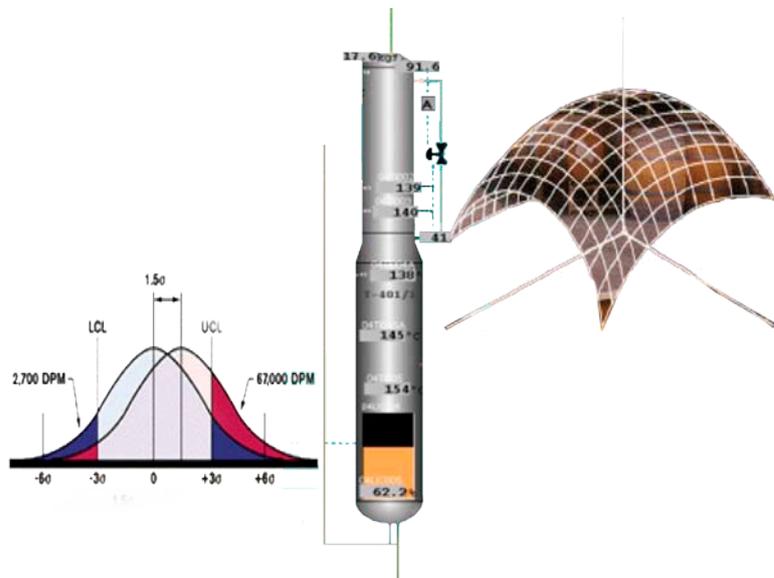


# TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO

## MASTER EN INGENIERIA INDUSTRIAL (MENCIÓN CALIDAD)

**TÍTULO:** Propuesta de mejoras al proceso Fraccionamiento Gases Sección 400 de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.



**Autor:** Ing. Yordán Pereira Medero

**Tutor:** MSc. Lázaro M. Borroto Pérez

**Curso 20012-2013**

*Pensamiento*



*Lo que sabemos es una gota de agua, lo que  
ignoramos es el océano*

*(Isaac Newton).*

*La costumbre hace más leve el trabajo*

*(Tito Livio).*

*El ignorante afirma, el sabio duda y  
reflexiona (Aristóteles).*

*Dedicatorias*



*Dedico esta tesis:*

*A mi madre Enelida, a mi padre Domingo, a mis hermanos Idolidia, Erisbel, Minel, Arnaldo y Maité, a mi abuela Elbira y Daniela, a mi Tía Beatriz y Tuta y demás familiares por ser las personas más maravillosas del planeta, por ser mi pilar fundamental, por inculcarme en los estudios, por facilitarme el camino, por cuidarme, por todo el amor y dedicación y porque todo lo que soy se lo debo a ustedes.*

# *Agradecimientos*



## *Agradecimientos*

*Hoy después de terminado mi trabajo de tesis, tuve tiempo de reflexionar en todos los factores para que esto fuera posible y detrás de cada uno se encuentra siempre alguien a quienes agradezco de todo corazón. Por lo que dedico mis más sinceros agradecimientos:*

*A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza que han depositado en mi durante estos años...*

*A mi tutor Lázaro Borroto y a Berlan Rodríguez por haberme ayudado mucho en mi formación profesional y hecho suyos la preocupación del desarrollo de este trabajo de diploma...*

*A Lidisbet Gutiérrez, Albertina y otros compañeros de proceso por haberme ayudado y haber podido contar con su apoyo en la tesis...*

*A mis compañeros de trabajo por el apoyo que me dieron...*

*A todos aquellos que aunque no los haya mencionado los tengo presente también...*

# *Resumen*



## Resumen

El presente trabajo se realizó en CUVENPETROL S.A Refinería de Cienfuegos, con el objetivo de proponer mejoras mediante la aplicación de la metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma que permita aumentar el porcentaje de rendimiento de la producción de GLP en la Planta de Fraccionamiento de los Gases de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”. La aplicación de la metodología Seis Sigma como estrategias de mejora de procesos constituye una metodología altamente sistemática y cuantitativa orientada a la mejora de la calidad del producto y del proceso. Para este fin se siguieron los pasos de dicha metodología, el cual durante su despliegue se utilizaron varios métodos de análisis estadísticos y herramientas de la Gestión de la Calidad, de manera que sea posible evaluar las posibles soluciones a partir de las causas raíces detectadas en el proceso y evaluar el impacto de la mejora en el proceso seleccionado.

Como resultado del estudio se pudo comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas, lo cual muestra reducciones radicales de los defectos por millón de oportunidades y un aumento del rendimiento en la producción de GLP de 99.99%, representando un nivel de calidad de 5.3 sigma.

El caso práctico en el que se realizó el estudio fue de gran utilidad para la mejora del proceso de Fraccionamiento de los Gases de la Refinería de Petróleo, lo que evidencia las distintas oportunidades de mejora encontradas y la necesidad de continuar aplicando la metodología Seis Sigma en el resto de los procesos claves de la Refinería de Petróleo.

## Abstract:

This work has been developed at Camilo Cienfuegos Refinery CUVENPETROL S.A with the aim of proposing improvements through the application of the methodology DMAIC as a Six Sigma improvement strategy that allows the increasing of the LPG production yield percentage at the gas fractionation plant of Camilo Cienfuegos Refinery. The application of Six Sigma methodology as a process improvement strategy is a highly systematic methodology that is quantitatively oriented to the improvement of the product and process quality. With this objective some steps in the mentioned methodology were taken, which through its development, several statistical analysis methods and quality Management tools were employed, as to be able to assess the possible solutions given the original causes detected in the process, as well as to evaluate the impact in the improvement of the process chosen.

As result of the study it was possible to compare the status of the process before and after the actions taken, which shows radical reductions in the defects per million of opportunities and an increase in the LPG production yield of 99.99%, which represents 5.3 sigma quality level.

The practical case studied was very useful for the improvement of the Gases Fractionation Process at Camilo Cienfuegos Oil Refinery, evidencing the different opportunities for the improvement that were found, as well as the need to continue the application of the methodology Six Sigma for the rest of the key processes at the Oil Refinery.

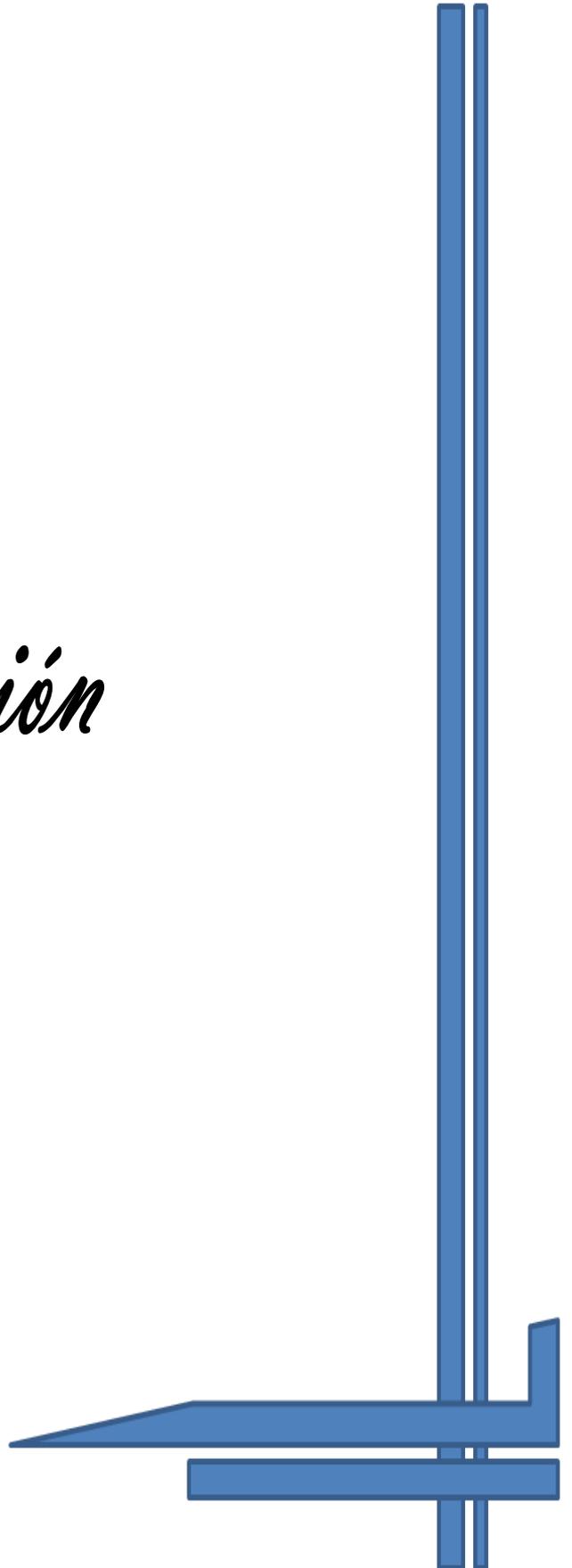
# *Índice*



<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES TEÓRICAS.....</b>	<b>18</b>
1.1 DEFINICIÓN DE CALIDAD .....	19
1.2 ENFOQUES DE CALIDAD .....	20
1.2.1 <i>Evolución de los enfoques de calidad</i> .....	23
1.3 CALIDAD TOTAL.....	24
1.3.1 <i>Los modelos de la Gestión de la Calidad Total</i> .....	26
1.4 LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS ENFOQUES PREDOMINANTES: LA SERIE NORMAS ISO.....	30
1.5 MEJORA DE PROCESOS.....	32
1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS .....	34
1.6.1 <i>Tipos de mejoramientos</i> .....	35
1.6.1.1 Mejora Continua de Procesos con enfoque incremental o KAIZEN.....	36
1.6.1.2 Mejora de Procesos o el Rediseño de Procesos.....	39
1.6.1.3 Reingeniería de Procesos (ME QUEDE AQUI) .....	41
1.6.1.4 Comparación de las dimensiones de la Mejora Continua de Procesos .....	42
1.7 SEIS SIGMA UNA ESTRATEGIA PARA LA MEJORA .....	42
1.7.1 <i>La filosofía Seis sigma</i> .....	43
1.7.2 <i>Principios de Seis Sigma</i> .....	44
1.7.3 <i>Implementación de la metodología Seis Sigma</i> .....	45
1.7.4 <i>Herramientas utilizadas en la metodología Seis Sigma</i> .....	46
1.8 COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS Y ANALOGÍAS ENTRE TQM Y SEIS SIGMA .....	46
1.8.1 <i>Ventajas de implementación Seis Sigma y la TQM</i> .....	48
1.9 MEJORA DE PROCESOS DE REFINACIÓN EN REFINERÍAS DE PETRÓLEO. ....	49
1.10 CONCLUSIONES PARCIALES.....	50
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA SEIS SIGMA.....</b>	<b>52</b>
2.1 LA MÉTRICA DE SEIS SIGMA.....	52
2.2 MEDICIONES PARA SEIS SIGMA .....	53
2.3 CÁLCULO DE SIGMAS DEL PROCESO. ....	56
2.3.1 <i>Variación a largo plazo vs variación corto plazo (Z-value)</i> .....	57
2.3.2 <i>Cálculo de los índices de capacidad.</i> .....	59
2.4 PERSONAL SEIS SIGMA Y SU ROL. ....	59
2.5 METODOLOGÍA DMAMC COMO ESTRATEGIA DE MEJORA SEIS SIGMA. ....	59
2.5.1 <i>Fase Definir</i> .....	61
2.5.1.1 Selección del problema.....	61
2.5.1.2 Planteamiento del problema.....	62
2.5.1.3 Definir el proceso (nivel-alto) y las partes interesadas. ....	63
2.5.1.4 Identificar las variables críticas de calidad. ....	64
2.5.1.5 Seleccionar el equipo del proyecto.....	64
2.5.1.6 Obtener la autorización de los patrocinadores. ....	65
2.5.2 <i>Fase Medir</i> .....	65
2.5.2.1 Estimar la línea base del desempeño actual. ....	65
2.5.2.2 Evaluar el sistema de medición.....	68
2.5.2.3 Establecer metas .....	73
2.5.3 <i>Fase analizar</i> .....	73

2.5.3.1	Análisis de la fuente de variación .....	74
2.5.3.2	Determinar las KPIV's significativas.....	74
2.5.4	<i>Fase mejorar</i> .....	75
2.5.4.1	Priorizar las oportunidades de mejoras .....	75
2.5.4.2	Optimizar el proceso .....	76
2.5.4.3	Implementar la solución .....	78
2.5.4.4	Evaluar el impacto de la mejora .....	78
2.5.5	<i>Fase controlar</i> .....	78
2.5.5.1	Estandarizar el proceso .....	78
2.5.5.2	Documentar el plan de control .....	78
2.5.5.3	Desarrollar e implementar un plan de control.....	79
2.5.5.4	Cerrar y difundir el proyecto .....	80
2.6	CONCLUSIONES PARCIALES.....	81
<b>CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA .....</b>		<b>83</b>
3.1	CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA .....	83
3.2	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA .....	84
3.2.1	<i>Fase Definir</i> .....	84
3.2.1.1	Selección del problema.....	84
3.2.1.2	Planteamiento del problema.....	85
3.2.1.3	Definir el proceso (nivel-alto) y las partes interesadas. ....	86
3.2.1.4	Identificar las variables críticas de calidad .....	89
3.2.1.5	Seleccionar el equipo del proyecto.....	91
3.2.1.6	Obtener la autorización de los patrocinadores. ....	91
3.2.2	<i>Fase Medir</i> .....	94
3.2.2.1	Estimar la línea base del desempeño actual. ....	94
3.2.2.2	Evaluar el sistema de medición.....	96
3.2.2.3	Establecer metas .....	100
3.2.3	<i>Fase Analizar</i> .....	100
3.2.3.1	Análisis de la fuente de variación .....	101
3.2.3.2	Determinar las KPIV's significativas.....	101
3.2.4	<i>Fase Mejorar</i> .....	104
3.2.4.1	Priorizar las oportunidades de mejoras .....	104
3.2.4.2	Optimización del proceso .....	106
3.2.4.3	Implementar la solución .....	110
3.2.4.4	Evaluar el impacto de la mejora .....	111
3.3	CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO .....	112
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>		<b>114</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>118</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>134</b>

# *Introducción*



Las nuevas exigencias de los mercados sin fronteras, y por tanto la existencia de clientes que son más exigentes y tienen una gama amplia de productos y servicios para elegir, ha hecho que las organizaciones introduzcan variaciones en la forma que se han estructurado tradicionalmente con el fin de adaptarse convenientemente a las experiencias que dicho ambiente conlleva. Así, las organizaciones más competitivas, más innovadoras y con mayor creatividad son aquellas que defienden sistemas de gestión modernos que pueden ser globales para toda la organización, como son el crecimiento, los recursos financieros, la rentabilidad, el medio ambiente, la seguridad, la salud y lógicamente la calidad entendida como el cumplimiento de las necesidades y expectativas de los clientes mediante la satisfacción de los mismos. De acuerdo con Evans (2005), en el siglo XXI, las empresas que no se encuentren enfocadas a la plena satisfacción del cliente difícilmente sobrevivirán, en el mercado.

Dentro de la planeación estratégica de la Empresa Mixta PETROLEOS CUBA VENEZUELA, S.A. (CUVENPETROL, S.A.), una de sus estrategias es operar de forma segura y competitiva un sistema de refinación y suministro de derivados de petróleo y gas, para el mercado nacional e internacional. El modelo de Gestión de la Calidad implantado en la empresa CUVENPETROL S.A, ha propiciado incorporar la política de mejoramiento de manera continua en todas sus actividades productivas como estrategia preventiva para la solución de problemas, por lo que a través de la política de mejoramiento de forma continua que se ha estado llevando a cabo, se ha seleccionado dentro de los proyectos de mejora la Planta Fraccionamiento de los Gases Sección 400.

El principal cliente directo con que cuenta la refinería es PDVS.A. La refinería le brinda servicios a la Empresa Comercializadora de Combustible de Cienfuegos y esta a las Estaciones de CUPET, a la Termoeléctrica de Cienfuegos, entre otros. Estas empresas son consideradas como clientes indirectos de la refinería. El mercado principal de la empresa son las provincias centrales del país, sin embargo, cuando la demanda del país se satisface también se exporta a otros países a través del sistema de PDVS.A. La actividad productiva ha presentado un desempeño positivo, considerando que por cinco años consecutivos (2008-2011); se ha cumplimentado el plan de producción a un 101%. Sin embargo en sentido general la producción de GLP el pasado año 2011 presentó un cumplimiento de solo el 93.2%, que aunque se haya cumplido con los principales indicadores de producción, el bajo rendimiento de la Planta de Fraccionamiento de los Gases es un *problema a resolver*. Por tanto, la necesidad de una metodología o procedimiento de solución de problemas para el mejoramiento continuo del proceso de la Planta Fraccionamiento de los Gases Sección 400 que permita la mejora del rendimiento de la misma, es un **Problema Científico** a resolver, por cuanto para su solución se requiere llevar a cabo un proceso de investigación científica que abarque tanto las concepciones acerca de la gestión de procesos y de mejora continua de la calidad, así como las técnicas y herramientas necesarias y pertinentes, con adecuado rigor científico.

## **Hipótesis:**

Mediante la aplicación de la metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma será posible mejorar el porcentaje de rendimiento de la producción de GLP de la Planta de Fraccionamiento de los Gases Sección 400 de la Refinería de Petróleo.

## **Objetivo General:**

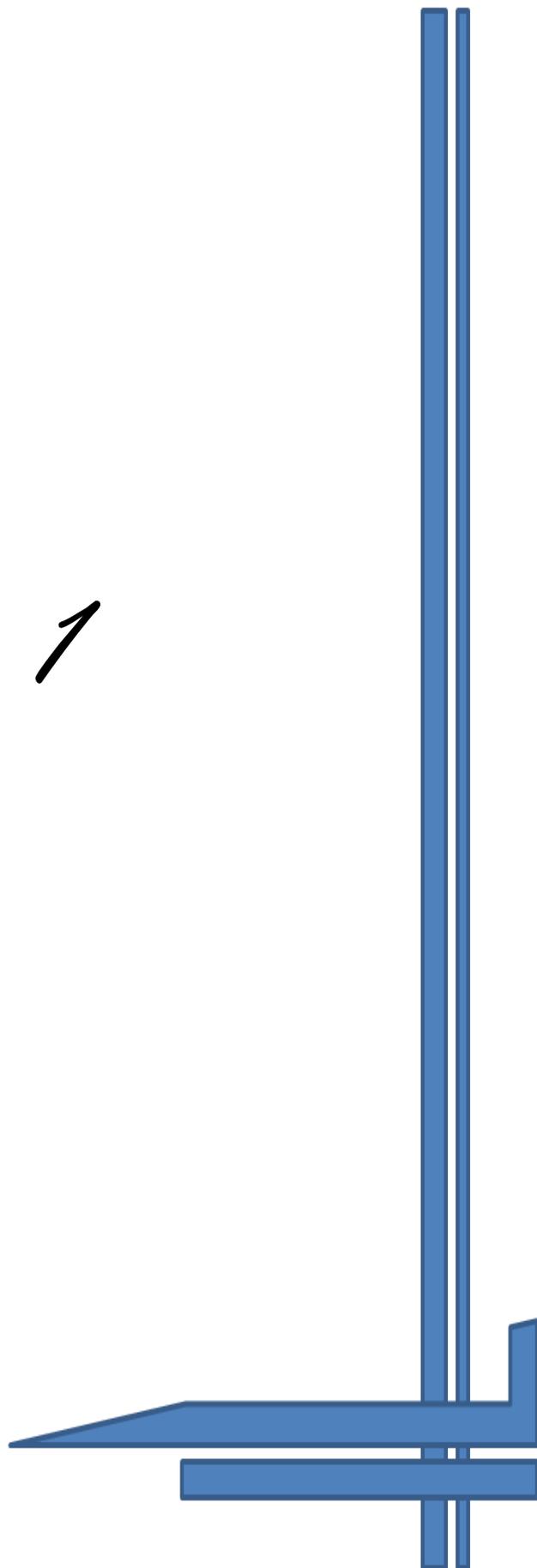
Proponer mejoras mediante la aplicación de la metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma que permita aumentar el porcentaje de rendimiento en la producción de GLP en la Planta de Fraccionamiento de los Gases Sección 400 de la Refinería de Petróleo.

## **Objetivos específicos:**

- σ Construir las bases teóricas-referenciales de la investigación acerca de las principales tendencias de la mejora de procesos y mejora continua de la calidad, que posibilite la adopción de la teoría que sirva de sustento a la aplicación de la metodología Seis sigma y su perfeccionamiento continuo.
- σ Aplicar la metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma en el proceso de Fraccionamiento de los Gases de la Sección 400 de la Refinería de Petróleo.
- σ Proponer mejoras al proceso de Fraccionamiento de los Gases Sección 400 de la Refinería de Petróleo, en correspondencia con las principales oportunidades de mejoras identificadas.

La siguiente Tesis de Maestría está estructurada con una Introducción, tres capítulos, las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación realizada, la bibliografía consultada y, finalmente, un grupo de anexos de necesaria inclusión, como complemento de los resultados obtenidos.

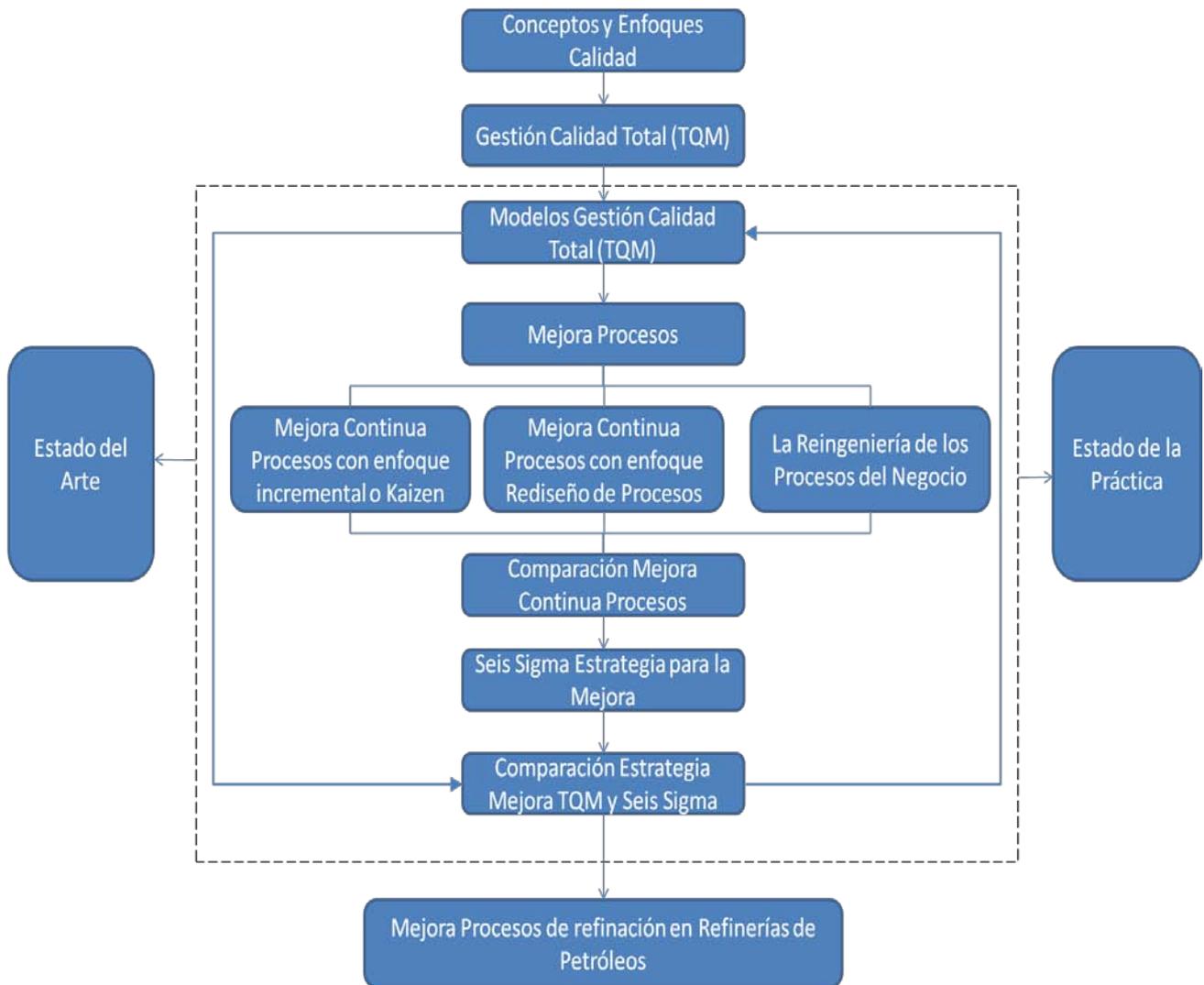
# *Capitulo 1*



Capítulo I: Consideraciones teóricas.

En este capítulo se pretende dar a entender algunos de los conceptos que son centrales en la gestión de la calidad. Se hace un análisis crítico y comparativo de los modelos de premios y de las estrategias de mejoras que permita como sustento teórico cambios beneficiosos en la empresa, con un enfoque de procesos y finalmente un análisis de mejoras en el proceso de refinación en Refinerías de Petróleo (Ver figura 1.1).

Figura 1.1: Hilo conductor para el desarrollo del marco teórico



Fuente: Elaboración propia

## 1.1 Definición de Calidad

El mismo Stanton (Stanton & Furtrell, 2004) menciona que “la calidad es difícil de definir, medir, controlar y comunicar”. Sin embargo, existen definiciones, las cuales por la popularidad de sus autores, vale la pena conocer:

Según (Deming, 1989a) la calidad es un grado predecible de uniformidad y fiabilidad a bajo coste, adecuado a las necesidades del mercado. El autor indica que el principal objetivo de la empresa debe ser permanecer en el mercado, proteger la inversión, ganar dividendos y asegurar los empleos. Para alcanzar este objetivo el camino a seguir es la calidad. La manera de conseguir una mayor calidad es mejorando el producto y la adecuando el servicio a las especificaciones para reducir la variabilidad en el diseño de los procesos productivos. Deming pone énfasis en las especificaciones previas y en adecuarse a las necesidades.

Quizás la definición más usada, Adecuación al Uso (Juran & Gryna, 1993) esta definición implica una adecuación del diseño del producto o servicio (calidad de diseño) y la medición del grado en que el producto es conforme con dicho diseño (calidad de fabricación o conformidad). Juran distingue dos tipos de calidad: calidad de diseño y calidad de conformancia. La Calidad de Diseño se refiere a que el producto satisfaga las necesidades de usuario y que contemple el uso que se le va a dar y La Calidad de Conformancia tiene que ver con el grado en que los productos o servicios se apegan a las características de calidad definidas. Como se puede observar, ambas definiciones hacen hincapié en el cumplimiento de los requisitos.

La idea principal que aporta (Crosby, 1987) es que la calidad no cuesta, lo que cuesta son las cosas que no tienen calidad. Crosby define calidad como conformidad con las especificaciones o cumplimiento de los requisitos y entiende que la principal motivación de la empresa es el alcanzar la cifra de cero defectos.

Por su parte, Edwards Deming percibe la calidad como grado de uniformidad y fiabilidad a bajo costo y adecuado a las necesidades presentes y futuras del cliente (Oakland, 2002). Henichi Taguchi concuerda con la forma en que Deming percibe la calidad, al definirla como: la mínima pérdida que un producto o servicio ocasiona a la sociedad desde que es entregado (Oakland, 2002). Por su parte, Armand Feigenbaum dice que la calidad es la capacidad de cumplir con las necesidades y expectativas del cliente (Oakland, 2002); mientras que Kaoru Ishikawa dice que la calidad consiste en diseñar, producir y ofrecer un bien o servicio, que sea útil, lo más económico posible, y siempre satisfactorio para el cliente (Oakland, 2002). En este caso, tanto Deming como Taguchi, Feigenbaum e Ishikawa prestan especial atención a la satisfacción del cliente mediante productos estandarizados y económicos.

En primer lugar puede analizarse la definición que dan organismos transnacionales. La International Organization for Standardization (ISO) en su norma define el concepto de calidad como: “*La calidad se define como el conjunto de características de una entidad que le confieren su aptitud para satisfacer las*

*necesidades expresadas y las implícitas*". La definición no hace diferencia en si las expectativas son las propias del cliente externo (comprador) o bien del cliente interno (trabajador), por lo que esta definición puede generalizarse a todo el conjunto de la empresa.

La misma organización ISO, en la norma ISO 9000:2005 ofrece una definición de calidad bastante genérica y de aplicación en distintos campos: "*Calidad: Grado en el que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos*". Es remarcable la diferente definición dada por una misma organización. En esta, el concepto dado se aleja de la satisfacción de necesidades y la sustituye por el cumplimiento de requisitos. El cumplimiento de requisitos podría asociarse a la satisfacción de necesidades, el cumplimiento de unas determinadas normas o bien alcanzar unos ciertos resultados. Para concluir con este apartado se comentará dos aspectos desde los cuales debe ser enfocada la calidad, la perspectiva externa y la interna (Belohlav, 1993; Conti, 1993). La primera considera la calidad como algo que proporciona valor al cliente, en la medida en que el producto o servicio satisface sus expectativas, así como supone una buena gestión de las relaciones de la empresa con sus clientes y proveedores, la sociedad y el entorno. (Saunders & Preston, 1994) apuntan que para mejorar la calidad las organizaciones deben llegar a comprender las necesidades de los clientes y sus procesos internos, en definitiva deben desarrollar la habilidad organizativa para controlar y mejorar procesos, productos dirigidos al cliente. Y la segunda consiste en la identificación de una estrategia que moviliza a toda la organización para conseguir la optimización de todas las operaciones, el cambio cultural y transformaciones internas necesarias para mantener o alcanzar una posición competitiva.

Como la perspectiva externa pone énfasis en la eficacia y la satisfacción del cliente y la perspectiva interna sobre la eficiencia, haciendo hincapié en los costes y la productividad, se puede considerar una tercera perspectiva que abarca a las dos anteriores, señalada por autores como (Moreno-Luzón, Peris, & González, 2000), que es la perspectiva global bajo la cual hay que concebir la calidad, porque pone énfasis tanto en alcanzar la eficiencia como la eficacia. Bajo la cual se debe considerar a la calidad como "excelencia", lo cual la convierte en un objetivo que permite y exige el compromiso de todos los miembros de la organización, en la medida que ésta sea reconocida por el mercado, será una fuente de ventaja competitiva, vía diferenciación (Garvin, 1984).

## 1.2 Enfoques de calidad

En este trabajo se tocarán los diferentes enfoques aportados por Deming, Jurán, Crosby, Ishikawa, Feigenbaum, y Shingo:

**William Edwards Deming** (Deming, 1989b) considera que el cliente es a quién están dirigidos los productos y es a quién se debe satisfacer, pero los empleados, aparte de prestar su conocimiento para elaborar los productos, deben ser considerados y tomados en cuenta, pues el alma de la organización son ellos, y por tanto, deben estar motivados para llevar a cabo su trabajo de calidad. Defiende que la mejor

forma de solucionar los problemas es mediante la mejora continua. La filosofía de Deming se fundamenta en 4 conceptos básicos: orientación al cliente, mejora continua, la calidad es determinada por el sistema y los resultados se determinan a largo plazo. Deming establece que la forma de solucionar los problemas es mediante la mejora continua y define el ciclo Planificar-Hacer-verificar-Actuar para explicar este concepto.

**El Enfoque de Juran** (Juran, 1990) revolucionó con la filosofía japonesa de la gerencia de la calidad y fue el primero en incorporar el aspecto humano en la gestión de la calidad, lo que se designa hoy en día como Gerencia de la Calidad Total. Las ideas más importantes de Juran, se resumen en cinco principios: 1) Espiral de progreso en calidad, 2) Secuencia de descubrimiento, 3) Acercamiento “proyecto por proyecto” a la mejora de calidad, 4) Principio de “poco vital y mucho trivial” y 5) Trilogía de la calidad. Juran afirma que la calidad es el resultado de la interrelación de todos los departamentos dentro del espiral; es decir, la calidad es el resultado de la sinergia de una organización.

**Philip b. Crosby** no creía que los empleados debían ser los primeros responsables por los errores que ocasiona una calidad débil. La acción ideal es el control preventivo de la calidad. El fundamento anterior se resume en una de sus frases más famosas *“hacer las cosas correctamente la primera vez”*. Por ello, la alta gerencia debe comprometerse a: *educar y motivar a los empleados hacia el logro de este objetivo*. Las ideas más importantes de Crosby se resumen en seis (6) principios: 1) Hacer las cosas bien la primera vez, 2) Cero defectos, 3) Las cuatro máximas de la calidad, 4) Proceso de prevención, 5) Vacuna de la calidad, 6) Las tesis “C”. El mejoramiento de la calidad comienza con lo que Crosby llama las cuatro (4) máximas de la gestión de calidad: 1) La calidad es la conformidad con los requerimientos, 2) El sistema que produce la calidad es la prevención, 3) La norma de la actuación es cero defectos (hacer las cosas bien la primera vez) y 4) La medida de calidad es el precio de la no conformidad. Para Crosby, la educación es un proceso multi-nivel que toda organización debe seguir y que ha llamado las seis “C” (Comprensión, Compromiso, Competencia, Comunicación, Corrección, Continuidad).

**Kaoru Ishikawa** La noción de Ishikawa acerca del control de calidad en toda la organización se enfoca al servicio continuo al cliente. El mejoramiento de la calidad es un proceso continuo y siempre puede traducirse en *“estar un paso adelante”*. Algunas de las ideas por las cuales es reconocido Ishikawa, las resume el Departamento de Industria y Comercio del Reino Unido (DTI, 1998) en cuatro (4) principios: 1) Utilidad de las técnicas estadísticas para la gerencia de la calidad, 2) Círculos de calidad, 3) La calidad a lo largo del ciclo de vida de un producto y 4) Ampliación del ciclo de Deming. Ishikawa considera que la calidad es un proceso continuo, a lo largo del ciclo de vida de un producto, no sólo durante la producción. Ishikawa mostró la importancia de las siete (7) herramientas de calidad: histogramas, diagrama de causa y efecto, hoja de revisión, diagrama de Pareto, mapa de control, diagrama de dispersión y grafos. Ishikawa explotó el concepto de los círculos de calidad; creyó en la importancia del apoyo y el liderazgo de la alta gerencia en una organización, y sugirió a los ejecutivos tomar los cursos de control de la calidad, sabiendo

que sin el apoyo de la gerencia, estos programas fallarían. Ishikawa acentuó que se debe usar el compromiso de todos los empleados para alcanzar el máximo potencial de la organización y lograr el éxito.

**Armand V. Feigenbaum** se le atribuye la aparición del concepto control de calidad total. Tuvo una fuerte formación y experiencia profesional en el campo de la calidad, al trabajar para General Electric. Feigenbaum sostiene que la calidad es en esencia, un camino para administrar la organización; con este antecedente, entonces el control total de calidad es considerado como el proveedor de estructuras, planes y herramientas para administrar la calidad. Otra de las aportaciones de Feigenbaum son los llamados “costos de calidad”, mismos que por su origen se pueden dividir en: costos de prevención (aquellos en los que se incurre para evitar fallas), costos de evaluación (aquellos en los que se incurre al medir las condiciones del producto en sus etapas de producción), costos de fallas internas (aquellos en los que se incurre por defectos generados en el proceso de operación del producto) y finalmente los costos de fallas externas (aquellos en los que se incurre cuando se generan defectos en los productos una vez que son embarcados) (Beckford, 2002).

**Shingeo Shingo** es probablemente el menos conocido de los gurús de la calidad, a pesar de haber realizado contribuciones a las técnicas modernas de manufactura que ayudaron a las empresas a reducir sus costos de producción. Shingo fue quién desarrollo el conocido “sistema de producción de Toyota” o “Just in Time”. El sistema de producción de Toyota se constituye por sistemas que interactúan entre sí, cuya filosofía es la de mantener cero inventarios en proceso. Por otra parte, también considera el sistema “Poka-Yoke” que quiere decir a prueba de error, cuya idea central es detener el proceso en el momento en el que ocurra un defecto, definir las causas y prevenir aquellas que son recurrentes, sin utilizar el muestreo estadístico, sino la inspección de todas las causas de defectos que se presentan durante la producción para identificar errores antes de que se conviertan en defectos. Otra de las aportaciones importantes de Shingo es su concepto de desperdicio, el cual incluye cualquier elemento que consume tiempo y recursos, pero que no agrega valor al producto o servicio. Finalmente, con la ayuda de las llamadas 5S’s se logra organizar la estación de trabajo.

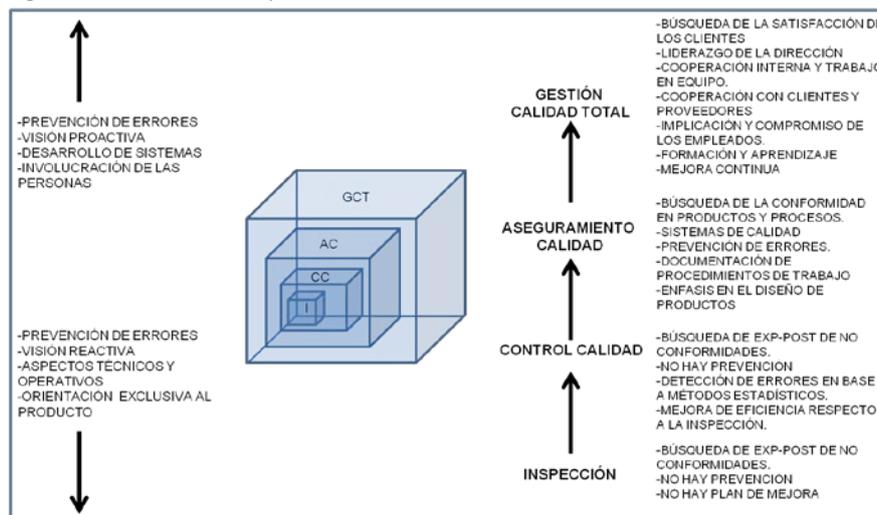
De lo anterior se puede concluir que las teorías anteriormente mencionadas se han desarrollado principalmente en los países más avanzados y emprendedores como Estados Unidos y Japón, siendo en este último donde se inició la implantación en las empresas la calidad total, su cultura, sus técnicas y herramientas. Como se puede observar, existen diferentes corrientes y autores en estos países que han ido aportando soluciones e ideas nuevas que han enriquecido los principios de calidad en su aplicación a los diferentes ámbitos de las empresas y las situaciones cambiantes del mercado.

## 1.2.1 Evolución de los enfoques de calidad

El concepto de calidad ha ido evolucionando, a la par que lo ha hecho la economía, desde la aplicación de la idea a conceptos industriales hasta su aplicación a empresas de servicios en general (Albacete, 2004). Tras la Segunda Guerra mundial, se comienzan a implantar las teorías de calidad de los grandes autores como Deming y Juran a la vez que se avanza con la concepción de qué significa la calidad. Durante esta época se produce una exportación de las ideas sobre calidad hacia Japón. Hasta los años 1980 la aplicación de las teorías de calidad sigue centrada en Japón, es a partir de entonces que Crosby introdujo programas de mejora de la producción en empresas norteamericanas. A partir de esta década, la filosofía de calidad evoluciona hacia lo que se conoce como la Gestión de la Calidad Total o TQM (Cuatrecasas, 2005). La calidad ha permitido que las empresas y organizaciones orienten sus esfuerzos a alcanzar la eficiencia en la gestión tanto interna y la eficacia externa en la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes (Alonso, Barcos, & Martín, 2006). (Galeana, 2004) analiza el proceso de la evolución de las actividades relacionadas con la calidad e indica las cuatro etapas en la evolución del concepto. A continuación se muestra la Figura 1.2:

Etapa 1ª Calidad mediante inspección. Es la idea primitiva de calidad que surgió a consecuencia de los modelos de producción en masas con la aplicación de las ideas tayloristas. A consecuencia de la división del trabajo y el trabajo en cadena debía realizarse una inspección del producto antes de pasar de una fase de la producción a la siguiente e impedir la fabricación de productos o servicios inadecuados. (Fernández, Avella, & Fernández, 2003; Galeana, 2004) indican que esta etapa de la calidad no añade valor al producto e incrementa su coste de producción debido a que no determina mejoras en la producción.

Figura 1.2: Evolución de los enfoques de Gestión de la Calidad



Fuente: Adaptado de (Dale, Boaden & Lascelles, 1994)

Etapa 2ª Control estadístico de la calidad. El avance de esta etapa está en la aplicación de las técnicas estadísticas para el control del proceso. La calidad se convierte en una herramienta de previsión cuando

detecta los primeros errores. En esta etapa se utilizan técnicas de muestreo estadístico para determinar si el proceso está o no bajo control y el control de la calidad se traslada a las distintas fases de producción.

Etapas 3ª Aseguramiento de la calidad. Tras las dos etapas anteriores en las que la calidad está centrada en la producción, la siguiente centra la calidad en los clientes y considera que debe contemplarse la cadena de producción completa desde el diseño del producto hasta que éste es consumido por el cliente. En esta fase se considera que el producto no sólo depende de la producción sino también de su diseño, las compras de materiales que se incorporan al producto, las necesidades de los clientes y el servicio postventa. La calidad, por tanto, incorpora actividades productivas y no productivas.

Etapas 4ª Gestión de la calidad total. La calidad pasa de ser un conjunto de herramientas de gestión a convertirse en una filosofía de la empresa que la considera como necesaria para asegurar el éxito de sus negocios. En esta fase la calidad se incorpora al nivel estratégico de la organización y se implican a todas las personas de la organización, a los clientes y a los proveedores.

Finalmente se llega a lo que hoy en día se conoce como Calidad Total, siendo el contexto más evolucionado dentro de las sucesivas transformaciones que ha sufrido el término Calidad a lo largo del tiempo (González, 2005). Dentro de un enfoque de Gestión de la Calidad Total, el Aseguramiento puede utilizarse como una cuña que, tras el círculo de Deming PDCA consolida los resultados obtenidos, avanzando hacia la excelencia por medio de la mejora continua. En definitiva, no debe subestimarse el efecto sinérgico del Aseguramiento de la Calidad y la Gestión de la Calidad Total.

