el trabajo "bien a la primera vez".
Ciencia	.- Conjunto de proposiciones empíricas aceptadas por los miembros de la sociedad. Conjunto de conocimientos racionales, ciertos y probables, obtenidos metódicamente, mediante la sistematización y la verificación y que hacen referencia a objetos de una misma naturaleza.
Competitividad	.- Capacidad de operar con ventajas relativas con respecto a otras organizaciones que buscan los mismos recursos y mercados; en donde los consumidores son cada vez más demandantes en calidad, precio, tiempo de respuesta y respecto a la ecología.
Confiabilidad	.- Representación objetiva de la realidad.
Confiabilidad de la medición	.- Obtención que se logra cuando aplicada una prueba repetidamente a un mismo individuo o grupo, o al mismo tiempo por investigadores diferentes, da iguales o parecidos resultados.
Confiabilidad de la muestra	.- Cuando es una representación fiel de una población a investigar. Es necesario tener en cuenta tres factores para determinar el grado de confiabilidad de la muestra: a) la naturaleza de la población; b) tipo de diseño de la muestra; c) grado de precisión a obtener.
Confiabilidad de un producto	.- Probabilidad de que funcione sin falla un producto durante determinado tiempo y bajo ciertas condiciones de uso.
Constante	.- Cantidad que no cambia de valor en una relación general entre variables.
Control de calidad	.- Norma JISZ8101: "Un sistema que permite que las características de un producto o servicio satisfagan en forma económica los requerimientos del consumidor." Norma ANSI-Z1.7-1971: "Las técnicas operacionales y actividades que sustentan la calidad de un producto o servicio para satisfacer ciertas necesidades." Norma ISO9000: "El conjunto de actividades y técnicas realizadas para la integración de las características que determinan en qué grado un producto satisface las necesidades de su consumidor."
Control de procesos	.- Monitoreo periódico del proceso encaminado a detectar si alguna variable no está operando dentro de los rangos permisibles (causa especial) lo que llevaría a establecer acciones para devolverla a su nivel ideal. Utiliza comúnmente herramientas de tipo estadístico para el control del proceso de producción y la prevención de defectos.
Control total de calidad	.- Concepto de calidad basado en el enfoque total de sistemas, que requiere que la empresa cuente con procesos bien planeados y documentados para: a) el control de diseños nuevos, b) el control de adquisición de materiales, c) el control del producto y d) la realización de estudios especiales del proceso.
Correlación	.- Índice estadístico que representa el grado de relación entre dos variables. Se dice que la correlación es muy fuerte si la dispersión de los datos es baja y que la correlación es débil e incluso nula si la dispersión es alta.

Costos de calidad evitables	.- Costos asociados a los errores cometidos durante el proceso, desde que el producto empieza a ser elaborado hasta que es recibido por el consumidor.
Costos de calidad inevitables	.- Aquellos en los que se incurre para mantener los costos por fallas internas y externas en un nivel bajo, y se dividen en costos de evaluación y costos de prevención.
Costos de calidad por evaluación	.- Costo de todas las actividades que se tienen que realizar para detectar errores cometidos durante el proceso, para que no lleguen al consumidor.
Costos de calidad por prevención	.- Son los costos que realizan para ayudar a mejorar los niveles de calidad mediante una orientación preventiva.
Costos por fallas externas	.- Costos asociados a los errores que ocurren desde el inicio del envío del producto hasta que es recibido por el consumidor.
Costos por fallas internas	.- Costos asociados a los errores que se comenten desde que inicia la fabricación hasta antes de ser enviado el producto al mercado, a estos errores se les conoce como fallas internas.
Cronograma	.- Descripción de las actividades en relación con el tiempo en el cual se van a desarrollar.
Cultura de calidad	.- Es el conjunto de valores y hábitos que, complementados con el uso de prácticas y herramientas de calidad en el actuar diario, permite a los miembros de una organización contribuir a que ésta pueda afrontar los retos que se le presenten en el cumplimiento de su misión.
Curva	.- Línea cuya curvatura cambia gradualmente de punto a punto.
Definición de variables	.- Es el enunciado de la variable a medir, en razón de sus dimensiones, indicadores e índices.
Desviación	.- Variación del procedimiento o los resultados normales.
Diagrama causa-efecto	.- Estos diagramas reciben también el nombre de su creador, Ishikawa; y en algunos casos también el de "espina de pescado" por la forma que adquieren. Son una manera gráfica de representar el conjunto de causas potenciales que pudieran estar provocando el problema bajo estudio o influyendo en una determinada característica de calidad. Se utilizan para ordenar los resultados de un proceso de "lluvia de ideas", al dar respuesta a alguna pregunta inicial que se plantea el grupo que está realizando el análisis.
Diagrama de afinidad	.- Es un método que usa la afinidad entre palabras relacionadas con el asunto bajo análisis, de una manera parcial o gradual con el fin de entender sistemáticamente a estructura del problema. Utiliza palabras que expresan hechos, predicciones, ideas, opiniones, etc., similares con respecto a situaciones complejas o que no han sido experimentadas. En general podemos decir que ayuda a clarificar problemas importantes aún no resueltos al recolectar datos verbales de situaciones confusas y desordenadas, que al ir las analizando se van encontrando similitudes. Se le conoce también como método KJ.

Diagrama de dispersión	.- Es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre dos variables. Por ejemplo, entre una característica de calidad y un factor que le afecta, o entre dos características de calidad relacionadas, o entre dos factores relacionados con una sola característica de calidad. Permiten una comprensión más profunda del problema planteado.
Diagrama de flechas	.- Es una herramienta utilizada para programar las actividades necesarias para el cumplimiento de una tarea compleja en el menor tiempo posible, controlando el progreso de cada actividad. Tiene como objetivos determinar el tiempo óptimo de ejecución de un proyecto, identificar las actividades necesarias para el cumplimiento del tiempo mínimo, hacer un plan completo y detallado, revisar el plan en la etapa de planeación y juzgar cuáles son las prioridades del proyecto.
Diagrama de Pareto	.- El diagrama de Pareto es una de las herramientas utilizadas en programas de mejoramiento de la calidad para identificar y separar en forma crítica los pocos proyectos que están siendo causa de la mayor parte de los problemas de calidad. Deben su nombre al economista italiano del siglo XVIII Wilfredo Pareto, quien observó que el 80% de la riqueza de una sociedad estaba en manos del 20% de las familias.
Diagrama de relaciones	.- Es una herramienta que ayuda a visualizar la relación lógica que existe entre una serie de problemas, actividades o departamentos encadenados como causas y efectos. Estas relaciones se simbolizan mediante flechas dirigidas de la causa al efecto, en donde los factores críticos son aquellos que tienen más flechas saliendo o entrando de ellos. Estos diagramas son utilizados cuando los integrantes de un equipo quieren llegar a un consenso para que las decisiones que se tomen sean apoyadas más fácilmente por las relaciones mostradas entre los factores.
Diagrama sistemático o de árbol	.- El diagrama sistemático representa eventos en forma de un árbol con sus ramas. Este tipo de diagramas ha sido utilizado para representar árboles genealógicos y esquemas organizacionales desde hace mucho tiempo. Este método busca las técnicas que sean más apropiadas para el logro de los objetivos establecidos, para ir aclarando los aspectos más importantes de un problema en forma sistemática. Cuando se tienen los métodos para lograr los objetivos seleccionados son necesarios otros métodos secundarios para lograr los primeros. el diagrama sistemático aclara lo esencial del problema y despliega los medios o modos necesarios para lograr metas y objetivos específicos.
Diagramas matriciales	.- Sirven para clarificar situaciones problemáticas mediante el uso del pensamiento multidimensional. El diagrama matricial es usado para representar la relación que existen entre los resultados y sus causas, o entre los objetivos y los métodos para lograrlos. Los factores en cuestión se acomodan en filas y columnas, identificando las relaciones entre los elementos donde ellos se interceptan. De esta forma el problema se aclara y se facilita la búsqueda de soluciones.
Diseño de experimentos	.- (DOE por sus siglas en inglés) Conjunto de técnicas activas que manipulan el proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo. Técnicas estadísticas y de ingeniería que permiten lograr la máxima eficacia de los procesos de producción al menor costo.

Distribución	.- Gráfico o tabla que muestra las frecuencias de cada valor en una serie de datos.
Error	.- Desviación de una medida en relación con el valor real de lo que se mide.
Error tipo I	.- Es cuando se rechaza H_0 siendo que esta es verdadera.
Error tipo II	.- Es cuando se acepta H_0 siendo que esta es falsa.
Estándar	.- Todo aquello que determina un modelo o guía respecto a un procedimiento y que es empleado como comparación y valoración cuantitativa de datos de la misma especie.
Estratificación	.- Procedimiento que permite distinguir los diferentes estratos de donde proviene la información por medio de colores o símbolos haciendo esta información útil para un análisis complementario o posterior.
Experimento	.- Observación o serie de observaciones emprendidas con fines científicos y en las cuales ciertas condiciones se disponen cuidadosamente, para descubrir relaciones o principios específicos.
Factores controlables	.- Son variables de proceso que se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación.
Factores estudiados	.- Son las variables que se investigan en el experimento para observa cómo afecta o influyen en la variable de respuesta.
Factores no-controlables	.- Son variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso como la luz, temperatura, humedad ambientales.
Frecuencia	.- Intensidad o puntaje con el cual se registra un fenómeno o hecho sobre el cual se aplica un determinado instrumento.
Función	.- Cantidad variable, cuyo valor está determinado en cualquier caso por el valor de una o más variables.
Grado de error	.- Riesgo o probabilidad de error que se corre al aplicar los resultados de la muestra a la población.
Gráfico	.- Representación de la relación de dos o más variables mediante líneas curvas o quebradas. Representación visual de datos estadísticos.
Grupo	.- Reunión de elementos con características y propiedades similares que pueden tratarse como un todo. Suma de unidades de población determinadas para un experimento. Sistema con una relación de interacción binaria fuertemente conectada; todas las uniones están directamente conectadas entre sí.
Hipótesis	.- Enunciado de una relación entre dos o más variables sujetas a una prueba empírica. Proposición enunciada para responder tentativamente a un problema.
Hipótesis alterna	.- Es aquella hipótesis estadística planteada como una diferencia en torno a una distribución de probabilidad. Se le identifica como H_A .

Hipótesis estadística	.- Es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso que puede probarse a partir de la información contenida en una muestra.
Hipótesis nula	.- Es aquella hipótesis estadística planteada como una igualdad en torno a una distribución de probabilidad. Generalmente se le identifica como H_0 .
Histograma	.- Representación gráfica de la distribución de frecuencias de un conjunto de datos que permite conocer la variabilidad propia del proceso del que provienen.
Ingeniería de calidad	.- Conjunto de técnicas que se dividen en línea y fuera de línea. Las actividades en línea se enfocan al área de manufactura, control, corrección de procesos y mantenimiento preventivo. Las actividades fuera de línea se encargan de la optimización del diseño de productos y procesos.
Ingeniería del valor	.- También conocida como análisis del valor, es una técnica que se utiliza para evaluar el diseño de un producto asegurando que las funciones esenciales de éste se proporcionen al menor costo global posible, tanto para el fabricante como para el usuario. El análisis del valor presente asegura que el producto tenga justo las características que necesita el consumidor, pero ninguna adicional que pueda incrementar el costo del producto con funciones a las que el usuario no asigna valor.
Inspección	.- Actividad orientada a la detección y solución de los problemas generados por la falta de uniformidad y de cumplimiento con las especificaciones del producto.
Investigación	.- Forma sistemática y técnica de pensar que emplea instrumentos y procedimientos especiales con miras a la resolución de problemas o adquisición de nuevos conocimientos.
"Kai-zen"	.- Término que en japonés significa mejoramiento en todos los aspectos de la vida, se fundamenta en el uso constante y permanente, en todas las actividades de la organización, del círculo de control que Deming utilizó para explicar en forma amplia la teoría del control de procesos de Shewhart.
Liderazgo para la calidad	.- Compromiso de la administración para ejercer un liderazgo efectivo para que la compañía cumpla con su misión y visión mediante la implantación y operación de un programa de calidad, considerando los valores corporativos en los que ellos creen, sobre la base de tener constancia en la planeación de la competitividad para lograr un crecimiento rentable.
Manufactura integrada por computadora	.- Idea que integra todos los aspectos de la manufactura en un solo sistema automatizado. La integración incluye desde el diseño, almacenamiento, fabricación, ensamble, inspección y manejo de materiales. Una computadora central controla todas las operaciones en las diferentes estaciones de trabajo, almacenamiento e inspección, de las que captura información relacionada con los tiempos de proceso y la secuenciación de operaciones por lo que es posible extender la automatización hasta la administración de la operación y la generación de la información económica y financiera necesaria para la toma de decisiones administrativas.

Mejoramiento continuo	.- (ver "Kai-zen").
Modelo	.- Aproximación teórica a lo real, por medio de la cual los postulados y suposiciones conceptuales pueden ser aplicados a la realidad. Intento de sistematización y descripción de lo real, en función del presupuesto teórico.
Muestreo	.- Instrumento de gran validez en la investigación, con el cual el investigador selecciona las unidades representativas, a partir de las cuales obtendrá los datos que le permitirán extraer inferencias acerca de una población sobre la cual se investiga.
Objetivo	.- Dato de posible comprobación por parte del investigador. El objetivo en la investigación es el enunciado claro y preciso de las metas que se persiguen.
Objetivos de mejoramiento	.- Los objetivos de calidad tienen que ser parte del plan del negocio. Las personas y departamentos deberán establecer objetivos de mejora y una unidad de medición para ellas.
Parámetros	.- Características que mediante su valor numérico describen a un conjunto de elementos o individuos.
Planeación estratégica de la calidad	.- Procesos basados en el enfoque total de sistemas que utiliza información resultado del análisis de las expectativas y necesidades de los clientes, los competidores y los grupos de interés e influencia de la compañía, para definir estrategias de valor al cliente y políticas de calidad que deben ser desplegadas a través de toda la organización. El cambio planeado y administrado para lograr la misión, se hará mediante la identificación de los factores de éxito y procesos críticos.
Población	.- Totalidad del fenómeno a estudiar. Grupo de entidades. Personas o elementos cuya situación se está investigando. (Ver universo).
Población finita	.- Es aquella en la que se pueden medir todos los individuos para tener un conocimiento exacto de sus características.
Población infinita	.- Es aquella en la que la población es grande y es imposible e incosteable medir todos los individuos.
Prevención de defectos	.- Los defectos potenciales y las quejas deberán ser anticipados. La remoción de las causas de error deberá realizarse después de la identificación de los problemas que evitan se pueda realizar trabajo libre de error. La noción básica detrás del control es prevención de la recurrencia de errores.
Problema	.- Es una desviación entre lo que se espera esté sucediendo y lo que realmente sucede con la importancia suficiente para justificar una corrección del proceso.
Proceso	.- Consiste en la interacción apropiada de personas con máquinas para realizar las actividades necesarias para transformar los insumos de un producto o servicio con un valor agregado.
Proceso de deducción	.- Es cuando las consecuencia derivadas de la hipótesis pueden ser comparadas con los datos.

Proceso de inducción	.- Es aquel en el que las consecuencias de la hipótesis original y los datos no están de acuerdo; es entonces que se inicia este proceso para cambiar tal hipótesis.
Producto	.- Todo lo que se obtiene como resultado o salida de un proceso, en el que interactúan maquinaria, equipo, procedimientos de trabajo, habilidades humanas y políticas administrativas para transformar los insumos en producto. Las cualidades de un producto pueden ser tangibles, como sus características físicas o sus propiedades químicas; o intangibles, como su apariencia estética, la rapidez con que fue entregado, el servicio proporcionado por el vendedor, etcétera.
Proceso de producción	.- Es la secuencia de operaciones, movimientos e inspecciones por medio de la cual las materias primas se convierten en producto terminado listo para enviarlo al siguiente proceso o al cliente. Una forma de detallar el proceso de producción es mediante el uso del diagrama de flujo del proceso, en el cual se utiliza simbología estándar para presentar la secuencia de operaciones que se tienen que realizar en el proceso.
Prueba	.- Criterio o procedimiento que se utiliza para evaluar y determinar la validez de los instrumentos con que se va a probar una hipótesis, por medio de la demostración empírica o del razonamiento. Examen para determinar la validez y exactitud de las conclusiones a que se ha llegado en la investigación.
Repetición	.- Es correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores.
Siete herramientas básicas	.- Conjunto de herramientas básicas para el control de la calidad utilizado para la solución de problemas mediante trabajo en equipo, y son: histograma, diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto (también conocido como Ishikawa), hojas de comprobación o de chequeo, gráficas de control, diagramas de dispersión y estratificación.
Siete nuevas herramientas administrativas	.- Conjunto de técnicas en general más del tipo cualitativo y de uso más complejo que las básicas. Sirven para apoyar la función de liderazgo de la calidad, mientras que las herramientas básicas son más para uso en problemas operativos. Son: diagrama de afinidad y método KJ, diagrama de relaciones, diagrama de árbol, diagramas matriciales, matriz de análisis de datos, gráfica de programación de decisiones de proceso y diagrama de flechas.
Sistema	.- Conjunto integrado y coordinado de personas, conocimiento, habilidades, equipo, maquinaria, métodos, procesos, actividades, etc., cuyo fin es que la organización cree valor para el cliente y los grupos de interés e influencia.
Sistemas poka-yoke	.- Consisten en la creación de elementos que detecten los defectos de producción y retroalimenten en forma inmediata para ir a la raíz del problema (inspección en la fuente) y evitar que vuelva a ocurrir de nuevo. Es necesario incluir un "poka-yoke" (lista de chequeo o mecanismo) en la operación, de tal forma que si la personal olvida algo, el accesorio señale el hecho y prevenga la ocurrencia de errores.