## 1.3 Calidad Total

La *Calidad Total* no es un sistema, sino una filosofía, una cultura, una estrategia, un estilo de gerencia, y no posee perfiles definidos que permitan delimitarla. La filosofía de la *Calidad Total* proporciona una concepción global que fomenta la Mejora Continua en la organización e involucra todos sus miembros, centrándose en la satisfacción tanto del cliente interno como del externo. Podemos definir esta filosofía del siguiente modo: *Gestión* (el cuerpo directivo está totalmente comprometido) de la *Calidad* (los requerimientos del cliente son comprendidos y asumidos exactamente) *Total* (todo miembro de la organización está involucrado, incluso el cliente y el proveedor, cuando esto sea posible), (Espinosa, 2004). A fin de evitar confusión entre estas tres actuaciones –certificación, premios y consultorías– que potencian el logro de la calidad total, es preciso delimitar los ámbitos clave asociados a la Gestión de la Calidad Total, tal y como (Dean & Bowen, 1994) han planteado. Estos son: 1) orientación al cliente, 2) mejora continua, y 3) trabajo en equipo. Todos ellos aplicados a partir de una serie de prácticas y técnicas en franca generalización, tal y como se observa en la tabla 1.1.

La Gestión de la Calidad Total nos da una visión más amplia de la orientación al cliente ya que significa orientarse a la siguiente fase del proceso, de ahí que la noción de cliente incluye a empleados y proveedores. Los clientes internos son aquellos empleados que reciben el apoyo de otros empleados de la

empresa. En ocasiones, personas que se hallan situadas entre la empresa y el consumidor también han de ser tratados como clientes. La Gestión de la Calidad Total hace que nos centremos en esta amplia cadena de sucesos de la calidad con el fin de servir mejor al cliente externo. La orientación al cliente equivale a un rediseño permanente del producto ya que, para (Deming, 1989b), el ciclo de diseño, fabricación, venta y posventa ha de ir seguido de otro ciclo, que empieza con el rediseño basado en la experiencia del ciclo anterior, lo que provoca una mejora continua de la calidad. Como señala (Fernández et al., 2003) “en un mercado tan competitivo como el actual, la vieja fórmula de calcular los costes y añadir un margen para determinar el precio tiende a desaparecer. La nueva fórmula supone que el cliente es quien decide el precio, por tanto la empresa debe ajustar su estructura en el futuro para ofrecérselo hoy y, en consecuencia, atraer su atención. Hay que tener la creatividad suficiente para desarrollar las mejoras en el proceso que permitan reducir costes y atender mejor las necesidades del cliente”.

**Tabla 1.1:** Principios, prácticas y estrategias de la Gestión de la Calidad Total.

	<b>ORIENTACIÓN AL CLIENTE</b>	<b>MEJORA CONTINUA</b>	<b>TRABAJO EN EQUIPO</b>
Principios	Importancia de proveer productos y servicios que satisfagan plenamente las necesidades de los clientes.	La satisfacción del cliente sólo se puede conseguir a través de la mejora continua de los procesos que crean productos y servicios.	El enfoque al cliente y la mejora continua se alcanzan mejor a través de la colaboración en el seno de la organización, así como con clientes y proveedores.
Prácticas	Contacto directo con el cliente recogida de información sobre las necesidades de los clientes. Uso de la información para el diseño y distribución de los productos y servicios.	Análisis de procesos Resolución de problemas Ciclo PRCA(planificar, realizar, comprobar, actuar)	Búsqueda de acuerdos que beneficien a todas las unidades implicadas en el proceso Creación de diversos tipos de equipos. Formación en habilidades de grupo.
Estrategias	Estudios de clientes y grupos. Despliegue de la función de calidad (trasladar la información del cliente a las especificaciones del producto).	Diagramas de flujo. Análisis de Pareto. Control estadístico de procesos. Diagrama Causa-Efecto.	Método de desarrollo organizativo. Método de construcción de equipos (clarificar los roles. Retroalimentación del equipo).

**Fuente:** (Capelieras, 1999) adaptado de (Dean & Bowen, 1994)

En cuanto a la mejora continua se le puede definir como la creación organizada de cambios beneficiosos en la empresa, de forma que se consigan niveles de Calidad sin precedentes. La mejora de la Calidad Total consiste en un proceso constituido por un conjunto de acciones estructuradas que concurren en un aumento de la Calidad Total de la entidad sobre la que se aplica, las cuales han sido identificadas normalmente como consecuencia de un diagnóstico. Básicamente, la mejora continua se centra, siguiendo a (Deming, 1989b), en la insistencia en que la alta dirección es la responsable de la mejora continua de la calidad y la productividad. Lo importante es generar un sistema que se comprometa definitivamente con la

constante revisión y mejora de los procesos, eliminando la autosatisfacción con la situación estática conseguida. Se trata de un proceso sin fin y un espíritu de superación basada en el inconformismo y la adaptación continua. Así, la mejora continua persigue llevar los valores de la Calidad Total de la empresa a resultados que antes no se habían conseguido, es decir, persigue orientar la empresa hacia la perfección o excelencia. La mejora continua es, por tanto, “una secuencia permanente que trata de producir mejoras en la Calidad mediante acciones repetitivas. Además, la mejora continua de la Calidad Total supone, en último extremo, un cambio en la actitud y en el comportamiento de todos los empleados de la empresa, de manera que sientan una fuerte motivación por mejorar, así como la satisfacción de participar y conseguir en equipo estas mejoras. Por lo tanto, se trata de facilitar a la organización su camino hacia la Calidad Total” (Ruiz-Canela, 2004). Respecto al trabajo en equipo, la participación del personal es un factor clave en la orientación cultural de la empresa hacia la calidad total. La involucración de todo el personal significa que todas las personas deben ser capaces de resolver problemas y que tienen que buscar siempre nuevos métodos de trabajo. Cada persona debe encargarse de su propio trabajo y de mejorar globalmente la forma de trabajo, por lo que la utilización de equipos para la calidad es un instrumento clave para incorporar la calidad en la empresa. Y es que el trabajo en equipo, tanto ad hoc como círculos de calidad, se apoyan en la idea de que una organización es efectiva si existe interacción entre las distintas partes de la empresa. Como argumentan (Fernández et al., 2003) las diferentes personas y departamentos no deben trabajar aislados en la mejora de la calidad, sino que deben de cooperar desde el diseño del producto hasta su comercialización y posteriores mejoras. Una tarea de la alta dirección consiste en conseguir que todo el mundo coopere y participe en la mejora de la calidad. La calidad total conlleva participación total e interrelación permanente de todas las partes implicadas en la empresa”.

### 1.3.1 Los modelos de la Gestión de la Calidad Total

La Calidad Total ha llegado a tal desarrollo que dio la aparición a los modelos de excelencia de la gestión de la calidad a nivel mundial, sirviendo a las organizaciones como instrumentos de evaluación. En la tabla 1.2 se presentan los tres modelos de excelencia más difundidos de la Gestión de la Calidad Total de los cuales se encuentra el modelo Deming creado en 1951, el modelo Malcolm Baldrige en 1987 y el Modelo Europeo de Gestión de Calidad, EFQM., en 1988. A pesar de las peculiaridades de cada uno de ellos, en todos subyacen los principios básicos de la Calidad Total, es decir, las mejores prácticas en el ámbito de la gestión de las organizaciones. Una característica común a todos ellos es que son dinámicos, y como tal, van evolucionando y adaptándose a los cambios que se producen en el entorno. Centenares de expertos enriquecen estos modelos años tras años con sus aportaciones.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los modelos antes mencionado:

**A. Modelo Deming:** El primer modelo, el Deming, se desarrolla en Japón en 1951 por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE). Este premio estimuló la adopción del control de la calidad en

prácticamente todos los sectores de la industria japonesa. Con el tiempo, los criterios evolucionaron hacia el concepto de Control de la Calidad en toda la empresa (CWQC) y Control Total de la Calidad (TQC) (Kondo, Kume, & Schimizu, 1995). El principal objetivo de la evaluación es comprobar que mediante la implantación del control de calidad en toda la compañía, se hayan obtenido buenos resultados. El enfoque básico es la satisfacción del cliente y el bienestar público. Este modelo recoge diez criterios de evaluación de la gestión de calidad de la organización que se muestran en la tabla 1.3.

**Tabla 1.2:** Modelos de Excelencias

Modelo	Fecha de creación	Organismos que lo gestiona
Deming	1951	JUSE (Japón)
Malcolm Baldrige	1987	Fundación para el premio de Calidad Malcolm Baldrige (EE.UU)
E.F.Q.M	1988	European Foundation for Quality Management (Europa)

**Fuente:** Elaboración propia.

**B. Modelo Malcolm Baldrige:** El Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige se crea en Estados Unidos en 1987, momento en el que la invasión de productos japoneses en el mercado estadounidense precisa de una respuesta por parte de las organizaciones de este país. En la creencia de que la Calidad Total es necesaria para que las organizaciones puedan competir en el mercado internacional, surge el proyecto del Premio Nacional de la Calidad Americano y tiene como objetivo ayudar a mejorar la calidad y productividad mediante: 1) Ayuda para estimular a las empresas estadounidenses a mejorar la calidad y productividad por el orgullo reconocimiento, a la vez que obtiene una ventaja competitiva con el aumento de beneficios, 2) el reconocimiento de los logros de las empresas que mejoran la calidad de sus productos y servicios y proporcionan un ejemplo para otras, 3) el establecimiento de pautas y criterios que pueden ser usados por organizaciones de negocios, gubernamentales, industriales y otras, en la evaluación de sus propios esfuerzo de mejora de la calidad y 4) la provisión de orientaciones específicas para otras organizaciones estadounidenses que deseen aprender a gestionar en pro de la alta calidad, poniendo a su disposición información detallada de cómo las organizaciones ganadoras fueron capaces de cambiar sus culturas y alcanzar la eminencia. Este modelo recoge siete criterios del premio nacional de Calidad Malcolm Baldrige.

Las relaciones dinámicas de los siete criterios se entienden de la siguiente manera: Liderazgo, Planificación estratégica, enfoque en el cliente y en el mercado representan la triada del liderazgo. Ver tabla 1.4. Estas categorías se colocan juntas para poner de relieve la importancia de un liderazgo enfocado en la estrategia y en los clientes. El enfoque en los recursos humanos, gestión del proceso y resultados empresariales representan la triada de los resultados. Información y análisis es una categoría crítica para la gestión efectiva y para un sistema basado en hechos que mejore el rendimiento y la competitividad de la empresa. Las mismas sirven de fundamento para el sistema de gestión del rendimiento. Ver figura 1.3.

**Tabla 1.3:** Criterios de evaluación del modelo Deming.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN
1. Políticas y objetivos
2. Organización y operativa
3. Educación y su dimensión
4. Flujo de información y su utilización
5. Calidad de productos y procesos
6. Estandarización
7. Gestión y control
8. Garantía de calidad de funciones, sistemas y métodos
9. Resultados
10. Planes para el futuro

Fuente: (JUSE, 2000), Deming Prize Criteria and accompanying view point

**C. Modelo EFQM de Excelencia:** Desde una perspectiva general, el modelo EFQM permite determinar un marco de referencia objetivo, riguroso y estructurado para la autoevaluación de una organización (EFQM, 2004). El modelo EFQM de Excelencia se basa en la siguiente premisa (Pérez & José, 2000): “Los resultados excelentes en el rendimiento general de una organización, en sus clientes, personas y en la sociedad en la que actúan se logran mediante un Liderazgo que dirija e impulsa la Política y Estrategia que se hará realidad a través de las personas de la organización, las Alianzas y Recursos y los Procesos” (EFQM, 2003).

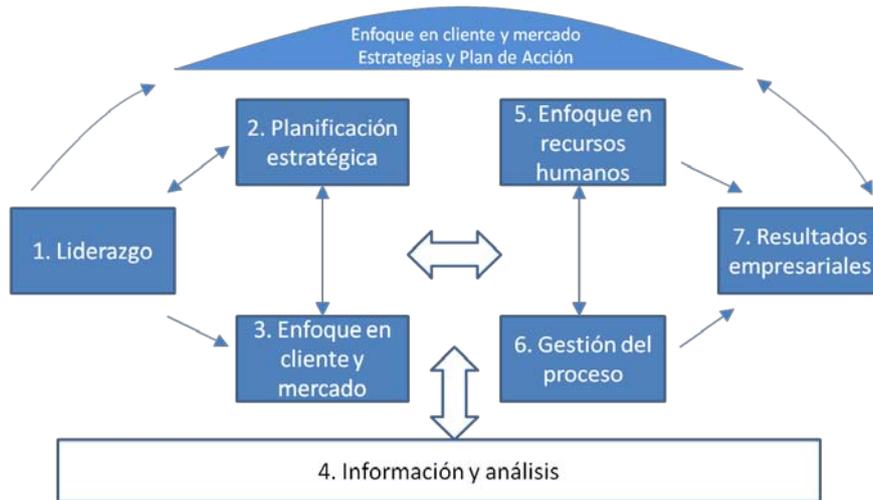
**Tabla 1.4:** Criterios de evaluación del premio nacional de Calidad Malcolm Baldrige.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN
1. Liderazgo
2. Planificación estratégica
3. Enfoque en el cliente y en el mercado
4. Información y análisis
5. Enfoque en los recursos humanos
6. Gestión del proceso
7. Resultados empresariales

Fuente: (Juran & Blanton, 2001)

Este modelo recoge nueve criterios del EFQM de excelencia que se muestran en la tabla 1.5. El modelo EFQM busca identificar los puntos fuertes y débiles de la organización, considerando la relación entre su personal, sus procesos y sus resultados (Camisión, Cruz, & González, 2007). Para ello determina dos grupos de criterios, los Agentes Facilitadores y los Resultados. Ver Figura 1.4. Los criterios del grupo Agentes Facilitadores analizan cómo realiza la organización excelente las actividades clave, cómo la organización se organiza para alcanzar los resultados previstos y, por tanto, significa el cómo.

Figura 1.3: Criterios Marco del trabajo del premio Malcolm Baldrige



Fuente: (Juran & Blanton, 2001)

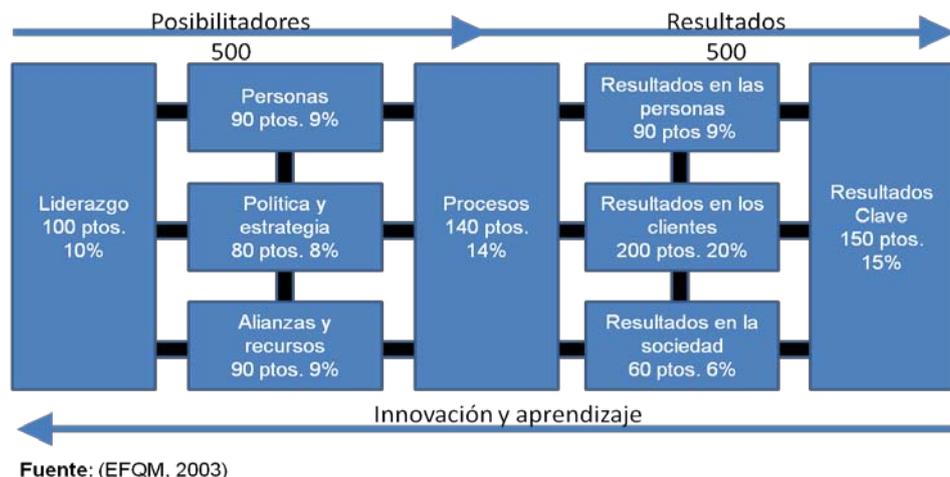
El modelo determina cinco criterios relacionados con los agentes facilitadores: liderazgo, personas, política y estrategia, alianzas y recursos, y procesos. Los criterios del grupo Resultados hacen hincapié en lo que ha conseguido la empresa con los Agentes Facilitadores y mide los resultados obtenidos en las personas que forman la organización, los clientes, la sociedad así como en los resultados que la organización considere claves (EFQM, 2003). Las flechas en el modelo representan una retroalimentación, así pues el trabajo conseguido mediante los Agentes Facilitadores tiene una consecuencia en resultados. La medición, análisis y propuesta de mejora de los resultados implicará una innovación y aprendizaje de la organización que la llevarán a determinar nuevas reflexiones sobre los Agentes Facilitadores. El modelo establece una ponderación entre cada uno de los criterios, siendo el 50% del total para los Agentes Facilitadores y el otro 50% para los resultados. Mediante la autoevaluación y la ponderación de cada criterio, las organizaciones pueden calcular una puntuación sobre 1.000 puntos que les servirá como referencia para establecer sus criterios de mejora en cada uno de los apartados.

Tabla 1.5: Criterios de la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (E.F.Q.M.)

CRITERIOS DE EVALUACIÓN
1. Liderazgo y dirección
2. Política y estrategia
3. Personas
4. Recursos
5. Procesos
6. Resultados relativos a los clientes
7. Resultados relativos al personal
8. Resultados relativos a la sociedad
9. Resultados claves

Fuente: (www.efqm.org)

Figura 1.4: Criterios de la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (E.F.Q.M.)



## 1.4 La estandarización de los enfoques predominantes: la serie normas ISO

Las normas ISO 9000, son elaboradas y actualizadas por el Comité Técnico ISO/TC 176 de la Organización Internacional de Normalización (ISO), las series iniciales de ISO 9000 se publicaron en 1987. Para el año 1994 la familia de normas ISO 9000 estaba compuesta por tres normas, que representaban un modelo de aseguramiento de la calidad con tres formas distintas de requisitos para demostrar y evaluar la capacidad de un proveedor. En el año 2000, se realizó una revisión, dando como resultado la integración de las normas ISO 9001:1994, ISO 9002:1994 e ISO 9003:1994, en la ISO 9001:2000. Con esta integración, la norma ISO 9001 pasó de tener 20 elementos a tener 8, lo que implica que esta contiene procedimientos mandatorios implícitos. En el año 2005 apareció una nueva versión de la norma ISO, pero al tratarse de una norma que se limita a establecer los fundamentos y el vocabulario de la gestión de la calidad, su aparición careció de relevancia práctica porque la norma certificable seguía siendo la ISO 9001:2000. En noviembre de 2008 apareció la versión 2008 de la ISO 9001, que a finales de mayo de 2009 anuló a la norma certificable ISO 9001:2000, quedando como norma certificable vigente la ISO 9001:2008. En consecuencia la familia de normas ISO 9000, se redujo a ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004 e ISO 19011, ofreciendo un grupo de normas diseñadas para complementarse entre sí, con estructura y secuencia similares para permitir una fácil transición entre ellas, y a la vez un uso individual de las mismas; cuyo fin es promover la mejora continua y obtener la satisfacción del cliente, por medio de la relación entre la gestión de la calidad con los procesos de la organización. El propósito individual de estas normas es presentado en la tabla 1.6.

Todas estas normas juntas forman un conjunto coherente de normas de sistemas de gestión de la calidad que facilitan la mutua comprensión en el comercio nacional e internacional. Esta Norma Internacional recomienda que la actividad de gestión de la calidad adopte un enfoque hacia el proceso. El Anexo 1.1 ilustra que el mejoramiento continuo del Sistema de Gestión de la Calidad es una ilustración conceptual de un modelo del enfoque hacia el proceso.

**Tabla 1.6:** Familia de normas ISO 9000

Normas Básicas de la familia ISO 9000	Propósitos
<b>ISO 9000:</b> Sistema de Gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.	Establece un punto de partida para comprender las normas y describe los fundamentos de los sistemas de Gestión de la Calidad y especifica la terminología utilizada en la familia de normas ISO, que se necesitan para evitar malentendidos en su utilización (ISO, 2005).
<b>ISO 9001:</b> Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos.	Especifica los requisitos para los Sistemas de Gestión de la Calidad aplicables a toda organización que necesite demostrar su capacidad para proporcionar productos que cumplan los requisitos de sus clientes y los reglamentarios que le sean de aplicación, y su objetivo es aumentar la satisfacción del cliente (ISO, 2008)
<b>ISO 9004:</b> Sistema de Gestión de la Calidad. Directrices para la mejora del desempeño.	Proporciona directrices que consideran tanto la eficacia como la eficiencia del Sistema de Gestión de la Calidad. El objetivo de esta norma es la mejora del desempeño de la organización y la satisfacción de los clientes y de otras partes interesadas (ISO, 2009).
<b>ISO 19011:</b> Sistema de Gestión de la Calidad. Directrices para la mejora del desempeño.	Proporciona orientación relativa a las auditorías de Sistemas de Gestión de la Calidad y de Gestión Ambiental. Esta norma se puede utilizar internamente o para auditar a los proveedores (ISO, 2011).

El modelo reconoce que los clientes desempeñan una función significativa en la definición de los requisitos como elementos de entrada. Es necesario monitorear la satisfacción del cliente para evaluar y validar si se han cumplido los requisitos del cliente. Este modelo no refleja los procesos de una forma detallada, pero abarca todos los requisitos de esta norma. Las familias de normas ISO 9000: 2005 con un enfoque de proceso, indaga la importancia de la mejora de los procesos con la base que soporta los pilares sobre los que se apoya cualquier tipo de organización de hoy. En esta versión, se reconoce la mejora de proceso como un factor clave de toda organización que se dirige hacia la excelencia a través de un continuo proceso de innovación y de aprendizaje en el seno de la organización. Las normas ISO 9001:2008, plantean un sistema básicamente preventivo, orientado a los procesos más que a los productos y cuya premisa básica es: que un proceso estandarizado y documentado, cuya operación se efectúa según los procedimientos respectivos, entregará necesariamente un producto de acuerdo a lo especificado. En este aspecto se puede afirmar que la calidad del producto es predecible, ya que si se normaliza el proceso (mediante procedimientos escritos) y se verifica su cumplimiento (mediante auditorías), la calidad del producto está asegurada. ISO 9004:2009: Establece, según ISO, las directrices para la mejora del desempeño, presentando una estructura que, a nivel de capítulos, es idéntica a la norma ISO 9001:2000. No obstante lo anterior, el objetivo está aquí ampliado, incluyendo además de la satisfacción del cliente, la satisfacción de las demás partes interesadas (empleados, proveedores, sociedad, accionistas, etc.) y el desempeño de la organización.

Después de haber analizado los enfoques anteriores como la Calidad Total y sus modelos tanto teóricos como los premios, las familias de normas ISO 9000, se puede concluir lo siguiente: 1) Todos los modelos

analizados sustentan la importancia de la mejora de proceso pero con enfoques diferentes. La Calidad Total tiene un enfoque más interno, el compromiso de la alta dirección, el cambio cultural, el entrenamiento y la capacitación de los empleados y el entendimiento de los requisitos de los clientes. La ISO 9000 enfoca a la gestión por proceso y la satisfacción de los clientes, 2) la ISO 9000 limita la responsabilidad a pocas personas de la organización mientras que la Calidad Total involucra a todos los empleados, 3) la Calidad Total es una filosofía y para tangibilizarla, surgieron los distintos modelos de calidad (premios para la calidad) y 4) los premios para calidad sirven para evaluar la empresa, son premios nacionales de cada región o país y para poder estandarizarlos, surge la necesidad de crear normas que seas aplicables en todas las empresas y en todas las regiones.

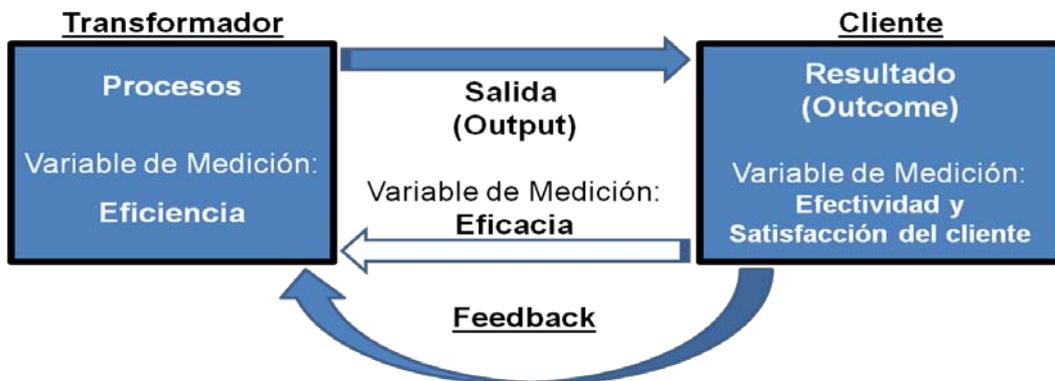
## 1.5 Mejora de procesos

Antes de empezar a hablar de mejora de procesos, es imprescindible que se entienda el concepto de proceso ya que no existe producto y/o servicio sin un proceso. De la misma manera, no existe proceso sin un producto o servicio. En la pasada década, el término de «**procesos**» fue uno de los conceptos del management más utilizados y que más capturó la imaginación de las organizaciones en el ámbito mundial (Kettinger, Teng, & Guha, 1997). Muchos autores consideran al término de procesos como parte del lenguaje cotidiano de las organizaciones (R. G. Lee & Dale, 1998; Zairi, 1997). De hecho, algunos de estos autores lo han considerado como un sinónimo para alcanzar la eficiencia operativa tan deseada en el mundo empresarial (Hammer, 1990; Harrington, 1991; Majchrzak & Wang, 1996). De esta manera, dicho término generó un frenesí de entusiasmo y de impresión tanto en el ambiente empresarial, como en el académico de la década pasada (Armistead, 1996). Hoy, la literatura muestra una gran cantidad de definiciones del concepto de procesos que están relacionados con la percepción y el campo de estudio de cada autor. Entre toda esa variedad, (Tinnila, 1995) clasifica las definiciones en tres grandes grupos: **1) el concepto operativo**, o aquel relacionado con mejorar la eficiencia operativa de la relación transformador, entrada (input) y salida (output), en este concepto, los procesos se comportan como elementos transformadores que consumen recursos en mínimos niveles para entregar resultados (outputs) de acuerdo a las especificaciones de un cliente (Harrington, 1991; Krajewsky & Ritzman, 2002); **2) el concepto de innovación-radical**, los procesos siguen el mismo principio anterior, sin embargo, el impacto que debe alcanzar el elemento transformador debe ser radical para alcanzar una eficiencia operativa que maximice en todo momento los beneficios a los clientes (Hammer & Champy, 1993; Leth, 1994; Talwar, 1993). Por último, **3) en el concepto organizacional**, los procesos son visualizados a nivel macro (Tinnila, 1995), es decir, todo el trabajo de una organización se puede comprender en términos de procesos, que se interrelacionan, que se influyen y que además, son interdependientes en un funcionamiento integral (Biazzo & Bernardi, 2003; Juran, 1990; Pall, 1987; Scherr, 1993; Zairi, 1997). Por lo anterior y en función de los tres conceptos de procesos señalados por (Tinnila, 1995), en el Anexo 1.2 se describen las definiciones agrupando a los autores en tres grandes grupos.<sup>9</sup> Existen otras definiciones como la ISO 9000 que define procesos como: “Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las

cuales transforman elementos de entrada en resultados”. Con esta definición, se puede deducir que el enfoque basado en procesos enfatiza cómo los resultados que se desean obtener se pueden alcanzar de manera más eficiente si se consideran las actividades agrupadas entre sí, considerando, a su vez, que dichas actividades deben permitir una transformación de unas entradas en salidas y que en dicha transformación se debe aportar valor, al tiempo que se ejerce un control sobre el conjunto de actividades. Por otra parte, a mediados de los ochenta, la literatura comenzó a señalar una vertiente más estratégica del elemento transformador, es decir, ya no bastaba con la simple transformación de entradas (inputs) en salidas (output), se requería además **«agregar valor»** a cada producto y servicio que se producía (Galloway, 1994). Los trabajos de Michael (Porter, 1985), con su concepto de *«cadena de valor o proceso único»*, fue en dónde más se cristalizó la idea. Para (Porter, 1985), las organizaciones están compuestas por una serie de procesos articulados, que constituyen una red interna diseñada para transformar de manera acumulativa entradas (inputs) en productos y/o servicios (outputs), que crean valor en todo momento para el cliente. Esta nueva idea se conoció como *«More Value Added, MAV (Más Valor Agregado)»*. Para (Zairi, 1991) la característica clave del elemento transformador es que siempre que opera sus actividades se encuentra implícito agregar valor a la salida (output), en tres formas elementales: 1) *valor de tiempo*: las salidas (outputs) se suministran cuando se requieren; 2) *valor de lugar*: las salidas (outputs) se suministran en el momento en que se requieren; 3) *valor de forma*: las salidas (outputs) se suministran de la manera que se requieren. La última característica bien referenciada en la literatura, es el tema de la medición del rendimiento de los procesos. Varios autores han propuesto diferentes mecanismos para medir los procesos, desde las perspectivas muy clásicas como la eficiencia y la eficacia, hasta la incorporación del enfoque al cliente (Gardner, 2001; Kueng, 2000; Tenner & De Toro, 1997). Según Juran (Juran, 2001) establece que existen tres dimensiones principales para medir la calidad del proceso: *efectividad, eficacia y adaptabilidad*. El proceso es efectivo si su salida satisface las necesidades de los clientes. Es eficaz cuando es efectivo al menor costo. El proceso es adaptable cuando se mantiene efectivo y eficaz frente a los muchos cambios que ocurren en el transcurso del tiempo. En este sentido, (Harrington, 1991) describe que: 1) *la efectividad o eficacia*, la medida por la cual las salidas (output) cumplen con los requerimientos del cliente; 2) *la eficiencia*, la medida por la cual los recursos son minimizados y los gastos eliminados; 3) *la adaptabilidad*, es decir, que tan rápido y fácil el proceso puede cambiar cuando los objetivos del mismo varían conforme al entorno. Además indica, que dentro de la medida de eficiencia, es importante considerar la medición del *ciclo de tiempo del proceso*, que Harrington define como: *«el total de tiempo requerido para completar el proceso»*, así como del *coste* del mismo. Por otro lado, (Tenner & De Toro, 1997) también indican, que las medidas para el rendimiento de un proceso deben ser: **1) la eficiencia que se relaciona con aspectos internos del proceso**, y se explica como magnitud requerida para alcanzar los niveles mínimos de consumo de recursos; **2) la eficacia relacionada con la salida (output)**, es decir, la capacidad del proceso para entregar productos y/o servicios de acuerdo a los requerimientos del cliente; **3) la efectividad del producto y/o servicio y la satisfacción del cliente relacionada con el resultado del proceso (outcome)**, entendida como la habilidad del proceso

para satisfacer las necesidades del cliente, en términos de qué tan bien actúa el producto y/o servicio cuando el cliente lo tiene y lo utiliza (ver figura 1.6).

Figura 1.6: Esquema para la medición del rendimiento de los procesos



Fuente: Interpretado del Modelo que presenta (Terner, & De Toro, 1997)

## 1.6 Clasificación de los procesos

Hasta ahora, se han analizado que las organizaciones están compuestas por procesos que entregan salidas (outputs) a un cliente, por lo tanto, desde esa perspectiva y derivado a sus orígenes en la Administración Científica, los procesos históricamente han sido erróneamente identificados y asociados como funciones departamentales (ejemplo: Contabilidad, Recursos Humanos, Finanzas, Producción, etc.) (Harrington, 1991). De esta manera, entendiendo a las organizaciones como intrínsecamente multifuncionales por su naturaleza del trabajo mismo, los procesos pueden operar a un nivel macro del trabajo organizacional. Bajo este enfoque, dichas multifunciones son denominadas: **«Macroprocesos»** (Harrington, 1991). Cada macroproceso a su vez, está lógicamente constituido por múltiples segmentos que actúan a un nivel más micro de la estructura jerárquica de la organización, los cuales son denominados como: **«Microprocesos o subprocesos»** (Harrington, 1991; Tenner & De Toro, 1997). Por su parte, cada microproceso se encuentra conformado por un grupo de operaciones más específicas que se denominan: **«actividades»** que como su nombre lo indica son entendidas como una unidad del proceso que puede realizar un trabajo (material o mental) (Harrington, 1991; Kanawaty, 2000). Esta clasificación, por nivel de actuación de la organización puede llegar hasta el nivel de sub-actividades denominadas **«tareas u operaciones»** (Harrington, 1991) (Ver Anexo 1.3). Otra clasificación similar a la anterior, se relaciona con la idea de las fronteras que se generan por la estructura organizacional, por ejemplo, los procesos que operan dentro de un límite organizacional (un área o un departamento) se les conoce como **«funcionales o verticales»**. Mientras que los procesos que atraviesan y van más allá de un límite organizacional, se les conoce como: **«inter-funcionales u horizontales»** (Salgueiro, 1999; Tenner & De Toro, 1997). Dentro de esta clasificación, también se encuentran aquellos procesos que cruzan las fronteras de la organización (dos o más empresas que operan en conjunto), es decir, los procesos **«inter-organizacionales»**. Y en un nivel menor, se encuentran los procesos **«inter-personales»** o aquellos

procesos que involucran actividades que se realizan o que se encuentran dentro de las áreas departamentales, que comúnmente se les denomina: *funciones departamentales* (Davenport & Short, 1990).

Por otra parte, desde el punto de vista de la importancia estratégica de la organización, los procesos se pueden clasificar en: «**procesos claves (core process)**» y «**procesos de soporte**». El primero se entiende como aquellos procesos que representa la razón de ser del negocio, es decir, aquellos procesos primordiales de la organización de cara a sus resultados, generalmente son asociados con las competencias y las capacidades esenciales de la empresa (Prahalad & Hamel, 1990). Mientras que los procesos de soporte o secundarios, sirven de apoyo y sustentos a otros procesos y sus clientes son internos y normalmente están dentro de la propia área de trabajo (Kaplan & Murdock, 1991; Tenner & De Toro, 1997).

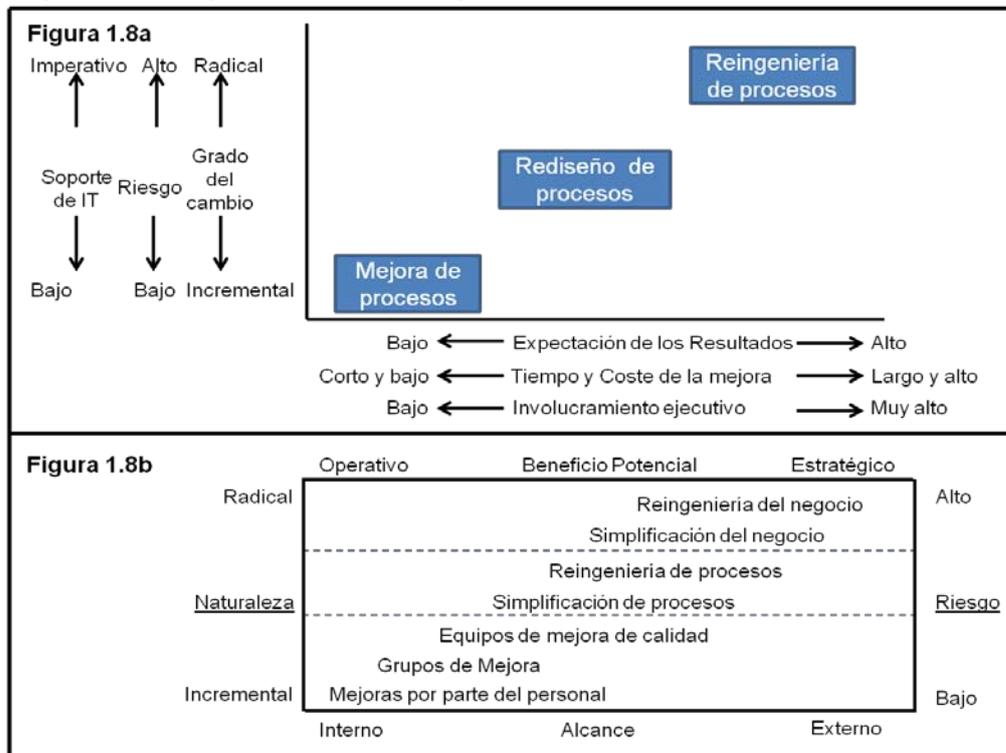
Siguiendo una idea similar, otros autores han clasificado a los procesos por su función o papel que toman dentro de la organización. La clasificación tradicional de este tipo de procesos es la de dividir los procesos en tres grandes grupos: 1) *los procesos de gestión estratégica*, 2) *los procesos operativos*, 3) *los procesos de soporte* (Bal, 1998; Childe & Maull, 1994). De acuerdo a esta clasificación, los procesos de *gestión estratégica* son aquellos en los que se encuentran involucradas todas las actividades de planificación estratégica de la organización. Funcionan como un conjunto de actividades de dirección que toman ideas del ambiente de negocios, del feedback de los clientes y de otras fuentes, para que sean transformadas en grupos de estrategias, metas operativas y métricas de rendimiento. Posteriormente, se encuentran los 2) *procesos operativos* que también se pueden entender como «*procesos con flujo de pedido*». Por esta denominación, el proceso comienza con el pedido o solicitud de un cliente que genera se accione el mecanismo de transformación de entradas (inputs) en salidas (outputs). Dichas salidas, tienen que ir acorde a los requerimientos del cliente, por lo tanto, no sólo basta producirlos, también hay que distribuirlos y entregarlos (ejemplo: el desarrollo de nuevos productos, compras y adquisiciones, manufactura, logística integrada, servicio post venta, etc.) (Bal, 1998; Davenport, 1993). A su vez los procesos operacionales se pueden sub-clasificar en: 1) *procesos de manufactura* y, 2) *procesos de servicio*. El último de los tres tipos de procesos que (Childe & Maull, 1994) proponen, son los 3) *procesos de soporte*, este tipo de procesos, representan el conjunto de actividades requeridas para apoyar a los procesos operacionales y en su caso, los procesos esenciales de la organización (ejemplo: gestión de recursos humanos, marketing, etc.).

## 1.6.1 Tipos de mejoramientos

Según Juran “Mejorar” consiste en alcanzar un nuevo nivel de prestaciones (performance) que es superior a cualquier nivel previamente alcanzado. La superioridad se obtiene por la aplicación del concepto de “descubrimiento” (breakthrough) a los problemas de calidad. Mejora significa la creación organizada de un cambio beneficioso para obtener niveles de desempeño sin precedentes en los procesos (Juran, 2001). De esta manera, la Mejora Continua de Procesos es definida por (Harrington, 1991) como: “Una metodología sistemática desarrollada para ayudar a una organización a tener avances significativos en la manera que

operan sus procesos”. Otros autores se han referido a la misma, como: Innovación de Procesos (Davenport, 1993); Rediseño de Procesos (Davenport & Short, 1990); e incluso, en una posible evolución del concepto como Reingeniería de Procesos (Hammer & Champy, 1993) o Gestión de los Procesos del Negocio (Elzinga & Horak, 1995; Yu Yuang-Hung, 2006). Entre toda esta variedad, algunos autores han realizado un intento por ordenar la perspectiva de la Mejora Continua de Procesos en tres dimensiones principales (Childe & Maull, 1994; Jackson & Sloane, 2003; MacDonald, 1995), que a continuación se indican: 1) La MCP del tipo incremental o Kaizen, 2) La MCP del tipo de rediseño de procesos, y la 3) Reingeniería de los Procesos del Negocio. Estas tres dimensiones de la Mejora Continua de Procesos representan un camino por el cual las organizaciones transitan en su búsqueda de la mejora. En otras palabras, pueden partir desde un enfoque de mejoras incrementales, hasta terminar en el completo rediseño del negocio utilizando una aproximación como la Reingeniería de Procesos (Ver figura 1.8) (Childe & Maull, 1994; Galgano, 2003; Jackson & Sloane, 2003; MacDonald, 1995).

**Figura 1.8:** Tres aproximaciones de la Mejora Continua de Procesos



Fuente: para figura 1.8a (Macdonald J., 1995) y para figura 1.8b (Childe, S. J., R. S. Maull, et al., 1994)

### 1.6.1.1 Mejora Continua de Procesos con enfoque incremental o KAIZEN

Desde que autores clásicos del TQM como William Deming (1986), Joseph Jurán (1974) y Kaoru Ishikawa (1988) indicaron que el concepto de Mejora Continua de Procesos (MCP), representaba un elemento esencial de esta dimensión. Diferentes metodologías, técnicas y herramientas surgieron y fueron aplicadas en las organizaciones entendidas bajo el enfoque Kaizen. Ante todo este contexto, la palabra «Kaizen» es una derivación de dos ideogramas japoneses: «KAI» que significa «cambio» y «ZEN» que significa «El

*bien, para mejorar*». En sí se comprende en el mundo empresarial y académico como: «*Mejora Continua o Principio de Mejora Continua*» (Imai, 1989) sobretodo en las investigaciones occidentales (Bessant, Caffyn, Gilbert, Harding, & Webb, 1994; Russell D., 1991). Para (Imai, 1989) acuñador del término, el Kaizen se puede entender como: «*Mejoramiento. Cuando se aplica al lugar de trabajo como un mejoramiento continuo progresivo que involucra a todos gerentes y trabajadores por igual*». En otros términos, el Kaizen es definido como una filosofía que requiere que todas las personas, todos los días, en todos los lugares puedan y deban mejorar (IMAI, 2000). Investigaciones más recientes acerca de esta dimensión – *La Mejora Continua de Procesos (MCP) bajo la filosofía Kaizen* –. Al respecto, (Bessant & Caffyn, 1997) la definen como: «*Un proceso de toda la organización que se enfoca en un continuo e incremental esfuerzo de innovación*». Para estos autores la MCP, es entendida como un proceso de innovación constituido por mejoras incrementales que a lo largo del tiempo va generando los cambios que necesita la organización. Una definición similar es la que proporciona (Jorgensen, Boer, & Gertsen, 2004), al indicar que la MCP es: «*Un proceso planeado, sistemático y organizado de toda la organización que busca un cambio incremental de las prácticas existentes que redunde en el rendimiento de la compañía*». Ambas definiciones, hacen énfasis en las mejoras pequeñas, de corte incremental y con una alta participación de los empleados en las mismas.