SMED	.- (cambio rápido de herramental). Concepto orientado al mejoramiento de la productividad y la flexibilidad de la operación a través de una disminución del tiempo de preparación de un proceso, y que funciona óptimamente si se cuenta con un proceso de "cero-defectos", para lo cual propone la creación de sistemas poka-yoke (a prueba de errores).
Tabla	.- Serie de conjuntos de números, valores o unidades relacionadas entre sí, los cuales se presentan en columnas para facilitar sus relaciones, comparaciones o referencias.
Universo	.- (Ver población). Totalidad de elementos o fenómenos que conforman el ámbito de un estudio o investigación. Población total de la cual se toma una muestra para realizar una investigación.
Valor al cliente	.- Proceso mediante el cual las empresas identifican a sus clientes y necesidades, para sí desarrollar procesos y estrategias que permitan ofrecerles valor a través de sus productos y servicios, logrando que sea percibido por los consumidores.
Valor apreciado	.- Cuando en el concepto de valor se involucran aspectos no cuantificables, éste debe considerarse como un valor apreciado que se define como la diferencia entre los beneficios percibidos menos los sacrificios realizados para la obtención de los primeros. Esta diferencia puede ser ponderada por el factor de relación o imagen que el consumidor tiene con respecto al proveedor.
Valor económico	.- Se define en términos del beneficio económico que aportará el producto al usuario, menos el costo total de ciclo de vida del producto.
Variable	.- Cantidad que se suele denotar por una letra en las ecuaciones algebraicas y que puede tomar un valor cualquiera dentro de un intervalo de valores posibles. Pueden efectuarse cálculos sobre variables porque hay ciertas reglas que ese aplican a todos los posibles valores.
Variable de respuesta	.- Es la característica del producto cuyo valor interesa mejorar mediante el diseño de experimentos
Variable dependiente	.- Es la variable que se presenta como consecuencia de una variable antecedente, generalmente la independiente.
Variable independiente	.- Es la variable que se presenta como causa y condición de la variable dependiente. Es la manipulada por el investigador.
Variación	.- Desviación del tipo establecido. Cambio o alteración de un dato en un aspecto específico.
Verificación	.- Reunión de pruebas empíricas que demuestran y confirman una hipótesis. La presencia de hechos o fenómenos que confirman o están de acuerdo con las predicciones basadas en la hipótesis que se trata.

ANEXO D.- Presupuesto Estimado

Notas.

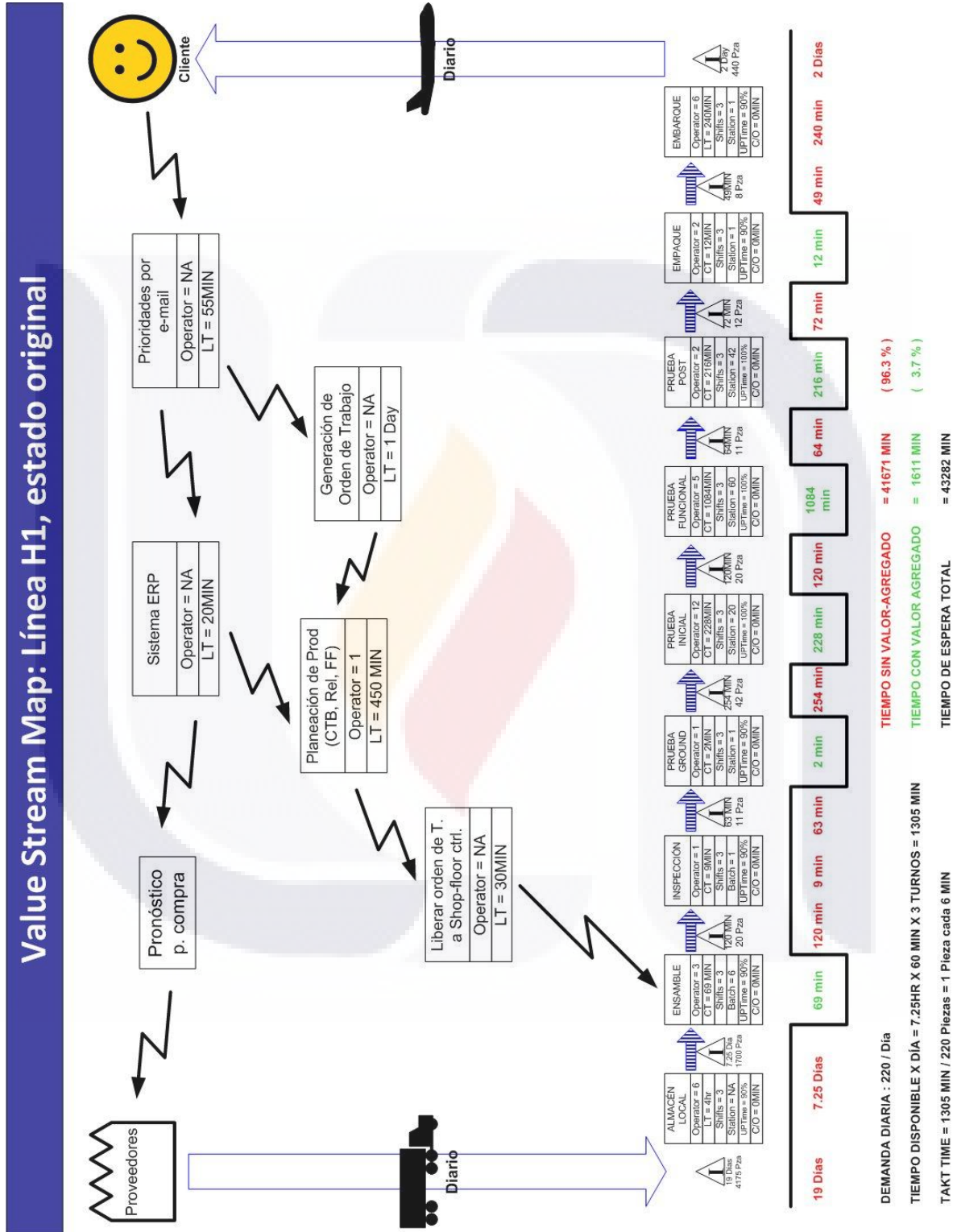
- a) El presupuesto presentado en este anexo representa un estimado inicial.
- b) Los costos unitarios están dados en dólares americanos.
- c) Nótese que hay rubros identificados como "A.S.D.". Esto significa, "A Ser Definidos".
- d) Puesto que es una estimación inicial, el valor final de la investigación se incrementará.

CUADRO D.- Presupuesto programado de la investigación.

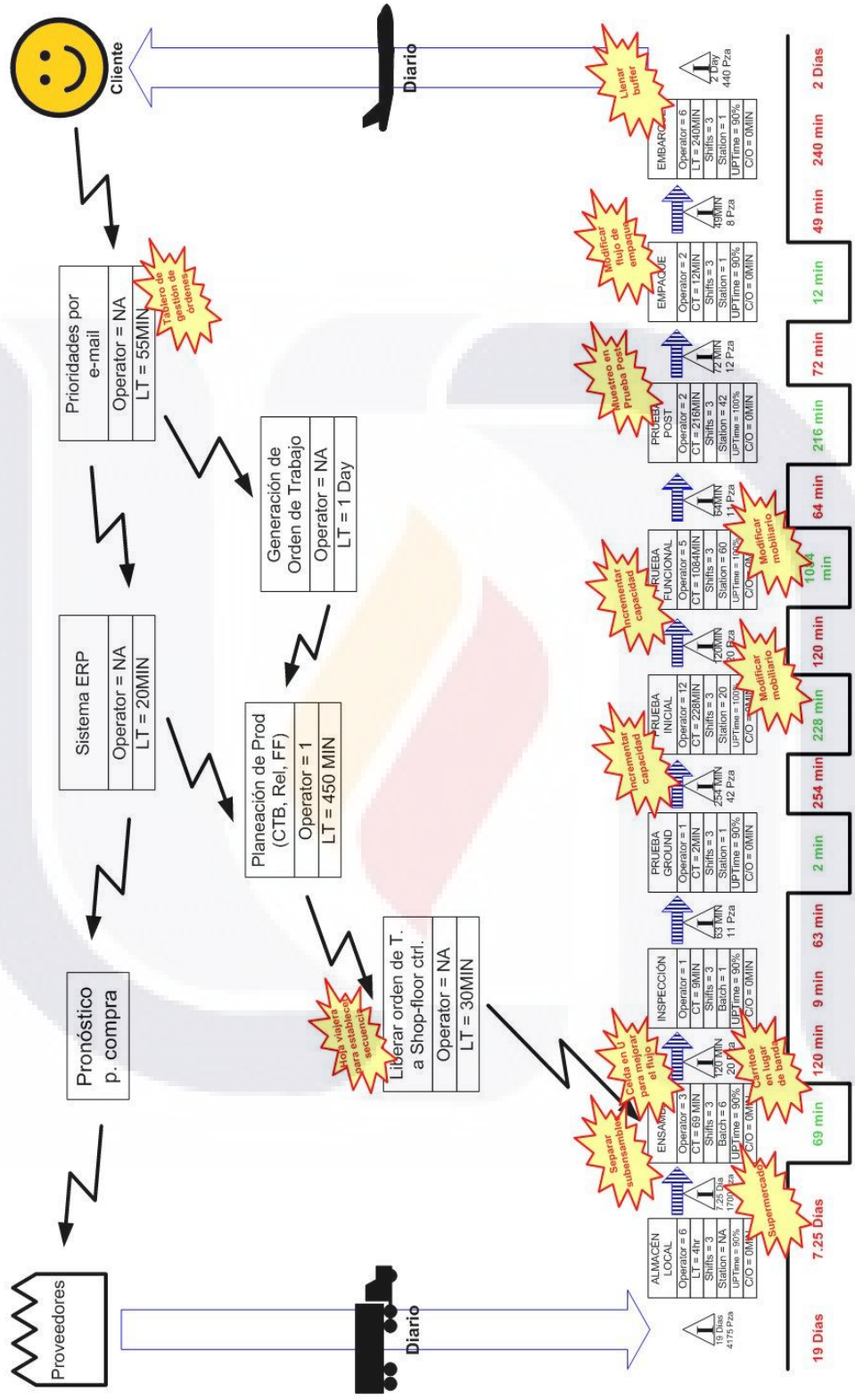
Item	Descripción	Costo Unitario	Unidad	Cantidad	Costo Extendido
1	Maestría	235.00	Mes	24	5,640.00
2	Materiales didácticos	50.00	Jgo.	1	50.00
3	Tiempo Investigación	10.00	Hora	224	2,240.00
6	Asesor	A.S.D.	Hora	A.S.D.	-
7	Impresión informe final	35.00	Jgo.	8	280.00
8	Patente	A.S.D.	Pza	A.S.D.	-
9	Difusión posterior	A.S.D.	Pza	A.S.D.	-
					\$ 8,210.00