Por otro lado, la práctica de esta dimensión en el mundo empresarial occidental también ha generado dos metodologías de aplicación de la misma. La primera se conoce como «*Kaizen Blitz*», entendida como un «*bombardeo de mejoras*», la cual intenta atacar rápidamente un problema a través de pequeñas y acumulables mejoras en los procesos de trabajo (Sheridan, 1997). Generalmente, se asocia al trabajo intensivo de una semana laboral para la resolución de dichos problemas (Montabon, 2005), lo que ha llevado a otros autores a denominarlo como: «*Gemba -Kaizen workshop*» (Wittenberg, 1994). La segunda metodología, es la que se conoce como «*Kaizen Teian*», referido a los mecanismos de propuestas o sugerencias de ideas de mejora por parte de los empleados con el fin de solventar problemas de los procesos (Asociación de Relaciones Humanas del Japón, 1992). A pesar de esta variedad, la literatura dice que la MCP enfocada al Kaizen presenta ciertas características comunes que la delimitan (Brunet, 2000; Imai, 1998; Tozawa & N., 2002). A continuación se describen: Se orienta a pequeños cambios, graduales e incrementales que pueden implantarse inmediatamente en el sitio de trabajo (en el *gemba*) (Imai, 1998). En todas las mejoras participan todos los empleados, los cuales tienen la responsabilidad directa de mejorar. En ocasiones se emplean pequeños grupos de trabajo (conocidos como «*equipos de mejora*») los cuales trabajan bajo una perspectiva «*bottom-up*», es decir, de abajo hacia arriba (de los empleados a la dirección) circulan las iniciativas de mejora (Zairi, Letza, & Oakland, 1994). Las mejoras se realizan sobre unos varios problemas de los procesos de trabajo (Kume, 1985; MacDonald, 1995). También se centran en mejorar los métodos y estándares de trabajo a través de la búsqueda de gastos o despilfarros (*mudas*) (Ohno, 1978; Susaki, 1987). El riesgo que se asume es bajo al igual que su coste. Se utilizan técnicas y herramienta estadísticas básicas y sencillas de aplicar por parte de los empleados. Se

sustenta en la voluntariedad, por lo que el nivel de recursos (financieros, materiales y de personas) es mínimo. En base a todas estas características, la MCP enfocada en el Kaizen se comprende como pequeñas mejoras incrementales y acumulables que permiten reducir o eliminar problemas y/o despilfarros (mudas) de los procesos, llevando a la organización a una espiral de innovación incremental (Tanner & Roncarti, 1994). La MCP enfocada al Kaizen realiza estas actividades de mejora a través de técnicas elementales tales como: 1) la aplicación del «ciclo de mejora de Deming PDCA y, 2) la resolución de problemas a través de la llamada *Historia de la Calidad* (QC Story por su nombre en inglés) (Kume, 1985; Xie & Goh, 1999). El ciclo de mejora PDCA representa la base conceptual de la MCP y de los modelos teóricos del TQM de diferentes autores y de varias organizaciones estudiadas (Kanji, 1996). De esta manera, la técnica más precisa para llevar a la práctica el ciclo de mejora PDCA al nivel de procesos es la denominada «*Historia de la Calidad* (Ishikawa, 1988).

La Historia de la Calidad se considera un procedimiento de resolución de problemas que consta de siete pasos elementales (Kume, 1985) (Ver Anexo 1.4). Otras dos técnicas que se consideran básicas dentro de esta dimensión de la MCP, son las «5'S» y los «*grupos de mejora*» (Ho & Fung, 1994).

De acuerdo a la literatura, la técnica de las 5'S se considera como el primer paso en los modelos de TQM y de MCP, debido a que es una metodología que permite organizar y ordenar el área de trabajo como inicio para generar un hábito de mejora (Hirano, 1995). Por el otro lado, los grupos de mejora generalmente se asocia en dos tipos de agrupaciones: 1) los «*círculos de calidad*» o pequeños grupos de trabajo de carácter permanente que voluntariamente se reúnen a solucionar problemas de calidad del taller de trabajo, mediante el empleo de herramientas estadísticas (Ishikawa, 1988; Watanabe, 1991), 2) «*los equipos de mejora de procesos*», grupos más interdisciplinarios, autodirigidos, con poder de decisión, y nivel técnico avanzado, están enfocados a resolver uno o varios problemas de los procesos, encontrar gastos o despilfarros y eliminarlos. Todas las clasificaciones que presentan los grupos de mejora bajo el contexto de la MCP tienen como elemento en común el uso de la técnica de la Historia de la Calidad (QC Story) y sus respectivas herramientas estadísticas (McQuarter & C.H., 1995). Las más comúnmente referenciadas para su uso en la literatura son las llamadas «*7 herramientas básicas de la calidad*», su aplicación generalmente se encuentra vinculada a técnicas tales como los grupos de mejora y a la historia de la calidad (Kume, 1985). Dichas 7 herramientas estadísticas básicas se muestra en el Anexo 1.5. Por último, la MCP bajo el enfoque el Kaizen también ha recibido diferentes críticas de varios autores que señalan que su enfoque es limitado, lento e incluso arriesgado porque se puede correr el riesgo de un estancamiento en la actuación de la organización (J. O. Burdett, 1994; Knorr, 1991). Además, se argumenta que a corto y mediano plazo no se alcanzan a realizar mejoras que realmente impacten en los resultados financieros de la organización (Chang, 1994). Otros autores han indicado, que es muy difícil esperar que los trabajadores de cualquier organización «*felizmente*» encuentren y eliminen problemas y despilfarros, cuando en muchas ocasiones cada uno de ellos no comparte intereses, convicciones y muchos menos los objetivos de la empresa (Delbridge, Turnbull, & Wilkison, 1993; Fucini & Fucini, 1990).

Asimismo, la aproximación de la MCP enfocada en el Kaizen sigue siendo como término, un concepto que todavía no puede ser bien delimitado, considerablemente diverso y adscrito al contexto de la organización que se desarrolla (A. P. Burdett & New, 2003).

## 1.6.1.2 Mejora de Procesos o el Rediseño de Procesos

Para mediados de los noventa, la evolución de las ideas tradicionales del TQM y la Mejora Continua de Procesos de corte incremental giró hacia nueva generación de técnicas, metodologías o combinación de palabras entorno al *pensamiento por procesos*, la cual, inundó el mercado mundial con artículos y libros que se convirtieron en documentos bien conocidos en el ámbito empresarial (Grover, Kettinger, & Teng, 2000). Debido a estos cambios que ocurrían en el ámbito empresarial, las investigaciones se centraron en desarrollar conceptos dentro de la dimensión de *la Mejora Continua de Procesos (MCP) con enfoque de Rediseño de Procesos*. El propósito principal de estos nuevos autores, se relacionaba con la evolución de una perspectiva de mejoras incrementales centralizada a resolver problemas específicos de los procesos en fronteras organizacionales delimitadas. Se puede entender a la MCP con enfoque de Rediseño de Procesos por el nombre de: *«Mejora de los Procesos del Negocio»* (Business Process Improvement BPI), que (Harrington, 1991) lo define como: *«Una metodología sistemática desarrollada para ayudar a una organización a tener avances significativos en la manera que operan sus procesos»*. Otros autores contemporáneos de esta dimensión, son (Davenport & Short, 1990) que la definen como: *«El análisis y diseño de los flujos del trabajo y los procesos dentro y fuera de las organizaciones»*. Años más tarde (Davenport, 1993), rebautizaría su metodología denominándola: *«Innovación de Procesos del negocio»* y definiéndola como: *«El esfuerzo primario de innovar los procesos para asegurar mejoras radicales en el negocio. Para (Zairi, 1997) el BPM se define como: «Una aproximación que depende de los elementos estratégicos, operacionales, del uso de técnicas y herramientas modernas, del involucramiento del personal, y de lo más importante de un enfoque horizontal que tiene como propósito buscar la mejor manera de cumplir con los requerimientos del cliente y satisfacerlo»*. Además, esta definición también vincula e incluye las mejoras de corte incremental analizadas en la aproximación anterior de la MCP (Ver subíndice 1.6.2.1) (Pall, 1987). Sustentado en los trabajos de Zairi, De Toro y McCabe y de, Yu-Yuang Hung, se puede señalar que la MCP con enfoque de Rediseño de Procesos está caracterizada o gobernada por las siguientes pautas elementales: 1) Las mejoras que se impulsan son de corte radical, pero con un riesgo intermedio, no alto. De la misma manera ocurre con los recursos requeridos (MacDonald, 1995), 2) La mayoría de las actividades de los procesos tienen que ser propiamente documentadas, graficadas y mapeadas a través de herramientas específicas (Babicz, 2000; Zairi, 1997), 3) Crea un enfoque e impacto directo con el cliente a través del flujo horizontal de los procesos y actividades claves de la organización (el proceso comienza y termina con el cliente), reduciendo y minimizando en este sentido las limitaciones de la gestión por funciones departamentales o vertical(De Toro & McCabe, 1997; Ostroff, 1999; Spector, 1999; Yingling, 1997), 4) Desarrolla una visión holística que enfoca sus mejoras en los procesos integrales y completos y no sólo en pequeñas mejoras caracterizadas por la resolución de

problemas de sólo una parte de los procesos o de sus actividades (Tenner & De Toro, 1997), 5) Fomenta una perspectiva más estratégica vinculada a la operación a través de la gestión y mejora de los procesos críticos, permitiendo así, que las decisiones operacionales sean más fáciles y consistentes (Davenport, 1993; Tinnila, 1995). Desde el establecimiento de objetivos y metas estratégicas (marketing, distribución, comercial y producción) por parte de la dirección hasta el despliegue y difusión de las mismas, la gestión y el Rediseño se convierte en una guía eficaz para alinear la estrategia a la operación (R. G. Lee & Dale, 1998; Zairi, 1997), 6) Esta perspectiva es facilitada por la Tecnología de Información (TI). El TI se convierte en un poderoso conductor que se utiliza comúnmente en las iniciativas de Rediseño de Procesos, ya que facilita la integración de la información a través de la estructura organizacional. Para algunos autores, el TI vinculado a la gestión y el Rediseño de Procesos puede minimizar y eliminar los problemas de coordinación y mejorar el rendimiento de los procesos con un impacto inter-funcional, interdivisional e incluso inter-organizacional (Davenport, 1993; Powell & Dent-Micallef, 1997; Short & Venkatraman, 1992; Venkatraman, 1994), 7) El Rediseño de Procesos debe incluir el involucramiento total del personal (Yu Yuang-Hung, 2006). Su orientación siempre debe estar sustentada en los empleados que participan directamente en el proceso, ya sea de manera individual o a través de equipos (De Toro & McCabe, 1997; Elzinga & Horak, 1995), 8) Su uso debe convertirse en una fuente de inspiración como una buena práctica (Klein, 1993; Zairi, 1997). Bajo todo este contexto de características, (Harrington, 1995; K. T. Lee & Chuah, 2001) han considerado que la MCP con enfoque de Rediseño de Procesos está constituida a su vez por tres alternativas metodológicas que a continuación se indican: 1) *Procesos de Benchmarking*, entendido como la comparación del proceso a mejorar con respecto a procesos similares en el mundo que realizan mejores prácticas o que tienen mejores rendimientos. Esta comparación permite establecer objetivos y metas específicas para llevar al proceso a los niveles que la organización busca; 2) *Rediseño de procesos* (sigue las características previamente señaladas), y 3) *Diseño de nuevos procesos*, también denominado innovación de procesos o análisis global de la organización. Este enfoque se sustenta en la creación de una visión de cómo deben funcionar los procesos de la organización de manera ideal, busca apoyo en la TI para rediseñarlos por completo (olvidando lo existente referente a procesos, prácticas e incluso estructura organización), y lo implementa a través de un mecanismo de participación de los empleados denominado: «*Equipos de Mejora de Procesos*». Enfoque que se acerca a la tercera aproximación que se analiza en este apartado, la Reingeniería de Procesos. Por último, de acuerdo a la literatura la aplicación de la MCP con enfoque de Rediseño de Procesos, existen diversas metodologías de esta aproximación que varían en su uso e implantación dependiendo la aproximación de cada autor (Ver Anexo 1.6). Las dos herramientas más utilizadas de acuerdo a (Ungan, 2006a), además de las técnicas previamente señaladas, – procesos de Benchmarking y los equipos de mejora de procesos– son: 1) los diagramas de flujo y 2) los mapas de procesos. El uso de diagramas de flujo apropiados representa una excelente herramienta para comprender los procesos, además argumentan que invertir tiempo en la comprensión del proceso representa una forma de facilitar la futura resolución de los problemas que se encuentren en el mismo. El uso de los mapas de procesos en lugar de los diagramas de flujo ha sido el resultado de que estos últimos no eran lo

suficientemente útiles para ilustrar las interacciones ente los procesos, tanto los diagramas de flujo como los mapas de procesos deben ser elaborados por los empleados que participan en el proceso, aquellos que realmente los conocen, que por lo general forman parte de un equipo de mejora de procesos (Harrington, 1987; K. T. Lee & Chuah, 2001; Medina-Giopp, 2003).

### 1.6.1.3 Reingeniería de Procesos

La tercera dimensión descrita de la MCP es *la Reingeniería de los Procesos del Negocio* (Business Process Reengineering BPR), la cual, fue introducida como concepto en un artículo publicado por Hammer en 1990 en la Harvard Business Review (Dumay, 1998; Zairi & Sinclair, 1995). En este artículo, el autor esbozó una nueva aproximación para mejorar los procesos del negocio en la cual se argumentaba que se podrían producir mejoras radicales en el rendimiento de los procesos (Hammer, 1990). Otros autores han señalado, que el interés por la Reingeniería surgió durante la década de los ochenta debido a las fuertes presiones competitivas y de recesión que varios corporativos empresariales tenían. (Talwar, 1993) por su parte, la definió como: «*Reestructuración del Negocio*», entendida como: «*La revisión fundamental y el rediseño radical de los procesos del negocio para alcanzar mejoras espectaculares utilizando una medición crítica y contemporánea del rendimiento organizacional, tales como el coste, la calidad, el servicio y la rapidez*». Siguiendo la descripción de la literatura, varios autores que la han promovido han tratado de caracterizarla en base a su experiencia práctica (Barta, 1995; Hammer & Champy, 1993; Leth, 1994; Talwar, 1993). A continuación se describen dichas características: 1) Centra íntegramente las mejoras en los procesos (todos los procesos de la organización), ya que los mismos son la vía a través de la que la meta de poner a los clientes primero se operacionaliza y logra consecuencias prácticas, 2) El esfuerzo es inter-departamental e inter-funcional (romper las barreras) y se caracterizan por mejoras de corte radical, con alto riesgo y altos costes y uso de recursos, 3) Se orienta a resultados y a la creación de valor, lo que permitirá crear una distinción competitiva como organización, 4) El esfuerzo de BPR se centra en la Tecnología de Información. Integra las fases de generación, tratamiento e interpretación de la información en un ciclo completo, 5) El rediseño de los procesos debe ser total (borrar lo que se tiene y empezar de nuevo). Para Zairi y Sinclair (1995), los autores que han definido al BPR no han establecido específicamente que metodologías, técnicas y herramientas se utilizan a través de ella, debido a que dichos autores han indicado diferentes propuestas según su contribución teórica. Entre las que Zairi y Sinclair (1995) identifican se incluyen: 1) *La visualización de procesos*, técnica enfocada en encontrar una visión (una fotografía del futuro) de los procesos que se requieren para la organización (Barret, 1994); 2) el *Benchmarking*, misma aplicabilidad que en la Mejora de Procesos o Rediseño de procesos (Klein, 1993; Sinclair & Zairi, 1995); 3) *la Tecnología de Información*, misma aplicabilidad que en la Mejora de Procesos o Rediseño de procesos; 4) *el Rediseño de procesos enfocado en satisfacer al cliente*, de acuerdo a esta técnica el principal objetivo del BPR es rediseñar los procesos para mejorar su rendimiento desde la perspectiva y requisitos del cliente (Chang, 1994; Janson, 1992), y por último, 5) *la gestión del cambio*, varios autores se han concentrado en vincular en el lado «*softsuave*» de la organización, tales como: el

aspecto humano (involucramiento y participación de los empleados) (Mumford & Beekma, 1994), el compromiso de la alta dirección (Hammer & Stanton, 1995), e incluso el cambio cultural (Arendt, Landis, & Meister, 1995).

#### 1.6.1.4 Comparación de las dimensiones de la Mejora Continua de Procesos

Una vez analizadas las tres dimensiones de la Mejora Continua de Procesos, se presenta a manera de resumen del subíndice 2.1.6., una tabla comparativa (Ver Anexo 1.6) de cada una de las perspectivas, sus autores principales, las técnicas y metodologías utilizadas. Dicha comparación está basada en la que presenta Tinnila (1995). Por último, además de esta clasificación de la Mejora Continua de Procesos (MCP), algunos autores han argumentado que para conseguir que las mejoras realizadas a los procesos, impacten de manera más contundente en el rendimiento de los mismos, y que además, no se diluyen debido al ambiente y la inercia cultural de la organización, es necesario combinar los tipos mejoras Incrementales y Radicales dentro de un solo esfuerzo que comparte el mismo principio de mejorar los procesos (Harrington, 2000). En este sentido, diferentes autores han establecidos diferentes análisis de la conjunción de perspectivas, desde la integración del TQM (mejoras incrementales de abajo hacia arriba (*Bottom up*) con alta participación del personal) con la Reingeniería (mejoras radicales de los procesos críticos gestionadas y dirigidas de arriba abajo *Top Down*) (Kelada, 1994; MacDonald, 1995), hasta la integración de mejoras o innovaciones radicales (tipo breakthrough) junto con pequeñas mejoras incrementales y acumulables (tipo Kaizen) (Harrington, 1995; Imai, 2007). Recientes investigaciones en el campo de la mejora continua han comenzado a explorar un concepto integrado de MCP que integra ambas dimensiones: «**La Innovación Continua**» (Boer & Gertsen, 2003; Tonnesen, 2005). Sin embargo, todavía sigue existiendo un gran debate en la literatura del tema, con respecto a utilizar de manera complementaria aproximaciones de la MCP del tipo Kaizen o incremental o del tipo de rediseño o más radical (Hill & Collins, 2000).

#### 1.7 Seis Sigma una estrategia para la Mejora

Existen diversas definiciones de SS por algunos autores como (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000) que lo definen como: “Un sistema comprensible y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito en los negocios. Entendiendo las necesidades de los clientes, el uso disciplinado de los hechos, datos y análisis estadísticos, con una diligente atención hacia la administración, dirección y mejoramiento de los procesos”. El Seis Sigma en términos de negocios se puede definir como “Una estrategia de la mejora del negocio para su beneficio, a través de la eliminación del desperdicio, reducción de costos y mejoramiento en la eficacia y eficiencia de todas las operaciones para resolver o aún exceder las necesidades y expectativas de los clientes”. (Banuelas, Antony, & Brace, 2005). Autores tales como (Gutierrez Pulido & Vara Salazar, 2004) lo definen como: “Una estrategia de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, enfocándose hacia aquellos aspectos que son críticos para el cliente.” Para Seis Sigma, un proceso es la unidad básica de

mejoramiento (Yang, 2003). El propósito del mejoramiento del proceso es incrementar el desempeño y disminuir la variación del desempeño. Este incremento en el desempeño y reducción en la variación del proceso conducirá a una reducción de defectos y un mejoramiento en las ganancias. El nombre Seis Sigma se deriva de una terminología estadística; Sigma ó la letra griega  $\sigma$ , significa *desviación estándar*. Para una distribución normal, la probabilidad de que un punto se encuentre entre el rango  $\pm 6$  sigma, alrededor de la media es 0,9999966. La meta de Seis sigma es lograr procesos que como máximo generen 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), en donde una oportunidad está representada por la inspección de alguna característica del producto que pueda ser encontrada fuera de especificaciones y así representar un defecto o error. Para alcanzarla se necesita de un programa vigoroso de mejora, diseñado e impulsado por la alta dirección de la organización, donde se desarrollen proyectos de este tipo a lo largo y a lo ancho de la empresa, que logren mejorar y eliminar defectos y retrasos de productos, procesos y transacciones. (Henderson, 2009).

La estrategia Seis Sigma (SS) se apoya en una metodología altamente sistemática y cuantitativa orientada a la mejora de la calidad del producto o del proceso. Esta estrategia posee tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos (Gutiérrez Pulido & Vara Salazar, 2004). Esta estrategia ayuda a conocer y comprender profunda y claramente los procesos, de tal manera que puedan ser mejorados al punto de reducir el desperdicio generado en ellos (Rueda, 2007), en su tesis para obtener el grado de Maestría, indica que, SS es un enfoque cuantitativo de la calidad, una filosofía de trabajo y una estrategia de negocio, que se basa en el enfoque hacia el cliente. (Rodríguez, 2010), señala que no se trata de un programa de calidad, sino de una iniciativa empresarial, que persigue mejoras en la calidad, sólo si añade valor al cliente y a la compañía. Finalmente, se puede decir que SS es una estrategia para resolver problemas crónicos que beneficia a los clientes y el desempeño financiero de la empresa, que reduce el desperdicio y la ineficiencia a través de un proceso sistemático de reducción de la variación, basada en el conocimiento científico y en la generación de datos.

## 1.7.1 La filosofía Seis sigma

Seis Sigma es una filosofía ligada al análisis de control estadístico de la calidad total, la que se encuentra enfocada a la optimización de los procesos y sistemas de las compañías, por medio de reducciones drásticas de la variación del proceso (Pande et al., 2000). Dentro del marco histórico de SS, la filosofía se inició en 1987, en la empresa de productos electrónicos Motorola, y desde ahí ha ido creciendo en popularidad al ser adoptada por un gran número de compañías a nivel mundial, desarrollando nuevas técnicas e implementaciones por parte de los gurús de la filosofía de calidad (PPG Consultores). Existen “verdades ocultas” de la filosofía explicadas por diferentes autores descritas a continuación:

- Nivel de participación del área de dirección que comprometa liderazgo en el proyecto de calidad. Se lo conoce también como un liderazgo de arriba hacia abajo. Se refiere a que la metodología se la debe implementar en una empresa, empezando a través del área de dirección, desde el gerente que se

encuentra a la cabeza de la industria. Sin el compromiso y entrega de los dirigentes de la empresa a cambiar la filosofía de calidad de manera radical, como lo hace Seis Sigma, no se podrá implementar esta filosofía de forma adecuada y resultará en un intento más de mejorar la calidad en la empresa (Gutierrez Pulido & Vara Salazar, 2008).

- La filosofía comprende una gestión empresarial con buenas prácticas y destrezas, que son herramientas esenciales para el crecimiento de la compañía; y estas prácticas son generales para cada rincón de la empresa donde se debe asegurar que éstas prácticas se estén cumpliendo. La recompensa de controlar la aplicación de dichas destrezas es la experiencia que servirá en el futuro para poder aplicarlo en diversas actividades desde la planeación estratégica hasta las operaciones y el servicio al cliente (Pande et al., 2000).
- Utilización de herramientas específicas de apoyo para el mejoramiento de la calidad, en ésta se incluyen todo tipo de herramientas estadísticas a las cuales la filosofía está muy apegada. Estas herramientas funcionan recopilando datos del estado de la compañía y analizándolos para determinar las variables del proceso que son críticas para la calidad, para realizar un enfoque posterior en la disminución de la variabilidad en estos procesos críticos (Gutierrez Pulido & Vara Salazar, 2008).
- Seis Sigma se basa tanto en la excelencia de la fuerza de trabajo como en la excelencia técnica de la compañía, es decir, el hecho de tener técnicos de primera línea y la mejor tecnología del mercado no garantiza el éxito de la empresa, se necesitará tener un personal de primera con características como creatividad, colaboración, comunicación, dedicación, etc., solo así se podrán cumplir con los objetivos de la filosofía (Pande et al., 2000).

## 1.7.2 Principios de Seis Sigma

Según (Pande P. et al., 2000), los puntos fundamentales en los que se basa la metodología Seis Sigma son los siguientes:

- Enfoque en el Cliente: la voz del cliente (VOC) es el fundamento de la metodología. Se tiene que poner especial atención en lo que el cliente solicita preguntándose de primera mano.
- Administración basada en datos y en hechos: durante la aplicación de la metodología se identifican las métricas claves, después se realizan mediciones claras y se utilizan datos que son analizados para probar que las soluciones funcionan y mantienen las ganancias.
- Los procesos están donde está la acción: Seis Sigma se enfoca en el proceso, administración y mejora; el mejorar los procesos asegura ventajas competitivas, entregando un valor real a los clientes.
- Administración proactiva: es necesario que la Dirección sea dinámica, receptiva, pro-activa, establezca y de seguimiento a las metas fijadas de manera ambiciosa, a las prioridades claramente implantadas y se enfoque en la prevención de problemas.

- Colaboración sin barreras: debe ponerse atención en derribar las barreras que limitan el trabajo en equipo entre los miembros de la organización; siempre enfocados en las necesidades del cliente; los procesos trascienden mas allá de las barreras inter departamentales.
- Enfoque a la perfección - tolerancia al fracaso: las nuevas ideas y propuestas tienen un riesgo, vencer el miedo a cometer errores es necesario para lograr los objetivos que se han propuesto.

### 1.7.3 Implementación de la metodología Seis Sigma.

Según (Rueda, 2007), la implementación de seis sigma es posible no sólo en manufactura y electrónica donde se originó, sino también en cualquier tipo de organización, por ejemplo financiera, de servicios, gubernamental, química, farmacéutica, de salud, entre otras. Para lograr el más alto nivel de implementación de Seis Sigma se requiere del compromiso del más alto nivel de dirección de la organización con la mejora continua. Si la alta dirección no expresa su visión de la compañía, no transmite firmeza y con entusiasmo, no evalúa los resultados y no reconoce los esfuerzos, los programas de mejora continua se transforman en una pérdida de recursos valiosos. Por esta razón, el proceso de Implementación de Seis Sigma empieza con la sensibilización de los altos directores y ejecutivos para llegar al entendimiento del enfoque de la metodología y para comprender los beneficios y las técnicas que le permitirán a la compañía alcanzar los niveles de calidad más altos. El siguiente paso consiste en la selección del grupo de profesionales con capacidad y responsabilidad en sus áreas o funciones que van a ser intensivamente formados para liderar proyectos de mejora continua (Rueda, 2007). Para lograr una definición clara de los roles, la cual es fundamental para el despliegue de la estrategia Seis Sigma, a continuación se detalla la definición y las responsabilidades establecidas para cada uno de ellos:

*Campeones (Champion)*: es quien lidera el esfuerzo, persona que se encuentra en contacto con el cuerpo directivo. Provee recurso al equipo tanto humano como financiero. *Maestro Cinta negra maestra (Master Black Belt)*: (Noguera, 2006), lo define como quien tienen la responsabilidad técnica, es el recurso clave en el éxito del esfuerzo. Experto en todas las fases del análisis estadístico y la mejora de procesos. Tienen a su cargo la enseñanza a todos los niveles de la organización del lenguaje, herramientas y métodos Seis Sigma, así como la orientación a Black Belts y al equipo de proyecto. Poseen una amplia y completa comprensión de los procesos de la empresa. *Cinta negra (Black Belt)*: según (Cariño, 2002), es quien implanta los principios, prácticas y técnicas Seis Sigma, tomando en cuenta la reducción de costos, ahorros y beneficios para los clientes, es experto en procesos, debe proponer y desarrollar mejoras reales en procesos o servicios. El Instituto Juran (2003) en su presentación sobre la metodología menciona que un Black Belt dedicado a tiempo completo a Seis Sigma puede ejecutar entre 5 y 6 proyectos cada 12 meses y puede aportar ahorros a la organización de entre \$ 750.000,00 y \$ 1.000.000,00 cada año (asumiendo 5 proyectos). *Cinta verde (Green Belt)*: es quien aplica y ejerce las prácticas de Seis Sigma en forma cotidiana, asiste en conjunto con la cinta negra en la recolección de datos, su procesamiento, análisis, monitoreo de procesos. Muchas veces lideran sus propios proyectos de mejora. Posteriormente,

se inicia el desarrollo de la fase Definir, las gerencias evalúan y seleccionan los proyectos con el apoyo de los black belts, basándose primeramente en el costo de la pobre calidad (COPQ) al nivel de la compañía o división. La misión del proyecto es entonces preparada, y después confirmada por la gerencia, la cual selecciona al personal más apropiado para formar el equipo para el proyecto y asigna las prioridades. Finalmente, el progreso del proyecto a través del ciclo DMAMC es monitoreado para asegurar el éxito. Dentro de Seis Sigma se tienen diferentes metodologías las cuales son diferentes en fines y usos. A continuación se muestra la descripción de algunas de ellas: Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC); Se utiliza para mejorar procesos ya existentes, Define-Measure-Analyze-Design-Verify (DMADV); Se usa en el rediseño de procesos que no alcanzan la mejora aún siendo mejorados, Identify-Design-Optimize-Validate (IDOV); Se aplica para nuevos procesos o productos y no existe medición alguna disponible, Comercial-Quality-Design-For-Six Sigma (CQDFSS); Se utiliza para la búsqueda y aseguramiento en introducción de productos o servicios al mercado. Según (Peter & Larry, 2003), la línea de Definir a Controlar no es recta sino que a menudo va hacia delante y hacia atrás, revisando hipótesis preliminares y completando temas que en algún momento no se definieron. En este sentido, lo único que es inviolable durante un proyecto Seis Sigma es la necesidad de ser flexible al tratar con el cambio continuo, la habilidad de absorber e interpretar la información y la necesidad de permanecer abierto a las aportaciones de grupos de interés dentro y fuera del equipo inmediato.

#### **1.7.4 Herramientas utilizadas en la metodología Seis Sigma**

Según (Peter & Larry, 2003), cualquier técnica que ayude a comprender, gestionar y mejorar un proceso, califica para ser una herramienta Seis Sigma. Comprender cuáles son estas herramientas que muestra una clara perspectiva de cómo funciona Seis Sigma. En el próximo capítulo se explicarán cada una de ellas durante despliegue de la metodología Seis Sigma.

#### **1.8 Comparación de estrategias y analogías entre TQM y Seis Sigma**

La diferencia de Seis Sigma de la Calidad Tradicional no es que estén soportadas por prácticamente por las mismas herramientas y métodos conocidos por los practicantes de la Calidad Total, TQM, etc. Las diferencias quizás residen en la forma de aplicar estas herramientas y su integración con los propósitos y objetivos de la organización, como un todo. La integración y participación de todos los niveles y funciones dentro de la organización es factor clave, respaldado por un sólido compromiso por parte de la alta Gerencia y una actitud proactiva, organizada y sistemática en busca de la satisfacción tanto de las necesidades y objetivos de los clientes, como de las necesidades y objetivos de la propia organización.

En la tabla 1.11 se resumen algunas de las diferencias más notables entre la forma tradicional de enfocar la Calidad en las organizaciones y la forma de enfocarla a través de la estrategia de Seis Sigma.

**Tabla 1.11:** Comparación de Calidad

CALIDAD TRADICIONAL	CALIDAD SEIS SIGMA
Está centralizada. Su estructura es rígida y de enfoque reactivo.	Está descentralizada en una estructura constituida para la detección y solución de los problemas. Su enfoque es proactivo.
Generalmente no hay una aplicación estructurada de las herramientas de mejora.	Se hace uso estructurado de las herramientas de mejora y de las técnicas estadísticas para la solución de los problemas.
No se tiene soporte en la aplicación de las herramientas de mejora. Generalmente su uso es localizado y aislado.	Se provee toda una estructura de apoyo y capacitación al personal, para el empleo de las herramientas de mejora.
La toma de decisiones se efectúa sobre la base de presentimientos y datos vagos.	La toma de decisiones se basa en datos precisos y objetivos: "Sólo en Dios creo, los demás traigan datos".
Se aplican remedios provisionales o parches. Sólo se corrige en vez de prevenir.	Se va a la causa raíz para implementar soluciones sólidas y efectivas y así prevenir la recurrencia de los problemas.
No se establecen planes estructurados de formación y capacitación para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas	Se establecen planes de entrenamiento estructurados para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas.
Se enfoca solamente en la inspección para la detección de los defectos (variables clave de salida del proceso). Post-Mortem	Se enfoca hacia el control de las variables clave de entrada al proceso, las cuales generan la salida o producto deseado del proceso.

**Fuente:** Elaboración propia

Luego de haber descrito y definido alguna de sus diferencias, resulta posible identificar los siguientes puntos de coincidencia en común:

a) Trabajo en equipo y compromiso de los empleados: Según el enfoque TQM, los empleados son identificados como el factor clave en la tarea de mejoramiento continuo de sus tareas. Algunas formas típicas de trabajo en equipo que abunda en la metodología TQM es la existencia de Círculos de Control de Calidad (Thompson, 1994), equipos virtuales, equipos por proyecto, equipos de solución de problemas, y equipos de autogestión, entre otros. Debe siempre tenerse presente que "no hay compromiso sin participación", y la mejor forma de fomentar la participación es mediante el trabajo en equipo. Asimismo, Seis Sigma, fomenta el trabajo en equipo, principalmente mediante la formación de equipos por proyecto conformados por diversos individuos ya mencionados en el apartado anterior como son: *lider/administrador de Calidad (Quality Leaders / Managers)*, *los Maestros en Cinta Negras (Master Black Belts)*, *el propietario de proceso (Process Owner)*, *los cinta negra (Black Belt)* y *los cinta verde (Green Belt)*.

b) Enfoque en el cliente: TQM toma como pilar principal al cliente. Según esta metodología, el principal juez de la calidad es el cliente y es éste quien determinará si adquiere o no el producto ofrecido. Para tener éxito, resulta necesario definir y segmentar cuidadosamente los mercados entendiendo la voz del cliente, y los vínculos entre dicha voz y el diseño, producción y entrega del producto. Cabe recalcar que para ambos enfoques, la definición de cliente abarca tanto los clientes internos como los externos. Aquí, jugará gran importancia las diversas dimensiones de calidad consideradas por los clientes al momento de adquirir un producto particular (Garvin, 1988). Asimismo, Seis Sigma se enfoca en cómo optimizar la entrega de valor

ofrecido de sus clientes. Se intenta capturar lo que es apreciado por el cliente y la forma de planear cómo entregar ese valor en forma rentable. Seis Sigma enfatiza la mejora de calidad, pero es mucho más que estadísticas y herramientas. Hay una integración directa, vertical entre la satisfacción del cliente y la rentabilidad. Este programa es una metodología sistemática que se enfoca en el cliente para mejorar el desempeño de su negocio y entregar resultados considerables.

c) Enfoque en los procesos: TQM busca optimizar y mejorar continuamente sus procesos para ofrecer productos/servicios de mayor valor a sus clientes. El proceso de mejoramiento continuo tiene su base en la reducción de errores, defectos, desperdicios y costos, con el objeto de incrementar la productividad y la efectividad, reduciendo los tiempos de respuesta. En este ámbito, cabe recalcar el uso de técnicas de análisis estratégico de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas – FODA - y técnicas de discusión (brainstorming), comunicación y marketing. Este proceso sólo será logrado mediante el aprendizaje, respetando un ciclo que consiste en un proceso de planeamiento, ejecución, evaluación del progreso y revisión de planes. Seis Sigma persigue el mismo objetivo pero ataca el problema mediante el uso de herramientas estadísticas y estudios de carácter cuantitativo: estudios de diseño de tolerancia, análisis modal de fallas y efectos (AMFE), diseño de experimentos, pruebas de confiabilidad, control estadístico de procesos y otros elementos gráficos tales como diagramas de flujo, histogramas, diagramas de causa-efecto, diagramas de dispersión y de Pareto, y análisis de aptitud (capacidad) de procesos, entre otras (Lindsay & Evans, 2005). El enfoque en los procesos dependerá de diversas variables. Ambas metodologías deberán contemplar el tipo de estrategia de flujo implementada para después decidir qué tipo de metodología de mantenimiento resulta más productiva y eficiente entorno al mejoramiento continuo de la calidad.

### 1.8.1 Ventajas de implementación Seis Sigma y la TQM

En la tabla 1.12 se mencionarán algunas ventajas de Seis Sigma en comparación con la TQM:

**Tabla 1.12:** Comparación de Seis Sigma y Calidad Total

VENTAJAS SEIS SIGMA VS CALIDAD TOTAL	VENTAJAS CALIDAD TOTAL VS SEIS SIGMA
Los objetivos son medidos mediante la métrica $6\sigma$ el cual se aproxima al ideal de cero defectos, a diferencia de las empresas “estándar”, que desarrollan sus procesos en un rango de $3\sigma$ .	Realizar un diagnóstico operativo y cultural en la empresa antes de llevar a cabo la implementación del sistema.
El soporte y compromiso por parte de la Alta Gerencia es vital y fundamental, para lo cual se entrenan y definen los Maestros (también conocidos como Champions), quienes son los dueños de los proyectos críticos para la organización y la selección de los equipos de mejora y entrenamiento son más robustos ya que es conducida a través de grupos de gente que poseen el conocimiento, experiencia, disciplina técnica, liderazgo y conocimientos en el área específica.	Dicta procedimientos de entrenamiento, educación y reconocimiento a los logros de calidad (mayor administración del recurso humano)

**Tabla 1.12:** Comparación de Seis Sigma y Calidad Total

VENTAJAS SEIS SIGMA VS CALIDAD TOTAL	VENTAJAS CALIDAD TOTAL VS SEIS SIGMA
Utilización de reportes de Confiabilidad para la selección de proyectos de mejora.	Propone el desarrollo de políticas de calidad las cuales deben de ser congruentes con los planes estratégicos de la empresa.
Mayor uso de técnicas estadísticas en la implementación de proyectos de mejora.	Calidad, el cual proporciona la certeza de que el resultado del proceso productivo tendrá los niveles de calidad deseados.
Las técnicas estadísticas son más fáciles de comprender y de seleccionar ya que utiliza un lenguaje más digerible para la mayoría de los usuarios.	Desarrollo de círculos de calidad mediante los cuales se forman grupos voluntarios de trabajadores para discutir temas relacionados con la calidad, fortaleciendo la actitud de los trabajadores hacia el trabajo.
Realiza estudios de la capacidad del proceso, cuando los índices $C_p \geq 2.0$ y $C_{pk} \geq 1.5$ , se tiene un buen indicador de que se está logrando el nivel Seis Sigma	
Análisis de los sistemas de medición (Calibración), como parte de la metodología.	
Análisis de los procesos críticos mediante las técnicas de Diseño de Experimentos y Superficie de Respuesta.	
Para la implementación y control de las condiciones óptimas del proceso se utiliza en gran medida el Diseño de Experimentos, CEP, Superficie de Respuesta.	

**Fuente:** Elaboración propia

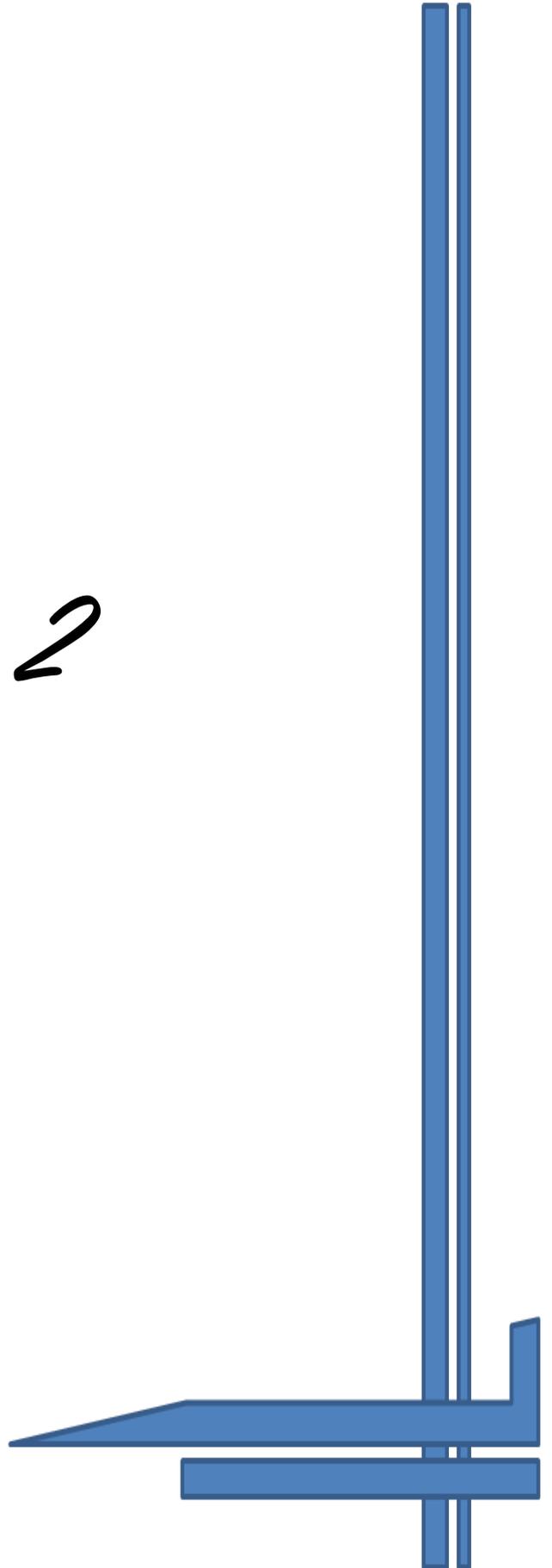
## 1.9 Mejora de procesos de refinación en Refinerías de Petróleo.

Todos los años se descubren nuevos pozos, pero también todos los años se consumen alrededor de 6.000 millones de barriles por año de enormes cantidades en distintas aplicaciones, tales como, la obtención de diversos subproductos después de refinado, de donde resultan, por centenares, los productos acabados y las materias químicas más diversas, como, es la producción de compuestos químicos que son la base de diversas cadenas productivas que terminan en una amplia gama de productos conocidos genéricamente como productos petroquímicos, que se utilizan en las industrias de fertilizantes, plásticos, alimenticia, farmacéutica, química y textil, entre otras. Por lo que las oportunidades y potencialidades para el ahorro de este recurso mediante la mejora de la eficiencia en todos sus sectores. El enfoque de procesos ha sido ampliamente utilizado para mejorar el rendimiento y reducir los costes en varios campos de la industria en los últimos 10 años. Por lo tanto, la estrategia de diseño de ingeniería, optimización de procesos y el control de una ha sido para mejorar la eficiencia y la garantía de la calidad del producto en la industria petrolera en los últimos años.

## 1.10 Conclusiones parciales.

1. Los enfoques de Gestión de la Calidad han ido evolucionando a lo largo del tiempo, desde la inspección de la calidad hacia la Calidad Total. La Calidad Total siendo una filosofía con enfoque centrado al cliente y para tangibilizarla se presentan los modelos de excelencia más difundidos de la Gestión de la Calidad Total, concentrándose en las mejores prácticas en el ámbito de la gestión de las organizaciones.
2. Las mejores prácticas de la mejora de proceso fueron estandarizadas creando la familia de normas serie ISO 9000 que fueron modificados enfocándose a procesos.
3. Autores han argumentado que para conseguir que las mejoras realizadas a los procesos, impacten de manera más contundente en el rendimiento de los mismos es necesario combinar los tipos mejoras Incrementales y Radicales dentro de un solo esfuerzo que comparte el mismo principio de mejorar los procesos desde la integración del TQM con la Reingeniería hasta la integración de mejoras o innovaciones radicales (tipo breakthrough) junto con pequeñas mejoras incrementales y acumulables (tipo Kaizen).
4. El análisis comparativo y crítico de los diferentes enfoques de mejoras de procesos permitió seleccionar una metodología que mejor se adapte al proceso objeto de estudio.

# *Capitulo 2*



## Capítulo II: Metodología Seis Sigma

El capítulo que se desarrolla a continuación, tiene como objetivo presentar la respuesta metodológica al problema científico de esta investigación, la cual está compuesta por el *modelo teórico* seleccionado para dicho propósito y tiene como objetivo describir la metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma que permitirá solucionar un problema dado para de esta forma contribuir con las metas comerciales de la organización. En los siguientes epígrafes se describirán las bases teóricas de las métricas de Seis Sigma, con el propósito de realizar comparaciones para cuantificar el desempeño del proceso, así como la descripción del despliegue de cada una de las fases de la metodología y los diferentes métodos y herramientas a ser utilizadas. La figura 2.1 muestra el hilo conductor que servirá como guía para facilitar la comprensión de la aplicación de la metodología.

**Figura 2.1:** Hilo conductor para el despliegue metodología DMAIC



**Fuente:** Elaboración Propia

### 2.1 La Métrica de Seis Sigma

El propósito de las métricas en los proyectos Seis Sigma es el de permitir cuantificar el desempeño de un proceso. Esto permite comparaciones, análisis y penetrar dentro de las causas del desempeño que debe lograrse. Varias métricas del negocio se pueden aplicar para cuantificar un problema destinado a ser solucionado mediante uno o varios proyectos Seis Sigma. El nivel sigma, es utilizado comúnmente como medida dentro del programa Seis Sigma, incluyendo los cambios o movimientos “típicos” de  $\pm 0.5$  de la media. Las relaciones de los diferentes niveles de calidad sigma no son lineales, ya que para pasar de un nivel de calidad a otro, el porcentaje de mejora del nivel de calidad que se tiene que realizar no es el

mismo, cuando se avanza a un nivel mayor el porcentaje de mejora será más grande. La tabla 2.1 muestra el porcentaje de mejora requerido para cambiar de un nivel sigma a otro mayor.

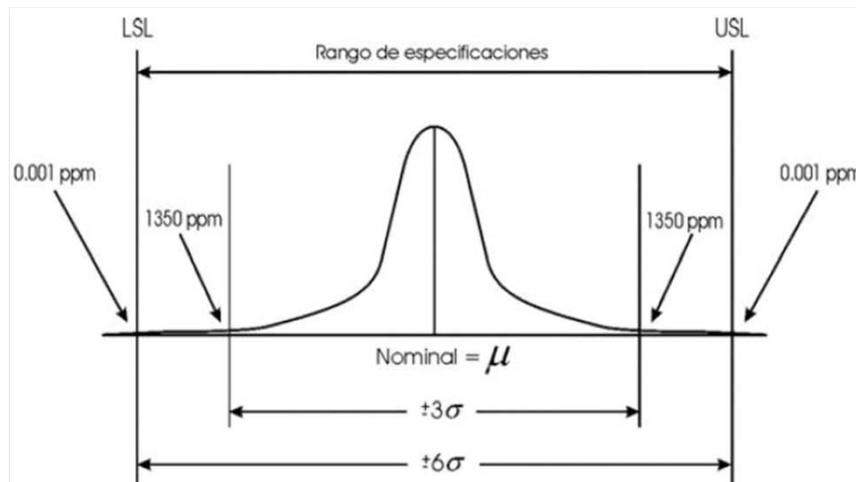
**Tabla 2.1:** Porcentaje Mejora Requerido

NIVEL ACTUAL	CAMBIO	PORCENTAJE DE MEJORA REQUERIDO
3 $\sigma$	4 $\sigma$	10x
4 $\sigma$	5 $\sigma$	30x
5 $\sigma$	6 $\sigma$	40x

Fuente: Elaboración propia.

La figura 2.2 muestra el concepto básico de la métrica de Seis Sigma, en donde las partes deben de ser manufacturadas consistentemente y estar dentro del rango de especificaciones.

**Figura 2.2:** Rango de especificaciones dentro los niveles tres y seis sigma



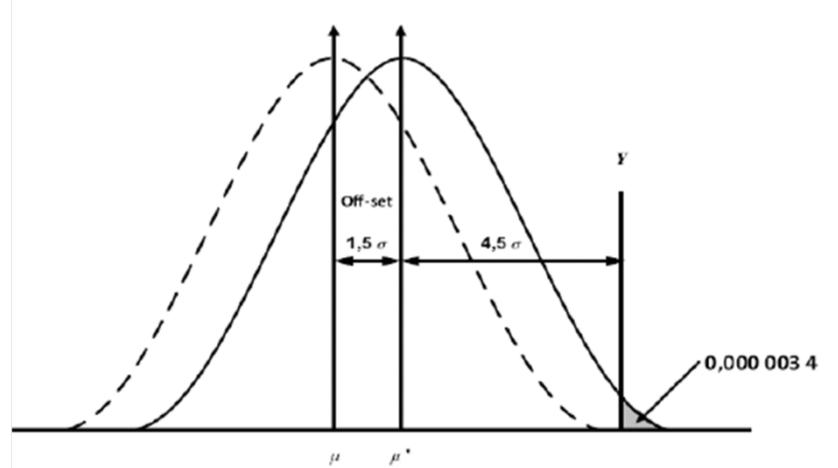
Para compensar las inevitables consecuencias de los errores de centrado de procesos, la media de distribución se desplaza  $\pm 1.5\sigma$  (Ver figura 2.3). Este ajuste proporciona una idea realista de la capacidad del proceso a través de varios ciclos de manufactura. El desplazamiento puede ser en dirección positiva o negativa, pero nunca en ambas direcciones (Juran, 1993). Una medida que describe el grado en el cual el proceso cumple con los requerimientos es la capacidad del proceso. Los índices utilizados son Cp y Cpk, Un nivel Seis Sigma debe lograr índices de 2.0 y 1.5 respectivamente. Para lograr esta capacidad la meta a alcanzar de un programa Seis Sigma es producir al menos 99.99966% de calidad, no más un millón de piezas producidas en el largo plazo (Ver tabla 2.2).

## 2.2 Mediciones para Seis Sigma

La mejora de las métricas tiene un impacto muy significativo en los resultados del negocio, al reducir la oportunidad de tener defectos. Es de suma importancia medir la capacidad del proceso en términos cuantificables y monitorear las mejoras a través del tiempo. Seis Sigma es una metodología, enfocada a la mejora de los procesos reduciendo primeramente su variación y después, manteniéndolos en el valor

objetivo o lo más cerca posible a él. En programas Seis Sigmas se utilizan algunas métricas como son rendimiento (Yield), defectos por unidad (DPU), defectos por oportunidad (DPO), entre otros.

**Figura 2.3:** Distribución normal con desplazamiento 1.5 sigma



Fuente: (ISO 13053\_1, 2011)

**Tabla 2.2:** Puntuaciones Sigma

NIVEL SIGMA	PORCENTAJE	DPMO
1	30.23	690,000.0
2	69.13	308,537.0
3	93.32	66,807.0
4	99.379	6,210.0
5	99.9769	233.0
6	99.99966	3.4

Fuente: (ISO 13053\_1, 2011)

A continuación se definen los siguientes conceptos y fórmulas:

Unidad (U): son las partes, productos o ensamblajes que son producidos por un proceso.

Oportunidad (O): Cualquier parte de la unidad que puede medirse o probarse que es adecuada.

Defecto (D): Cualquier evento que no cumpla con la especificación de una CTQ (la cual es definida por el cliente).

Defectuoso: Es una unidad producida que tiene uno o más defectos.

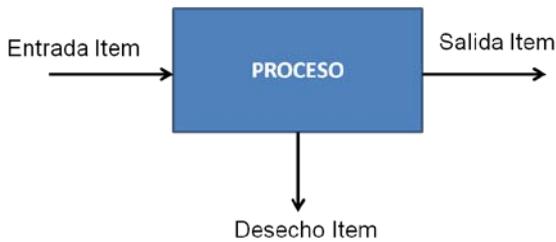
Defectos por unidad (DPU): Índice que es igual al número de defectos entre las unidades producidas, sin tomar en cuenta las oportunidades de error.  $DPU = \frac{D}{U}$

Defectos por oportunidad (DPO): Índice que es igual al número de defectos entre el total de oportunidades de error al producir una cantidad dada de productos.  $DPO = \frac{D}{UXO} = \frac{DPU}{O}$

Defectos por millón de oportunidades (DPMO): Índice que mide los defectos esperados en un millón de oportunidades de error.  $DPMO = DPO \cdot 1,000,000$

Rendimiento tradicional (Salida VS entrada): Es la proporción de ítems correcto (conforme especificaciones) que salen del proceso comparado con el número de ítem de entrada (Ver figura 2.4).

**Figura 2.4:** Cálculo tradicional del rendimiento

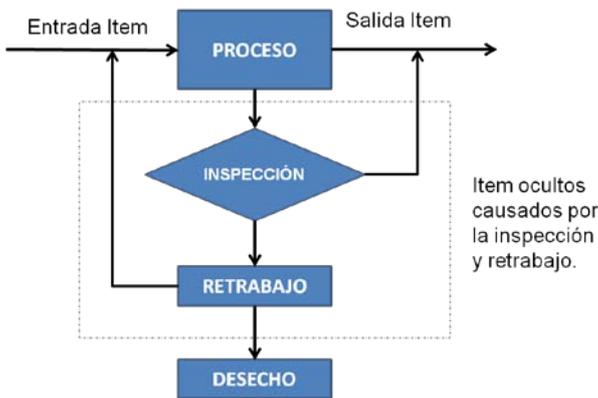


$$Y = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Entrada} - \text{desecho}}{\text{Entrada}} = 1 - \frac{\text{Desecho}}{\text{Entrada}}$$

Fuente: (Craig Gygi, et al, 2005)

Rendimiento estándar o de primera pasada (First time Yield, FTY): Es el porcentaje de productos y/o servicios, sin defectos (Ver figura 2.5).

**Figura 2.5:** Rendimiento estándar o de primera pasada

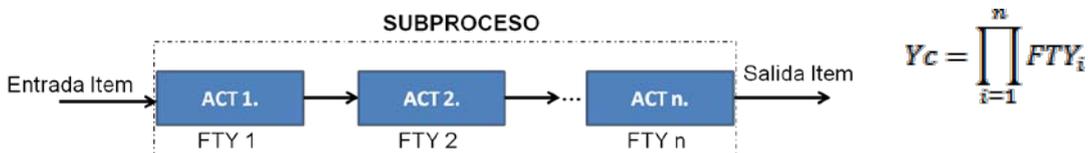


$$FTY = \frac{\text{Entrada} - \text{desecho} - \text{retrabajo}}{\text{Entrada}}$$

Fuente: (Craig Gygi, et al, 2005)

Rendimiento combinado ( $Y_c$ ): Es igual al producto de los rendimientos de las etapas de un proceso y se interpreta como la probabilidad de que una unidad esté libre de defectos a lo largo del proceso (Ver figura 2.6).

**Figura 2.6:** Cálculo del rendimiento combinado



$$Y_c = \prod_{i=1}^n FTY_i$$

Fuente: (Elaboración propia)

Otra forma de cuantificar el rendimiento del proceso es calcular cuántas partes por millón son desperdiciadas a la primera en cada etapa del proceso, e ir sumando esto a lo largo del proceso, para al final obtener cuántas partes por millón son desperdiciadas a lo largo del proceso. Para calcular el índice

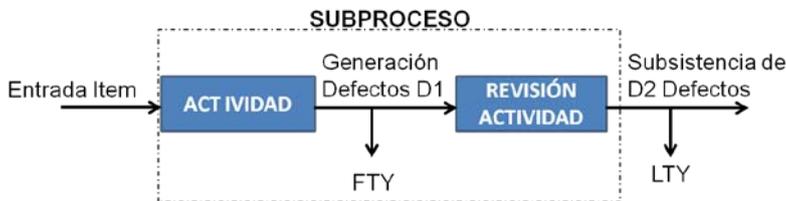
Yc, se puede utilizar el índice DPU, viendo a éste como la intensidad media de falla en una distribución de Poisson. El rendimiento puede verse como la probabilidad que la distribución caiga dentro de tolerancias o especificaciones. Aplicando la distribución de Poisson esto es igual a la probabilidad de cero fallas, de esta manera:  $Yc = P(X = 0) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!} = e^{-\lambda} = e^{-DPU}$

Donde  $\lambda$  es el número promedio de defectos que es justo lo que estima DPU.

De esta ecuación también se aprecia que:  $DPU = -\ln(Yc)$

Rendimiento al final o de última pasada (Last time Yield, LTY): Es el porcentaje de productos y/o servicios, sin defectos, es decir que es la probabilidad de que una unidad pase el ensamble final con cero defectos. La figura 2.7 muestra como primeramente se realiza un trabajo en el cual hay D1 defectos, resultando el rendimiento a la primera pasada FTY y luego se revisa el trabajo y al final subsisten D2 defectos, siendo este el rendimiento en la inspección final LTY.

Figura 2.7: Rendimiento al final o de última pasada

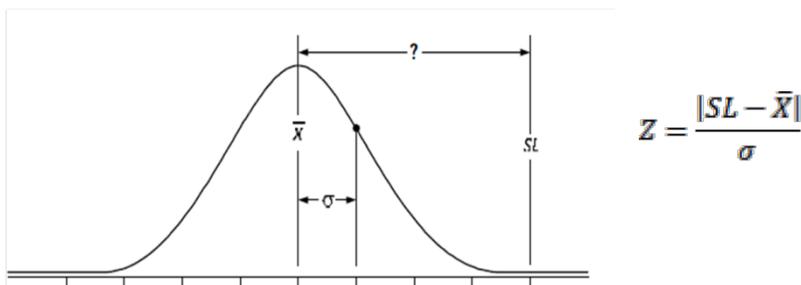


Fuente: (Elaboración propia)

### 2.3 Cálculo de Sigmas del proceso.

Desde la perspectiva de calidad, Seis Sigma está definido con 3.4 defectos por millón de oportunidades. A esto se le llama un nivel de calidad Seis Sigma. La tendencia central del rendimiento de la distribución está definida por la media  $\bar{X}$ . La cantidad de variación de ese rendimiento, o el ancho de la distribución está definido por la desviación estándar  $\sigma$ . La pregunta sería entonces, ¿cuánta desviación se puede ajustar entre el proceso o la característica media y sus límites de especificaciones? El cálculo de Z te dice exactamente cuánta desviación estándar se ajusta entre la media y el límite de especificación (SL). Usar la puntuación sigma (Z) sólo para el cálculo de una característica que siga una distribución normal (Ver figura 2.8).

Figura 2.8: Cálculo de puntuación sigma (Z)



Fuente: (Elaboración propia)

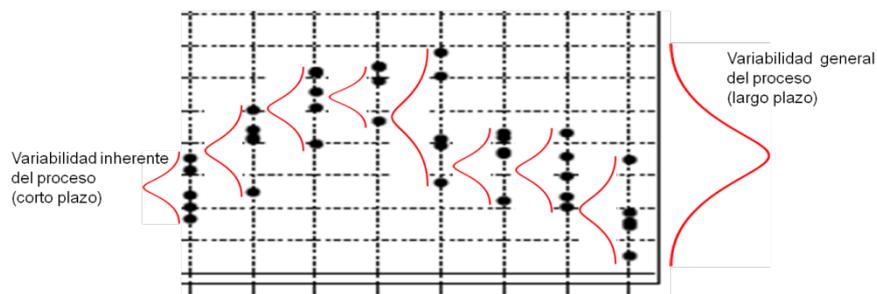
## 2.3.1 Variación a largo plazo vs variación corto plazo (Z-value)

Largo plazo ( $Z_{lt}$ ): Son los datos tomados durante un periodo de tiempo suficientemente largo y en condiciones suficientemente diversas para que sea probable que el proceso haya experimentado todos los cambios y otras causas especiales.

Corto plazo ( $Z_{st}$ ): Son los datos tomados durante un periodo de tiempo suficientemente corto para que sea improbable que haya cambios y otras causas especiales.

Para estimar  $\sigma$  a corto plazo debe considerarse datos entre los que solo puedan existir pequeñas variaciones aleatorias (causas comunes) y no puedan existir patrones de variabilidad no sistemáticos (causas especiales). En terminología habitual se dice que estas deben proceder del mismo “subgrupo homogéneo racional”. Por ejemplo, supongamos un proceso del que se extraen 5 unidades cada hora. Los datos están representados en la figura 2.9. A simple vista puede verse que la variabilidad total del proceso (variabilidad a largo plazo) es bastante mayor que la variabilidad del subgrupo homogéneo racional (variabilidad a corto plazo). Sin entrar en detalles, la variabilidad a corto plazo se corresponde con la variabilidad media de las ocho muestras de cinco unidades (variabilidad dentro de cada muestra), mientras que la variabilidad a largo plazo debe incluir además la variabilidad entre las diez muestras, por lo que esta última es siempre mayor. El hecho de que la variabilidad a largo plazo sea siempre mayor que la variabilidad a corto plazo, hace que el nivel sigma a corto plazo sea mayor que el nivel correspondiente a largo plazo.

Figura 2.9: Estimación Sigma a Corto plazo vs largo plazo

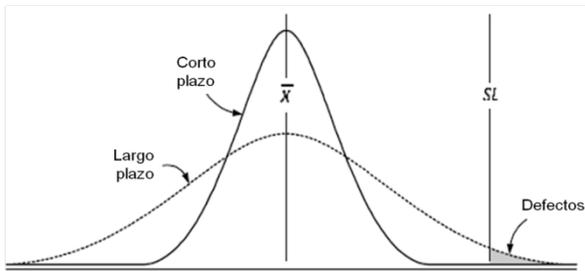


Fuente: (Elaboración propia)

Seis Sigma es un método que combina ambas puntuaciones y permite equilibrar la economía de variación de los datos recolectados por la variación a corto plazo, proyectando el rendimiento a largo plazo versus los procesos o características de especificaciones. La figura 2.10 muestra ambas variaciones. Una forma matemática para simular el efecto de esta degradación, las influencias de largo plazo, es para mover artificialmente más cerca la distribución a corto plazo al límite de especificaciones hasta que la cantidad de defectos para la distribución a corto plazo sea la misma que para la distribución a largo plazo. La figura

2.11 muestra matemáticamente el desplazamiento de la distribución a corto plazo usado para estimar la variación del rendimiento a largo plazo.

**Figura 2.10:** Cálculo Sigma a Corto plazo vs largo plazo

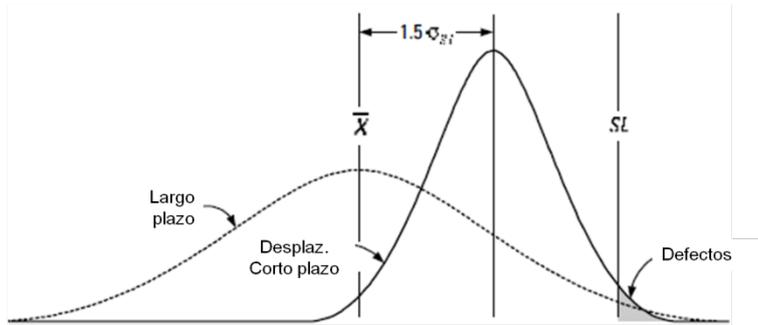


$$Z_{st} = \frac{|SL - \bar{X}|}{\sigma_{st}}$$

$$Z_{lt} = \frac{|SL - \bar{X}|}{\sigma_{lt}}$$

Fuente: (Elaboración propia)

**Figura 2.11:** Cálculo Sigma a Corto plazo vs largo plazo con mov. 1.5 sigma



Fuente: (Elaboración propia)

La diferencia entre la distribución a corto plazo y largo plazo se conoce como *desplazamiento o movimiento* del proceso y se puede medir de la manera siguiente:  $Z_{(shifted)} = Z_{st} - Z_{lt}$

El índice  $Z_{(shifted)}$  representa la habilidad para controlar la tecnología. Hay estudios que ponen de manifiesto que con la media de un proceso puede desplazarse a través del tiempo hasta 1.5 sigmas del valor nominal, es decir, que el valor del índice  $Z_{(shifted)}$  puede ser de hasta 1.5 en procesos con un control pobre. Por lo general este 1.5 se utiliza de la siguiente manera: si se puede calcular  $Z_{(shifted)}$  entonces si este es menor que 1.5; eso se interpretará como que el proceso tiene un mejor control que el promedio de los procesos con pobre control, y si es mayor que 1.5, entonces el control es muy malo. Si no se conoce  $Z_{(shifted)}$  entonces puede asumirse un valor de 1.5. También la puntuación sigma a largo plazo  $Z_{(lt)}$  se puede medir en términos de defectos por millón de oportunidades DPMO como se muestra en la tabla 2.2. De aquí que si no se conoce el desplazamiento del proceso, la relación entre capacidad de corto y largo plazo da la siguiente expresión:  $Z_{(shifted)} = Z_{st} - 1.5$ .

La ecuación que precede también se puede escribir de la siguiente manera:

$$Z_{(lt)} = Z_{st} - 1.5 \qquad Z_{(st)} = Z_{lt} + 1.5$$

## 2.3.2 Cálculo de los índices de capacidad.

El cálculo de los índices de capacidad son mediciones especializadas para evaluar la capacidad, y que por su fácil interpretación se han convertido en las medidas de capacidad por excelencia. Estos índices permiten comparar la voz del proceso con la voz del cliente. En la tabla 2.3 se resumen cada una de ellas.

**Tabla 2.3:** Resumen de los índices de capacidad a largo y corto plazo

Nombre índice	Fórmula	Descripción
Índice capacidad corto plazo	$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_{st}}$	Compara el ancho de las Especificaciones o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real del proceso, e indica la capacidad potencial.
Índice capacidad corto plazo ajustado	$C_{pk} = \min \left( \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma_{st}}; \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma_{st}} \right)$	Evalúa la capacidad real del proceso, tomando en cuenta las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso.
Índice capacidad largo plazo	$P_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_{lt}}$	Compara el ancho de las Especificaciones o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real del proceso a largo plazo.
Índice capacidad largo plazo ajustado	$P_{pk} = \min \left( \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma_{lt}}; \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma_{lt}} \right)$	Evalúa la capacidad real del proceso, tomando en cuenta las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso a largo plazo.

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.4 Personal Seis Sigma y su rol.

En el capítulo I se describieron cada uno de los roles que forma los equipos de proyectos como son: Campeones (Champion), Maestros cinta negra (Master black belt), Cinta negra (black belt), Cinta verde (green belt), Cinta amarilla, Equipos (team six sigma). La norma ISO 13053-1 propone una infraestructura Seis Sigma para una organización en dependencia de los siguientes factores: la estructura sobrearquada impuesta por una facilidad central, el número de empleados en el sitio y la naturaleza del negocio. También cuenta con una representación esquemática de roles Seis Sigma y su interrelación, el cual se muestra en el Anexo 2.1 para más detalles.

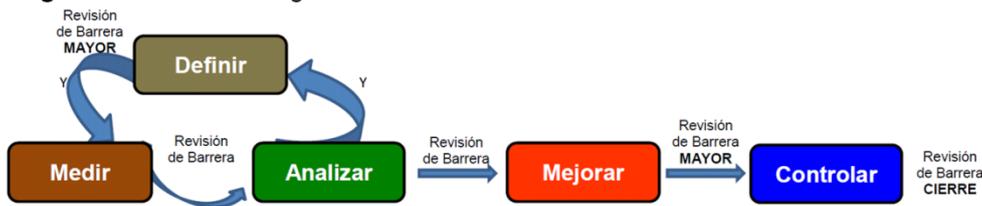
## 2.5 Metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma.

La Refinería de Cienfuegos empresa en la que se aplica la presente investigación cuenta ya dentro de su Sistema de Gestión con un procedimiento basado en la norma ISO 13053-1 de 2011 (RF-66-P-02-13) que describe de manera general la Metodología DMAMC en su interacción con otros procesos de la organización. Cada fase de la metodología debe seguir la secuencia: definir, medir, analizar, mejorar y

controlar (DMAMC). Sin embargo, una vez que los datos se hayan recopilado y analizado, el proyecto se debe revisar y si fuera necesario, redefinir, remediar y reanalizar. Las primeras tres fases se deben repetir hasta que la definición del proyecto se corresponda con la información proveniente de los datos. La metodología debe proceder a las dos fases finales solo cuando la definición del proyecto sea estable (Ver figura 2.12).

La tabla 2.4 muestra el despliegue de cada una de las fases de la metodología DMAMC, así como las principales herramientas a utilizar en cada uno de los pasos que describirán en el próximo epígrafe.

**Figura 2.12 :** Metodología DMAIC



Fuente: (ISO 13053-1, 2011)

**Tabla 2.4:** Despliegue de la metodología DMAMC

FASE	PASOS	PRINCIPALES HERRAMIENTAS
<b>DEFINIR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección del problema</li> <li>• Descripción del problema.</li> <li>• Definir el proceso (nivel-alto) y las partes interesadas.</li> <li>• Identificar las variables (CTQ´s, CTS, CTC, etc.).</li> <li>• Seleccionar el equipo del proyecto.</li> <li>• Obtener la autorización de los patrocinadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz para la selección de proyectos.</li> <li>• Mapeo de proceso.</li> <li>• SIPOC</li> <li>• Matriz causa-efecto</li> <li>• Análisis de pareto.</li> <li>• Despliegue función calidad (QFD).</li> <li>• Benchmarking</li> <li>• Métricas Seis Sigma</li> <li>• Planificación proyecto y herramientas de gestión.</li> <li>• Acta definición del proyecto (Project Charter).</li> </ul>
<b>MEDIR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimar la línea base del desempeño actual del proceso.</li> <li>• Evaluar el sistema de medición.</li> <li>• Establecer las metas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gráficos de control.</li> <li>• Análisis de capacidad</li> <li>• Análisis del sistema de medición (MSA)</li> <li>• Diagrama de árbol.</li> <li>• Análisis exploratorio de los datos.</li> <li>• Estadística descriptiva.</li> <li>• Gráficos de corridas.</li> <li>• Métricas Seis Sigma</li> </ul>
<b>ANALIZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar las fuentes de variación.</li> <li>• Determinar los factores: las (KPIV´s) significativas que se correlacionan con los requerimientos del cliente (CTQ, CTS, CTC) y las influencias significativas del proceso o diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estadística descriptiva.</li> <li>• Diagrama causa-efecto</li> <li>• Tormentas de ideas</li> <li>• Análisis de componentes principales</li> <li>• Diseño experimentos DOE.</li> <li>• Gráficos de control estadístico proceso (SPC).</li> <li>• Mapas proceso.</li> <li>• Análisis de correlación y regresión.</li> <li>• Simulación</li> </ul>

**Tabla 2.4:** Despliegue de la metodología DMAMC

FASE	PASOS	PRINCIPALES HERRAMIENTAS
<b>MEJORAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorizar las oportunidades de mejoras.</li> <li>• Optimizar el proceso.</li> <li>• Implementar la solución</li> <li>• Evaluar el impacto de la mejora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama causa-efecto</li> <li>• Matriz de prioridad</li> <li>• Diagrama campo fuerzas</li> <li>• FMEA</li> <li>• Herramientas 7M</li> <li>• Prototipo y estudio piloto.</li> <li>• Simulación</li> <li>• Diseño experimentos DOE.</li> <li>• Análisis de regresión.</li> <li>• Gráficos de control</li> <li>• Análisis de capacidad.</li> <li>• Métricas Seis Sigma</li> </ul>
<b>CONTROLAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estandarizar el proceso.</li> <li>• Documentar el plan de control</li> <li>• Desarrollar e implementar un plan de control.</li> <li>• Cerrar y difundir el proyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gráficos de control estadístico proceso (SPC).</li> <li>• FMEA</li> <li>• ISO 900X</li> <li>• Sistema de reportes</li> </ul>

**Fuente:** Adaptado de (Pyzdek & Keller, 2010).

## 2.5.1 Fase Definir

El resultado de esta fase es el Acta de Definición del Proyecto (Project Charter), en ésta se plasma lo que se observa mal del proyecto. El Acta de Definición del Proyecto debe establecer la descripción del problema e incluir datos sobre la magnitud del mismo y su impacto financiero en los resultados de la organización. Deben definirse claramente el alcance del proyecto, así como los objetivos que se deben alcanzar al concluirse el proyecto, tanto desde el punto de vista operacional (incluyendo los aspectos de seguridad si aplican) como en términos financieros.

### 2.5.1.1 Selección del problema.

El primer paso a dar está en identificar las áreas problemáticas de negocios, el cual se puede identificar dónde ocurren los problemas, le proporciona una descripción resumida de la situación y se estima el valor potencial de esfuerzos de mejora. La intención aquí no está en definir un proyecto Seis Sigma, sino para iluminar claramente donde los proyectos son más necesarios que nada. De manera de estimular en encontrar las áreas problemáticas en el negocio por el cual dirigirse. La siguiente lista de chequeo les muestra alguna de ellas:

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> Retorno del producto                  | <input type="checkbox"/> Baja calidad     | <input type="checkbox"/> Restricciones capacidad |
| <input type="checkbox"/> Recaudación de cuentas por cobrar     | <input type="checkbox"/> Bajo rendimiento | <input type="checkbox"/> Largo tiempo ciclo      |
| <input type="checkbox"/> Trabajo estresante                    | <input type="checkbox"/> Retrabajo        | <input type="checkbox"/> Inventario excesivo     |
| <input type="checkbox"/> Caótico y complicado flujo de trabajo | <input type="checkbox"/> Pérdidas         | <input type="checkbox"/> Queja clientes          |

Después de identificar las áreas de problemas potenciales, es hora de preparar el “business case”. Un efectivo business case debe incluir los siguientes elementos: El sistema específico o proceso analizado, el área de negocio afectado, el objetivo base o el objetivo que no se está cumpliendo, el resultado del problema y el impacto estimado en (dólares u otra métrica). Una vez que se ha identificado un número de áreas de problemas en el negocio y se ha preparado el business case para cada una. Entonces la pregunta es ¿qué criterio debería usar para seleccionar el proyecto Seis Sigma apropiado? Siempre tener presente que para obtener el máximo de beneficio desde su iniciativa, se debe enlazar la selección del proyecto Seis Sigma con las necesidades estratégicas del negocio. Desde este punto de vista se tiene un número de problemas y el equipo de proyecto no sabe por cual empezar los esfuerzos de mejora, para eso el equipo completa un cuadro de mando que tenga en cuenta (Business-Customer-Process), es decir que con la voz del cliente (VOC), la voz del proceso (VOP) y la voz del negocio (VOB) es posible priorizar las áreas de problemas potenciales.

### 2.5.1.2 Planteamiento del problema.

Para definir y describir el problema es necesario tener en cuenta que tienes que mejorar para alcanzar las metas, la magnitud del problema, donde el problema ocurre, y el impacto financiero. El planteamiento del problema puede después ser utilizado para comunicar el problema a las personas cuyo apoyo es necesario. La siguiente lista de chequeo muestra los elementos críticos para un exitoso planteamiento del problema: descripción del problema y las métricas usadas para describirlas, el nombre del proceso y la ubicación del problema, el marco de tiempo en el que el problema ha estado ocurriendo y el tamaño o magnitud del problema.

Los proyectos extensos deben descomponerse en proyectos más pequeños y, sucesivamente en elementos de trabajos y tareas. El proceso de ir de los objetivos a las tareas es llamado descomposición. El resultado de la descomposición es el alcance del proyecto: el área particular de interés y enfocado para el proyecto, en términos de procesos. Uno de los procesos de la dirección de alcance del proyecto, conocido como EDT (estructura de descomposición del trabajo) consiste en una descomposición jerárquica, orientada al producto entregable, del trabajo que será ejecutado por el equipo del proyecto, para lograr los objetivos del proyecto y crear los productos entregables requeridos. Los componentes de la EDT del nivel más bajo son denominados paquetes de trabajo. El objetivo es particional una gran idea o problema en componentes más pequeños, para alcanzar un nivel donde la idea pueda ser más fácil de entender o el problema sea más fácil de resolver. La idea básica es que, en un nivel, la solución de un problema se haga lo relativamente fácil de encontrar, o está lo suficiente aislado en el alcance en lo que se refiere a ser más simple que otras soluciones necesarias para satisfacer todas las condiciones posibles, a este nivel se le llama paquete de trabajo. El Alcance del proyecto permite delimitar el proceso, es decir:

- Punto de inicio: Identificar la actividad en donde empieza el proceso.
- Punto final: Identificar la actividad donde termina el proceso.
- Dentro del alcance: Actividades que se encuentran dentro del proceso
- Fuera del alcance: Actividades que se encuentran fuera del proceso

El planteamiento de los objetivos es importante para asegurarse que las mejoras del proyecto sean lanzadas apropiadamente, el cual está relacionado directamente con el planteamiento del problema. El planteamiento de los objetivos debe indicar el nivel de mejora esperado desde los esfuerzos de mejora, incluyendo cantidades específicas y cuantificables y el tiempo requerido para completarlo.

El objetivo del cronograma es construir un gráfico de tiempo que muestre el tiempo de inicio y fin de cada actividad, así como las relaciones con otras actividades del proyecto. El proyecto debe identificar actividades que son críticas en el sentido de que ellas deben terminar en tiempo para mantener el proyecto según lo programado. La información obtenida puede ser usada para mejorar el cronograma del proyecto. Actividades que el análisis indica que son críticas son candidatas para la mejora. El análisis de Pareto puede ser usado para identificar aquellas actividades que mayor contribución tienen en la completación del proyecto. Existen diversas herramientas y técnicas disponibles para ayudar al director del proyecto a desarrollar un cronograma del proyecto realista, que permita usar el cronograma para la asignación del tiempo, de los recursos, y darle seguimiento y control al progreso durante la implementación del plan de proyecto. Las dos herramientas más comunes son: los diagramas Gantt y los diagramas de redes.

### **2.5.1.3 Definir el proceso (nivel-alto) y las partes interesadas.**

En la fase de definición, la vista de un nivel superior del proceso es creado para identificar el amplio alcance del proceso a ser evaluado. Desde este punto de vista el proceso proporciona una referencia fundamental para los debates sobre los objetivos específicos del proyecto, los cálculos de los resultados del proyecto y la definición de los grupos de interés clave. Realizar un mapeo del proceso de alto nivel, comúnmente se utiliza un diagrama SIPOC. Un diagrama SIPOC se basa en simples mapas de flujo de proceso, pero se profundiza mucho más allá proporcionando retroalimentación inmediata a entradas que son críticas para la salida del proceso. Un diagrama SIPOC se centra en los insumos, productos, clientes y proveedores, y proporciona la base para la mejora y el despliegue de la metodología DMAMC. Los puntos siguientes son los pasos a seguir para completar un diagrama SIPOC:

1. Identificar el proceso que desea asignar y luego definir el alcance y los límites del proceso. Asegúrese de utilizar verbos de acción para describir lo que el proceso se supone que debe hacer. Una clave para

la creación de un diagrama SIPOC es identificar correctamente el proceso actual antes de pasar a las otras partes del diagrama.

2. Identificar las salidas. Describir los productos o servicios producidos por el proceso.
3. Definir el cliente o clientes. Nombre las personas, procesos, u organizaciones que reciban las salidas. Como parte de este paso, definir los requisitos del cliente haciendo una lista de lo que se demanda.
4. Listar todos los insumos para el proceso - identificar a las personas, información, materiales, y otros recursos necesarios para el proceso para producir los productos identificados.
5. Identificar las fuentes o proveedores, de las entradas.

Grandes proyectos impacta elevado número de grupos de interés dentro de la organización. La mayor importancia en la fase de definir es identificar a los actores clave, que son los grupos que pueden hacer o romper cualquier esfuerzo de cambio asociado con el proceso, los grupos de partes interesadas clave deben tener un buy-in en el proceso para cambiar con éxito e implementar el cambio.

### **2.5.1.4 Identificar las variables críticas de calidad.**

Los proyectos Seis Sigma se enfocan en una o más de los siguientes tres deliverables críticos: costo, calidad y cronograma. Factores críticos para los costos (CTC) incluye parámetros que impacta el progreso del trabajo, inventario de productos terminados, gastos generales, entregas, material y mano de obra, aún así cuando los costos pueden ser pasados al cliente. Factores críticos para la calidad (CTQ) son quizás lo más familiar para el personal operacional desde que directamente afecten los requerimientos funcionales especificados por los clientes internos y externos. Para determinar los CTQ's se debe conocer la voz del cliente interno o externo (VOC), o sea que es lo que espera nuestro cliente acerca del servicio o del producto que le proporcionamos. Mediante la voz del cliente se puede saber cuál es el grado de satisfacción que este tiene. Para determinar los CTQ's se pueden tomar los siguientes puntos: (metas del negocio, entrevistas, encuestas, quejas, datos benchmarking, discusiones ejecutivas y de trabajo específico, matriz causa – efecto, QFD, tendencias de mercado futuras). Factores críticos para cronograma (CTS) que afectan el plazo de entrega del producto o servicio. Las métricas de las CTS están relacionado con el tiempo de ciclo y la eficiencia del cronograma, incluyendo: el tiempo de ciclo, Eficiencia ciclo del proceso, velocidad, y con la efectividad global del equipo.

### **2.5.1.5 Seleccionar el equipo del proyecto**

Tan pronto como sea posible el gerente del proyecto y el patrocinador del proyecto deben organizar una breve reunión informal con los directores de todos los grupos interesados para informarles de que se propone un proyecto en su área funcional, con el permiso y la dirección de los altos ejecutivos. Es importante seleccionar un representante de los interesados que sea creíble con su grupo y otros grupos

interesados, tenga apoyo de la dirección local, que esté entusiasmado por el cambio, y que sea capaz y esté dispuesto a formar parte del equipo. En este caso son seleccionados con el fin de construir un buy-in en el grupo de partes interesadas. Los equipos eficaces se limitan generalmente de 5 a 7 participantes. Equipos más grandes son más difíciles de manejar, y los miembros pueden perder el sentido de la responsabilidad para el equipo. Otros miembros del equipo pueden ser miembros ad-hoc de grupos de interés que no son clave, que sólo participan cuando sea necesario, como por experiencia en procesos.

### **2.5.1.6 Obtener la autorización de los patrocinadores.**

La información en una carta del proyecto (Project Charter) es fundamental para obtener el compromiso de los patrocinadores. El acta definición del proyecto o carta del proyecto, es una de las principales herramientas de comunicación para todos los actores del proyecto, y es un contrato entre el equipo del proyecto y el patrocinador, que justifica la necesidad de su implantación. El porqué, cómo, quién y cuándo de un proyecto, incluye los siguientes elementos: (Descripción del problema, Objetivos del proyecto, alcance, identificar las variables (CTQ's, CTS, CTC, etc.), grupo con los interesados y patrocinador, miembros del equipo, cronograma del proyecto y otros recursos que se requieran), así que cualquier cambio crítico en el alcance, en los objetivos, en el cronograma se requiere de la aprobación del patrocinador y del consenso del equipo del proyecto. La fase de definición cierra con la aprobación de la carta del proyecto y posibilita el despliegue de las siguientes fases. El Anexo 2.2 muestra la plantilla para la creación de la carta del proyecto que será utilizada en el capítulo III.

## **2.5.2 Fase Medir**

La medición es la base de la mejora del conocimiento y subsiguiente. La medición es la herramienta que se utiliza para comprobar que ha llegado a la respuesta correcta, se ha corregido el problema, o han mejorado la situación. En esta fase se verifica que las variables críticas para la calidad (CTQ) puedan medirse en forma consistente, que se mida su situación actual (línea base) y se establezcan las metas para las (CTQ). Esta es una etapa importante porque se da continuidad a la anterior, se realiza un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (Gage R&R), y se elabora un estudio de capacidad y estabilidad de las (CTQ), para saber con mayor precisión la magnitud del problema actual y generar bases para encontrar la solución.

### **2.5.2.1 Estimar la línea base del desempeño actual.**

El principal objetivo de la fase medir es establecer la línea base del proceso. La línea base del proceso permite una medida cuantificable del rendimiento del proceso antes de cualquier esfuerzo de mejora que se haya inicializado. Los gráficos de control estadísticos (SPC) son usados para definir la línea base del proceso. Si el proceso es estadísticamente estable como evidencia el análisis (SPC) entonces la

estimación de la capacidad del proceso y el nivel sigma pueden ser usados para cuantificar el rendimiento del proceso relativo a los requerimientos. Si el proceso no es estadísticamente estable, como se evidencia por el análisis SPC, a continuación, se busca la claridad con respecto a las causas de la variación. Si las causas especiales de variación pueden ser fácilmente identificadas y eliminadas, y se estableció una línea base del proceso estable, entonces los requisitos para la línea de base objetivo se ha cumplido. Si no, como a menudo es el caso, entonces nuestra estimación de referencia ha proporcionado información crítica útil para la fase de análisis, donde las causas de la inestabilidad del proceso se pueden investigar en las condiciones controladas de un diseño de experimentos. Aunque pueda parecer obvio que el sistema de medición debe evaluarse antes de que el esfuerzo sea invertido tomando las mediciones de la línea base, la verificación del sistema de medición se presenta después de la sección de línea de base por dos razones:

1. La técnica clave analítica utilizada para validar el sistema de medición es el gráfico de control. Se debe estar familiarizados con su uso y aplicación en las líneas de base del proceso antes de su aplicación especial hacia la validación del sistema de medición.
2. Cuando los objetivos de un proyecto Seis Sigma incluyen la mejora de las métricas CTQ o CTS, la línea de base en la fase de medición proporciona la validación de las condiciones iniciales estimados en la etapa Definir. Importantes mejoras o cambios en el sistema de medición antes de la línea de base será el sesgo de la línea base con respecto a las condiciones iniciales. En su lugar, la línea de base debe ser estimada usando primero los métodos existentes, entonces repetidas (después de la mejora del sistema de medida) si el error del sistema de medición es significativo. El cumplimiento de esta recomendación se presta más credibilidad a las mejoras, ya que el equipo del proyecto puede demostrar la replicación del error, así como la mejora resultante. En algunos casos, el error de medición se encuentra que es la causa más significativa de la variación del proceso. En esos casos, el enfoque de los cambios en el proyecto Seis Sigma en esta etapa para concentrarse en la mejora del sistema de medida, más bien que el proceso en sí mismo.

Para cada salida (KPOV) correspondiente a los parámetros críticos para la calidad (CTQ) definidos en la fase Definir, se establece una línea de base de su actual capacidad; para ello se debe encontrar su tasa de defectos para obtener el DPMO (Defectos por millón de oportunidades), PPM (Partes por millón) o Nivel Sigma (Ver epígrafe 2.2 y 2.3). Para medir el rendimiento del proceso y determinar su línea de base, se tienen otros indicadores aparte del nivel sigma. Estos son la capacidad del proceso ( $C_p$  o  $C_{pk}$ ) y el rendimiento del proceso ( $P_p$  o  $P_{pk}$ ) (Ver epígrafe 2.4).