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE AGUASCALIENTES

ANEXO E.- Value-Stream Map (Estado original y resultante, líneas H1 y O2)

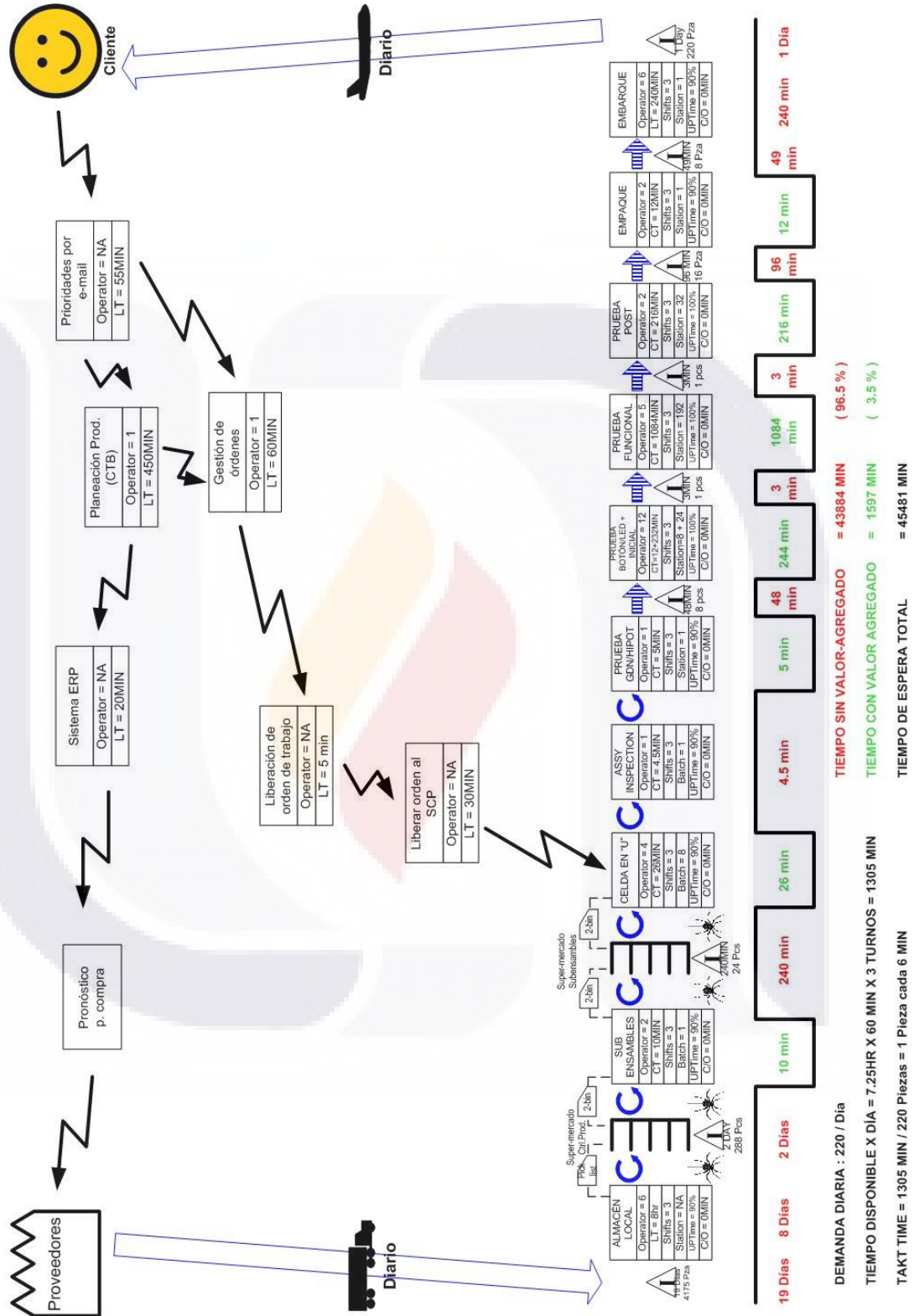


Value Stream Map: Línea H1, estado original, Kaizen starbursts indicados

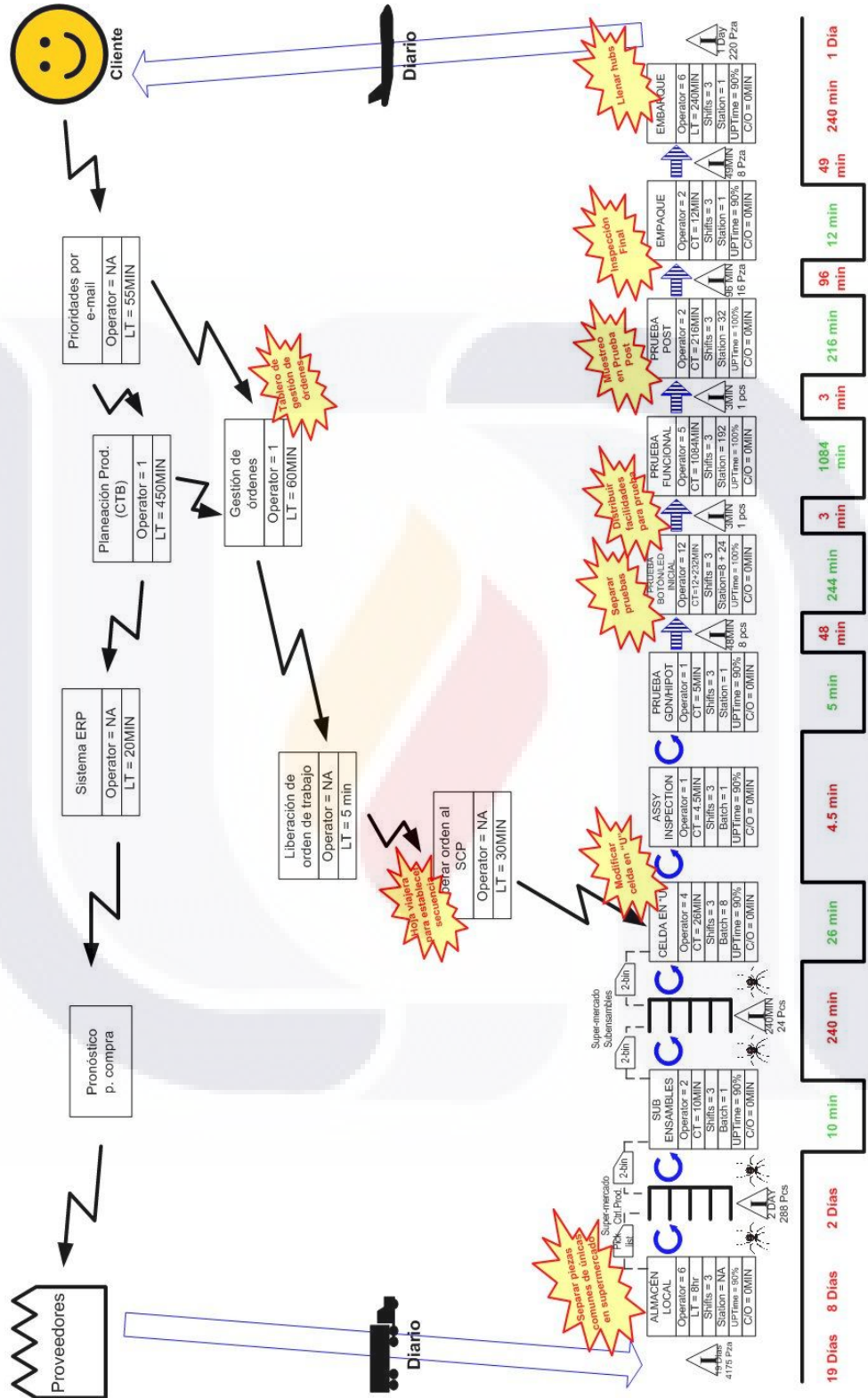


DEMANDA DIARIA : 220 / Día
TIEMPO DISPONIBLE X DÍA = 7.25HR X 60 MIN X 3 TURNOS = 1305 MIN
TAKT TIME = 1305 MIN / 220 Piezas = 1 Pieza cada 6 MIN
TIEMPO SIN VALOR-AGREGADO = 41671 MIN (96.3 %)
TIEMPO CON VALOR AGREGADO = 1611 MIN (3.7 %)
TIEMPO DE ESPERA TOTAL = 43282 MIN

Value Stream Map: Línea O2, estado original

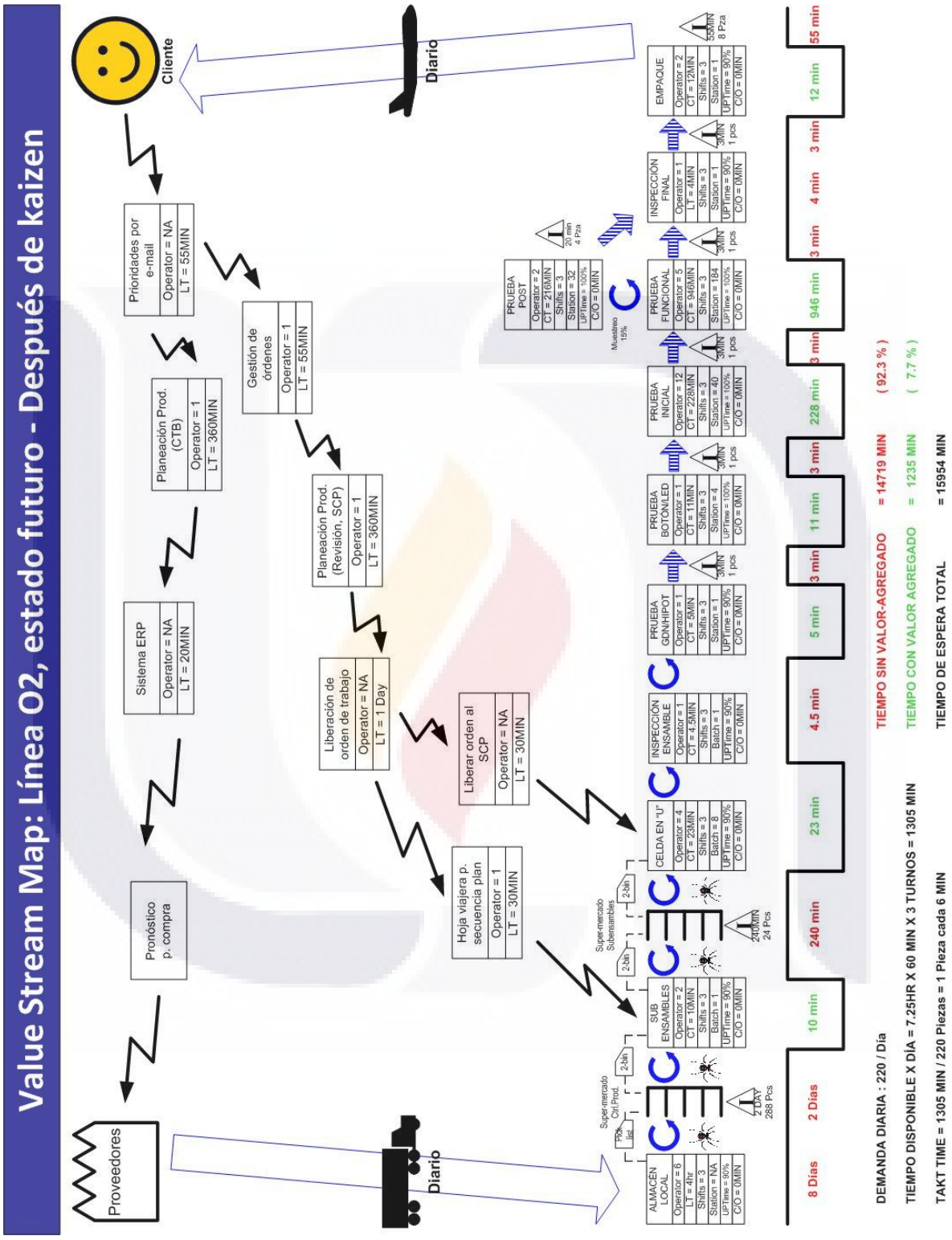


Value Stream Map: Línea O2, estado original, Kaizen starbursts indicados



DEMANDA DIARIA : 220 / Día
 TIEMPO DISPONIBLE X DÍA = 7.25HR X 60 MIN X 3 TURNOS = 1305 MIN
 TAKT TIME = 1305 MIN / 220 Piezas = 1 Pieza cada 6 MIN

TIEMPO SIN VALOR-AGREGADO = 43884 MIN (96.5 %)
 TIEMPO CON VALOR AGREGADO = 1597 MIN (3.5 %)
 TIEMPO DE ESPERA TOTAL = 45481 MIN



ANEXO F.- Diagramas de espagueti (Estado original y resultante, líneas H1 y O2)