El objetivo de encontrar la línea de base de las capacidades de los KPOV's en la fase medir, es determinar el denominado "entitlement" o rendimiento deseado del proceso (mejor nivel sigma) que se debe ser capaz de lograr. Encontrada la línea de base y un sistema de medición se puede inferir las causas de la variación

de las variables de salida. Esta sección presenta varios métodos de análisis de los datos utilizando un gráfico de control estadístico para determinar la medida en que el proceso cumple con los requisitos.

1. Recoger muestras de 25 o más subgrupos de unidades producidas consecutivamente.
2. Graficar los resultados en un gráfico de control. Si todos los grupos están en control estadístico, vaya al paso 3. De lo contrario, tratar de identificar la causa especial de variación mediante la observación de las condiciones o períodos de tiempo en que se realizan. Si es posible, tomar acciones para eliminar la causa especial y documentar como parte de los esfuerzos de mejora de procesos. Tenga en cuenta que una causa especial puede ser beneficioso. Actividades beneficiosas pueden ser "eliminados" como causas especiales al hacer ellos todo el tiempo. Una causa especial es "especial" sólo porque viene y va, no porque su impacto es ni bueno ni malo.
3. Utilizando los límites de control del paso anterior, poner el gráfico de control a utilizar para un periodo de tiempo. Una vez que esté satisfecho de que transcurra el tiempo suficiente para la mayoría de las causas especiales que se han identificado y eliminada, según lo verificado por los gráficos de control, vaya al paso 4.
4. Estimar la línea base del proceso usando el análisis de capacidad del proceso. Esta estimación debe validar los índices de error estimado originalmente en la etapa Definir que justificó la implantación del proyecto. Tenga en cuenta que cuando la variación del proceso se limita a causas comunes (es decir, el proceso está bajo control estadístico), "Resolución de problemas" (por ejemplo, el estudio de cada defectuoso) no va a ayudar, y puede dar lugar a manipulaciones. La manipulación de un proceso estable está demostrado que aumentan la variación del proceso, que por supuesto es exactamente el efecto opuesto que intenta corregir.

Los procesos tienen variables de salida o de respuesta que deben cumplir por lo general con ciertas especificaciones para así considerar que el proceso funciona de manera satisfactoria. Evaluar la capacidad o habilidad de un proceso es analizar que tan bien sus variables de salida cumplen con las especificaciones. Para eso se estudian las herramientas estadísticas descriptivas que son de mucha utilidad para analizar datos, tanto en el contexto de un estudio de la capacidad de procesos como en el desarrollo de proyectos de mejora Seis Sigma.

Un primer punto a resolver en un estudio inicial de la capacidad, es decidir cómo y cuántas unidades muestrear. Para esto no hay reglas únicas, pero si se pueden dar algunas recomendaciones. En cuanto a cómo muestrear es usual aplicar un muestreo sistemático (Gutierrez Pulido, 1997), en donde cada determinado tiempo o cada determinada cantidad de unidades producidas se toma un subgrupo de unidades. Por ejemplo, seleccionar de 5 a 10 piezas cada media hora, para monitorear el proceso y para que después de unos días o turnos se tenga una muestra representativa y retrospectiva del desempeño del proceso. En cuanto al tamaño de la muestra se deben considerar algunos factores tales como el costo

del muestreo, los antecedentes en la misma empresa, la importancia de las decisiones que se quieren tomar, etc., para al final ponderar todo esto y decidir el plan de muestreo.

Con las mediciones de una característica de calidad, el primer aspecto para investigar si el proceso cumple con especificaciones es conocer la tendencia central de los datos para así saber si el proceso está centrado; es decir, saber si la tendencia central de la variable de salida es igual o está muy próxima al valor nominal especificado. Para comenzar a entender la variación de los datos es necesario cuantificar la posición de la tendencia central de su variación como son: la media, la moda y la mediana. El segundo parámetro es medir cuánta variación se distribuye alrededor de la posición central. Cuantificar la distribución de la variación puede ser complicado porque cambia con el tiempo. Una de las tareas que tiene Seis Sigma es separar la variación observada en dos (largo plazo y corto plazo). Así que, cuando ocupa suficiente tiempo para incluir la influencia de todas las variables y factores de causas especiales se calcula la desviación a largo plazo  $\sigma_{lt}$  de lo contrario se calcula la desviación a corto plazo  $\sigma_{st}$ , como se muestra a continuación:

$$\sigma_{lt} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad \sigma_{st} = \bar{R} \frac{1}{1.128} = \frac{\sum Ri}{1.128(n-1)} \qquad \text{donde } \bar{R} = \frac{\sum Ri}{(n-1)}$$

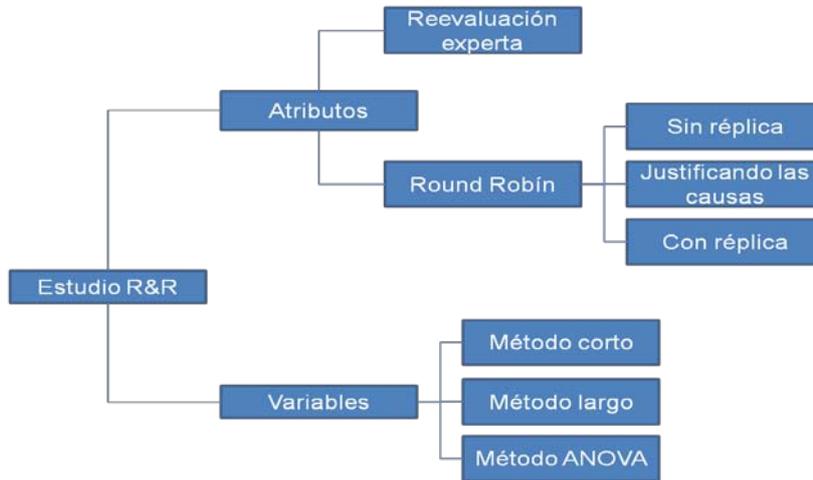
La distribución o el comportamiento de la salida de un proceso en cuanto a medida de tendencia central y dispersión, también se puede representar de forma gráfica con el histograma y tablas de frecuencias. Los percentiles o cuartiles de una distribución o de un conjunto de datos son medidas de localización relativa, que ayudan a complementar la descripción de la distribución de una característica de calidad, y por ende a tener elementos adicionales para juzgar la capacidad de un proceso. El diagrama de caja permite describir el comportamiento de los datos y de suma utilidad para comparar procesos, tratamientos y en general para hacer análisis por estratos (lotes, proveedores, turnos).

### 2.5.2.2 Evaluar el sistema de medición

Lo primero que se debe hacer dentro de la fase de medición, es verificar que las (CTQ) que se han elegido en la etapa anterior (definir) pueden medirse en forma consistente. Por tanto aquí lo más indicado sería llevar a cabo un estudio de repetibilidad y reproducibilidad al sistema de medición de las (CTQ). Hacer un estudio R&R es algo perfectamente factible para la mayoría de las (CTQ) que se presentan en la práctica; donde puede haber más dificultades es en el caso de variables lentas de tipo administrativo (quejas de cliente, por ejemplo). Con independencia del tipo de variable, el equipo de mejora debe revisar con detalle la forma en que se miden sus (CTQ) y asegurar que estas mediciones se hacen en forma consistente, ya que a través de estas variables se medirá el impacto del proyecto de mejora. Cuando se establece la característica de un producto y/o servicios como crítica para la calidad, se puede estudiar a través de un conjunto de datos, los cuales se definen como datos por atributos o datos que se representan con una variable, como es en el caso de estudio realizado en el capítulo 3. A diferencia de un sistema de medición

por variables, un sistema de medición por atributos no ofrece información sobre la calidad de una parte, pero sólo indica si una parte es aceptada o rechazada basándose en un conjunto de estándares especificados (Ver figura 2.13).

**Figura 2.13:** Estudio R&R

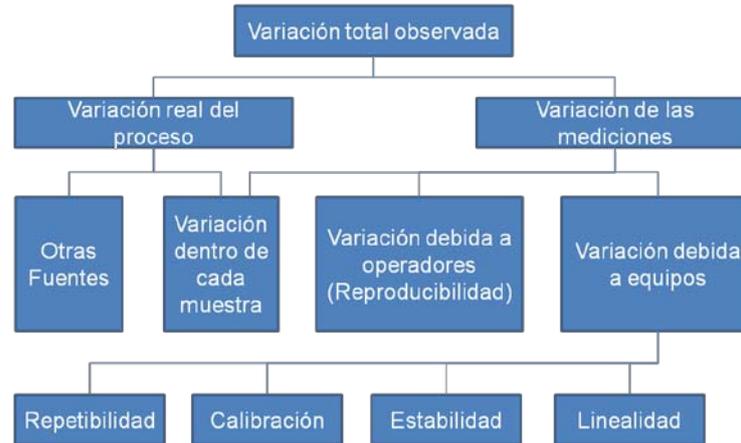


Fuente: Elaboración propia

Existen varios métodos para el estudio R&R para los datos por variables como son el método corto, el largo y el método ANOVA. El estudio R&R largo es el más completo y por ende el más recomendable, debido a que permite tener una evaluación para cada una de las tres fuentes de variabilidad referidas antes, en particular de la repetibilidad y de la reproducibilidad. Mientras que en el estudio R&R corto, que es menos recomendable, solo se logra evaluar la variabilidad atribuible al proceso de medición sin distinguir qué parte se debe al instrumento y cuál a operadores. Sin embargo, el estudio largo no es tan completo como el que pueden hacer los sistemas informáticos tales como el MINITAB, que incluyen además el método ANOVA para el análisis de los datos del estudio largo. El MINITAB provee dos métodos para el estudio R&R del sistema de medición cruzado: X y R o ANOVA. El método X y R divide la variación general en tres categorías: parte a parte, repetibilidad y reproducibilidad. El método ANOVA va un paso más adelante y divide la reproducibilidad en sus componentes de operador y operador por parte. El método ANOVA es más exacto que el método X y R, en parte, porque explica la interacción Operador-Parte (Montgomery & Runger, 1993; Montgomery, & Runger, 1993). El Anexo 2.3 muestran los pasos a realizar en el experimento durante el estudio R&R y el plan de acción a partir de los criterios de aceptación.

Para caracterizar y mejorar la calidad del proceso es necesario conocer la contribución que tienen las mediciones sobre la variabilidad total observada. Como se muestra en la figura 2.14, la variación total observada es la suma de la variación real propia del producto más la variación del proceso de medición. En particular, las fuentes principales que contribuyen a la variabilidad del proceso de medición son el equipo de medición, los operadores y la variación dentro de cada muestra (Gutierrez Pulido & Vara Salazar, 2004).

**Figura 2.14:** Fuentes de variabilidad en las mediciones



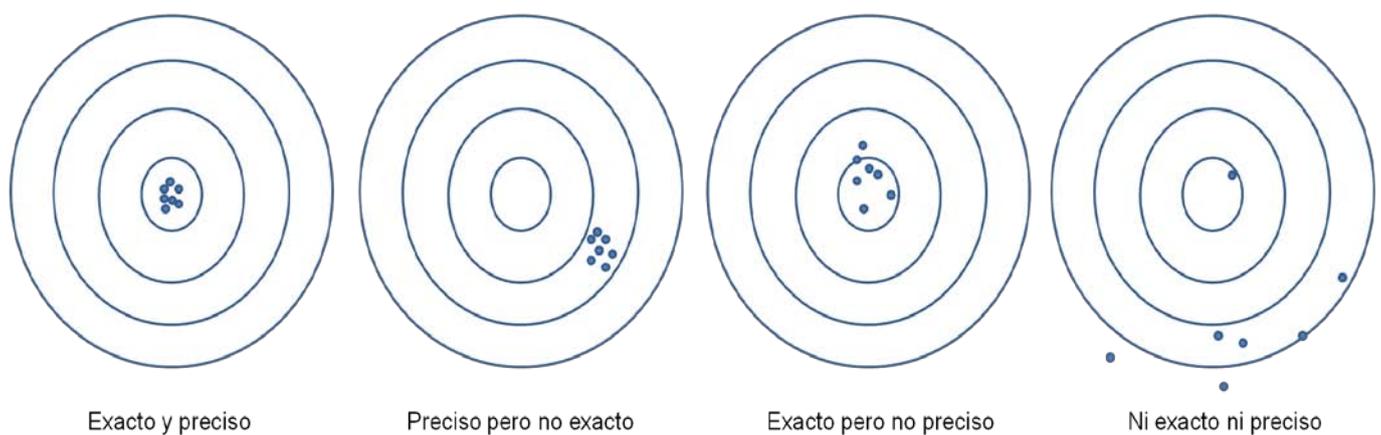
Fuente: (Pulido & Salazar, 2004)

Los errores del sistema de medición se pueden clasificar en dos categorías: *exactitud* y *precisión* (Ver figura 2.15). Se entiende por sistema de medición la colección de operaciones, procedimientos, calibres y otro equipo, software y personal utilizado para asignar un número a la característica que se mide; el proceso completo utilizado para obtener mediciones. La exactitud o sesgo: Se refiere al desfase o desplazamiento que tienen las mediciones en relación al estándar o verdadero valor que se supone conocido; la exactitud se estima mediante la diferencia entre la media observada (X) y el verdadero valor (N) del mensurando. La precisión: es la variación que presentan los resultados al medir varias veces una misma magnitud o mensurando con el mismo equipo (sus componentes principales son la repetibilidad y la reproducibilidad). En otras palabras, la precisión es la habilidad de un instrumento de medición para repetir y reproducir su propia medición, con independencia de si dicha medición es correcta o incorrecta.

Valor verdadero: Valor correcto teórico / estándares NIST (National Institute of Standards and Technology)

Resolución: Es la habilidad del sistema de medición para discriminar entre piezas similares.

**Figura 2.15:** Exactitud y precisión



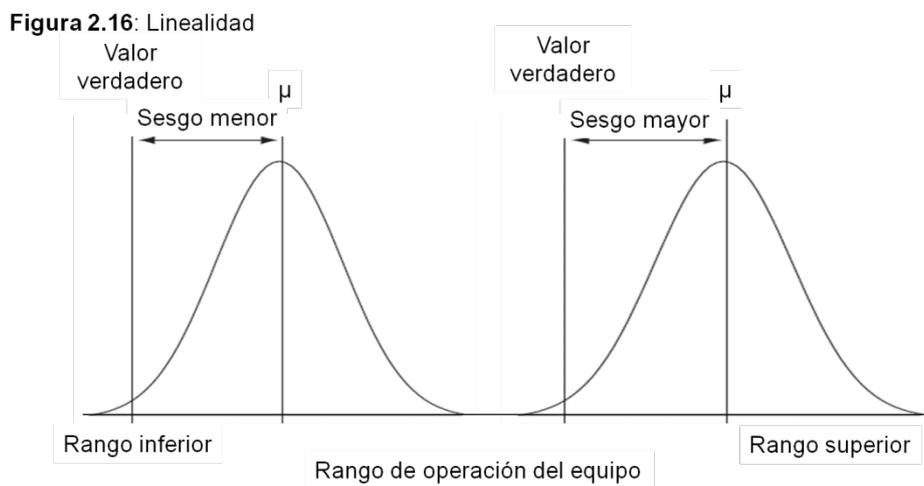
Fuente: Elaboración propia.

La exactitud de un sistema de medición suele dividirse en tres componentes:

**Linealidad:** Diferencia en los valores de la escala, a través del rango de operación esperado del instrumento de medición (Ver figura 2.16).

**Sesgo:** Distancia entre el valor promedio de todas las mediciones y el valor verdadero. Error sistemático o desviación (Ver figura 2.16).

**Estabilidad:** Es la variación total de las mediciones obtenidas con un sistema de medición, hechas sobre el mismo patrón o sobre las mismas partes, cuando se mide una sola de sus características, durante un tiempo prolongado. Un sistema se dice que es estable si los resultados son los mismos en diferentes puntos en el tiempo (Ver figura 2.17).



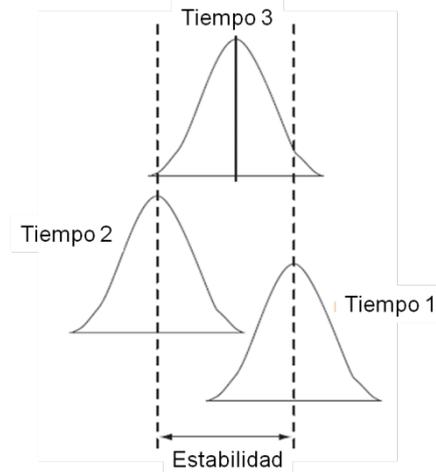
Fuente: Elaboración propia.

La precisión, o variación de la medición, se puede dividir en dos componentes:

**Repetibilidad:** Es la variación de las mediciones obtenidas con un instrumento de medición, cuando es utilizado varias veces por un operador, al mismo tiempo que mide las mismas características en una misma parte (Ver figura 2.18a).

**Reproducibilidad:** Es la variación en el promedio de las mediciones realizadas por diferentes operadores utilizando el mismo instrumento de medición cuando se mide la característica idéntica en la misma parte (Ver figura 2.18b).

Figura 2.17: Estabilidad



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.18a: Repetibilidad

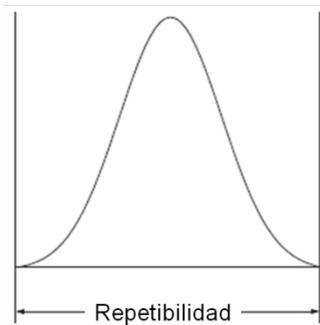
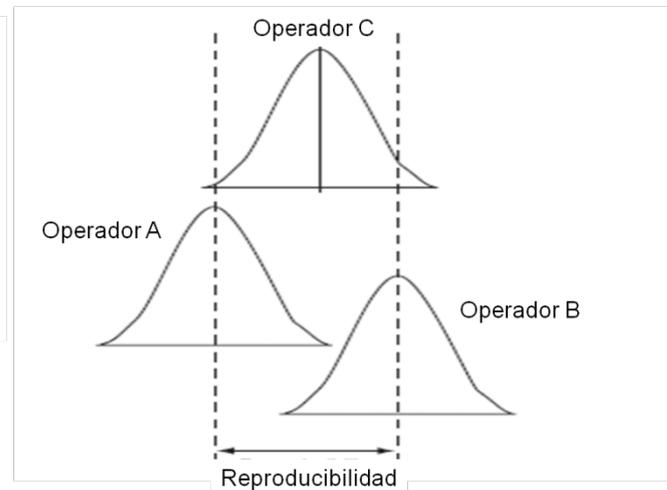


Figura 2.18b: Reproducibilidad



Fuente: Elaboración propia.

En los estudios R&R se trata de evaluar en forma experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y cuantificar si este error es grande o pequeño, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide. Cuando se lleva a cabo un proceso de medición sobre ciertas unidades  $u_i$  de un conjunto U, un modelo adecuado para representar las mediciones es (Montgomery, 2005):

$$Y(u_i) = X(u_i) + \varepsilon_i$$

Donde  $Y(u_i)$  es la medición observada,  $X(u_i)$  es el valor real de la media en la  $i$ -ésima unidad y  $\varepsilon_i$  es el error de medición. Asumiendo que  $X$  y  $\varepsilon$  son variables aleatorias que se distribuyen normal e independientemente con medias  $\mu_{parte}$ ,  $\mu_{R\&R}$  y varianzas  $\sigma_{parte}^2$ ,  $\sigma_{R\&R}^2$  respectivamente. Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio R&R son: variabilidad del producto  $\sigma_{parte}$ , del instrumento  $\sigma_{inst}$  y de los operadores  $\sigma_{oper}$ .

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{parte}^2 + \sigma_{oper}^2 + \sigma_{inst}^2$$

$$\sigma^2_{inst} = \sigma^2_{repetibilidad} \quad \sigma^2_{oper} = \sigma^2_{reproducibilidad}$$

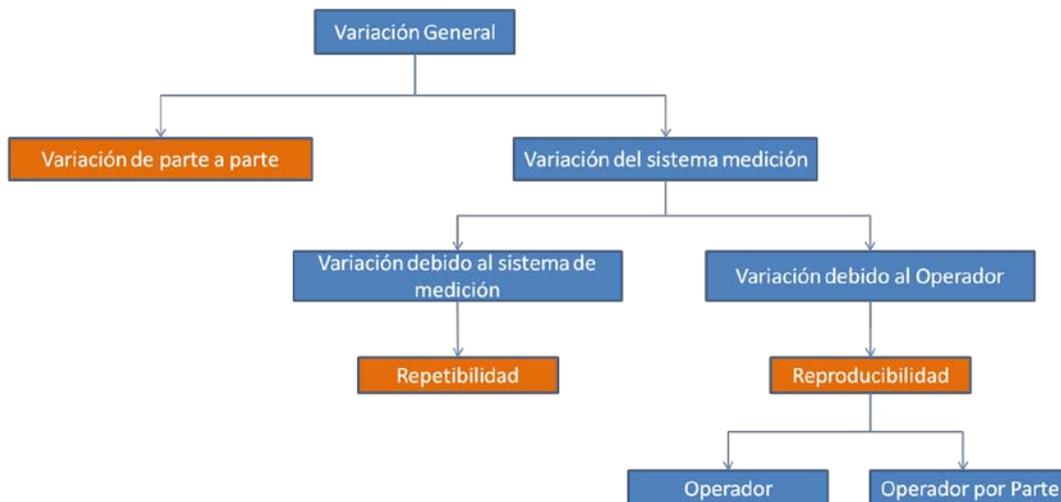
$$\sigma^2_{R\&R} = \sigma^2_{repetibilidad} + \sigma^2_{reproducibilidad}$$

El método ANOVA agrega el componente  $\sigma^2_{oper \times parte}$  a la descomposición dada en la ecuación anterior, el cual se considera parte de la reproducibilidad como muestra la siguiente ecuación. Estos componentes se estiman mediante la técnica ANOVA aplicada al diseño factorial con efectos aleatorios, en este caso los factores parte y operador dan lugar a los efectos aleatorios cuando las partes utilizadas en el estudio son una muestra de la población de partes y también una muestra de los operadores que manejan el equipo de medición, quedando de la siguiente manera (Ver figura 2.19):

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{parte} + \sigma^2_{oper} + \sigma^2_{oper \times parte} + \sigma^2_{inst}$$

$$\sigma^2_{repetibilidad} = \sigma^2_{inst} \quad \sigma^2_{reproducibilidad} = \sigma^2_{oper} + \sigma^2_{oper \times parte}$$

Figura 2.19: Métodos para el estudio R&R del sistema de medición.



Fuente: (Montgomery & Runger, 1993-4)

### 2.5.2.3 Establecer metas

Establecer las metas para las CTQ, se deben establecer metas para éstas. Estas metas deben balancear el que Sean ambiciosas pero alcanzables. Por ello el equipo debe preguntarse cuál sería un buen logro del proyecto que se refleje en un horizonte de un año o menos.

### 2.5.3 Fase analizar

El propósito de la fase analizar es identificar las brechas existentes entre la línea base del desempeño y las metas, en aras de comprender las fuentes raíces de la variación, y para priorizar las oportunidades de mejora. Los datos obtenidos durante la fase medir anterior se deben analizar en detalles, empleando técnicas estadísticas, según sea el caso, para identificar, probar o verificar las KPIV's significativas.

Como ya se planteó antes, los hallazgos de la fase analizar pueden alterar la comprensión del problema y conducir a una re-definición del proyecto. Las primeras tres fases se deben repetir hasta que la definición del proyecto sea estable.

### 2.5.3.1 Análisis de la fuente de variación

Ya sea que el objetivo del proyecto Seis Sigma se relaciona directamente con los mecanismos de la cadena de valor, tales como el tiempo de ciclo y el costo / capacidad relacionada con la asignación de recursos, o indirectamente, como en la calidad relativa de su salida, una pieza fundamental del análisis es la comprensión de la contribución referente de las fuentes de variación que afectan a la cadena de valor. Una revisión de la tabla de control estadístico construido en la fase de medición proporcionará información en cuanto al tipo de variación: causas comunes intrínsecas al proceso o causas especiales que se producen esporádicamente en condiciones específicas. Como se discutió en la etapa de medición, la respuesta a cada uno de estos tipos de variación difiere significativamente.

Cuando un proceso se encuentra fuera de las especificaciones permitidas, se tiene evidencia de que existe variación. Para comprobarlo se utilizan alguna de las herramientas de análisis, según sea el caso por ejemplo, el análisis Multi-Vari es una herramienta estadística que permite determinar las fuentes que presentan mayor variación, a través de la descomposición de los componentes de variabilidad del proceso. Una vez determinadas las causas de variación, nos enfocaremos en las pocas vitales X que está afectando la variable de respuesta "y". La figura 2.14 muestra las posibles fuentes de variación real del proceso.

Las posibles fuentes de variación del proceso puede ser una lluvia de ideas por el equipo de Seis Sigma mediante el uso del diagrama causa y efecto. Estas causas potenciales deben entonces ser analizados por su importancia usando herramientas estadísticas más avanzadas, incluidos los intervalos de confianza y pruebas de hipótesis, incluyendo el diseño de experimentos y sus métodos enumerativos asociados. Si bien estos métodos estadísticos más simples pueden ser utilizados para comparar directamente una muestra a sus propiedades deseadas, o de una muestra a otra, el diseño de experimentos se basará en estos conceptos en la aplicación de ANOVA (análisis de varianza) técnicas a múltiples fuentes de variación, lo que permite la cuantificación de la contribución relativa de cada fuente para el error total. Análisis general de regresión y correlación es presentado como un precursor de los diseños de experimentos, para ayudar en la comprensión de las técnicas de análisis experimentales.

### 2.5.3.2 Determinar las KPIV's significativas.

En este epígrafe se deben seleccionar las que se crean que son las causas principales, explicar cuál es la razón (teoría) y confirmar con datos a través del análisis de las fuentes de variación que efectivamente esto ha pasado.

### 2.5.4 Fase mejorar

Con lo hecho en la fase de analizar se está listo para que en esta se propongan, implementen y evalúen las soluciones que atiendan las causas raíces detectadas antes. Así, el objetivo en esta fase de la metodología es demostrar, con datos, que las soluciones propuestas resuelven el problema y llevan a las mejoras buscadas. El propósito de esta fase es establecer una mejora robusta para el proceso. Las actividades a considerar se mueven en una gama de las prácticas, que refleje los diferentes criterios o prioridades sobre las que se deben tomar solución, las basadas en el uso de técnicas de optimización y las que hacen a los productos robustos contra las variables de ruido (DOE's), según sea el caso, hasta la implementación de las soluciones y su impacto en la mejora, aunque estas deben ser identificadas antes que la modificación del proceso se implemente.

#### 2.5.4.1 Priorizar las oportunidades de mejoras

Una vez que se generaron diferentes alternativas de solución es importante evaluarlas con base en una matriz que refleje los diferentes criterios o prioridades sobre los que se debe tomar la solución. Por ejemplo, en una matriz de prioridades, a cada criterio el equipo le asigna el peso que desea que tenga en la decisión. Después por consenso o votación los integrantes del equipo jerarquizan las soluciones de acuerdo a cada criterio, asignando el número más alto a la solución mejor evaluada de acuerdo a ese criterio. A continuación, para cada solución se multiplican las jerarquías o rangos en que se le ubicó por el peso de cada criterio y el resultado se suma, de forma que la solución que tenga una suma más alta será la mejor solución de acuerdo a los diferentes criterios (Ver Anexo 2.4).

El Uso de la demanda de los clientes para la toma de decisiones de diseño y de mejora. Demandas de los clientes se puede convertir fácilmente en los requisitos de diseño y especificaciones. Se debe tener cuidado para mantener la intención de los clientes a lo largo de la evolución de las necesidades internas. El propósito de las especificaciones es para transmitir la voz del cliente en toda la organización. La importancia de cada criterio debe ser determinado por el cliente. Cuando diferentes clientes asignan diferente importancia a los criterios, las decisiones de diseño se complican aún más. Se hace difícil elegir entre diseños de la competencia frente a la ambigüedad y la variación de cliente a cliente. A continuación, se muestra un número de formas para determinar la importancia dada a cada elemento de los clientes:

- Asignar pesos de importancia mediante una escala numérica, ejemplo (1 a 10).
- Asignar pesos de importancia mediante una escala subjetiva, ejemplo (no importante, importante, muy importante).
- Haga que los clientes evalúen un conjunto de ofertas de productos hipotéticos e indiquen su preferencia para cada producto en la clasificación de las ofertas. Las ofertas de productos incluyen una mezcla selecta de artículos seleccionados de la lista de demandas de los clientes. La lista se

selecciona de tal manera que el valor relativo de los lugares de los clientes en cada elemento de la oferta puede ser determinado a partir de los valores de preferencia. Esto se conoce como el análisis conjunto, una técnica de marketing avanzado que se describe en los cursos sobre estadísticas de comercialización.

- Que los clientes evalúen los elementos de dos en dos, asignando una calificación de preferencia a uno de los elementos de cada par, o decidir que tanto los elementos de una pareja son igualmente importantes. Esto es menos tedioso si las principales categorías que se evalúan en primer lugar, a continuación, los artículos dentro de cada categoría. La evaluación puede utilizar cualquiera de los valores numéricos o etiquetas descriptivas. Las comparaciones por pares pueden ser analizados usando un método conocido como el proceso analítico jerárquico (AHP; también referido a veces como una matriz de priorización) para determinar la importancia relativa asignada a todos los elementos.

### 2.5.4.2 Optimizar el proceso

El diseño de experimentos consiste en planear un conjunto de pruebas, de tal manera que los datos puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca de un producto o proceso. Para ello, el experimentador debe establecer una planificación coherente del estudio. En general se deben seguir las etapas que se muestran en la figura 2.20.

**Figura 2.20:** Etapas del diseño de experimentos



Fuente: (Montgomery, 2001)

Se entiende por factores (X) las variables de interés para las cuales se quiere estudiar el impacto que tienen las mismas en la respuesta (Y) y por nivel como el valor que puede tomar un factor en un determinado experimento. Cuando el objetivo es el escrutinio de factores o la caracterización del proceso, suele mejor mantener el bajo número de niveles de los factores (lo más común es usar dos niveles), el nivel bajo (-) y el alto (+).

Se entiende por variable de respuesta (Y) como la salida de un proceso, al seleccionar la respuesta, se debe estar seguro de que la respuesta que se va a medir realmente provea información útil del proceso de estudio. La capacidad de medición (o error de medición) también es un factor importante. Si la capacidad de medición es deficiente, sólo puede esperarse que el experimento detecte efectos relativamente grandes de los factores; en caso contrario deben hacerse repeticiones.

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de éstos sobre una respuesta, es decir se investigan todas las posibles combinaciones de tratamientos en cada ensayo completo o réplica del experimento, donde se presentan métodos especiales para el análisis de los datos, sin embargo, el diseño  $2^k$  es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar y que conlleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse  $k$  factores en un estudio factorial completo. A medida que el número de factores en un diseño factorial  $2^k$  aumenta, el número de ensayos para obtener una réplica completa sobrepasa rápidamente los recursos de la mayoría de los experimentadores, por lo que, muchos experimentadores utilizan otros tipos de diseños como es el diseño factorial, factorial en  $m$  bloques, factorial (media fracción, cuarta, octava, etc), factorial fraccionado irregular, de nivel mixto. En un diseño factorial fraccionado el número de corridas en el diseño es igual a  $2^{k-p}$ , donde  $p = 1$  para una media fracción,  $p = 2$  para un cuarto de fracción,  $p = 3$  para un octavo de fracción, etc. Para muchos diseños, la resolución indica información importante acerca del orden de las interacciones que pueden ser estimadas por tal diseño y la estructura de alias muestra el patrón de confusión del diseño. Para más detalles de estos procedimientos (Montgomery, 2005).

Es útil predecir al valor esperado de la característica de interés sobre el mejor tratamiento. Lo que permite tener, desde antes que se implemente el proceso, un estimado del beneficio que se obtendrá con el experimento. El grado de credibilidad en la predicción obtenida depende de la calidad del modelo ajustado. El análisis de los residuos permite evaluar varios aspectos de calidad del modelo (sea un modelo de análisis de varianza o de regresión) que se propone para los datos, ya que en la medida en que los residuos son pequeños, el modelo describe de mejor manera el comportamiento de la respuesta. Los residuos permiten detectar la presencia de datos atípicos e influyentes, así como estudiar el posible efecto de los factores en la variabilidad de la respuesta y verificar los supuestos del modelo: normalidad, varianza constante e independencia.

Los modelos de regresión se adecúan a los datos cuando no se conoce la relación funcional de real, por lo que se corre el peligro de usar un modelo que no se ajuste adecuadamente a la relación funcional real. En estas situaciones se debe utilizar un polinomio de grado dos o superior. La prueba de falta de ajuste permite evaluar la "bondad de ajuste" del modelo de regresión.

### 2.5.4.3 Implementar la solución

Para implementar la solución es importante elaborar un plan de acción en el que se especifiquen las diferentes tareas, su descripción (en qué consiste, cómo se va a hacer, dónde se va a implementar), las fechas para cada una, los recursos monetarios que se requerirán, las personas responsables y participantes en cada tarea.

### 2.5.4.4 Evaluar el impacto de la mejora

Para la evaluación de la solución se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas, es decir, volver a realizar un estudio de capacidad y estabilidad para las CTQ. Si los resultados no son satisfactorios, entonces se debe revisar por qué no dio resultado y con base en eso revisar lo hecho en esta y la anterior etapa del ciclo DMAMC.

## 2.5.5 Fase controlar

Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X vitales) y se cierra el proyecto. En otras palabras, el objetivo de esta etapa es que el equipo Seis Sigma desarrolle un conjunto de actividades con el propósito de mantener el estado y desempeño del proceso a un nivel que satisfaga las necesidades del cliente y esto sirva de base para buscar la mejora continua. En este sentido, es necesario establecer un sistema de control para: Prevenir que los problemas que tenía el proceso no se vuelvan a repetir (mantener las ganancias), impedir que las mejoras y conocimiento obtenido se olviden, mantener el desempeño del proceso y alentar la mejora continua.

### 2.5.5.1 Estandarizar el proceso

Estandarizar el proceso. En este nivel se deciden acciones para asegurar las mejoras a través de cambios en los sistemas y estructuras que forman el proceso en sí, tratando de no depender de controles manuales y de vigilancias sobre el desempeño. En otras palabras, aquí se deben buscar cambios en el proceso y en sus métodos de operación apoyándose en tecnologías y dispositivos tipo poka-yoke.

### 2.5.5.2 Documentar el plan de control

Toda organización tiene un sistema diseñado para asegurar la estabilidad y protegerlo contra cambios indeseables. Con frecuencia este sistema también se hace más difícil de hacer cambios beneficiosos. Las organizaciones son conservadoras, se resisten activamente al cambio, por lo que antes de implementar un plan de control se busca trabajar en mejorar o desarrollar cambios que permita que se mantengan las

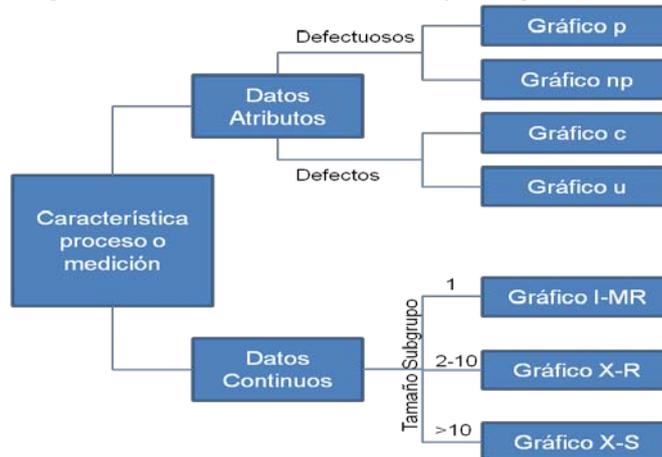
mejoras alcanzadas. A continuación se muestran algunas sugerencias para proteger los beneficios obtenidos, como son: Cambios de política que deben ser cambiados como resultado del proyecto, nuevos estándares, es decir, existen normas industriales ANSI, SAE, JCAHO, NCQA, ASTM, ASQ o cualquier otro estándar que, si se adopta, ayudan a mantener los beneficios del proyecto, nuevos documentos que faciliten el apego a los procedimientos estándar de operación del proceso. La estandarización vía documentación contempla procedimientos bien escritos, videos y hojas de trabajo ilustradas. Otras alternativas para lograr la estandarización de los métodos son la capacitación, tanto para nuevos trabajadores como para los actuales y los sistemas a pruebas de errores (poka yoke). Algunos consejos para documentar procedimientos son los siguientes: Involucrar a la gente que supervisa y aplica los métodos, probar el procedimiento, tal como se documentó, ser completo, pero conciso, colocar el procedimiento donde esté fácilmente disponible, bosquejar un método para actualizar los procedimientos (mejora continua), poner fecha a los procedimientos y destruir los procedimientos obsoletos, también se recomienda modificar los criterios de valuación de la calidad y auditorías, actualizar los precios y los modelos de las ofertas del contrato, realizar cambios en los planes de producción, en el sistema de información, revisión del sistema de contabilidad, cambios en los diseños de los dibujos, es decir que, muchos proyectos de Seis Sigma crean solicitudes de cambio de ingeniería como parte de su solución del problema. Por ejemplo, cuando un proyecto Seis Sigma evalúa la capacidad del proceso es común a descubrir que los requisitos de ingeniería son excesivamente apretada. Tal vez los diseñadores están utilizando peor de los casos tolerancias en lugar de tolerancias estadísticas. El equipo del proyecto debe asegurarse de que estos descubrimientos resultan cambios reales en dibujos de ingeniería.

### **2.5.5.3 Desarrollar e implementar un plan de control**

Aunque el diseño fue evaluado a fondo, no hay sustituto para hacerlo. El equipo debe asegurarse de que sus procedimientos de operación, capacitación de los operadores, materiales, sistemas de información, etc en realidad producen los resultados previstos. La prueba piloto consiste en una pequeña escala, el tiempo limitado de ejecutar el nuevo diseño bajo la atenta mirada de los expertos de procesos. Las métricas se recogieron y analizaron mediante análisis de SPC para determinar si las predicciones CTQ son razonablemente exactas bajo condiciones del mundo real. Se deciden las mejoras al monitoreo del proceso para que mediante este se tenga la evidencia de que el nivel de mejoras logrado se siga manteniendo. Los monitoreos pueden realizarse tanto sobre entradas claves del proceso, como sobre variables de salida crítica, y el trabajo desarrollado en las fases previas del proyecto Seis Sigma ayuda a decidir esos aspectos importantes a monitorear en el proceso. Las herramientas por excelencia para analizar y monitorear el desempeño de un proceso son los gráficos de control, asegurándose de una elección y operación adecuada. Cada gráfico de control es designado para diferentes tipos de datos o situación. La figura 2.21 muestra mediante un árbol de decisión el tipo de gráficos de control a ser usado. También algunas preguntas de evaluación sobre el monitoreo de un proceso, en relación a sus entradas y

salidas claves, son las siguientes: ¿Cómo se monitorean?, ¿Con qué frecuencia se verifican?, ¿Se conocen las especificaciones y los valores metas óptimos?, ¿cuál es la capacidad y estabilidad? Y ¿Cuáles deben tener gráficos de control?

**Figura 2.21** Árbol de decisión para gráficos de control



Fuente: Elaboración propia

## 2.5.5.4 Cerrar y difundir el proyecto

El objetivo de esta última actividad es asegurarse que el proyecto Seis Sigma sea fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión para fortalecer la estrategia de mejora Seis Sigma. Esta difusión ayudará a hacer que los cambios y aprendizajes motiven a elevar el nivel de compromiso de los involucrados para mantener el éxito del proyecto y fortalecer el aprendizaje y la mejora continua en la organización. Por ello el equipo de caracterización debe desarrollar las siguientes actividades.

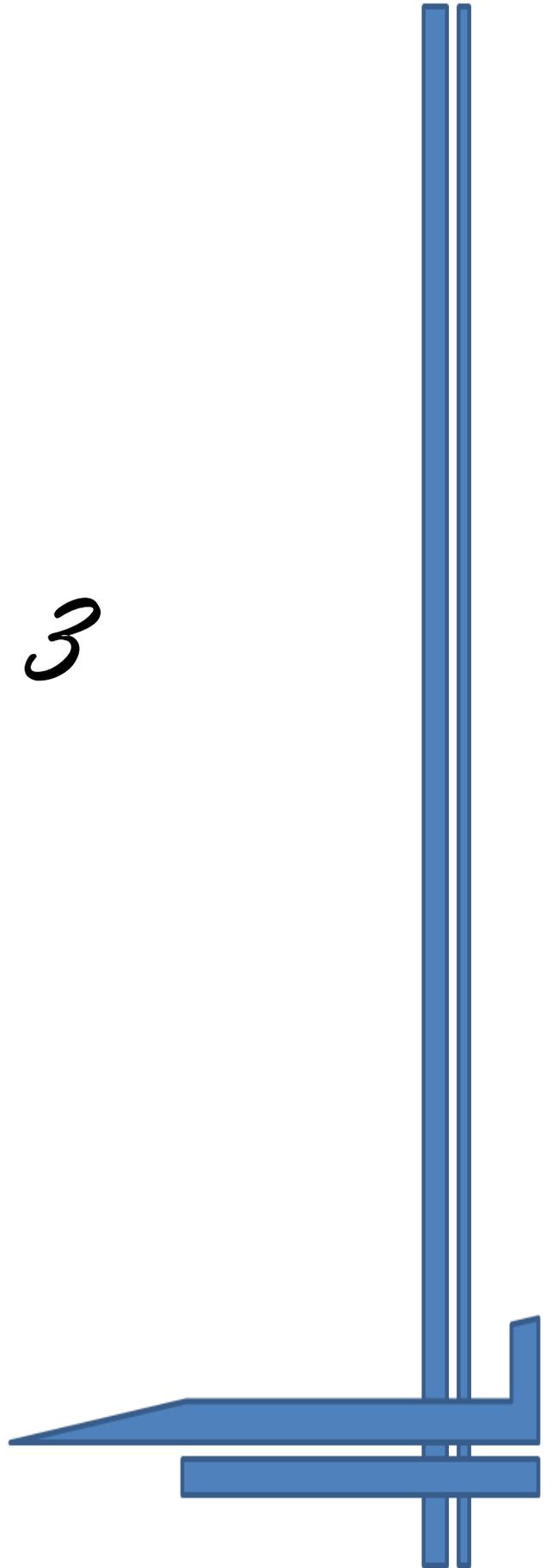
- Documentar el proyecto, es decir, integrar todos los documentos que reflejan el trabajo realizado en las cinco etapas de DMAMC: la información recabada, los análisis hechos, los cambios realizados, etc. El reto es tener una evidencia técnica de lo realizado que sirva como documento de referencia y aprendizaje futuro, por lo que en los aspectos claves se debe ser suficientemente explícito. Además agregar la lista de las personas participantes, las fechas, las áreas en las que se desarrolló el proyecto y aspectos relacionados.
- Amanera de resumen y conclusiones, hacer una lista de los principales logros alcanzados. Para ello elaborar un resumen de los principales cambios o soluciones dadas para el problema, el impacto del proyecto y resumir los principales aprendizajes alcanzados con el proyecto.
- Acordar y llevar a cabo una serie de actividades para difundir lo hecho y los logros alcanzados, que puede incluir: elaboración de reporte técnico, presentación ante colegas y directivos, difusión interna por los canales adecuados. La base para elaborar el material de difusión está resumido en los puntos anteriores.