Diagrama de Espagueti: Línea H1 estado original

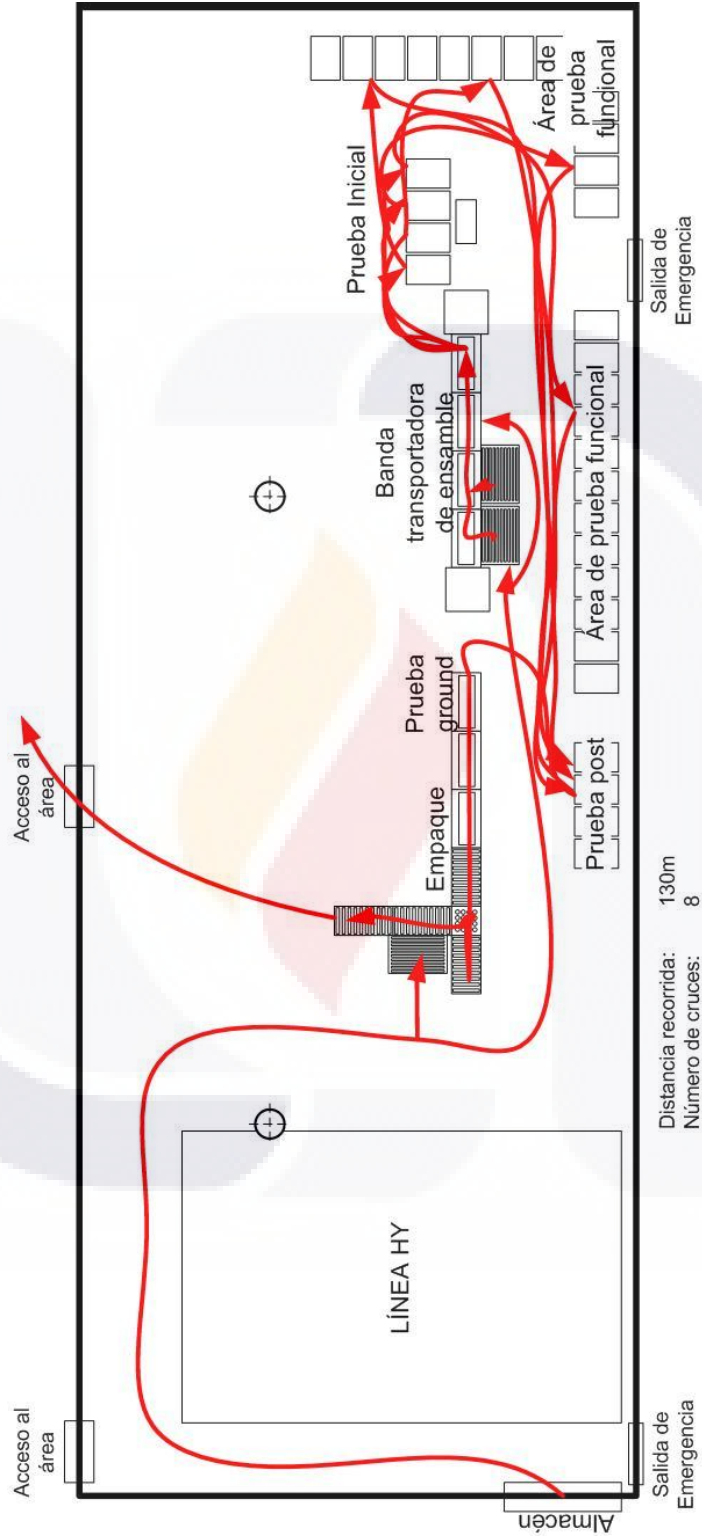


Diagrama de Espaguete: Línea H1 después de kaizen

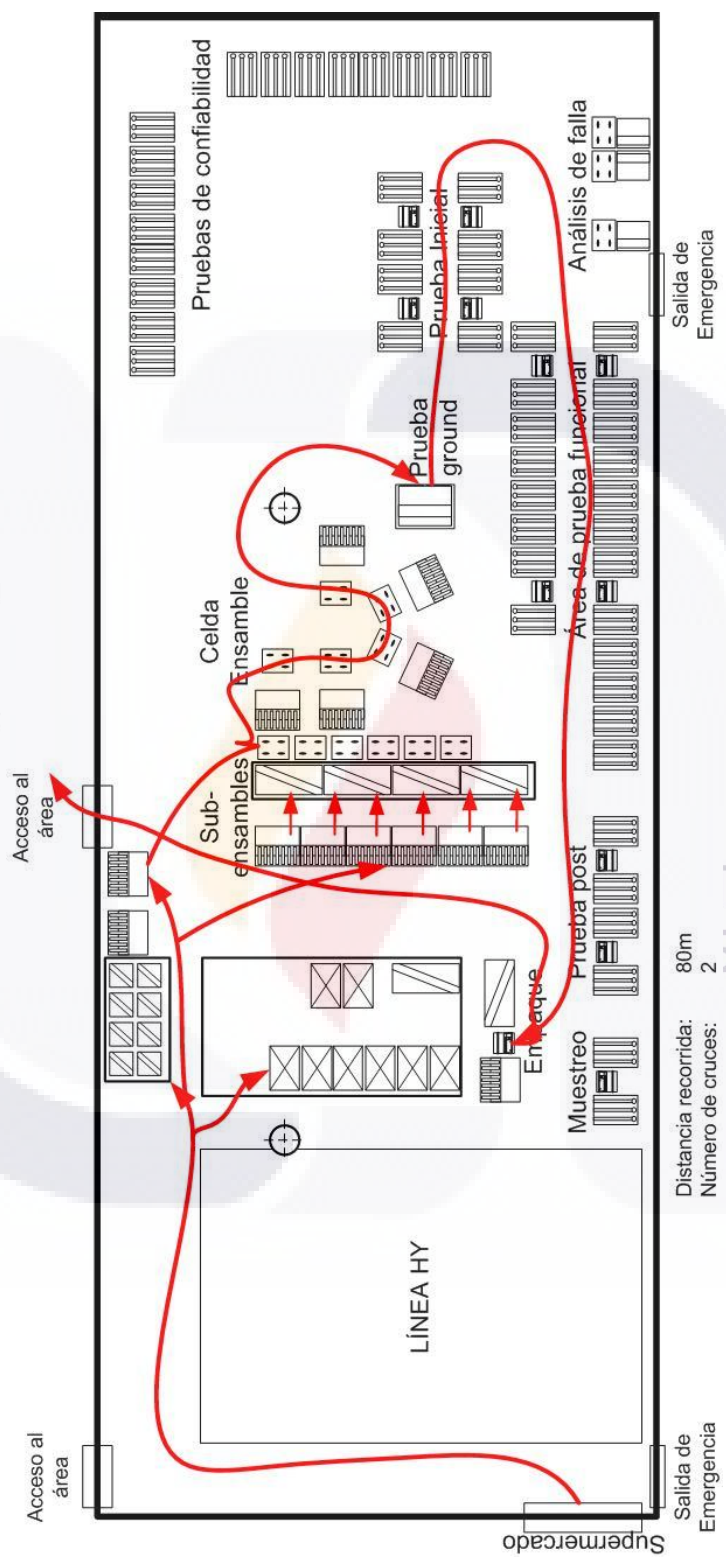
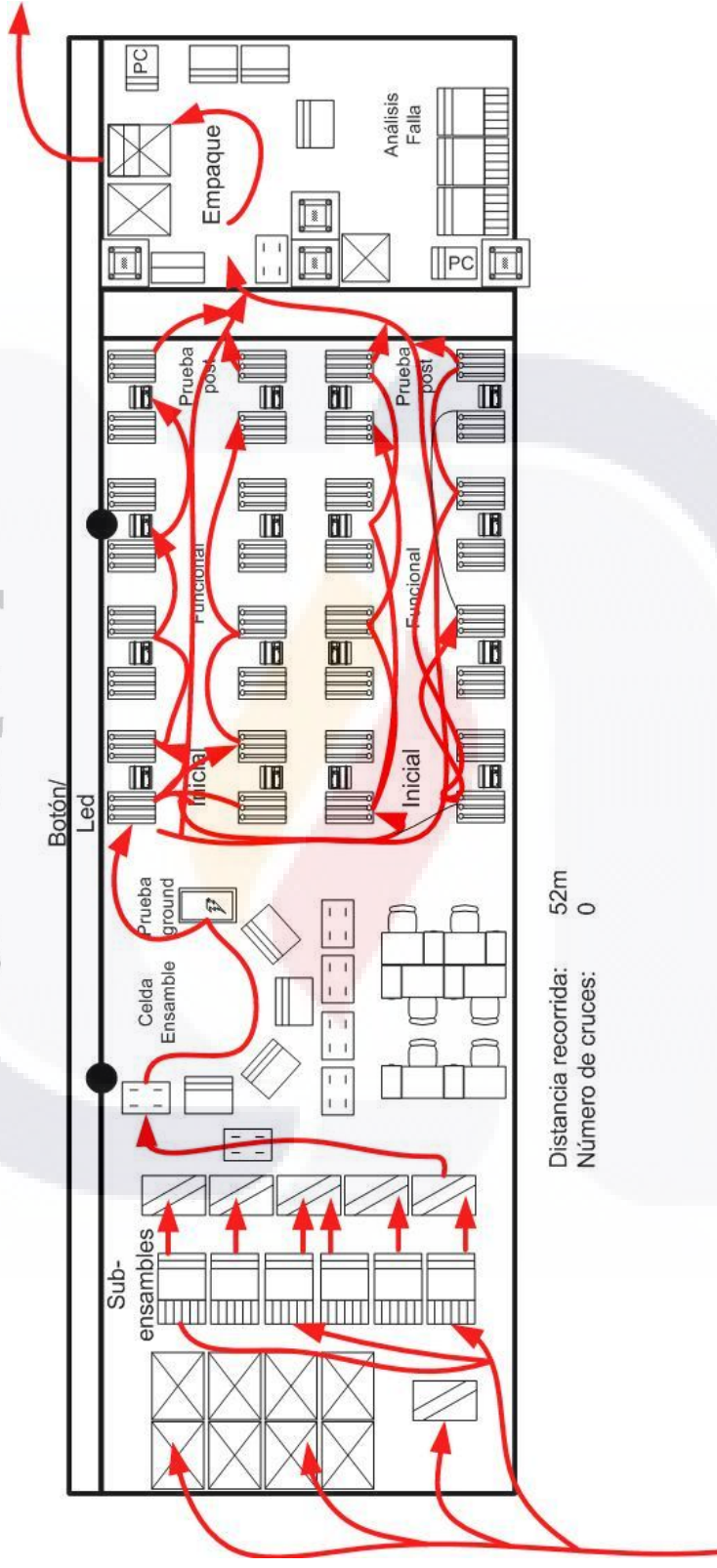
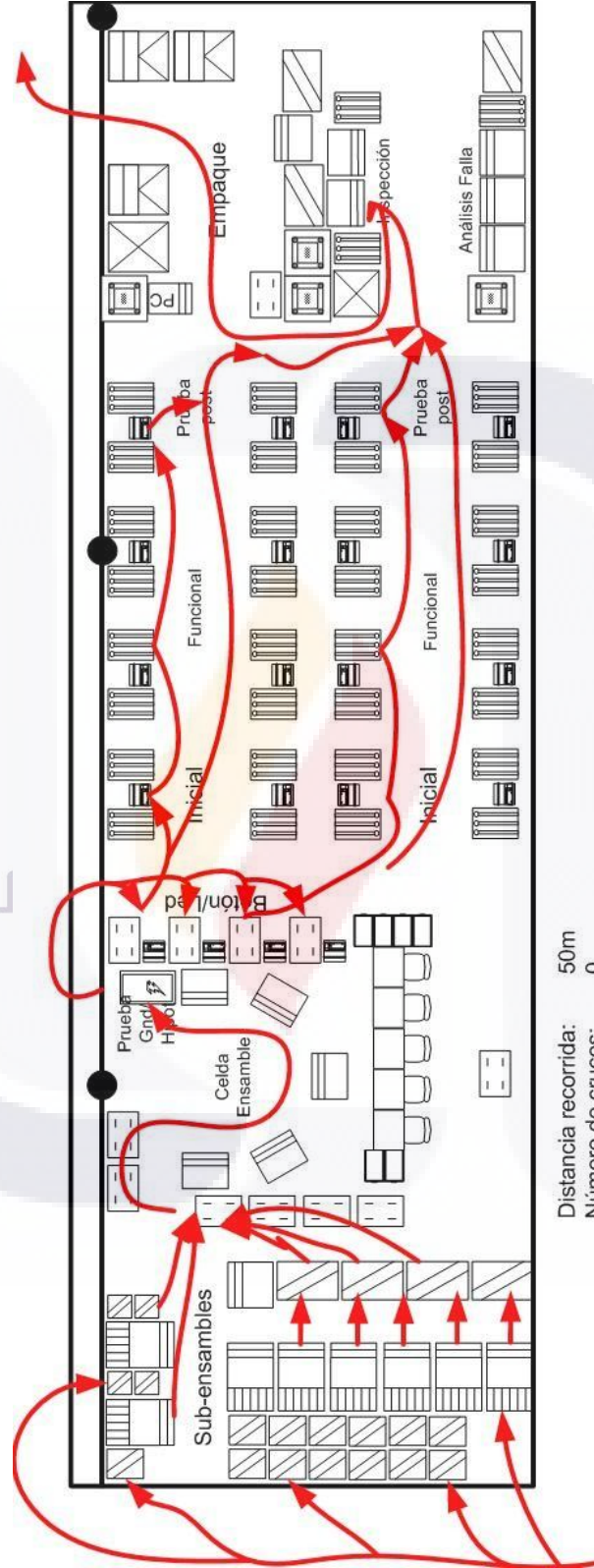


Diagrama de Espagueteri: Línea O2 estado original



Distancia recorrida: 52m
Número de cruces: 0

Diagrama de Espaguetti: Línea O2 después de kaizen



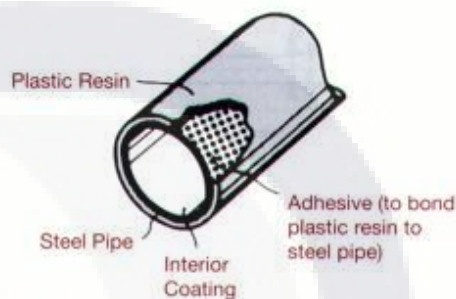
TECHNICAL SPECIFICATIONS

Creform Standard Pipe

Creform Pipe is steel pipe with an ASA resin coated outer surface. Adhesive bonds the resin to the pipe preventing separation. The inner surface is treated with a noncorrosive coating.