Se debe escribir y circular a todas las partes interesadas el informe final del proyecto. El informe debería ser archivado de modo tal que garantice el acceso oportuno de otros. Todos los informes deben tener un formato estándar y deben estar indexados mediante palabras claves. El informe debe indicar las lecciones aprendidas para que puedan ser transmitidas a los futuros equipos de proyecto Seis Sigma.

### **2.6 Conclusiones parciales**

1. La metodología Seis Sigma es un método disciplinado de mejora de los procesos, en este capítulo se presentaron a grandes rasgos los pasos a seguir para su aplicación, y se describieron los métodos de medición del desempeño del proceso a través de las sigmas del proceso, así como la medición de su capacidad permitiendo comparar la voz del proceso con la voz del cliente.
2. La metodología descrita en el presente capítulo para la mejora de procesos constituye una aplicación práctica de los enfoques teóricos analizados en la investigación, en los cuales se establecen las ventajas de enfocar la temática en cuestión a la Gestión de Procesos y la mejora de los mismos. Su aplicación ha permitido reducciones radicales en el número de los fallos y en los costes de calidad de muchas empresas líderes en sectores industriales y de servicios, así como un incremento sustancial de la satisfacción de sus clientes.
3. Se evidencia la necesidad de continuar aplicando la metodología Seis Sigma en el resto de los procesos claves de la Refinería de Petróleo tomando como referencia el proceso de Fraccionamiento de los Gases de la sección 400.

# *Capitulo 3*



### Capítulo III: Aplicación de la Metodología Seis Sigma

El presente capítulo se ha dedicado a la validación práctica de la hipótesis de investigación, el cual se presentan los resultados a través de la aplicación de la Metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma para la mejora en el proceso de Fraccionamiento de los Gases de la Sección 400 de la Refinería de Petróleo, sobre la base de solucionar un problema dado, para de esta forma contribuir a las metas de la organización.

#### 3.1 Caracterización de la empresa

La empresa mixta PDV CUPET, S.A., con asiento en la Refinería CAMILO CIENFUEGOS, cita en la provincia de Cienfuegos en la Zona Industrial No. 3, Finca Carolina, al noroeste de la ciudad de Cienfuegos. Se ubica en el sector costero NW de la parte Norte de la Bahía de Cienfuegos, la cual se localiza en la zona sur-central de Cuba. Es constituida el 10 de abril del 2006, luego de un proceso negociador entre la firma Petróleos de Venezuela (PDVSA) y la Unión Cubana de Petróleo (CUPET). Creada con el interés de profundizar y consolidar los lazos de cooperación en la arena energética, al amparo de la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA).

Por decisión del Consejo de Ministros, en el año 2009 PDV CUPET, S.A extiende su alcance, además de la refinería asume los proyectos mayores de inversión que emprende el país en el sector de la refinación del petróleo y la regasificación y distribución de gas natural licuado, convirtiéndose en la empresa mixta CUVENPETROL S.A, en este contexto la Refinería pasa a ser una Unidad de Negocios de CUVENPETROL, S.A. La refinería ocupa un área de 380 hectáreas, de ellas 110 para ampliaciones futuras. La misma fue diseñada para procesar 65 000 barriles/día de crudo "Soviet Export Blend" y actualmente se mantiene con esa capacidad de producción. Desde su arrancada en marzo de 1991 hasta su paralización en enero de 1995 la planta procesó alrededor de 1,3 millones de toneladas de diferentes tipos de crudo, ellos fueron: Soviet Export Blend (Ruso), Oriente (Ecuatoriano), Olmeca-Maya (Mejicano), Isthmus (Panameño), Lago Medio (Venezolano), Forcados (Nigeriano), Ceuta (Venezolano), Caño Limón (Colombiano), Iranian Light (Iraní) y Kole (Nigeriano). En todos los casos se obtuvieron los resultados esperados de rendimiento para cada tipo de crudo. Desde la reactivación y puesta en marcha de la instalación solo se procesa una mezcla de crudos venezolanos MESA 30 y MEREY 16. El 22 de Mayo de 1992, mediante la Resolución 690/1992 de la Comisión Nacional del Sistema de Dirección de la Economía, se legitimiza a la Refinería de Cienfuegos como EMPRESA.

El acto de inauguración de la reactivación de la Refinería Camilo Cienfuegos se realizó el 21 de diciembre del 2007, presidido por el General de Ejército Raúl Castro Ruz, Primer Vicepresidente de los Consejos de Estado y de Ministros, junto al Presidente de Venezuela, Hugo Rafael Chávez Frías. El objeto social de CUVENPETROL se fundamenta en el desarrollo y la operación del sistema de refinación de petróleo, gas

natural licuado (GNL) y gas natural comprimido, en la República de Cuba, que incluye, los siguientes Proyectos:

- La expansión de la Refinería Camilo Cienfuegos.
- El desarrollo del diseño y construcción de facilidades de la Planta de Regasificación de Gas Natural Licuado (GNL), en la República de Cuba.
- La construcción de nueva Refinería en Matanzas.
- La expansión de la Refinería Hermanos Díaz.

Misión: Operar de forma segura y competitiva un sistema de refinación y suministro de derivados de petróleo y gas, para el mercado nacional e internacional, con un capital humano comprometido y competente, alta responsabilidad social y ambiental, contribuyendo al desarrollo de los países del ALBA.

Visión: Ser una empresa de clase mundial en el campo de la refinación de hidrocarburos y el suministro de gas, reconocida por su alto compromiso ambiental y su contribución al desarrollo sustentable de nuestros pueblos.

La estructura organizativa de la empresa se puede observar en el Anexo 3.1

### **3.2 Aplicación de la metodología Seis Sigma**

La aplicación de la metodología se realiza siguiendo el orden de los pasos de cada fase propuesta en el capítulo anterior. La metodología DMAMC como estrategia de mejora Seis Sigma se realiza en la Planta de Fraccionamiento de los Gases de la Sección 400 de la Refinería de petróleos de Cienfuegos como objeto de estudio seleccionado.

#### **3.2.1 Fase Definir**

En esta fase se elaboró el Acta de Definición del Proyecto (Project Charter), en el cual se encuentra plasmado lo que se observa mal del proyecto, se realizó una descripción detallada del problema, se incluyeron los datos sobre la magnitud del mismo y su impacto financiero en los resultados de la organización, así como el alcance del proyecto, los objetivos que se deben alcanzar al concluirse el proyecto y el tiempo requerido para llevarlo a cabo.

##### **3.2.1.1 Selección del problema**

La tabla 3.1 muestra las áreas problemáticas de negocios. La intención aquí no está en definir el proyecto, sino en identificar claramente dónde los proyectos son más necesarios que otros. De manera de estimular en encontrar las áreas problemáticas en el negocio por el cual dirigirse. Para ello, la unidad de Negocios

## Capítulo III

cuenta con una matriz de selección de proyectos Seis Sigmas, lo cual se puede observar que los proyectos candidatos se encuentran sujetos a varios criterios, el cual se enlaza la selección del proyecto Seis Sigma con las necesidades estratégicas del negocio. Todos aquellos proyectos con evaluaciones entre 4 y 5 puntos son candidatos a ser aprobados, en este caso, se encuentra inmerso el proyecto de mejora del porcentaje de rendimiento de la producción de GLP perteneciente a la sección 400 de la refinería de petróleo, como objeto de estudio seleccionado de la presente tesis.

**Tabla 3.1:** Matriz de selección de proyectos Seis Sigma

Matriz para la selección de proyectos Seis Sigma	Leyenda que define el sentido /dirección/ de la evaluación con valores entre 1 y 5					Evaluación
	Alto (5) ↑ Medio ↑ Bajo (1)	Alto (5) ↑ Medio ↑ Bajo (1)	Alto (5) ↑ Medio ↑ Bajo (1)	Bajo (5) ↑ Medio ↑ Alto (1)	< 3 Meses (5) 4 Meses (4) 5 Meses (3) 6 Meses (2) > 6 Meses (1)	5 4 3 2 1
	Peso asignado a las variables de evaluación					
Proyectos Candidatos	25%	25%	10%	20%	20%	Total
	Impacto en el Cliente y Otras Partes Interesadas	Impacto en el negocio	Probabilidad de Éxito	Recursos requeridos	Tiempo de completamiento	
1 Optimización Mezclas Prod.	5	5	5	1	3	3.80
2 Mitigar derrame de fenoles	5	4	4	2	3	3.65
3 Ahorro de Nitrógeno	4	4	5	4	5	4.30
4 Mejorar Entregas por Muelle	5	5	5	3	4	4.40
5 Ahorro de Energía	5	5	4	2	3	3.90
6 Ahorro de agua	4	5	4	3	3	3.85
7 Agregar valor a las auditorías	4	3	5	5	5	4.25
8 Cambio Fuel oil por Gas	5	5	5	3	3	4.20
9 Mejora % de rendimiento producción de GLP	5	5	5	4	4	4.60
10 Cargadero de Pailas	5	5	4	2	4	4.10
11 Mejora proceso M6.3 Auditorías Internas	5	4	5	4	3	4.15

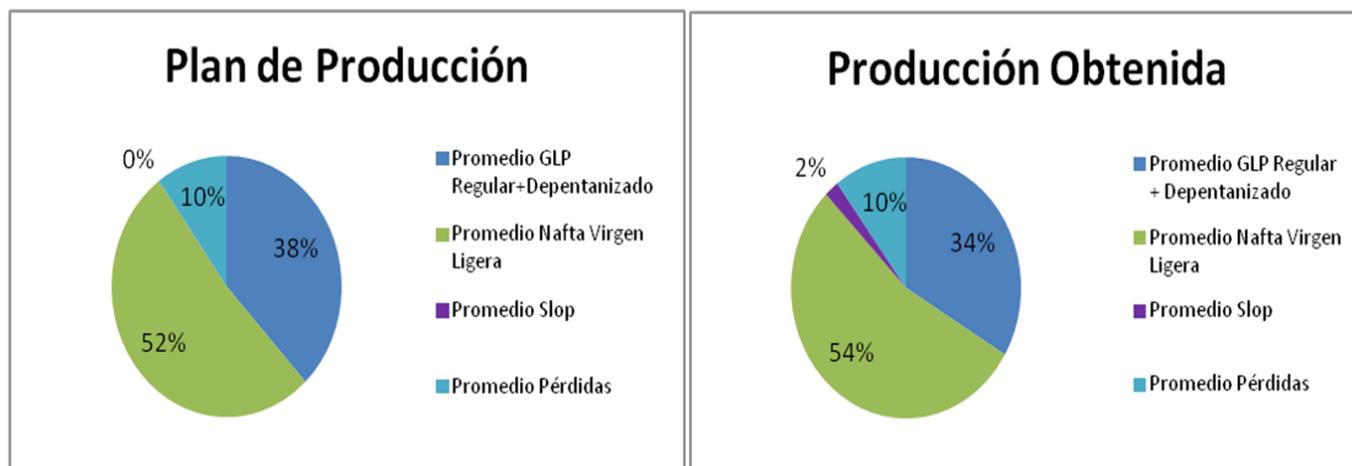
Fuente: Unidad de Negocios, proceso M6.7

### 3.2.1.2 Planteamiento del problema

El principal cliente directo con que cuenta la refinería es CUVENPETROL S.A. La refinería le proporciona productos a la Empresa Comercializadora de Combustible de Cienfuegos y esta a las Estaciones de CUPET, a la Termoeléctrica de Cienfuegos, entre otros. Estas empresas son consideradas como clientes indirectos de la refinería. El mercado principal de la empresa son las provincias centrales del país, sin embargo, cuando la demanda del país se satisface también se exporta a otros países a través del sistema de PDVS.A. La actividad productiva ha presentado un desempeño positivo, considerando que por cinco

años consecutivos (2008-2011); se ha cumplimentado el plan de producción a un 101%. Sin embargo en sentido general la producción de GLP el pasado año 2011 presentó un cumplimiento de solo el 93.2%, que aunque se haya cumplido con los principales indicadores de producción, el bajo rendimiento de la Planta de Fraccionamiento de los Gases es un problema a resolver. Para esto, se tomaron datos históricos de la Planta de Fraccionamiento de los Gases que muestran que durante los últimos 8 meses del año 2012, el proceso no ha sido capaz de cumplir con los planes de producción, principalmente en la producción de GLP regular más depentanzado, alcanzando un promedio de 33.5% de la producción, de ello el 4.5% no cumple con dichas especificaciones, de una meta a alcanzar de 38% ( Ver figura 3.1), por lo que se estima, que existirán 12,462.31 partes por millón de oportunidades (DPMO) que se producirán fuera de especificaciones, la cual genera un costo estimado de \$3, 206,598.74, dando como resultado un nivel de calidad de 3.74 sigma y un rendimiento real del proceso de 98.75%.

**Figura 3.1:** Grafico de producción



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.1.3 Definir el proceso (nivel-alto) y las partes interesadas.

El Anexo 3.2 muestra el diagrama de flujo del proceso y a continuación se describe el proceso de la Planta de Fraccionamiento de los Gases (sección 400), donde se presenta el problema, con el objetivo de esclarecer y unificar las ideas que tiene el equipo sobre el funcionamiento del mismo y proporcionar la información necesaria para dar comienzo a la mejora. Para mayor detalle el Anexo 3.3 muestra el esquema de la Planta a través del software Exaquantum.

#### **Entrada materia prima**

En la Sección 400, se procesa la fracción inestable PIE 70, proveniente del tope de la Torre estabilizadora T-104 de la Sección 100 (Destilación Atmosférica) y la fracción liviana inestable de la sección 200 (Reformación Catalítica). La fracción PIE 70 inestable proveniente de la sección 100, es alimentada a la

sección 400. También esta alimentación tiene la facilidad de venir de MCP, desde el título 41. Además esta sección recibe nafta ligera inestable exceso de reflujo del D-202 y la fracción liviana inestable exceso de reflujo del D-203, ambos provenientes de la sección 200. Estas fracciones se dirigen al tambor de materia prima D-401. A través de la bomba de materia prima P-401/1/2/R, es succionada desde el tambor D-401 hacia los tambores de reposo 1,2 D-402.

### ***Lavado (materia prima/soda cáustica)***

Los tambores de reposo (1,2 D-402) normalmente trabajan en serie (ahorro de Soda Cáustica), pero tienen la facilidad de trabajar en paralelo. La materia prima es lavada (alcalización) con soda cáustica al 15%. La misma proviene del título 61 y es descargada a la línea de recirculación por la bomba P-410. Esta línea de recirculación va desde los tambores de reposo (1,2 D-402) hasta la entrada de los mismos en donde se encuentran los inyectores. La misma cuenta con un analizador de concentración de soda cáustica en la mezcla (materia prima/soda cáustica). La alimentación de soda cáustica es periódica, y la misma se repone a medida que se reduzca su concentración.

### ***Clarificación materia prima***

Cuando se logre el lavado óptimo de la fracción PIE 70 inestable, pasa al tambor clarificador D-403. Los posibles arrastres de soda cáustica que se separan, se envían desde el clarificador al tambor de Soda usada (D-411) y esta es usada y recolectada en el Tambor D-411 proveniente de los tambores de reposo 1,2 D-402, y de los arrastres que van del Clarificador D-403, es tratada con vapor, con la finalidad de eliminarle los posibles gases que contenga. Luego de un tiempo de reposo la soda ya tratada y enfriada es succionada por la bomba de soda cáustica P-410 y descargada por la línea hacia la Planta de Tratamiento Residuales (PTR). Por otra parte, la materia prima sale por la parte superior del Clarificador D-403 y va hasta los intercambiadores 1,2 E-402/1 que trabajan en serie (PIE 70 inestable por la carcasa/fracción PIE 70 estable por tubos) saliendo a una temperatura 133°C. Si la materia prima no alcanza esta temperatura, la misma se pasa al intercambiador E-403/1 (materia prima por tubos/Vapor de 11Kgf/cm<sup>2</sup> por la carcasa). Posteriormente, la materia prima sale por la línea a la Torre Desbutanizadora T-401/1.

### ***Fraccionamiento PIE 70 inestable***

La Sección 400 está diseñada para el fraccionamiento de gas (fracción 70°C inestable) proveniente de la Planta de Destilación Atmosférica (Sección 100) y liviana inestable (Sección 200), para obtener la fracción PIE 70 estable, los gases licuados (una mezcla de propano, n-butano, isobutano) y gas seco, luego se dirige hacia la torre T-401/1 donde se separa el Gas licuado del petróleo que se obtiene por el tope y la nafta ligera estable que se obtiene por el fondo. El PIE 70 estable será utilizado para mezclas de gasolina en Patio de Tanques (MAP) y el GLP (mezcla de C3 y C4) se comercializará.

Por el tope de la Torre salen los gases hidrocarbonados (C1, C2, C3 y C4), hacia los enfriadores de aire 1,2-A-401/1. Gran parte se condensan en dichos enfriadores y de allí van, al tambor de reflujo del tope T-401/1 (D-405/1). Desde el Tambor de Reflujo (D-405/1), se succiona por la línea, el reflujo de la torre T-401/1, a través de la bomba P-403/1R, para ser inyectado en el tope de la Torre T-401/1

Desde el fondo de la torre T-401/1, sale el PIE 70 estable, cuya descarga desde la bomba P-402/R va hacia el horno F-401/1. El PIE 70 y se reinyecta en forma de chorro caliente a la torre T-401/1, por debajo del plato 1.

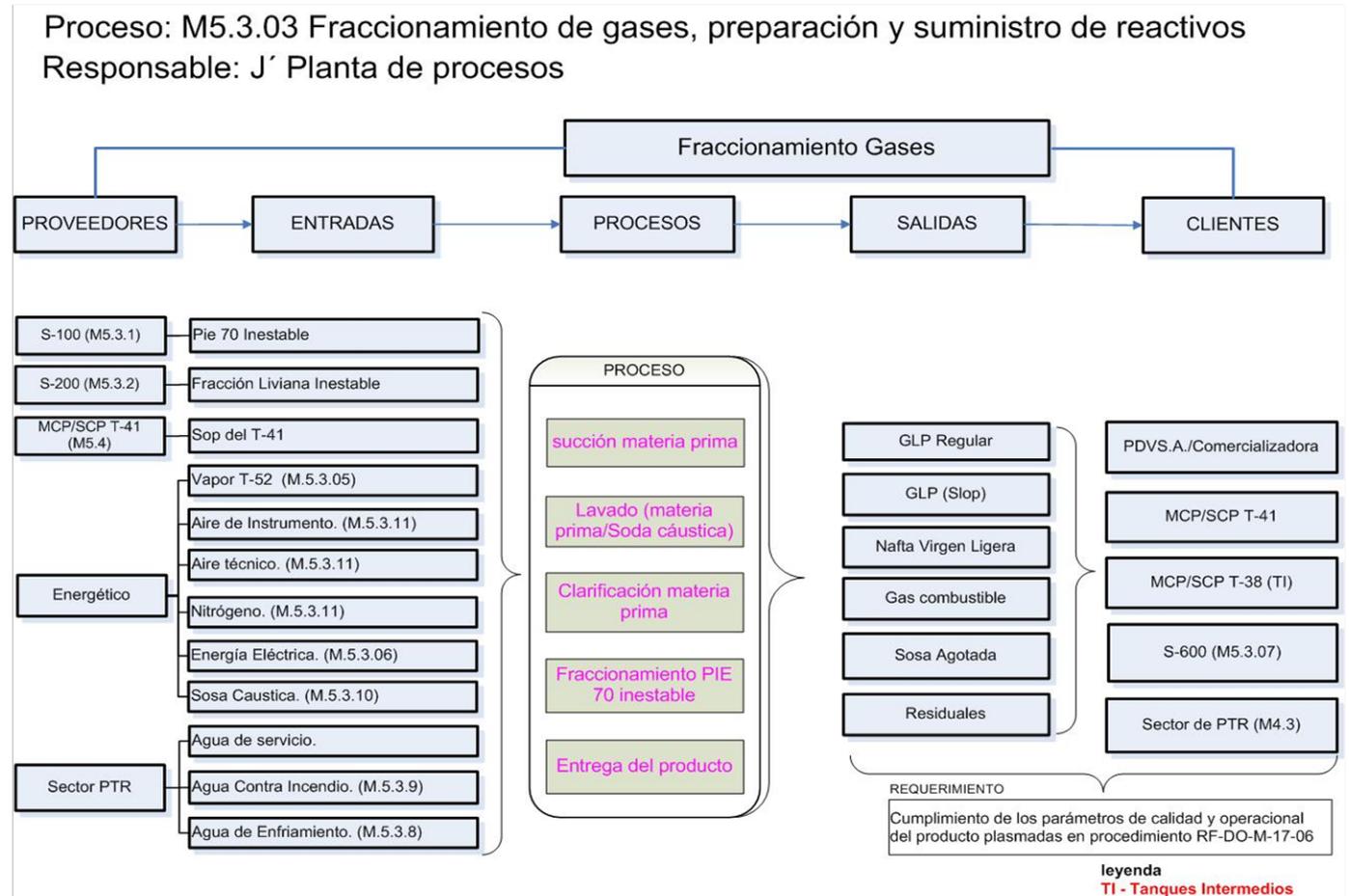
### **Entrega del producto**

En el tambor D-405/1, existe un control de nivel, del exceso de reflujo (Gas carbonado), que actúa sobre la válvula de control. Este exceso es descargado por la bomba P-403/R a través de la línea, que va hacia la alimentación de la Torre desbutanizadora T-403. Como dicha Torre no está en funcionamiento este exceso, va el Intercambiador por agua E-412 (Exceso por la carcaza y agua por tubos). Luego de enfriado el gas licuado va al Bloque 27 (GLP) por línea de butano, para su almacenamiento, junto a este se enviara el GLP de la sección 200 siempre y cuando el mismo se encuentre en especificaciones, también existe la facilidad para mandarlo por la línea de propano con el objetivo de obtener un producto Depentanizado y con bajo contenido de azufre para el consumo de Moa.

Por el fondo de la torre también sale la fracción de PIE 70 estable, hacia los intercambiadores 2,1-E-402/1, con la finalidad de ceder calor al PIE 70 inestable. Esta fracción de PIE 70 estable luego de pasar por los intercambiadores 1,2 E-402/1, pasa al intercambiador por agua E-413, para ser enfriado (La fracción por carcaza/ agua por los tubos). Esta fracción es mezclada con el catalizado estable proveniente de la planta de Reformación Catalítica para la conformación de la gasolina. Cuando la fracción de PIE 70 estable no está dentro de especificación, el producto es descargado desde E-413 por la línea y va hacia el cabezal de productos no condicionados. También existe la facilidad de enviar esta fracción fuera de especificación hacia el Patio de Tanques al título 41.

También en la figura 3.2 se muestra un mapa SIPOC de alto nivel y la relación Cliente – Proveedor, los cuales serán útiles para identificar todos los elementos relevantes del proceso como son: proveedores, entradas, salidas, clientes y sus requerimientos, que servirán como herramienta para proporcionar las bases para la mejora:

**Figura 3.2:** Diagrama SIPOC de la Planta Fraccionamiento de los Gases S-400



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.4 Identificar las variables críticas de calidad

La tabla 3.2 muestra la matriz causa – efecto, mediante la cual se identificaron las entradas del proceso en relación con las salidas del proceso y el rango de importancia que estas son para el cliente.

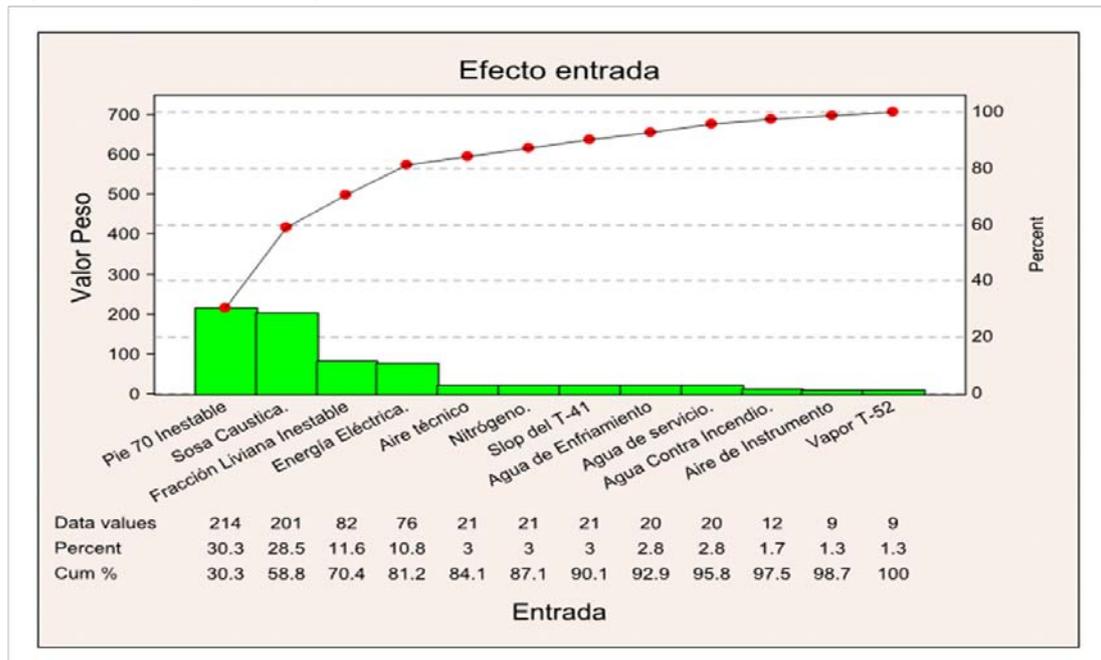
Para poder lograr que se satisfagan los requerimientos de los clientes CTQ, se identificaron en el gráfico de Pareto de la figura 3.3 las entradas potenciales, lo cual muestra que el 59% del valor del peso de las entradas se encuentran en la materia prima del PIE 70 inestable y en la sosa caustica, esto permitirá en su posterior análisis enfocar los esfuerzos de mejora y recursos en ellas.

**Tabla 3.2:** Matriz causa-efecto de la Planta Fraccionamiento de los Gases S-400

Rango de importancia para el cliente (1 a 10)	8	1	10	1	1	1		
Salida	GLP (en Calidad)	GLP (Slop)	Nafta Virgen Ligera	Gas combustible	Sosa Agotada	Residuales		
Entrada (X Variable)							Valor Peso por entrada	% efecto neto por entrada
Pie 70 Inestable	10	10	10	10	10	4	214	30.3%
Fracción Liviana Inestable	4	4	4	4	1	1	82	11.6%
Slop del T-41	1	1	1	1	1		21	3.0%
Vapor T-52	1	1					9	1.3%
Aire de Instrumento	1	1					9	1.3%
Aire técnico	1	1	1	1	1		21	3.0%
Nitrógeno.	1	1	1	1	1		21	3.0%
Energía Eléctrica.	4		4		4		76	10.8%
Sosa Caustica.	10	10	10	1	10		201	28.5%
Agua de servicio.	1	1	1	1			20	2.8%
Agua Contra Incendio.		1	1	1			12	1.7%
Agua de Enfriamiento	1	1	1	1			20	2.8%
<b>Peso efecto de cada salida</b>	<b>280</b>	<b>32</b>	<b>340</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>5</b>		

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.3:** Diagrama de pareto Planta Fraccionamiento de los Gases S-400



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.5 Seleccionar el equipo del proyecto

En busca de implementar Seis Sigma en el proceso seleccionado, se crea el equipo del proyecto con vista a cumplir con los objetivos y alcance previsto. Para ello, en la tabla 3.3 se crea el equipo del proyecto y su role durante su implementación.

**Tabla 3.3:** Equipo de proyecto Seis Sigma

Nombre y Apellidos	Cargo	Role
Dessie González Fragoso	Director Operaciones	Patrocinador proyecto
Irenaldo Pérez Cardoso	Jefe Despacho operaciones	Miembro del equipo
Llidisbet Gutierrez González	Esp. Sector 1 planta procesos	Responsable proceso
Yolaina Lajos Villavicencio	Jefe Sector 1 planta procesos	Miembro del equipo
Yoandra Gravie Martínez	Esp. Planificación producción	Miembro del equipo
Yordán Pereira Medero	Esp. Calidad	Líder proyecto
Lázaro M. Borroto	Esp. Calidad	Director del Despliegue

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.1.6 Obtener la autorización de los patrocinadores.

Mediante la carta del proyecto ha sido posible justificar la necesidad de llevar a cabo el estudio de la planta de Fraccionamiento de los Gases de la sección 400, en el cual resume el enunciado del problema, los objetivos del proyecto, las metas trazadas por el equipo del proyecto Seis Sigma, los beneficios estimados que se esperan alcanzar, así como su alcance.

El Anexo 3.4 muestra la línea base del cronograma del proyecto Seis Sigma, el cual tiene una duración estimada de 6 meses, por el cual se prevé llevar a cabo cada una de las fases del proyecto. Mediante el cronograma se evaluará el cumplimiento de cada una de las actividades descrita en la metodología y en caso contrario poder tomar acciones correctivas en aquellas actividades que más contribuyan a la desviación del proyecto para poder terminar en el tiempo establecido.

A continuación se muestra el Acta de Definición del proyecto, el cual la fase cierra con la aprobación de la carta del proyecto, y esto permitirá el despliegue de las siguientes fases:

## ACTA DEFINICION DEL PROYECTO

Programa Seis Sigma de CUVENPETROL.SA, Unidad de Negocios. Refinería de Cienfuegos.

### 1. Autorización para acometer el proyecto

<b>Organización:</b> CUVENPETROL.SA	<b>Campeón:</b> Dessie González	<b>Dueño del proceso:</b> Llidisbet Gutiérrez
<b>Denominación del proyecto:</b> P6S-2012-02 Mejora % Rendimiento GLP Regular (S-400)		<b>Proyecto #:</b> 02
<p><b>Enunciado del problema</b> (Descripción del problema, y de la métrica usada para describirlo, nombre del proceso, y lugar dónde ocurre, período en el que ha ocurrido, el tamaño o su magnitud)</p> <p>El principal cliente directo con que cuenta la refinería es PDVS.A. La refinería le brinda servicios a la Empresa Comercializadora de Combustible de Cienfuegos y esta a las Estaciones de CUPET, a la Termoeléctrica de Cienfuegos, entre otros. Estas empresas son consideradas como clientes indirectos de la refinería. El mercado principal de la empresa son las provincias centrales del país, sin embargo, cuando la demanda del país se satisface también se exporta a otros países a través del sistema de PDVS.A. La actividad productiva ha presentado un desempeño positivo, considerando que por cinco años consecutivos (2008-2011); se ha cumplimentado el plan de producción a un 101%. Sin embargo en sentido general la producción de GLP el pasado año 2011 presentó un cumplimiento de solo el 93.2%, que aunque se haya cumplido con los principales indicadores de producción, el bajo rendimiento de la Planta de Fraccionamiento de los Gases es un problema a resolver. Para esto, se tomaron datos históricos de la Planta de Fraccionamiento de los Gases que muestran que durante los últimos 8 meses del año 2012, el proceso no ha sido capaz de cumplir con los planes de producción, principalmente en la producción de GLP regular, alcanzando un promedio de 33.5% de la producción, de ello el 4.5% no cumple con dichas especificaciones, de una meta a alcanzar de 38%, por lo que se estima, que existirán 12,462.31 partes por millón de oportunidades (DPMO) que se producirán fuera de especificaciones, la cual genera un costo estimado de \$3, 206,598.74, dando como resultado un nivel de calidad de 3.74 sigma y un rendimiento real del proceso de 98.75%.</p>		
<p><b>Objetivo del proyecto</b> (Es la métrica Y que se pretende mejorar desde un valor de línea base hasta un valor meta en un período de tiempo dado)</p> <p>Aumentar el rendimiento real del proceso de producción de GLP a 99.87% que representa una reducción del 90% de defectos por millón de oportunidades (DPMO) y ahorros significativos en la planta de Fraccionamiento de los Gases de la sección 400, dando como resultado un nivel de calidad de 4.5 sigma.</p>		
<b>Nivel Estimado del Defecto:</b> 12462	<b>Meta Inicial:</b> 1350	<b>Beneficios Estimados:</b> \$2,859,159
<b>Fecha aprobación:</b> 27/06/2012	<b>Firma del Campeón:</b>	<b>Firma Dueño del Proceso:</b>
<b>Fecha estimada de Completación:</b> 29/06/2012	<b>Nombre Líder del Proyecto:</b> Yordán Pereira Medero	<b>Nombre Analista Financiero:</b>

## ACTA DEFINICION DEL PROYECTO

Programa Seis Sigma de CUVENPETROL.SA, Unidad de Negocios. Refinería de Cienfuegos.

### Métricas (unit de medida):

Porciento de Rendimiento (%)

### Características Críticas para la Satisfacción del cliente (CTQ, CTC, CTS):

Cumplimiento de la composición de GLP regular (C3 más ligeros, C4,C5+pesados, Valor calórico neto, RVP, Gravedad específica, Corrosión, Contenido azufre)

### Definición del Defecto (Incluido el número de oportunidades en que éste puede ocurrir):

Cualquier evento que no cumpla con la especificación de una CTQ (la cual es definida por el cliente).

### Alcance del Proyecto (Proceso, límites del proceso /comienzo y terminación/, sitios/líneas, clientes afectados, restricciones):

El estudio abarca solamente el proceso de Fraccionamiento Gases de la S-400, incluyendo desde la entrada de materia prima por el tambor D-401, hasta la salida del GLP regular por el intercambiador E-412.

La tabla 3.4 muestra las métricas Seis Sigma, que permitirá comparar el rendimiento real del proceso con el rendimiento esperado durante el despliegue de la metodología DMAIC. Estas se encuentran en correspondencia con los objetivos trazados en el Acta de Definición del proyecto descrito anteriormente.

**Tabla 3.4:** Meta y beneficios esperado

	Nivel Sigma	$(P_{pk})$	DPMO	Rendimiento (%)
Línea Base	3.74	0.75	12,462	98.75
Meta	4.5	1.00	1,350	99.87

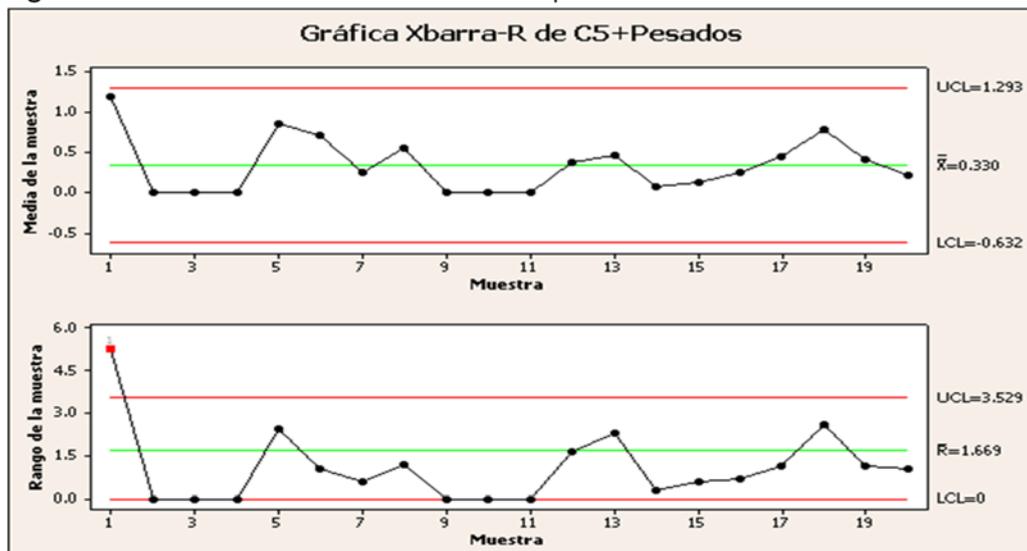
## 3.2.2 Fase Medir

En esta fase se estima la línea base del desempeño actual del porcentaje de volumen del pentano, el cual se realiza un estudio de capacidad y estabilidad, con vista a determinar el rendimiento real del proceso, luego se analiza el sistema de medición mediante el estudio R&R de forma experimental, para analizar que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y cuantificar su error comparado con la variabilidad del producto. A partir de la línea base se establecen las metas para porcentaje de volumen del pentano y mediante esta, se debe comparar con los índices de error estimado originalmente en la etapa Definir que justificó la implantación del proyecto, para saber con mayor precisión la magnitud del problema actual y generar bases para encontrar la solución.

### 3.2.2.1 Estimar la línea base del desempeño actual.

El principal objetivo de esta fase es establecer la línea base del proceso. La línea base del proceso permite una medida cuantificable del rendimiento del proceso antes de cualquier esfuerzo de mejora que se haya inicializado, para ello se analizan las variables críticas para la calidad CTQ. En este caso, se analiza el porcentaje de volumen de pentano (C5+pesados). Primeramente se analizó la distribución y el comportamiento del porcentaje de volumen del pentano en cuanto a medida de tendencia central y dispersión que ayudan a complementar la descripción de la distribución de la característica de calidad y por ende a tener elementos adicionales para juzgar la capacidad del proceso. La figura 3.4 muestra que el proceso se encontró fuera de control estadístico a más de 3.0 desviaciones estándar de la línea central, en los primeros días de mayo 2012 y luego continuó estable. Las causas especiales de variación se analizaron en conjunto con el equipo Seis Sigma, el cual se identificó la causa principal de variación (Fallo eléctrico), por lo que pudo ser fácilmente identificada y eliminada.

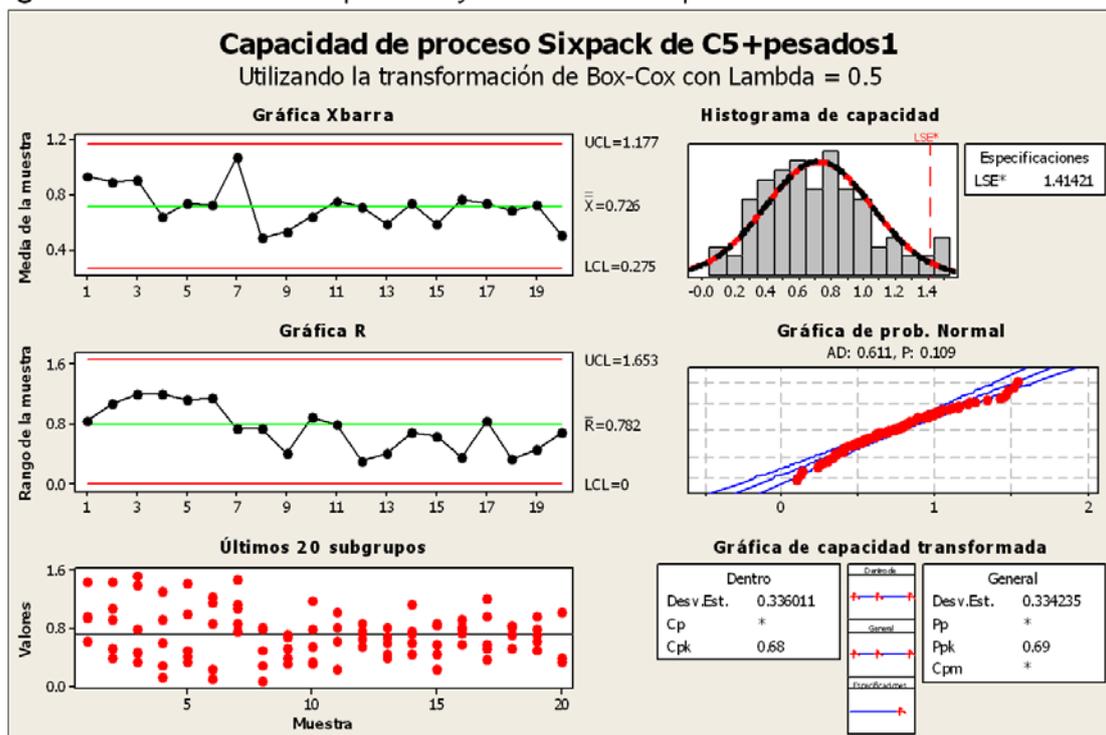
Figura 3.4: Análisis de control estadístico del proceso



Fuente: Elaboración propia

Una vez eliminadas la causa especial de variación y el proceso es estadísticamente estable como muestra la figura 3.5, se analizó posteriormente la capacidad del proceso por lo que se puede observar que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones de calidad establecidas. Es más probable producir unidades defectuosas que violen el límite de especificación superior, lo cual muestra el bajo índice de capacidad a largo plazo ( $P_{pk}$ ) de solamente 0.69 y el bajo rendimiento analizado en la fase de definición, lo cual facilitó la realización del estudio.

**Figura 3.5:** Gráficos de capacidad y estabilidad del proceso



Fuente: Elaboración propia

Como muestra la figura 3.5 el porcentaje de volumen del pentano fue catalogado como estable pero con baja capacidad de cumplir especificaciones. Es decir, se está ante un proceso malo que genera porcentaje de volumen del pentano fuera de especificaciones. Por ello, las estrategias de mejoras estarán enfocadas a mejorar la capacidad del proceso. Para esto se describe algunas de las siguientes recomendaciones por el equipo del proyecto a tener en cuenta en esta fase y en las siguientes Fases de la metodología Seis Sigma:

- Es recomendable que el proceso tenga un buen sistema de monitoreo para detectar sus cambios de manera oportuna, y por tanto en un estudio y análisis serio sobre un proceso siempre será oportuno revisar su actual sistema de medición. Si se quiere caracterizar y mejorar la calidad del proceso es necesario conocer la contribución que tienen las mediciones sobre la variación del proceso de

medición. Para ello, el próximo epígrafe evaluará el sistema de medición y se comprobará si la calidad de las mediciones es mala, entonces un esfuerzo en mejorar la precisión y/o exactitud de las mediciones se reflejaría en un aumento de la capacidad del proceso.

- Investigar las causas de la baja capacidad. Es decir analizar las fuentes de variación y visualizar la razón básica por la que el proceso genera productos no conforme, ya sea por exceso de variación o porque el proceso esta descentrado.
- Una vez analizadas las principales causas de la baja capacidad el equipo está en condiciones de mejorar la capacidad de un proceso estable y optimizarlo, para esto es necesario desarrollar una serie de pruebas experimentales, planeadas adecuadamente para detectar las variables, factores o causas que generan problemas al proceso.

El objetivo de este epígrafe es encontrar la línea de base de las capacidades de los KPOV's en la fase medir, para determinar el denominado "entitlement" o rendimiento deseado del proceso (mejor nivel sigma) que se debe ser capaz de lograr. La tabla 3.5 muestra la línea base del porcentaje de volumen del pentano, con un nivel sigma de 3.6 que representa 19,711 DPMO. Como se puede observar las principales causas de los DPMO del proceso están muy relacionados con la característica de calidad bajo estudio.

**Tabla 3.5:** Línea base % volumen del pentano

	Nivel Sigma	$(P_{pk})$	DPMO
Línea Base	3.6	0.69	19,711

### 3.2.2.2 Evaluar el sistema de medición

En este epígrafe se verifica que las (CTQ) que se han elegido, en este caso el porcentaje de volumen del pentano (C5), pueden medirse en forma consistente. Por tanto, aquí lo más indicado sería llevar a cabo el estudio de repetibilidad y reproducibilidad al sistema de medición de las (CTQ). En este proceso intervienen una serie de instrumentos y ensayos de laboratorios que responden a diferentes magnitudes tanto físicas como químicas. Por ser el porcentaje de volumen del pentano (C5) de tipo físico-químico, es fácil de medir, por tanto el equipo debe de revisar con detalle la forma en que se mide esta variable.

El estudio R&R largo se realiza por el método ANOVA, ya que el método ANOVA va un paso más adelante que los otros métodos y divide la reproducibilidad en sus componentes de Operador y Operador por Parte. En este proceso interviene una serie de instrumentos y ensayos de laboratorios que responden a diferentes magnitudes tanto físicas como químicas. Según los requerimientos del cliente, el porcentaje de volumen del pentano más pesado no puede exceder del 2%, y además, por ser de tipo físico-químico, es

fácil de medir. A continuación se muestran los pasos realizados en el estudio R&R a partir del procedimiento descrito en el capítulo II:

El estudio que se realiza de R&R trata de evaluar en forma experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y cuantificar si este error es mucho o poco, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide. Para esto se decide realizar el estudio R&R largo por el método ANOVA, ya que el método ANOVA va un paso más adelante que los otros métodos y divide la reproducibilidad en sus componentes de operador y operador por parte. A continuación se muestran los pasos realizados en el estudio R&R a partir del procedimiento descrito en el capítulo II:

1. Se seleccionan cuatros operadores para realizar el estudio con simbología (A, B, C, D)
  2. Se seleccionan diez muestras de la Planta de Fraccionamiento de los Gases. Estas serán medidas por cada operador varias veces.
  3. Se mide el porcentaje de volumen del pentano más pesado dos veces por cada operador.
  4. Se le pone una etiqueta a cada muestra y se le entrega a cada operador de forma aleatoria.
  5. Se obtiene la primera medición (o ensayo) de todas las muestras realizadas por el operador A de forma aleatoria.
  6. Se obtiene la primera medición (o ensayo) de todas las muestras realizadas por el operador B de forma aleatoria.
  7. Se obtiene la primera medición de los cuatros operadores.
  8. Se repiten los tres pasos anteriores hasta completar los dos ensayos.
  9. Se siguen los pasos y el análisis estadístico del estudio R&R largo por el método ANOVA (Ver inciso a).
  10. Se analizan los resultados y se desarrolla un plan de acción a partir de los criterios de aceptación (Ver inciso b).
- a) Análisis estadístico del estudio R&R largo por el método ANOVA.

Los resultados de los cuatros operadores se muestran en el Anexo. 3.5. Estos resultados son procesados con el MINITAB 15.0. La tabla 3.6 muestra el análisis de ANOVA, mediante el cual se puede observar que para las pruebas estadísticas el valor de  $p$  es menor que 0.25, por lo que las diferencias entre las Partes es significativa, mientras que la presencia de efectos de interacción Operador por Parte, el valor  $p$  es mayor que 0.25, por lo que se omite el efecto de interacción del modelo completo.

**Tabla 3.6:** ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	G.L	S.C	M.C	F	P
Partes	9	1.31001	0.142409	115.144	0.000
Operadores	3	0.00297	0.000991	0.784	0.513
Partes x Operadores	27	0.03413	0.001264	0.963	0.533
Repetividad	40	0.05251	0.001313		
Total	79	1.39962			
Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25					

Note que en la tabla 3.7 de ANOVA sin la interacción el valor p fue 0.517, también se puede observar para las pruebas estadísticas que el valor de p es menor que 0.25, por lo que las diferencias entre las Partes son significativas.

**Tabla 3.7:** ANOVA de dos factores sin interacción

Fuente	G.L	S.C	M.C	F	P
Partes	9	1.31001	0.145556	112.556	0.000
Operadores	3	0.00297	0.000991	0.766	0.517
Repetividad	67	0.08664	0.001293		
Total	79	1.39962			

La tabla 3.8 muestra el análisis R&R del sistema de medición, en el que se puede observar en la columna de porcentaje de contribución que la contribución de porcentaje de Parte a Parte (93.31%) es mayor que la del R&R del sistema de medición total (6.69%). En el mismo caso se encuentra el porcentaje de variación del estudio y el porcentaje de tolerancia, por lo que la mayor variación es atribuible a las diferencias entre partes y no al sistema de medición de (25.87%) y (10.79%) respectivamente. Dado que el número de categorías distintas es cinco y de acuerdo con las directrices de la AIAG se puede valorar que el sistema de medición es aceptable. La figura 3.6 muestra la gráfica de Componentes de variación (ubicada en la esquina izquierda superior), la contribución de porcentaje de Parte a Parte es mayor que la del R&R del sistema de medición total, lo que indica que gran parte de la variación se debe a diferencias entre las partes. En la gráfica por parte (ubicada en la esquina superior derecha), hay grandes diferencias entre las partes, como lo muestra la línea sin nivel. En la gráfica R por Operador (ubicada en la mitad de la columna izquierda), muestra que las partes del Operador no tienen medidas discrepantes. En la gráfica por Operador (ubicada en la mitad de la columna derecha), las diferencias entre operadores no son significativas (valor p = 0.517), son pequeñas en comparación con las diferencias entre partes. En la gráfica X-barra por Operador (ubicada en la esquina inferior izquierda), la mayoría de los puntos están fuera de los límites de control, lo que indica que la variación se debe principalmente a diferencias entre las partes y

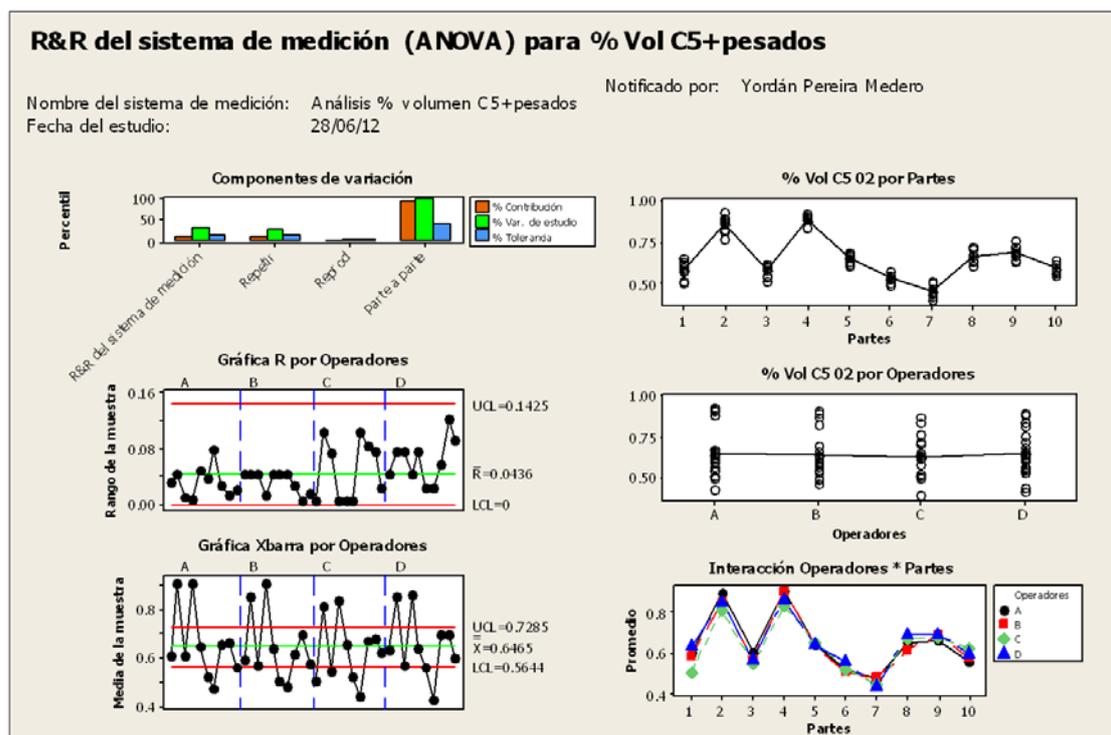
no a la variación del dispositivo de medición. La gráfica de interacción Operador por Parte es una visualización del valor ( $p=0.533$ ), lo que indica que no hay ninguna interacción significativa entre cada Parte y Operador, como se muestra en la figura las líneas son virtualmente idénticas, lo cual indica que los operadores están midiendo las partes de forma similar.

**Tabla 3.8:** R&R del sistema de medición

Fuente	Var Comp	% Contrib. (de VarComp)	Desv. Est.	Var. de Estudio (6 * SD)	%Var. de estudio (%SV)	% Toler. (SV/Toler)
R&R del sistema de medición total	0.0013	6.69	0.0360	0.215766	25.87	10.79
Repetibilidad	0.0013	6.69	0.0360	0.215766	25.87	10.79
Reproducibilidad	0.0000	0.00	0.0000	0.000000	0.00	0.00
Operadores	0.0000	0.00	0.0000	0.000000	0.00	0.00
Parte a parte	0.0180	93.31	0.1343	0.805720	96.60	40.29
Variación total	0.0193	100.00	0.1390	0.834110	100.00	41.71

Número de categorías distintas = 5

**Figura 3.6** Análisis del sistema de medición.



## b) Análisis de los resultados y plan de acción

De manera general cumpliendo con el paso diez del estudio R&R del sistema de medición se puede concluir que la variación total del proceso está compuesta por variaciones propia del producto (porcentaje de volumen del pentano más pesado) y no atribuible al sistema de medición. Como el porcentaje de variación de los estudios R&R es mayor de 10% y menor que 30%, se puede considerar, de acuerdo con las directrices de AIAG, como aceptable según los criterios de aceptación, por lo que sus mediciones son confiables para fines de control del proceso (Ver tabla 3.9). Aunque estos sistemas deben dirigirse a las mejoras de los estudios de repetibilidad para reducir el porcentaje de variación del estudio R&R con el fin de lograr sistemas de medición de excelencia.

**Tabla 3.9:** Criterios de aceptación

% Tolerancia	Criterio Aceptación
%R&R<10%	Excelente proceso
10< %R&R <20	Bueno aceptable
20< %R&R <30	Marginalmente aceptable
%R&R >30	Inaceptable y debe ser corregido

### 3.2.2.3 Establecer metas

La tabla 3.10 muestra el rendimiento deseado que se espera obtener del porcentaje de volumen del pentano (C5+pesados) a partir de la línea base, esta estimación debe validar los índices de error estimado originalmente en la etapa Definir que justificó la implantación del proyecto.

**Tabla 3.10:** Metas y beneficios esperados

	Nivel Sigma	$(P_{pk})$	DPMO
Línea Base	3.36	0.62	31,443
Meta	4.5	1.00	1,350

### 3.2.3 Fase Analizar

En esta fase se identifican las brechas existentes entre la línea base del desempeño y las metas, el cual mediante herramientas estadísticas es posible comprender las fuentes raíces de la variación. Se identifican las oportunidades de mejora mediante el despliegue del diseño de experimentos, lo cual es posible probar y verificar las KPIV's significativas.

### 3.2.3.1 Análisis de la fuente de variación

La tabla 3.11 muestra el resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas. Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. Se realizaron pruebas de ajuste y normalidad en cada una de las variables. De particular interés aquí es el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden usarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. En este caso, las variables muestran valores de sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada fuera del rango esperado. Para hacer las variables más normales e incluirlas en los análisis posteriores, se realizaron transformaciones a las mismas para el cumplimiento de las pruebas estadísticas.

**Tabla 3.11:** Resumen Estadístico

	<i>Flujo Entrada T_401_1</i>	<i>Presión Tope PIC003A</i>	<i>Reflujo Entrada Fondo FIC003</i>	<i>Reflujo Entrada Tope FIC004</i>	<i>Temp Entrada Fondo TIC405</i>	<i>Temp Entrada Tope TIC004 A</i>	<i>Temp Tope TIC001</i>	<i>C5_Pesa dos_1</i>
Recuento	100	100	100	100	100	100	100	100
Promedio	18.4444	17.1185	59.3819	34.7473	179.377	134.498	84.9567	0.637344
Mediana	18.7375	17.6155	59.6914	35.1853	187.293	139.092	86.4762	0.529095
Moda	19.5979		61.4678	26.8568				
Desviación Estándar	1.90721	2.11345	1.10198	4.0305	25.6661	14.0095	7.27777	0.554492
Coef. de Variación	10.34%	12.35%	1.86%	11.59%	14.31%	10.42%	8.57%	87.00%
Mínimo	10.318	3.84811	56.3553	23.31	8.87266	65.805	43.641	0.00804
Máximo	21.4427	17.6569	61.7844	42.0651	190.817	144.997	91.9407	2.37042
Rango	11.1247	13.8087	5.42904	18.7552	181.944	79.1918	48.2997	2.36238
Sesgo Estandarizado	-8.97082	-19.4814	-2.88137	-2.51306	-18.3344	-14.191	-18.2627	5.72748
Curtosis Estandarizada	12.3363	47.6794	0.577163	0.220229	46.9125	27.0978	41.5851	3.30102

### 3.2.3.2 Determinar las KPIV's significativas.

En esta fase se selecciona el diseño que determina “cuáles”, “cuántos” y “cómo” se va a realizar el experimento. Siguiendo los pasos para la realización del diseño de experimentos, se elaboró una lista de chequeo (Ver el Anexo 3.6) para darle cumplimiento a cada uno de los pasos. Primero se *caracterizó el proceso*, luego se *eligió el tipo de diseño*, se *eligieron los niveles de los factores* y *finalmente se seleccionó el diseño experimental*. Basado en las respuestas de la lista de chequeo realizada, el objetivo fundamental es caracterizar la experimentación, el cual consiste en identificar los factores significativos y cuantificar la influencia de cada uno de los factores incluidos sobre la variable de respuesta. Esto servirá para el despliegue de la fase de mejora y para estudios posteriores que se realizarán, con vista a optimizar la variable de respuesta. Para ello, se diseñó un experimento factorial fraccionado con los 7 factores (k) identificados en el epígrafe anterior, cada uno de los factores fue evaluado en dos niveles, quedando un diseño factorial fraccionado de  $2^{(7-3)}$ , de resolución IV. Se incluyeron en el diseño 4 puntos centrales para verificar la presencia de curvaturas en la superficie de respuesta. Se realizaron 3 replicas en el

## Capítulo III

experimento de manera aleatoria, para un total de 52 corridas. Esto servirá para el análisis del modelo de predicción que se desarrollará en la fase de mejora y así poder aumentar la precisión de la misma. También se utilizan para estimar la varianza (error experimental) ocasionada por condiciones experimentales ligeramente diferentes, aunque no se consideró en el experimento. La corrida experimental incluyó todas las combinaciones de estos niveles de factores. La tabla 3.12 muestra la descripción de cada uno de los factores.

**Tabla 3.12:** Descripción de los factores

Factores	Descripción	Variable	Bajo	Alto	Unidades	Continuo
FET_401	Flujo entrada tope	A	-1.0	1.0	m <sup>3</sup> /h	Sí
RFET_FIC004	Reflujo entrada tope	B	-1.0	1.0	m <sup>3</sup> /h	Sí
RFEF_FIC003	Reflujo entrada fondo	C	-1.0	1.0	m <sup>3</sup> /h	Sí
TET_TIC004A	Temperatura entrada tope	D	-1.0	1.0	°C	Sí
TT_TIC001	Temperatura tope	E	-1.0	1.0	°C	Sí
TEF_TIC405	Temperatura entrada fondo	F	-1.0	1.0	°C	Sí
Presión	Presión	G	-1.0	1.0	kgf/cm <sup>2</sup>	Sí

**Fuente:** Elaboración propia

Respuestas	Unidades
Porcentaje de volumen del pentano más pesado (C5)	%

En el desarrollo del experimento se utilizaron herramientas de simulación (software Pro/II 8.1). El modelo diseñado se encuentra en el Anexo 3.7., el cual se realizó bajo las condiciones de operación de los niveles establecidos para cada uno de los factores identificados. Antes de realizar el experimento se realizaron pruebas pilotos con el objetivo de chequear el sistema de medición, lo cual permite una primera estimación del error experimental. Posteriormente se realizó el experimento en el simulador y se recolectaron los datos en el software Minitab 15 para ser analizados mediante la utilización de herramientas estadísticas. En esta fase, se utilizaron métodos estadísticos para analizar los datos recogidos. Primeramente se *calculó los efectos de los factores* (Ver Anexo 3.8. Gráfica efectos interacción), luego se *determinaron los factores significativos*, mediante el análisis de varianza (ANOVA), el cual proporcionó un resumen de los efectos principales e interacciones. La tabla 3.13 muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, los efectos principales e interacciones tuvieron un valor-P menor que 0.05, lo cual indica, que fueron significativos para un nivel de confianza del 95%. La adición de puntos centrales al diseño muestra que no existe curvatura en la superficie de respuesta, debido a que el valor p es mayor que 0.05.

**Tabla 3.13:** Análisis de varianza ANOVA para C5

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Efectos principales	7	3.9002	3.90017	0.55717	5.69	0.000
2-Interacciones factores	7	3.1091	3.10906	0.44415	4.54	0.001
Curvatura	1	0.0336	0.03361	0.03361	0.34	0.561
Error residual	36	3.5229	3.52289	0.09786		
Falta de ajuste	1	0.0528	0.05277	0.05277	0.53	0.471
Error puro	35	3.4701	3.47012	0.09915		
Total	51	10.5657				

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 3.14 muestra los valores de p asociados con cada uno de los términos individuales del modelo. Los valores p menor que 0.05 indican que los efectos principales de reflujo de entrada tope (RFET), temperatura de tope (TT) y la presión fueron significativos. Sin embargo, el efecto principal, presión, participa en una interacción, por lo que fue necesario comprender la naturaleza de la interacción para que se pudiera considerar el efecto principal. También, los efectos de interacción flujo de entrada tope (FET), reflujo entrada fondo (RFEF) y la presión respectivamente fueron significativos.

**Tabla 3.14:** Efectos y coeficientes estimados para C5

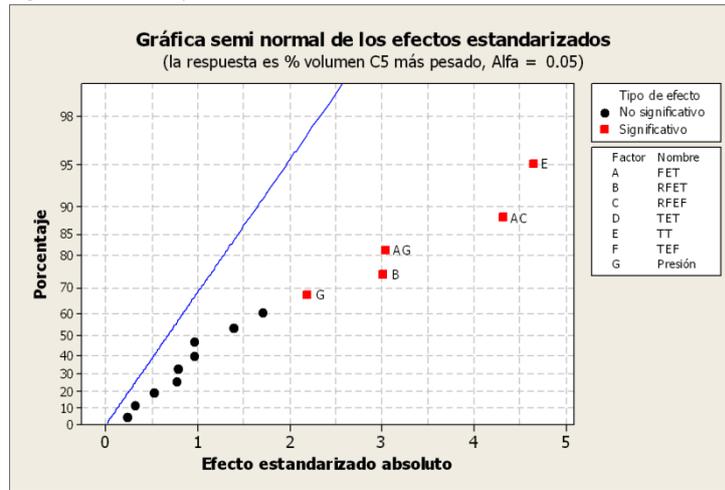
Término	Efecto	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante		0.7709	0.04515	17.07	0.000
FET	0.0470	0.0235	0.04515	0.52	0.606
RFET	-0.2724	-0.1362	0.04515	-3.02	0.005
RFEF	0.1543	0.0771	0.04515	1.71	0.096
TET	-0.0697	-0.0349	0.04515	-0.77	0.445
TT	0.4195	0.2097	0.04515	4.65	0.000
TEF	0.0706	0.0353	0.04515	0.78	0.439
Presión	0.1974	0.0987	0.04515	2.19	0.035
FET*RFET	0.0867	0.0434	0.04515	0.96	0.343
FET*RFEF	-0.3899	-0.1949	0.04515	-4.32	0.000
FET*TET	0.1254	0.0627	0.04515	1.39	0.173
FET*TT	-0.0864	-0.0432	0.04515	-0.96	0.345
FET*TEF	-0.0284	-0.0142	0.04515	-0.31	0.755
FET*Presión	0.2741	0.1371	0.04515	3.04	0.004
RFET*TET	0.0209	0.0104	0.04515	0.23	0.819
Ct Pt		-0.0954	0.16280	-0.59	0.561

**Fuente:** Elaboración propia

La gráfica de probabilidad normal representada en la figura 3.7, y la gráfica de Pareto de los efectos (Ver figura 3.8), permitieron identificar visualmente los efectos importantes y comparar la magnitud relativa de los diversos efectos.

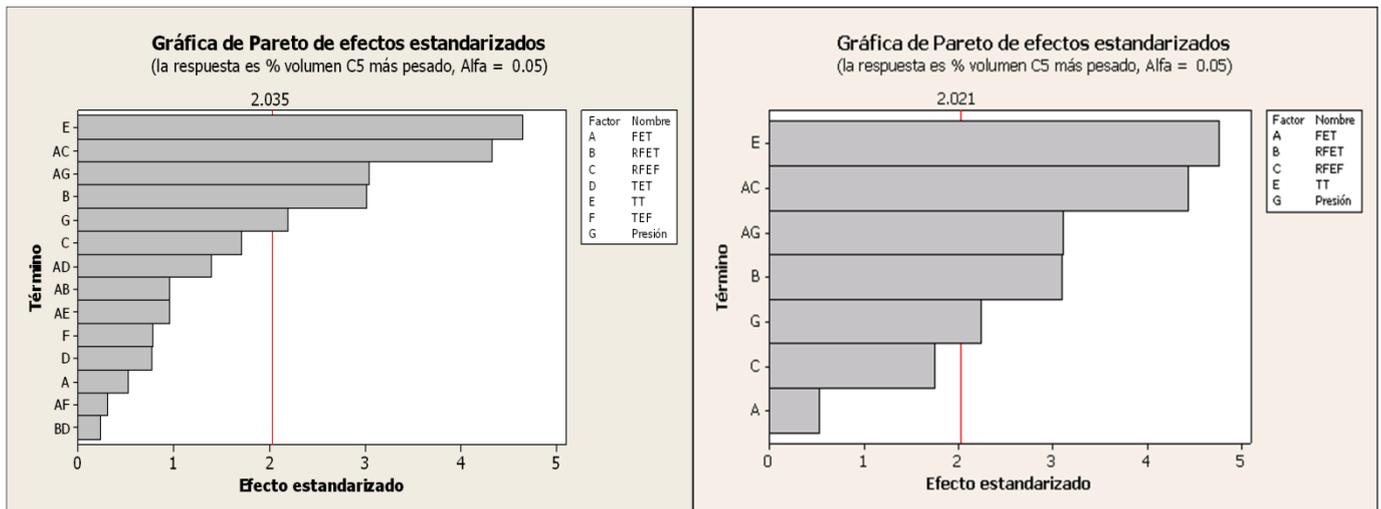
Como se muestra en la gráfica de probabilidad normal, los factores que se desviaron significativamente de la línea recta ajustada indican la existencia de efectos reales que influyeron en la respuesta y en la gráfica de Pareto muestra los factores más significativos en orden decreciente de importancia, que más influyeron en porcentaje de volumen del pentano más pesado, por lo que se seleccionaron para el diseño, los factores más significativos (E, AC, AG, B, G) que tienen un efecto mayor que 2.0 sobre la variable de respuesta, con un nivel de confianza del 95%. Como la meta es minimizar el porcentaje de volumen del pentano más pesado se decidió establecer para los factores no significativos, tales como la temperatura de entrada del tope (TET) en su nivel más alto y la temperatura de entrada del fondo (TEF) en su nivel más bajo (Ver Anexo 3.8. Gráfica efectos principales).

Figura 3.7: Gráfica probabilidad normal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Gráfico de pareto



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Fase Mejorar

El propósito de esta fase es establecer una mejora para el proceso, el cual se evalúan las posibles soluciones a partir de las causas raíces detectadas que reflejan los diferentes criterios o prioridades sobre las que se deben tomar solución, basadas en el uso de técnicas de optimización, desde la implementación del diseño de experimentos (DOE) hasta la implementación de las soluciones y su impacto en la mejora.

#### 3.2.4.1 Priorizar las oportunidades de mejoras

El equipo del proyecto identificó a través de tormentas de ideas las causas posibles que afectan al porcentaje de volumen del pentano, estas se representaron mediante el diagrama causa-efecto mostrada en el Anexo 3.9. Una vez definida las posibles causas se identificaron las oportunidades de mejoras para cada una de ellas (Ver tabla 3.15).

A partir de las diferentes alternativas de solución, el equipo evaluó mediante una matriz de prioridades y con base a diferentes criterios o prioridades las que se deben tomar solución. Para eso, se estableció un peso a cada criterio teniendo en cuenta los pasos descrito en el Anexo 2.8 y por consenso de los integrantes del equipo se jerarquizaron las soluciones de acuerdo a su nivel de importancia (Ver tabla 3.16).

**Tabla 3.15:** Oportunidades de mejoras

Causa probables	Verificación de la causa	Oportunidad de mejora
Aplicación de herramientas estadísticas	Mediante la utilización del DOE, estudios capacidad y cartas de control.	Actualizar los datos en la web del laboratorio
Dominio NC y ASTM	Mediante listas de chequeo	Auditorías internas
Conocimiento instrucciones operación	Mediante listas de chequeo o encuestas	Documentar e implementar en el Manual operaciones las variables de control analizados en el DOE.
Composición fuera de especificaciones	Mediante cálculo capacidad del proceso y gráficos control	Actualizar los datos en la web del laboratorio
Diversidad materia prima	Análisis fuentes variación mediante la utilización herramientas estadísticas	Documentar e implementar en el plan de muestreo laboratorio
Falta de capacitación	Revisión de la determinación de las necesidades de Capacitación (DNC) de los operadores y mediante entrevistas personales.	Capacitación y certificación a los especialistas y/o operadores en la aplicación metodología Seis Sigma.
Experiencia	Mediante los años de trabajo de los especialistas en la actividad.	No es necesario realizar mejoras
Desgastes equipos	Mediante Plan de mantenimiento	No es necesario realizar mejoras
Fallos bombas y/o compresores	Mediante Plan de mantenimiento preventivo	No es necesario realizar mejoras
Fallos eléctricos	Mediante Plan de mantenimiento	No es necesario realizar mejoras

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 3.16: Matriz prioridad

	Necesidad de implementación	Impacto en los costos	Aumento rendimiento GLP	Total	Rank
Documentar e implementar en el Manual operaciones las variables de control analizados en el DOE.	9	9	9	27	1
Capacitación y certificación a los especialistas y/o operadores en la aplicación de la metodología Seis Sigma.	9	1	9	19	2
Actualizar los datos en la web del laboratorio	9	0	9	18	3
Documentar e implementar el plan de muestreo laboratorio	3	0	9	12	4
Auditorías internas	3	0	3	6	5

Fuente: Elaboración propia

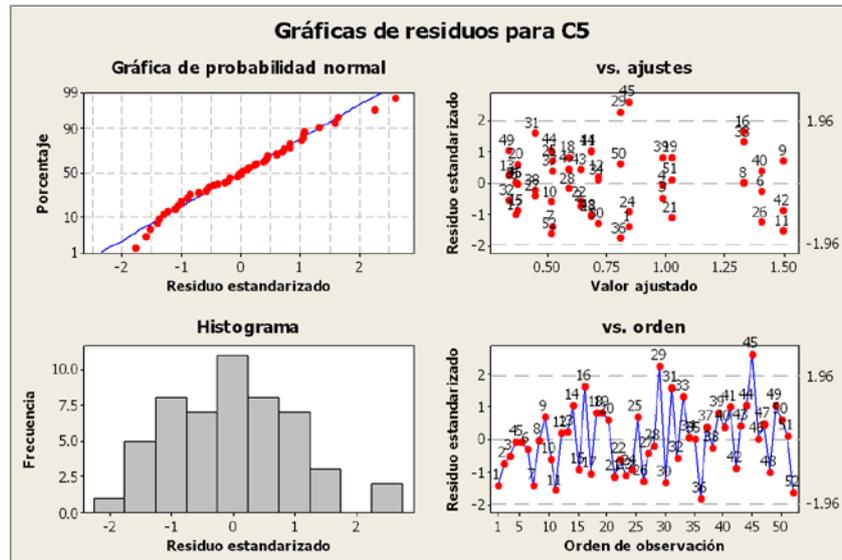
### 3.2.4.2 Optimización del proceso

A partir de los factores identificados como significativos en la fase anterior (FET, RFET, RFEF, TT, Presión), fue posible realizar *un modelo de predicción* empírico y encontrar la mejor combinación de tratamientos *de la variable respuesta*. Primeramente se examinaron los residuos para determinar la bondad de ajuste del modelo. La figura 3.9 (ubicada en la esquina izquierda superior) muestra el gráfico de probabilidad normal, lo cual se puede observar que los puntos se encuentran alrededor de la recta, por lo que se puede considerar que los datos están normalmente distribuidos. El histograma de frecuencia (ubicado en la esquina izquierda inferior) además de su dispersión o variación, muestra que los datos siguen una distribución normal. También se puede observar que existe una barra alejada de las demás, por lo que esos puntos pueden ser valores atípicos. Los gráficos de residuos (ubicado en la esquina derecha superior e inferior) muestra un patrón de residuos aleatorio en ambos lados de 0 y se identificaron los casos atípicos con altos residuos que no se predicen bien con la ecuación de regresión. En este caso se identificaron 2 observaciones (29, 45) que son estadísticamente significativas y pueden clasificarse como atípicos. Los residuos ( $\pm 1.96$ ) son considerados como grandes, para un nivel de confianza de 95%. Luego fue posible realizar un modelo de predicción empírico y encontrar la mejor combinación de tratamientos de la variable respuesta. Para el análisis del modelo de predicción se realizó la prueba de falta de ajuste mediante el ANOVA de la tabla 3.13, lo cual muestra valor-P mayor que 0.05, lo que quiere decir que, el modelo lineal parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95.0%. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) explica el 61.91% de la variación del porcentaje de volumen del pentano que se explica por su relación con los factores identificados, mientras que el  $R^2$  ajustado es de 54.82%, que explica el número de predictores en el modelo. Dado que ambos coeficientes son bajos, esto

significa que el efecto atribuible a los factores estudiados es pequeña comparada con el resto de la variación observada en el experimento. A continuación se muestra el modelo de regresión:

$$C5 = 0.77 - 0.14 \cdot RFET + 0.21 \cdot TT - 0.19 \cdot FET \cdot RFEF + 0.14 \cdot FET \cdot Presión$$

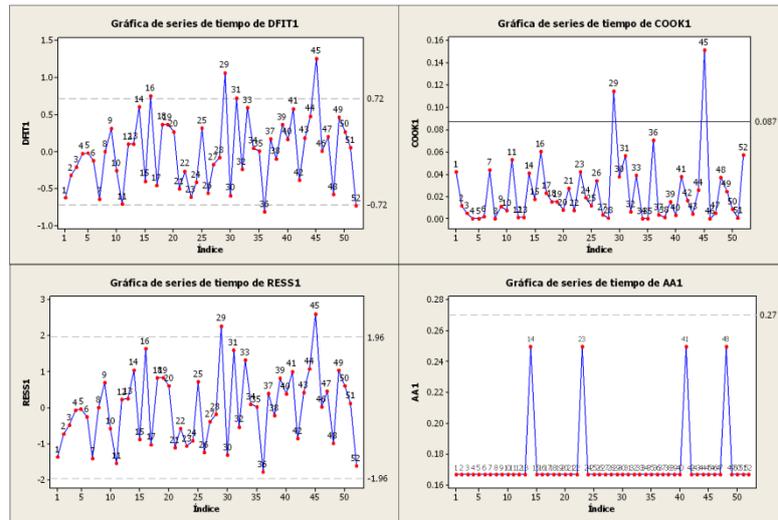
Figura 3.9: Gráfico de residuos



Fuente: Elaboración propia

También se examinaron los posibles puntos influyentes mediante el diagnóstico de identificación de los puntos de apalancamiento (AA), la distancia de Cook y mediante el cálculo de DFITS (Ver figura 3.10). En este caso no se identificaron observaciones como puntos de apalancamientos (AA1) que sobrepasan el umbral calculado (0.27) para un nivel de confianza de 95%. La distancia de Cook considera tanto para el valor de apalancamiento como para el residuo estandarizado de cada observación al determinar su efecto en los coeficientes de regresión. Para ello se identificaron 2 observaciones (29, 45) que son estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 95%, que sobrepasa el umbral calculado (0.087), así como en el cálculo de DFITS que representa aproximadamente el número de desviaciones estándares que el valor ajustado cambia cuando cada observación es eliminada del conjunto de datos y el modelo se reajusta, por lo que se puede observar que además de coincidir con las 2 observaciones identificadas en los análisis anteriores, se identificaron 5 observaciones (16, 29, 35, 45, 52) que son estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 95% y que sobrepasa el umbral calculado (0.72).

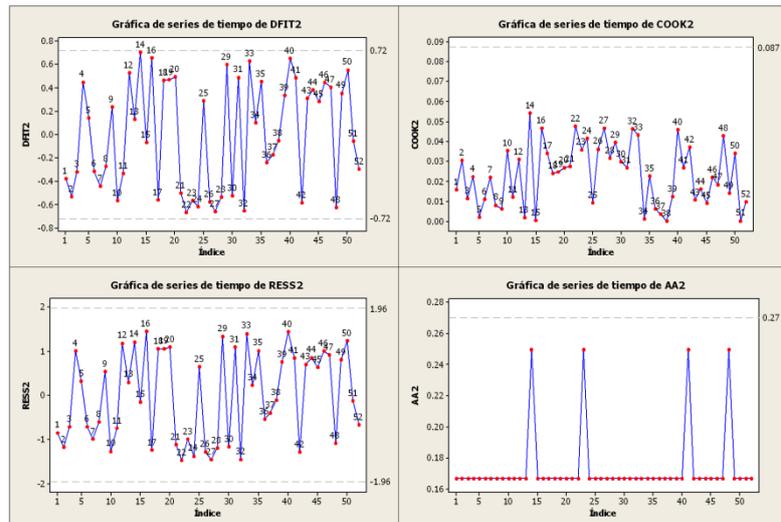
Figura 3.10: Gráfico para análisis de puntos influyentes



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el grado de influencia, se determinó primero, si la observación es un error de entrada de datos o de medición, y posteriormente se eliminaron las observaciones influyentes, luego se realizaron los experimentos para cada una de las combinaciones de los factores correspondientes, examinándose los puntos influyentes, los que quedaron, de manera general, dentro del umbral especificado (Ver figura 3.11).

Figura 3.11: Gráfico para análisis de puntos influyentes



Fuente: Elaboración propia

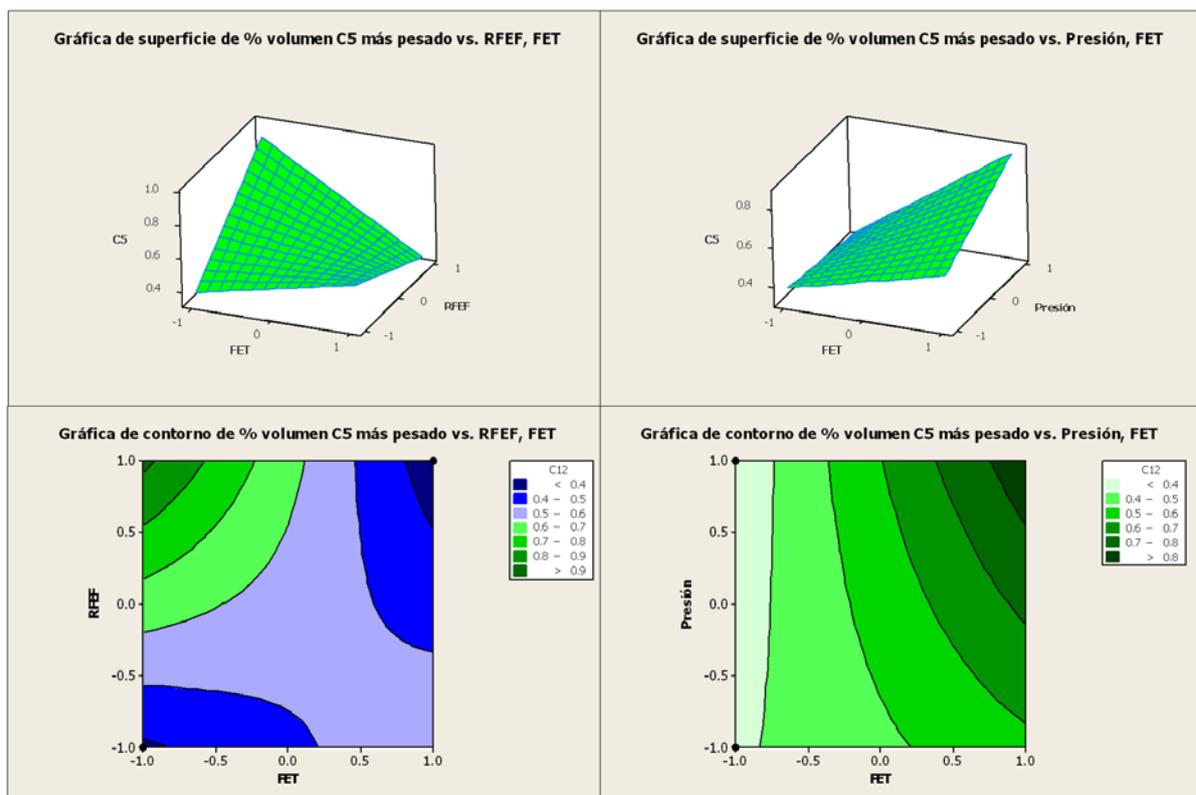
Teniendo en cuenta los análisis anteriores, se compararon nuevamente los coeficientes, los valores p,  $R^2$  y otros parámetros del modelo, lo que permitió observar que el modelo cambió significativamente. El  $R^2$  y  $R^2_{Ajustado}$  aumentan en un 35% respectivamente, lo cual indica que los factores explican el 98% de la variación del porcentaje de volumen del pentano más pesado, así como el número de predictores en el modelo. A continuación se muestra el modelo de regresión:

$$C5 = 0.76 - 0.09 \cdot RFET + 0.24 \cdot TT - 0.19 \cdot FET - RFEF + 0.09 \cdot FET \cdot Presión$$

Finalmente, a partir del modelo de predicción mostrado anteriormente se analizaron los niveles de los factores, con el objetivo de buscar la mejor combinación de tratamientos de los factores significativos que minimizan el porcentaje de volumen del pentano. A continuación se explican cada uno de ellos:

La figura 3.12 muestra los gráficos de superficie de respuesta y los gráficos de contornos de los efectos de interacción del flujo de entrada tope (FET), reflujo entrada fondo (RFEF) y la presión. Como se puede observar en los mismos, el porcentaje de volumen del pentano más pesado se encuentra dentro de las características de calidad, teniendo en cuenta que el menor valor es el mejor, los niveles de los factores entre FET y RFEF se deben mantener en su nivel más bajo y la presión en su nivel más alto.

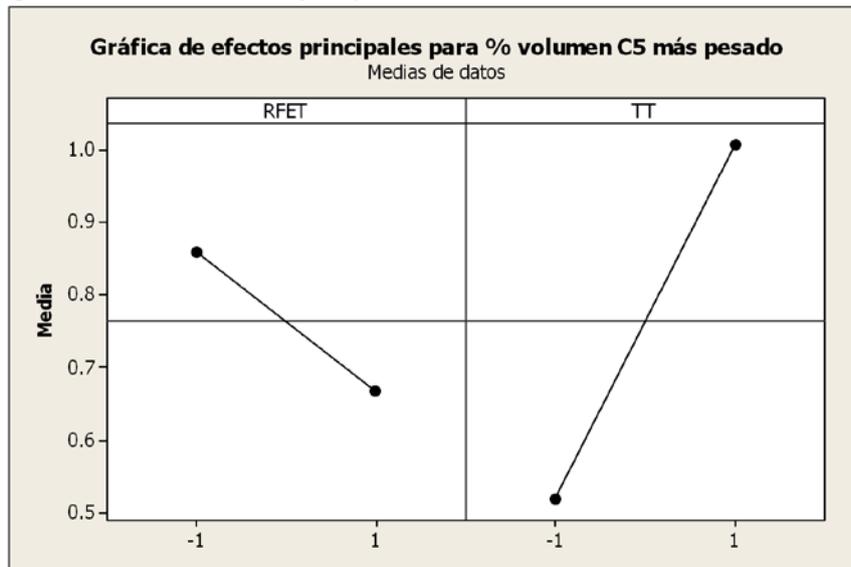
**Figura 3.12:** Gráfico superficie respuesta y de contornos



Fuente: Elaboración propia

Los gráficos de la figura 3.13 de efectos principales muestran que el porcentaje de volumen del pentano más pesado disminuye cuando se tiene el reflujo entrada tope (RFET) en su nivel más alto y cuando la temperatura del tope (TT) se encuentra en su nivel más bajo.