Creform Pipe Specifications

Material	Steel pipe [Cold-rolled steel, SPCC-1 approx. 0.7mm (0.03") thick, 28mm; 0.9mm (0.04") thick, 32mm] plastic resin coating.
Outside Diameter	28mm (1.10"), nominal 32mm (1.26"), nominal
Weight	28mm, Approx. 520g/m (5.5ozs./ft.); 32mm Approx. 740g/m (7.8ozs./ft.)
Length	2.5m (8' 2") 3.0m (9' 10") 4.0m (13' 1")
Gage	28mm No. 23 32mm No. 21



SECTION B

Creform Standard Joints

Two types of joints are available: plastic joints and metal joints.

Creform Plastic Joint Specifications

Material	Plastic Resin
Weight	Average 40g/piece



Creform Metal Joint Specifications

Material	Steel
Color	Black Chromate
Gage	No. 12



TECHNICAL SPECIFICATIONS

SECTION B

Determining Standard Pipe Lengths

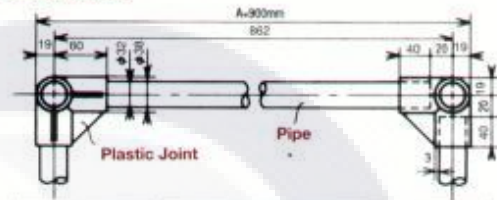
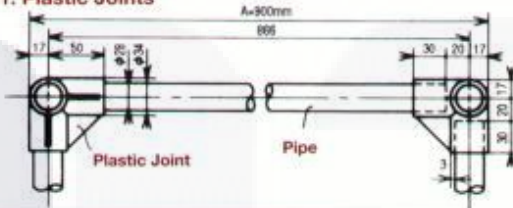
The following is true for most Creform joints. Please check the catalog for exact dimensions of an individual joint.

ø 28mm

ø 32mm

1. Plastic Joints

1. Plastic Joints

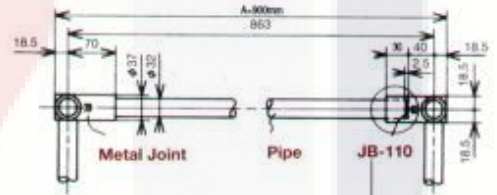
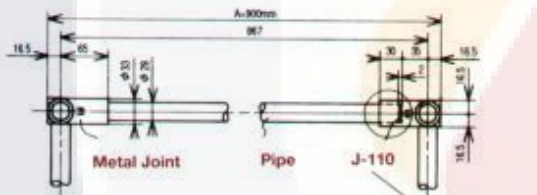


900mm	Outer Measurement A
-34mm	Joint Radius x 2
-40mm	Pipe Length Inside Joint (20mm x 2)
826mm	Pipe Length

900mm	Outer Measurement A
-38mm	Joint Radius x 2
-40mm	Pipe Length Inside Joint (20mm x 2)
822mm	Pipe Length

2. Metal Joints

2. Metal Joints



Note:
J-110 is for use when moisture will be present. In cases where J-110 is not used, add 4mm to the total pipe length.

Note:
JB-110 is for use when moisture will be present. In cases where JB-110 is not used, add 5mm to the total pipe length.

900mm	Outer Measurement A
-33mm	Joint Radius x 2
-70mm	Pipe Length Inside Joint (35mm x 2)
-4mm	J-110 Thickness (2mm x 2)
793mm	Pipe Length

900mm	Outer Measurement A
-37mm	Joint Radius x 2
-80mm	Pipe Length Inside Joint (40mm x 2)
-5mm	JB-110 Thickness (2.5mm x 2)
778mm	Pipe Length

Conversion Chart*

mm	Inches, Dec.	Inches, Frac. Approx.	mm	Inches, Dec.	Inches, Frac. Approx.	mm	Inches, Dec.	Inches, Frac. Approx.	mm	Inches, Dec.	Inches, Frac. Approx.	mm	Inches, Dec.	Inches, Frac. Approx.
4	0.1575	3/16	33	1.2992	1-5/16	37	1.4567	1-7/16	40	1.5748	1-9/16	80	3.1496	3-1/8
5	0.1969	3/16	34	1.3386	1-5/16	38	1.4961	1-1/2	70	2.7559	2-3/4	900	35.4331	35-7/16

*Conversion factor is 25.4mm per inch.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

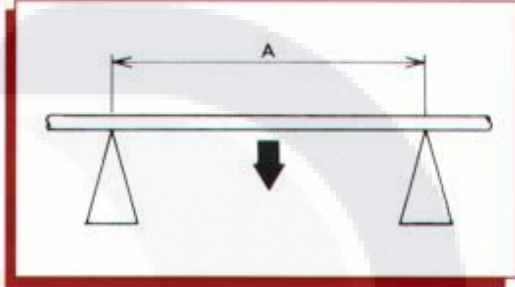
Creform Standard 28mm Pipe Strength

Experimental Conditions

- The pipe rests freely at room temperature on two supports.
- A force is applied at 1/2 A at a speed of 50mm/min.

A Dimension	Proportional Limit
450mm (1' 5")	140kg (308 lbs.)
900mm (2' 11")	70kg (154 lbs.)
1,000mm (3' 3")	58kg (128 lbs.)
1,100mm (3' 7")	52kg (115 lbs.)
1,300mm (4' 3")	46kg (101 lbs.)
1,500mm (4' 11")	38 kg (84 lbs.)
1,800mm (5' 10")	32kg (70 lbs.)

* Proportional Limit refers to the point where any further force would permanently deform the pipe.

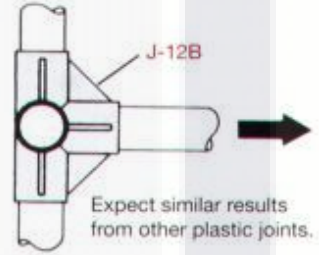


Adhesive Strength For Standard 28mm Pipes & Plastic Joints

Plastic joint J-12B was set aside for one week after bonding with Creform Adhesive. It resisted a maximum pulling force of 800kg (1,762 lbs.)

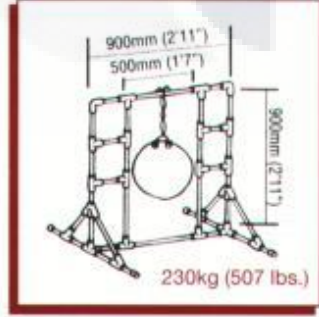
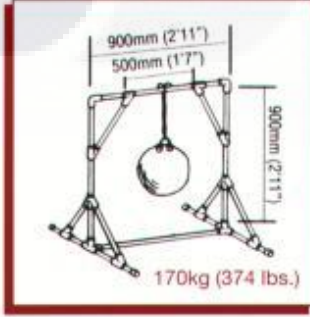
Experimental Conditions

Force Rate: 5mm/min. Temperature: Room



Expect similar results from other plastic joints.

Like other materials such as steel, aluminum and wood, the strength of Creform structures depends on the design and assembly techniques. These tests were done at room temperature, with a centralized force of 2kg/min.

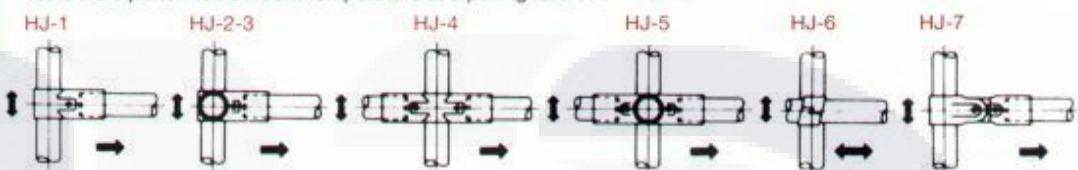


TECHNICAL SPECIFICATIONS

Metal Joint Strength For Standard 28mm Pipe

SECTION B

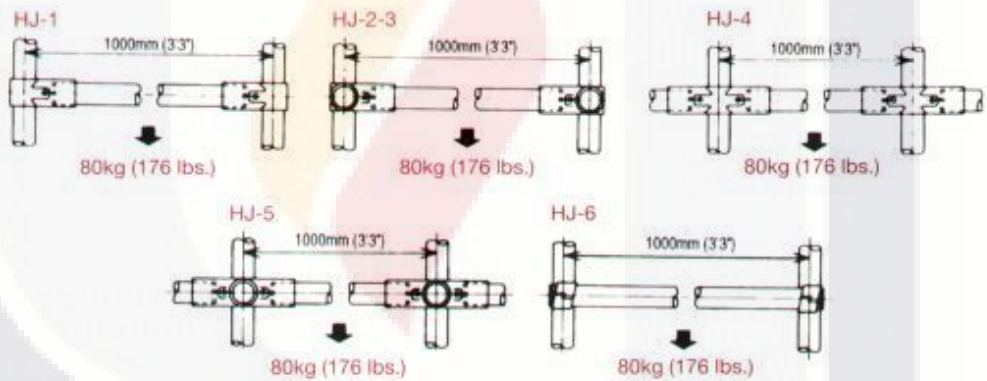
A. The holding strength of metal joints versus a horizontal or vertical pulling force is about 80kg (176 lbs.) These tests were performed at room temperature at a pulling rate of 5mm/min.



B. The amount of force a pipe can withstand before yielding, when attached by various metal joints, can be seen below.

Experimental Conditions

At room temperature, a force was applied in the center of a 1000mm (3' 3") length pipe. The force rate was 1kg/min.



C. The maximum force withstood by the shelf in this example was 200kg (440 lbs.) before slipping occurred.

Experimental Conditions

A downward force was applied evenly on a shelf at room temperature and at a rate of 3kg/min.

Note: The above examples refer to metal joints which have been attached at the recommended torque of 9.8N•m (100kg•cm or 7¼lb•ft). These results will not be duplicated with other torque values, or in cases where pipe other than Creform standard pipe is used. Also, they are actual test values without any safety factors added.

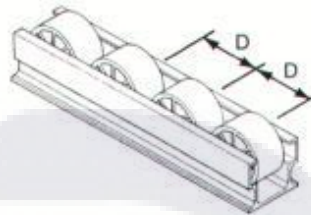
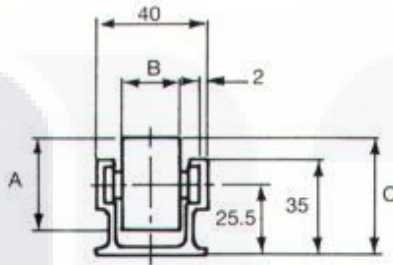


TECHNICAL SPECIFICATIONS

SECTION B

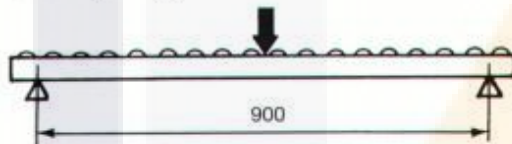
EF-2044 & EF-2045 Plastic Wheel Conveyors

A. Shape and Dimensions



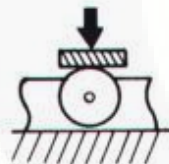
Roller	A	B	C	D
EF-2044	ø34mm	21mm	42.5mm	42mm
EF-2045	ø44mm	21mm	47.5mm	50mm

B. Bending Strength For EF-2044 & EF-2045



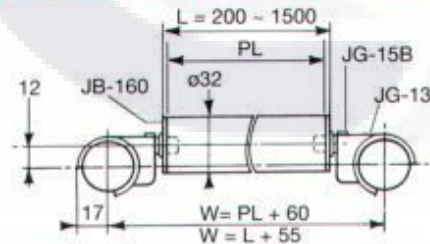
Proportional Limit Point		Yield Point	
Load	Bending Moment	Load	Bending Moment
196kg (431 lbs)	4410kg·cm (315 ^{1/4} lb·ft)	288kg (634 lbs)	6480kg·cm (463 ^{1/4} lb·ft)

C. Compression Strength of Wheel For EF-2044 & EF-2045



Proportional Limit Load	
EF-2044	EF-2045
105kg (231 lbs)	138kg (304 lbs)

Roller Conveyors Using HBG- Or HBGA- 32mm Pipe



Roller Length		Max. Loading	
mm	inch	kg	lbs.
200	8"	20	44
300	1' 0"	14	30
400	1' 4"	13	28
500	1' 8"	11	24
600	2' 0"	10.5	23
700	2' 4"	10	22
800	2' 8"	8.5	18
900	2' 11"	7.5	16
1000	3' 3"	7	15
1200	3' 11"	6	13
1500	4' 11"	5.5	12

Bearing bushings (JB-160) of roller pipes, bearing pivots (JG-15B), and holders (JG-13) are made from specially formulated plastic alloys. This unique combination assures lubrication and maintenance-free conveyance of material under normal conditions as well as in high humidity environments.

This load test was done at 5mm/minute on the roller's center. The maximum loading is given at 1/10 the breaking point for safety purposes.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

SECTION B

Creform Adhesive — PRECAUTIONS

Creform Adhesive is specifically formulated for use in fabricating structures with Creform pipes and plastic joints. When applying, please follow these PRECAUTION guidelines:

A. Keep Creform Adhesive away from children.
When not in use, please store Creform Adhesive in a cool, dark and secure place.



B. Do not use Creform Adhesive for purposes other than bonding Creform pipes and joints.



C. Because Creform Adhesive is flammable, do not use near open flames, sparks, or high heat.



D. Use Creform Adhesive in a well ventilated area.



E. Do not intentionally inhale or breathe Creform Adhesive vapors as the organic solvents it is made from may be addicting or harmful to your health.



F. If Creform Adhesive comes in contact with the skin it may cause irritation. Quickly wash the affected area with soap and warm water.



G. Creform Adhesive contains fast-drying solvents so remember to quickly replace the cap after use. Also, do not mix Creform Adhesive with other solvents or thinners.



Creform Adhesive — FOR BEST RESULTS

The following application guidelines will provide optimum bonding results and efficient structure fabrication.

A. Before applying adhesive, make sure both pipe O.D. and joint I.D. are clean.



B. A typical quantity of adhesive required for a single pipe-to-joint bond is approximately 0.7cc



C. Apply adhesive uniformly along the area to be bonded. Because the adhesive melts the pipe coating and plastic joints, make sure it is not forced out along the sides.



D. After gluing, do not move the object for at least 10-15 minutes. At room temperature, roughly 80% adhesion strength is accomplished after 24 hours.



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Metal Joints

Creform metal joints are made of cold-rolled steel and electroplated with Black Chromate for corrosion resistance. Metal joints consist of two or more H- components secured by special-purpose nuts and bolts. Metal joints connect Creform pipes to form structures.

Since the metal joints can be removed from the pipes, they enable the replacement of damaged pipes or joints without having to replace the whole structure.

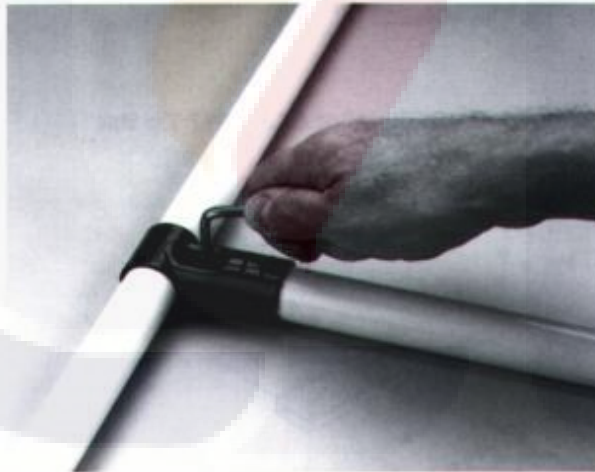
Also available are metal joints with adjustable joint opening angles.

Metal joints are superior to plastic joints in terms of vibration resistance. Metal joints are recommended for use in products that will be subject to impacts or vibration.

Always use the Creform hex wrench to tighten metal joint nuts and bolts. The standard tightening torque is 9.8N•m (100kg•cm or 7¼lb•ft).

Make sure pipes are fully inserted into joint, to insure maximum joint gripping strength.

CAUTION: Never use an extension or cheater on the hex wrench. Overtightening could collapse a pipe or deform a joint, reducing structural strength.

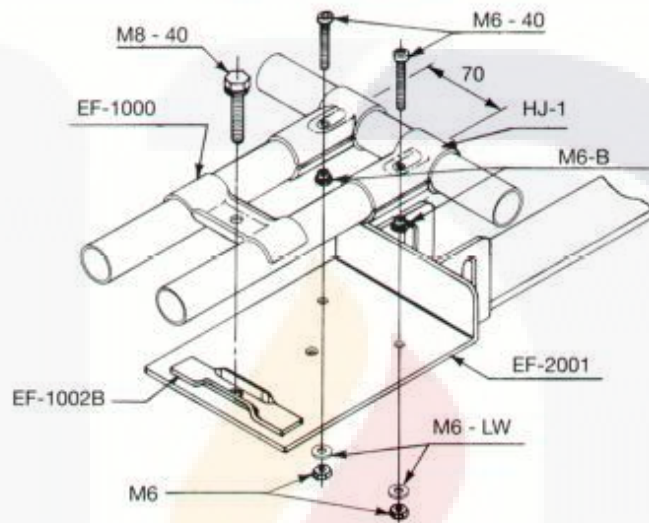


TECHNICAL SPECIFICATIONS

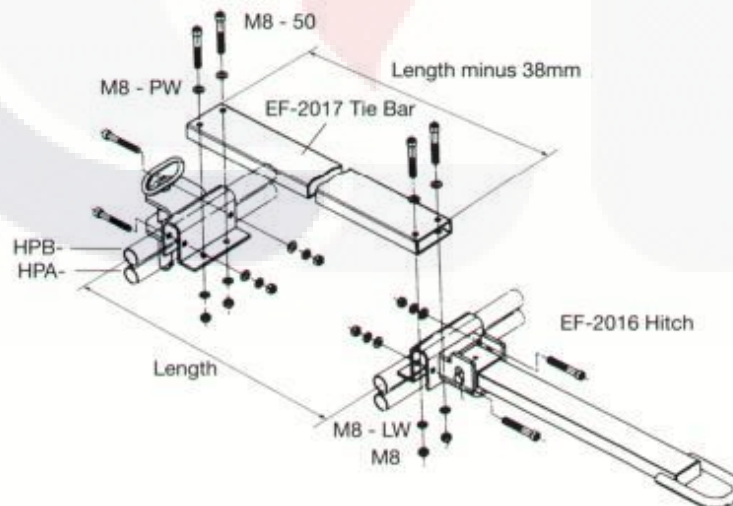
How To Assemble Hitches

SECTION B

EF-2001 Quick Release Hitch



EF-2016 Hitch Set & EF-2017 Tie Bar



B-8