Figura 3.13: Gráfica de efectos principales



Fuente: Elaboración propia

Como la meta es minimizar el porcentaje de volumen del pentano más pesado, la mejor combinación de niveles encontrado mediante el modelo de regresión se muestra en la tabla 3.17. A partir de los niveles establecidos la respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para el porcentaje de volumen del pentano más pesado es de 0.15%. Puede esperarse para un nivel de confianza del 95% que modelos con esas características alcancen entre [0.11, 0.18] por ciento volumen del pentano más pesado en el proceso de Fraccionamiento de los Gases, con un límite de predicción entre [0.05, 0.23] por ciento.

Tabla 3.17: Niveles factores

Factor	Variable	Bajo	Alto	Niveles establecidos
FET	A	-1.0	1.0	-1
RFET	B	-1.0	1.0	1
RFEF	C	-1.0	1.0	-1
TT	E	-1.0	1.0	-1
Presión	G	-1.0	1.0	1

Fuente: Elaboración propia

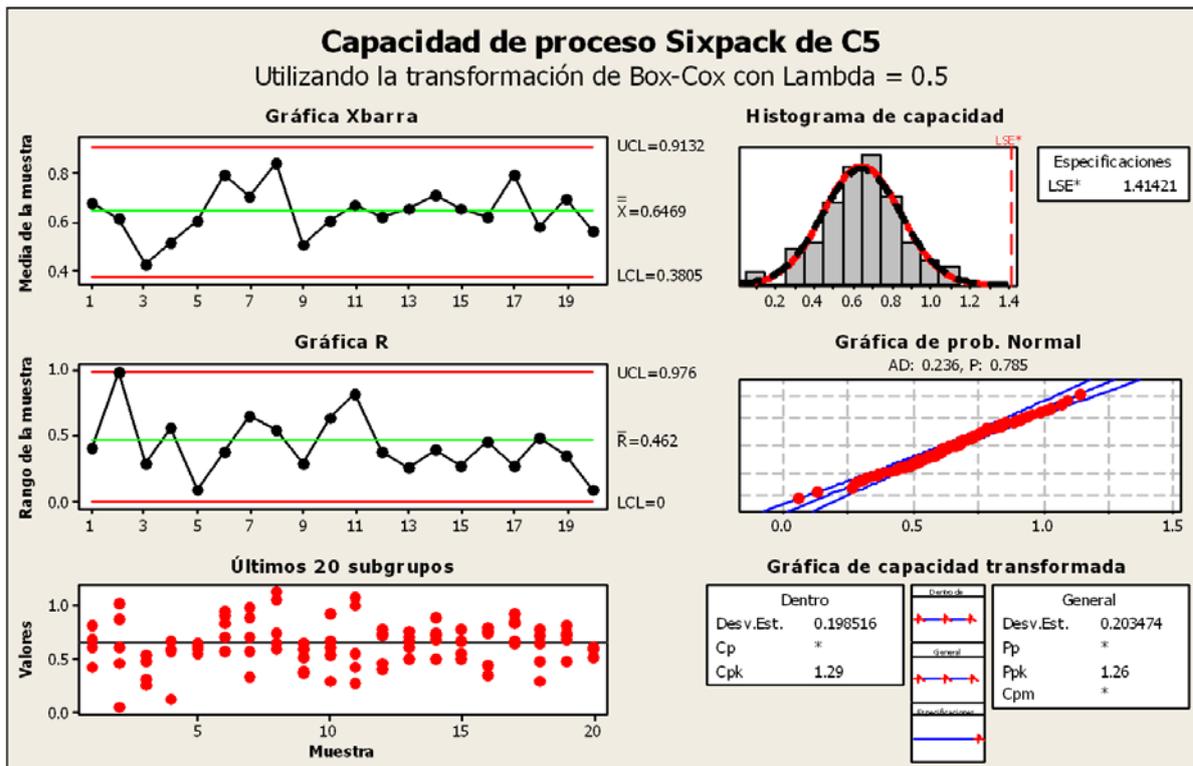
### 3.2.4.3 Implementar la solución

El desarrollo de esta etapa tuvo como objetivo implementar el plan de acción, tomando en consideración los resultados de todo el análisis anterior, de manera ordenada acerca del proceso. Para ello se procedió, una vez contando con dicha información, haciendo uso de la técnica de las 5W y las 2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto) implementar la solución, con vista a evitar la reincidencia en la situación diagnosticada, así como cuáles requieren ser gestionadas para emprender acciones de mejora definidas. El plan de acción se muestra en el Anexo 3.10.

## 3.2.4.4 Evaluar el impacto de la mejora

Para la evaluación de la solución se realizó nuevamente un estudio de capacidad y estabilidad para porcentaje de volumen del pentano con vista a comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas. Los gráficos de control  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  de la figura 3.14 no muestran cambios en las medias muestrales ni en la amplitud o magnitud de la variación del proceso, por lo que se puede considerar como estable. El estudio de capacidad realizado muestra que el proceso se encuentra centrado con un índice de capacidad ( $Ppk= 1.26$ ), por lo que se puede considerar que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas en el porcentaje de volumen del pentano más pesado. En comparación con la línea base establecida en la fase de medición se puede observar una mejora del rendimiento del porcentaje de volumen del pentano de 99,99%, lo cual se estima por este concepto una reducción a 81 defectos por millón de oportunidades (DPMO) (Ver tabla 3.18).

**Figura 3.14:** Gráficos de capacidad y estabilidad del proceso



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.18:** Metas y beneficios esperados

	Nivel Sigma	( $P_{pk}$ )	DPMO	Rendimiento
Línea Base	3.6	0.69	19,711	98,03%
Meta	4.5	1.00	1,350	99,87%
Real	5.3	1.26	81	99,99%

### 3.3 Conclusiones parciales del capítulo

- En este capítulo se presentaron a grandes rasgos los pasos a seguir de la metodología Seis Sigma, el cual se describieron los métodos de medición del desempeño del proceso a través de las sigmas del proceso, así como la medición de su capacidad, permitiendo comparar la voz del proceso con la voz del cliente.
- La metodología descrita en el presente capítulo para la mejora de procesos constituye una aplicación práctica de los enfoques teóricos analizados en la investigación. Su aplicación ha permitido reducciones radicales en el número de los fallos y en los costes de calidad, así como un incremento sustancial de la satisfacción del cliente.
- Se evaluaron las posibles soluciones a partir de las causas raíces detectadas en el proceso, basadas en el uso de técnicas de optimización, desde la implementación del diseño de experimentos (DOE) hasta la implementación de las soluciones y su impacto en la mejora.
- Se implementaron los planes de acción con vista a evitar la reincidencia de las mismas, así como aquellas que requieren ser gestionadas para emprender acciones de mejora.
- Se evaluó el impacto de la mejora a través del estudio de capacidad y estabilidad para el porcentaje de volumen del pentano, por lo que se pudo comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas, lo cual muestra reducciones radicales de los defectos por millón de oportunidades (DPMO) y un aumento del rendimiento del proceso a 99.99%, representando un nivel de calidad de 5.3 sigma.

*Conclusiones Generales*



## Conclusiones Generales

Después de haber realizado la siguiente investigación, se arriban a las siguientes conclusiones:

- La búsqueda bibliográfica relacionada con los enfoques de Gestión de Calidad, los modelos de excelencias más difundidos de la Gestión de la Calidad Total, así como los análisis comparativos y críticos de los diferentes enfoques de mejoras de procesos permitió seleccionar una metodología que mejor se adapte al proceso objeto de estudio, concentrándose en las mejores prácticas en el ámbito de la gestión de las organizaciones.
- Se presentaron en grandes rasgos los pasos a seguir de la metodología Seis Sigma como estrategia de mejora de los procesos y se describieron los métodos de medición del desempeño del proceso permitiendo comparar la voz del proceso con la voz del cliente.
- La aplicación de la metodología Seis Sigma para la mejora de procesos, ha permitido reducciones radicales en el número de los fallos y en los costes de calidad, así como un incremento sustancial de la satisfacción del cliente.
- Se evaluaron las posibles soluciones a partir de las causas raíces detectadas en el proceso, basadas en el uso de técnicas estadísticas y se implementaron los planes de acción con vista a evitar la reincidencia de las mismas, así como aquellas que requieren ser gestionadas para emprender acciones de mejora.
- Se evaluó el impacto de la mejora en el proceso seleccionado, por lo que se pudo comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas, lo cual muestra reducciones radicales de los defectos por millón de oportunidades (DPMO) y un aumento del rendimiento del proceso de 99.99%, representando un nivel de calidad de 5.3 sigma.

# *Recomendaciones*



## Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Continuar la implementación de la metodología Seis Sigma hasta la última etapa.
- Se evidencia la necesidad de continuar aplicando la metodología Seis Sigma en el resto de los procesos claves de la Refinería de Petróleo tomando como referencia el proceso de Fraccionamiento de los Gases de la sección 400.
- Extender la capacitación en la utilización de la metodología Seis Sigma en el resto de los procesos claves de la Refinería de Petróleo.
- Divulgar los resultados de esta investigación mediante su presentación en eventos científicos, como una forma de contribuir a la generalización de los resultados obtenidos.

# *Bibliografía*



## Bibliografía

AIAG. (2002). Measurement Systems Analysis Reference Manual, 3rd edition. Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force. Automotive Industry Action Group .

Al Mashari, M., & Zairi, M. (2000). «Revisiting BPR: A holistic review of practice and development». Business Process Management Journal (Vol. 6, no. 1, pp. 10-35).

Albacete, C. A. (2004). Calidad de servicio en alojamientos rurales. Granada: Universidad de Granada.

Alonso, M., Barcos, L., & Martín, J. . (2006). Gestión de la calidad de los procesos turísticos. Madrid: Síntesis.

Arendt, C., Landis, R., & Meister, T. (1995). «The human side of change-Part 4». IIEE Solutions.

Armistead, C. (1996). «Principles of Business Process Management». Managing Service Quality (Vol. 6, no. 6, pp. 48-52.).

Asociación de Relaciones Humanas del Japón. (1992). Kaizen Teian. Desarrollo de sistemas para la mejora continua a través de las propuestas de los empleados. Portland, Oregon, Productivity Press.

Asociación de Relaciones Humanas del Japón. (1992). Kaizen Teian. Desarrollo de sistemas para la mejora continua a través de las propuestas de los empleados. Portland, Oregon, Productivity Press.

Babicz, G. (2000). «Give your process the right flow». Quality, (Vol. 39, no.13, pp. 34-36).

Bae, H. M. (1993). «Process flow modelling and analysis: a practioner's perspective». Industrial Engineering (Vol. June, pp. 54-59).

Bal, J. (1998). Process analysis tool for process improvement. The TQM Magazine, Vol. 10, no. 5, pp. 342-354.

Banuelas, R., Antony, J., & Brace, M. (2005). An application of Six Sigma to reduce waste, Quality and Reliability Engineering International 21 (6) 553–570.

Barret, J. L. (1994). Process Visualization: getting the vision rights is key". Information Systems Management (Vol. 11, no. 2, pp. 14-24).

Barta, P. (1995). «Applying Business process reengineering concepts». TMA journal (Vol. 15, no. 6, pp 30-36.).

Beckford, J. (2002). Quality. Routledge, Taylor & Francis Group. USA.

Belohlav, J. A. (1993). «Quality, Strategy and Competitiveness». California Management Review,.

- Berger, A. (1997). «Continuous Improvement and Kaizen: Standardizations and organizational designs». *Integrated Manufacturing System* (Vol. 8, no. 2, pp. 110-117).
- Bessant, J. (2005). «Enabling Continuous and Discontinuous Innovation: Learning from the private sector». *Public Money & Management*, (Vol. 25, no.1. pp. 35-42.).
- Bessant, J., & Caffyn, S. (1994). *Rediscovering Continuous Improvement*», *Technovation*, (Vol. 14, Num. 1, pp. 17-29.).
- Bessant, J., & Caffyn, S. (1997). «High-Involvement innovation through continuous improvement». *International Journal Technology Management*, (Vol. 14, no.1, pp. 7-28.).
- Bessant, J., Caffyn, S., Gilbert, J., Harding, R., & Webb, S. (1994). «Rediscovering Continuous Improvement». *Technovation*, (Vol. 14, no. 1, pp. 17-29.).
- Bessant, J., & Francis, D. (1999). «Developing strategic continuous improvement capability». *International journal of operations & production management*, (Vol. 19, no.11, pp. 1106-1119.).
- Biazzo, S. (2000). *Approaches to business process analysis: a review*», *Business Process Management Journal*, (Vol. 6, Num. 2, pp. 99-107.).
- Biazzo, S., & Bernardi, G. (2003). *Process management practices and quality systems standards. Risk and opportunities of the new ISO 9001 certification*», *Business Process Management Journal*, (Vol. 9, Num. 2, pp. 149-169).
- Boer, H., & Gertsen, F. (2003). «From Continuous Improvement to Continuous Innovation: a (retro)(per)spective». *International Journal Technology of Management*, (Vol. 26, no. 8, pp. 805-827).
- Bond, T. C. (1999). «The role of performance measurement in continuous improvement». *International journal of operations & production management*, (Vol. 19, no. 12, pp. 1318-1334).
- Bou, E., & Sauquet, A. (2004). «Reflecting on quality practices through knowledge management theory: uncovering grey zones and new possibilities of process manuals; flowcharts and procedures». *Knowledge Management Research and Practice*, (Vol. 2. pp. 35-47).
- Browning, J. (1993). «The power of Process Redesign». *Mckinsey Quartely*, (Vol. 1, no. 1, pp. 47-58).
- Brunet, A. P. (2000). «Kaizen: From understanding to action». En *Institution of Electrical Engineers*, London, UK, IEE Savoy Place.
- Burdett, A. P., & New, S. (2003). «Kaizen in Japan: an empirical study». *International Journal of Operations & Production Management*, (Vol. 23, no. 12, pp. 1426-1446).

- Burdett, J. O. (1994). «TQM Reengineering-the battle for the organizational of tomorrow». The TQM Magazine, (Vol. 6, no. 2, pp. 7-13).
- Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2007). Gestión de la calidad: conceptos, enfoques y sistemas. Madrid: Pearson – Prentice Hall.
- Capelieras, J. L. (1999). Desenvolupament i implantació de programes de canviorganizatiu: la Gestió de la Qualitat Total. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.
- Cariño, R. (2002). Seis Sigma y la capacidad del proceso en proyectos. México: Tendencias Tecnológicas.
- Carpinetti, L., Buosi, T., & Gerolamo, M. (2003). «Quality Management and improvement. A framework and a business-process reference model». Business Process Management Journal, (Vol. 9, no. 4, pp. 543-554).
- Chang, R. (1994). «Improve processes, reengineer them, or both?» Training & Development, (Vol. 48, no.3, pp. 54-62).
- Cheser, R. (1998). «The effect of Japanese Kaizen on employee motivation in US manufacturing». The international journal of organizational analysis, (Vol. 6, no.3, pp. 197-217).
- Childe, S., & Maull, R. (1994). Frameworks for Understanding Business Process Re-engineering», International Journal of Operations & Production Management (Vol. 14. Num. 12, pp. 22-34).
- Conti, T. (1993). Building Total Quality: a Guide for Management. Chapman & Hall, Londres.
- Crosby, P. (1979). Quality is Free. New York, McGraw-Hill.
- Crosby, P. B. (1987). La calidad no cuesta. México: Ed. Cecsca.
- Cuatrecasas, L. (2005). Gestión integral de la calidad. Barcelona: Gestión 2000.
- Daniels, R., & Burns, N. D. (1997). «A framework for proactive performance measurement system introduction». International Journal of Operations & Production Management (Vol. 17, no. 1, pp. 100-116).
- Davenport, T. H. (1993). Process Innovation: Reengineering work through information technoogy. Boston MA, Harvard Business School Press.
- Davenport, T. H., & Beers, M. C. (1995). «Managing information about processes». Journal of Management Information Systems (Vol. 12, no. 1, pp. 57-80).
- Davenport, T. H., & Short, J. E. (1990). «The new industrial engineering: Information Technology and Business Process Redesign». Sloan Management Review (Vol. 31, no. 4, pp. 11-27).

- Davenport, T. H., & Stoddard, D. B. (1994). «Reengineering: Business change of mythic proportions?» MIS Quartely.
- De Toro, I., & McCabe, T. (1997). «How to stay flexible and elude fads». Quality Progress (Vol. 30, no. 3, pp. 55-60).
- Dean, J. W., & Bowen, D. E. (1994). «Management Theory and Total Quality: Improving Research and Practice Through Theory Development». Academy of Management Review (Vol. 19. No. 3).
- Delbridge, R., Turnbull, P., & Wilkison, B. (1993). «Publishing back the frontiers: management control and work intensification under JIT/TQM factory regimes». New Technology, Work and Employment (Vol. 7, no. 2, pp. 97-106).
- Deming, W. E. (1986). Out of the crisis. Cambridge Massachussets, MIT/CAES.
- Deming, W. E. (1989). Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis. Díaz de Santos. Madrid.
- Dolan, T. (2003). «Best practices in process improvement». Quality Progress (Vol. 36, no. 8, pp. 23-28).
- Dolezal, K. K., Burdick, R. K., & Birch, N. J. (1998). «Analysis of two-factor R&R study with fixed operators», Journal of Qualify Technology (Vol. 30, 163-170).
- Dumay, M. (1998). «Business Processes: The theoretical impact of process thinking on information systems development». Business Process, New York.
- EFQM. (2003). Introducción a la excelencia. Bruselas.
- EFQM. (2004). Annual Report. Bruselas.
- Elzinga, J., & Horak, T. (1995). Business Process Management: Survey and Methodology», IEEE Transactions on Engineering Management (Vol. 42, Num. 2, pp. 119-128).
- Espinosa, M. F. (2004). Introducción a la calidad total". Xalapa, Ver. México.
- Evans, J. R. (2005). Administración y Control de la Calidad. International Thomson Editores, México.
- Fernández, E., Avella, L., & Fernández, M. (2003). Estrategia de producción. Mc Graw Hill. Madrid.
- Fucini, J. J., & Fucini, S. (1990). Work for the japanese. New York, Free Press.
- Galeana, E. (2004). Calidad total y políticas de recursos humanos en el sector hotelero de Cataluña. Tesis doctoral. Tarragona: Universitat Rovira i Virgili.

- Galgano, A. (2003). *Calidad Total. Clave estratégica para toda la empresa*. Madrid, España, Díaz Santos.
- Galloway, D. (1994). *Mejora Continua de Procesos*. Barcelona, España, Gestión 2000.
- Gardner, R. A. (2001). «Resolving the process paradox». *Quality Progress* (Vol. 34, no. 3, pp. 51-59).
- Garvin, D. A. (1984). «What Does “Product Quality” Really Mean?». *Sloan Management Review* (Vol. 26 (1), 25-43.).
- Garvin, D. A. (1988). *Managing quality: the strategic and competitive edge*, The Free Press, New York.
- Garvin, D. A. (1998). *The processes of organization and management*», *Sloan Management Review*.
- González, C. (2005). *Conceptos Generales de Calidad*. Recuperado a partir de [www.monografias.com/trabajos11/conge/conge.shtml](http://www.monografias.com/trabajos11/conge/conge.shtml)
- Greiner, L. E. (s. f.). «Patterns of Organizational Change». *Harvard Business Review* (Vol. mayo-junio, no. 45, pp. 119-130.).
- Grover, V., Kettinger, W., & Teng, T. (2000). «Business Process Change in the 21st. Century». *Business and Economic Review*, (Vol. 46, no. 2, pp. 14-18).
- Grover, V., Ryul, S., Kettinger, W., & Teng, T. (1995). «The implementation of business process reengineering». *Journal of Management Information Systems*, (Vol. 12, no. 1, pp. 109-144).
- Guha, S., Grover, V., Kettinger, W., & Teng, T. (1997). «Business Process Change and organizational performance: Exploring an antecedent model». *Journal of Management Information Systems*, (Vol. 14, no. 1, pp. 119-154).
- Guha, S., & Kettinger, W. (1993). «Business Process Reengineering.» *Information Systems Management*,.
- Gulden, G. K., & Reck, R. H. (1992). «Combining Quality and Reengineering Efforts for Process Excellence». *Information Strategy: The Executives Journal*, (Vol. 8, no.3, pp. 10-16).
- Gutierrez Pulido, H. (1997). *Calidad total y productividad*, McGraw-Hill, México.
- Gutierrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. (2004). «Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma», McGraw Hill,.
- Gutierrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. 2da ed. México: McGraw Hill.
- Hammer, M. (1990). «Reengineering work: Don't automate, obliterate». *Harvard Business Review*.

- Hammer, M. (1996). «Beyond Reengineering». Executive Excellence, (Vol. 13, no. 8, pp. 13-14).
- Hammer, M., & Champy, J. (1993). Reengineering the corporation: A manifesto for Business Revolution. New York, N.Y., Harper Business.
- Hammer, M., & Stanton, S. (1995). Reengineering Revolution. New York, NY, Harper Collins.
- Harrington, H. J. (1987a). The improvement Process, McGraw-Hill, Nueva York.
- Harrington, H. J. (1987b). The Quality Improvement Process. Healthcare Forum.
- Harrington, H. J. (1991). Business Process Improvement; The breakthrough strategy for Total Quality, Productivity and Competitiveness. New York, N.Y., McGraw-Hill.
- Harrington, H. J. (1995). «Continuous versus Breakthrough improvement finding the right answer». Business Process Re-engineering & Management Journal, (Vol. 1, no. 3, pp. 31-49).
- Harrington, H. J. (1998). «Performance improvement: the rise and fall of reengineering». The TQM Magazine, (Vol. 10, no. 2, pp. 69-74).
- Harrington, H. J. (2000). Mejora de los procesos en las organizaciones. México, Mc Graw Hill.
- Harrington, H. J., & Harris, M. (2000). «Service Quality in the Knowledge Age». Measuring Business Excellence, (Vol. 4, no. 4, pp. 31-36).
- Henderson, A. (2009). Antología del curso: Gestión de Procesos. Maestría en Gerencia de la Calidad, Instituto Centroamericano de Administración Pública. ICAP.
- Herrera, J., M.D., M., & C., M. (1998). « La Gestión de la Calidad en las empresas españolas: resultados de un estudio empírico de ámbito europeo». Revista de Economía y Empresa, (Vol. 12 no. 32, 83-115).
- Hill, F., & Collins, L. (2000). «The roles of TQM and BPR in organisational change strategies: a case study investigation». International journal of Quality & Reliability Management, (Vol. 17, no. 6, pp. 614-635).
- Hirano, H. (1995). 5 Pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5'S implementation. Tokyo, Japón, Productivity Press.
- Ho, S., & Fung, C. (1994). «Developing a TQM Excellence Model». The TQM Magazine (Vol. 6, no. 6, pp. 24-30).
- Imai, M. (1989a). Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa. México, D.F., CECSA.
- Imai, M. (1989b). Kaizen. La clave de la ventaja competitiva japonesa. Compañía Editora Continental. México.

- Imai, M. (1998). Gemba Kaizen, Cómo Implementar el Kaizen en el sitio de trabajo. México, D.F., McGraw-Hill.
- Imai, M. (2007). «Mejorar la calidad es la mejor forma de reducir los costes». Entrevista a Masaaki Imai en el diario de Negocios de la Gaceta,.
- IMAI, M. (1989). Kaizen. La clave de la ventaja competitiva japonesa, Compañía Editorial Continental, México.
- IMAI, M. (2000). Kaizen la Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa. CECSA, 1ra edición.
- Ishikawa, K. (1985). Guía de control de la calidad. UNIPUB. Madrid.
- Ishikawa, K. (1988). Qué es el control total de la calidad, La modalidad japonesa. Colombia, Editorial Norma.
- Ishikawa, K. (1994). Introducción al Control de la Calidad. Madrid, Díaz Santos.
- ISO. (2005). Norma NC-ISO 9000:2005. Sistema de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.
- ISO. (2008). Norma NC-ISO 9001:2008. Sistema de gestión de la calidad. Requisitos.
- ISO. (2009). Norma NC-ISO 9004:2009. Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad.
- ISO. (2011). Norma NC-ISO 19011:2011. Directrices para la auditoria de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental.
- Jackson, M., & Sloane, A. (2003). «Modelling information and communication technology in business. A case study in elec-tronic data interchange (EDI)». Business Process Management Journal, (Vol. 9, no. 1, pp. 81-113).
- Janson, R. (1992). «How reengineering transforms organizations to satisfy customers.» National Productivity Review, (Vol. 12, no. 1, pp. 45-52).
- Jorgensen, F., Boer, H., & Gertsen, F. (2004). «Development of team-based framework for conducting self-assessment of continuous improvement». Journal of Manufacturing Technology Management, (Vol. 15, no. 4, pp. 343-349).
- Juran, J. M. (1990). Juran y el Liderazgo para la Calidad. Un Manual para Directivos. Madrid España, Editorial Díaz Santos.
- Juran, J. M. (1993). “Análisis y planeación de la calidad “ Calidad, McGw Hill.

- Juran, J. M. (2001). Manual de Calidad, 5ta Edición Vol III.
- Juran, J. M., & A., B. G. (2001). Manual de Calidad, 5ta Edición (Vol. I, p-14.25).
- Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1993). Manual de control de la calidad. Madrid: McGraw-Hill.
- Kanawaty, G. (2000). Introducción al Estudio del Trabajo. México, D.F., Noriega Limusa Editores.
- Kanji, G. K. (1996). «Implementation and pitfalls of total quality management». Total Quality Management, (Vol. 7, no. 3, pp. 331-343).
- Kaplan, R. S., & Murdock, L. (1991). «Core process redesign». Mckinsey Quartely, (Vol. 1 no. 2, pp. 27-43).
- Katzenbach, J. R., & Smith, D. K. (1993). «The discipline of teams», en Harvard Business Review. (Vol. 71, N° 2: 111-120).
- Kelada, J. N. (1994). «Is reengineering replacing total quality?» Quality Progress Milwaukee, (Vol. 27, no. 12, pp. 79-85).
- Kettinger, W., Teng, T., & Guha, S. (1997). «Business Process Change: A study of Methodologies, Techniques, and tools». MIS-Quarterly, (Vol. 21, no.1, pp. 55-80).
- Kezbom, D. S. (1996). «Business Process Reengineering: What it is, What it is not!» Transactions of AACE International, (Vol. 3, no. 1-3).
- King, W. (1994). «Process Reengineering. The strategic dimensions». Information Systems Management,.
- Klein, M. M. (1993). «IEs fill facilitator role in benchmarking operations to improve performance.» Industrial Engineering, (Vol. 25, no. 9, pp. 40-42).
- Klein, M. M. (1994). «Reengineering Methodologies and tools». Information Systems Management, (Vol. 11, no. 2, pp. 30-37).
- Knorr, R. O. (1991). «Business Process Redesign: Key to Competitiveness». The Journal of Business Strategy, (Vol. 12, no. 6, pp. 48-51).
- Kolb, D. ., & Frohman, A. (1970). «An organizational development approach to consulting.» Sloan Management Review, (Vol. 12, no. 1, pp. 51-65).
- Kondo, Y., Kume, H., & Schimizu, S. (1995). «The Deming prize» In The Best on Quality: Targets, Improvement, Systems, Quality Press, Milwaukee, (Vol. Vol 5, pp 3-19).
- Kotter, J. (1995). «Leading change: Why tranformation efforts fail». Harvard Business Review , (Vol. 73, no. 2, pp. 59-67).

- Krajewsky, L. J., & Ritzman, L. P. (2002). *Operations Management. Processes and Value Chains*. New Jersey, Prentice Hall.
- Kueng, P. (2000). «Process Performance measurement system: A tool to support process-based organizations». *Total Quality Management*, (Vol. 11, no.1, pp. 67-85).
- Kume, H. (1985). *Statistical methods for quality improvement*. Tokyo, Japan, AOTS.
- Lascelles, D. M., & B.G., D. (1998). «A Review of the Issues Involved in Quality Improvement». *International Journal of Quality and Reliability Management*, (Vol. 5 (5), 76-94).
- Leach, L. P. (1996). «TQM, reengineering and the edge of chaos». *Quality Progress Milwaukee*, (Vol. 29, no.2, pp. 85-96).
- Lee, K. T., & Chuah, K. (2001). «A SUPER methodology for business process improvement. An industrial Case Study in Hong Kong/China». *International Journal of Operations & Production Management*, (Vol. 21, no.5/6, pp. 687-706.).
- Lee, R. G., & Dale, B. G. (1998a). «Business Process Management: A review and evaluation». *Business Process Management Journal*, (Vol. 4, no. 3, pp. 214-223).
- Lee, R. G., & Dale, B. G. (1998b). «Business Process Management: A review and evaluation». *Business Process Management Journal*, (Vol. 4, no. 3, pp. 214-223).
- Lefcovich, M. (2005). «TQM – Gestión de la Calidad Total», Mexico; Recuperado a partir de <http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/050824175503-TQM.html>.
- Leth, S. A. (1994). «Critical Success Factors for Reengineering Business Processes». *National Productivity Review*, (Vol. 13, no. 4, pp. 557-568).
- Lewin, K. (1951). *Theory in Social Science*. New York, Harper and Row.
- Lindsay, W. M., & Evans, J. R. (2005). *The management and control of quality* (6th edition), Thompson Southwestern, U.S.A.
- Lockwood, N. (2007). «Equipos – nociones básicas», en Society for Human Resource Management Online, E.E.U.U.; revisado 16 de Marzo de 2007. Recuperado a partir de <http://www.shrm.org/espanol/TeamBasics.asp>
- Lovelock, C. (1996). *Service Marketing*. Englewood Cliffs, NS, Prentice-Hall.
- Lowenthal, J. N. (1994). «Reengineering the organization: a step by step approach to corporate revitalization». *Quality Progress*, (Vol. 27, no. 2, pp. 61-64).

- MacDonald, J. (1995). Together TQM and BPR are winners», TQM Magazine, (Vol. 7, No. 3, pp. 21-25).
- Majchrzak, A., & Wang, Q. (1996). «Breaking the functional mind-set in Process Organizations». Harvard Business Review, (Vol. 74, no. 5, pp. 93-99).
- Martín Tanco, P. (2008). Metodología para la aplicación del Diseño de Experimentos (DOE) en la Industria. Tesis Doctoral Universidad de Navarra.
- McQuarter, R. E., & C.H., S. (1995). «Using quality tools and techniques successfully». The TQM Magazine, (Vol. 7, no. 6, pp. 37-42).
- Medina-Giopp, A. (2003). «Gestión por Procesos y creación de valor público, un enfoque analítico». Tesis doctoral sin publicar. Departamento de Política y Administración y Dirección de Empresas. Barcelona, España, ESADE.
- Melnyk, S., Calanton, R., Montabon, F., & Smith, R. (1998). «Short-term action in pursuit of longterm improvements: introducing Kaizen Events». Production and Inventory Management Journal, (Vol. 39, no. 4, pp. 69-76).
- Mizuno, S. (1998). Company Wide Quality Control. Tokyo Japan, Asian Productivity Organization.
- Mohrman, S., Mohrman, A., & Ledford, G. (1989). Interventions that change organizations. Largescale Organizational Change. San Francisco, Jossey-Bass.
- Montabon, F. (2005). «Using Kaizen Events for Back Office Processes: Recruitment of frontline Supervisor Co-ops». Total Quality Management and Business Excellence, (Vol. 16, no.10, pp. 1139-1147).
- Montgomery, D. C. (2005). Design and Analysis of Experiments. New York, Estados Unidos: John Wiley and Sons.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (1993). «Gauge Capability and Designed Experiments. Part I: Basic Methods», Quality Engineering (Vol. 6 (1), 115-135).
- Montgomery,, D. C., & Runger, G. C. (1993). «Gauge Capability Analysis and Designed Experiments. Part II: Experimental Design Models and Variance Component Estimation», Quality Engineering (Vol. 6 (2), 289-305).
- Moreno-Luzón, M. D., Peris, F., & González, T. (2000). Gestión de la calidad y diseño de organizaciones. Teoría y estudio de casos. Ed. Prentice Hall, Madrid.
- Mumford, E., & Beekma, G. J. (1994). Tools for Change and Progress: A socio-technical approach to business process re-engineering. Cheshire, CG Publications.

- Mumford, E., & Hendricks, R. (1996). «Business Process Reengineering RIP». People Management, (Vol. 2, no. 9, pp. 22-28.).
- Nesbitt, T. (1993). «Flowcharting Business Processes». Quality,.
- Noguera, K. (2006). Six Sigma Green Belt. Venezuela.
- Oakland, J. (2002). Total organizational excellence, achieving world class performance. Butterworth – Heinemann. United Kingdom.
- Ohno, T. (1978). Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production. New York, NY, Productivity Press.
- Ortíz, C. (2006). “Kaizen assembly: designing, constructing, and managing a lean assembly line. Editorial CRC Press.
- Ostroff, F. (1999). The horizontal organization. New York. N.Y., Oxford University Press.
- Owen, E. (2005). «El trabajo en equipo, una disciplina que hay que aprender», en Ser Humano y Trabajo, revisado el 24 de Febrero de 2012. Recuperado a partir de <http://www.sht.com.ar/archivo/Management/dialogo.htm#Inicio>
- Pall, G. A. (1987). Quality Process Management. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2000). The Six sigma way: how GE, Motorola and others top companies are honing their performance. Estados Unidos Americanos: Mc Graw Hill.
- Pardo del Val, M. (2004). «La dirección participativa como elemento dinamizador en los cambios organizativos». Publicacions de la Universitat de Valencia. Valencia, España.
- Pérez, F. V., & José, A. (2000). Gestión por Procesos, ESIC Editorial, 4ta Edición, 2010, p-52 RAITEC. Modelo europeo de gestión de la calidad. RAITEC.
- Peter, S., & Larry, H. (2003). ¿Qué es Seis Sigma?. España: McGraw-Hill Profesional.
- Pons Murguía, R. (2005). EVGP. Gestión de la Calidad.
- Porter, M. E. (1985). Competitive Advantage: Creating Sustaining superior performance. New York N.Y., Free press.
- Powell, T. C., & Dent-Micallef, A. (1997). «Information Technology as competitive advantage: the role of human, business, and technology resources». Strategic Management Journal, (Vol. 18, no. 5, pp. 375-405).

- Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). «The core competence of the corporation». Harvard Business Review, (Vol. 68, no. 3, pp. 79-91).
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). The Six Sigma Handbook . Third Edition. McGrawHill.
- Rico, R. R. (1998). Calidad estratégica total: Total Quality Management, Edic. Macchi, Argentina.
- Rodríguez, B. (2010). Antología del curso: Evaluación de la Calidad y Mejora Continua. Maestría en Gerencia de la Calidad, Instituto Centroamericano de Administración Pública. ICAP.
- Rohleder, T., & Silver, E. (1997). «A tutorial on Business Process Improvement». Journal of Operations Management, (Vol. 15, pp. 139-154).
- Rueda, L. (2007). Aplicación de la metodología seis sigma y lean manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables. Tesis de Maestría, Distrito Federal Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Ruiz-Canela, J. (2004). La gestión por Calidad Total en la empresa moderna. Ra-Ma Editorial. Madrid.
- Russell D., R. (1991). Cómo crear Empowerment. Editorial Mc. Graw Hill. Colombia.
- Salgueiro, A. (1999). Cómo Mejorar los Procesos y la Productividad. Madrid, España, AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Saunders, I., & Preston, A. (1994). «A model and a research agenda for Total Quality Management». Total Quality Management, (Vol. 5 (4), pp. 185-202).
- Savory, P., & Olson, J. (2001). «Guidelines for using process mapping to aid improvement efforts». Hospital Management Quarterly, (Vol. 22, no.3, pp. 10-16.).
- Schein, E. (1993). «How can organizations learn faster? The challenge of entering the green room». Sloan Management Review, (Vol. 38, no. 2, pp. 85-92).
- Scherr, A. L. (1993). «A new approach to business process». IBM Systems Journal (Vol. 32, no. 1, pp. 80-98).
- Sheridan, J. (1997). «Kaizen Blitz». Industry Week, (Vol. 246, no. 16, pp. 19-27).
- Short, J. E., & Venkatraman, N. (1992). «Beyond business process redesign: redefining Baxter's business network». Sloan Management Review, (Vol. 34, no.1, pp. 7-21).

- Sinclair, D., & Zairi, M. (1995). «Effective process management through performance measurement Part II - benchmarking total quality -based performance measurement for best practice». *Business Process Management Journal*, (Vol. 1, no. 2, pp. 58-66).
- Sirkin, H., & Stalk, G. (1990). Fix the process, not the problem". *Harvard Business Review*, (Vol. 68, no. 4, pp. 26-33).
- Spector, B. A. (1999). «The horizontal Organization: what the organization of the future actually looks like and how it delivers value to customers». *Academy of Management Executive*, (Vol. 13, no. 2, pp. 97-98).
- Stanton, W., & Furtrell, C. (2004). *Fundamentos de mercadotecnia*. Mc Graw Hill Companies. México. 8va. ed.
- Stoddard, D. B., & Jarvenpaa, S. (1995). «Business Process Redesign: Tactics for Managing Radical Change». *Business Process Management Journal*, (Vol. 12, no. 1, pp. 81-107).
- Suárez, B., & Francisco, M. (2007). Tesis Doctoral: La Sostenibilidad de la Mejora continua de Procesos en la Administración pública: Un estudio en los Ayuntamientos de España, Barcelona,.
- Susaki, K. (1987). *Competitividad en la fabricación*. Madrid, TGP-Hoshing-LTD.
- Symons, R. T., & Jacobs, A. (1997). «Multi-level process mapping: A tool for cross-functional quality analysis». *Production and Inventory Management Journal*, vol. Fourth quarter.
- Takeyuki, F. (s. f.). *Implementing C-JIT (New JIT): A practical approach*. Nagoya Japón, CHUSAN-REN (Asociación Central Industrial de Japón).
- Talwar, R. (1993). «Business Reengineering - a strategy-driven approach». *Long Range Planning*, (Vol. 26, no. 6, pp. 22-40.).
- Tanner, C., & Roncarti, R. (1994). «Kaizen Leads to breakthroughs in Responsiveness and the Shingo Prize at Critikon». *National Productivity Review*, (Vol. 13, no. 4, pp. 517-531).
- Tari, J. J. (2005). «Components of successful total quality management». *The TQM Magazine*, (Vol. 7, no. 2, pp. 182-194.).
- Teece, D. J. (1998). «Capturing value from knowledge assets: the new economy, markets for know-how, and intangibles assets». *California Management Review*, (Vol. 40, no. 3, pp. 55-79).
- Teng, J., Grover, V., & Fielder, D. (1994). «Re-designing business process using information technology». *Long Range Planning*, (Vol. 27, no. 1, pp. 95-106).

- Tenner, A., & De Toro, I. (1997a). *Process Redesign: The implementation Guide for Managers*. Boston, MA, Addison Wesley Longman.
- Tenner, A., & De Toro, I. (1997b). *Process Redesign: The implementation Guide for Managers*. Boston, MA, Addison Wesley Longman.
- Thompson, P. C. (1994). *Círculos de Calidad. Cómo hacer que funcionen*. Grupo Editorial Norma. Primera Edición, Colombia,.
- Tinnila, M. (1995). «Strategic perspective to business process redesign». *Management Decision*, (Vol. 33, no. 3, pp. 25-34).
- Tonnesen, T. (2005). «Continuous Innovation through company wide employee participation». *The TQM Magazine*, (Vol. 17, no. 2, pp. 195-207).
- Tozawa, B., & N., B. (2002). *Kaizen Rápido y Fácil*.
- Tuckman, B. W. (1965). «Developmental Sequence in Small Groups» en *Psychological Bulletin*, (Vol. 63).
- Ungan, M. (2006a). «Standardization through process documentation». *Business Process Management Journal*, (Vol. 12, no. 2, pp. 135-148).
- Ungan, M. (2006b). «Towards a better understanding of process documentation». *The TQM Magazine*, (Vol. 18, no. 4, pp. 400-409).
- Venkatraman, N. (1994). «IT-enabled business transformation: From automation to business scope redefinition». *Sloan Management Review*, (Vol. 35, no. 2, pp. 73-87).
- Walsh, P. (1996). «Finding Key performance drivers: Some new tools». *Total Quality Management*, (Vol. 7, no. 5, pp. 509-519).
- Ward, J. (1994). «Continuous Process Improvement». *Information Systems Management*, (Vol. 11, no. 2, pp. 74-77).
- Watanabe, S. (1991). «The Japanese quality control circle: Why it works». *International Labour Review*, (Vol. 130, no. 1, pp. 57-80).
- Watson, R. (1998). «Implementing self-managed process improvement teams in a continuous improvement environment». *The TQM Magazine*, (Vol. 10, no. 4, pp. 246-253).
- Westbrook, R. (1995). «Organizing for total quality. Case research from Japan.» *International Journal of Quality & Reliability Management*, (Vol. 12, no. 4, pp. 8-25).

- Whiting, J. T. (1994). «Reengineering the corporation: A historical perspective and critique». *Industrial Management*, (Vol. 36, no. 6, pp. 14-16).
- Wittenberg, G. (1994). «Kaizen, The many ways of getting better». *Assembly Automation*, (Vol. 14, no. 4, pp. 12-17).
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York: Simon & Shuster.
- Xie, M., & Goh, T. (1999). «Statistical techniques for quality». *The TQM Magazine*, (Vol. 11, no. 4, pp. 238-242.).
- Yang, K. (2003). *Design for Six Sigma*, McGraw Hill Editions, New York,.
- Yingling, R. (1997). «How to management key business Processes». *Quality Progress*, (Vol. 30, no. 4, pp. 107-110).
- Yu Yuang-Hung, R. (2006). «Business Process Management as Competitive advantage: a review and empirical study». *Total Quality Management and Business Excellence*, (Vol. 17, no. 1, pp. 21-40).
- Zairi, M. (1991). *Total Quality Management for engineers*, Woolhead Publishing Ltd.
- Zairi, M. (1997). «Business Process Management: A boundaryless approach to modern competitiveness». *Business Process Management Journal*, (Vol. 3, no. 1, pp. 64-80).
- Zairi, M., Letza, S., & Oakland, J. (1994). «Does TQM impact on bottom line results?» *The TQM Magazine*, (Vol. 6, no. 1, pp. 38-43).
- Zairi, M., & Sinclair, D. (1995). «Business Process Re-engineering and process management: A survey current practice and future trends in integrated management». *Management Decision*, (Vol. 33, no. 3, pp. 3S-16S.).
- Zand, D. E., & Sorensen, R. E. (19975). «Theory of Change and effective use of management science». *Administrative Science Quartely*, (Vol. 20, no. 4, pp. 523-545).

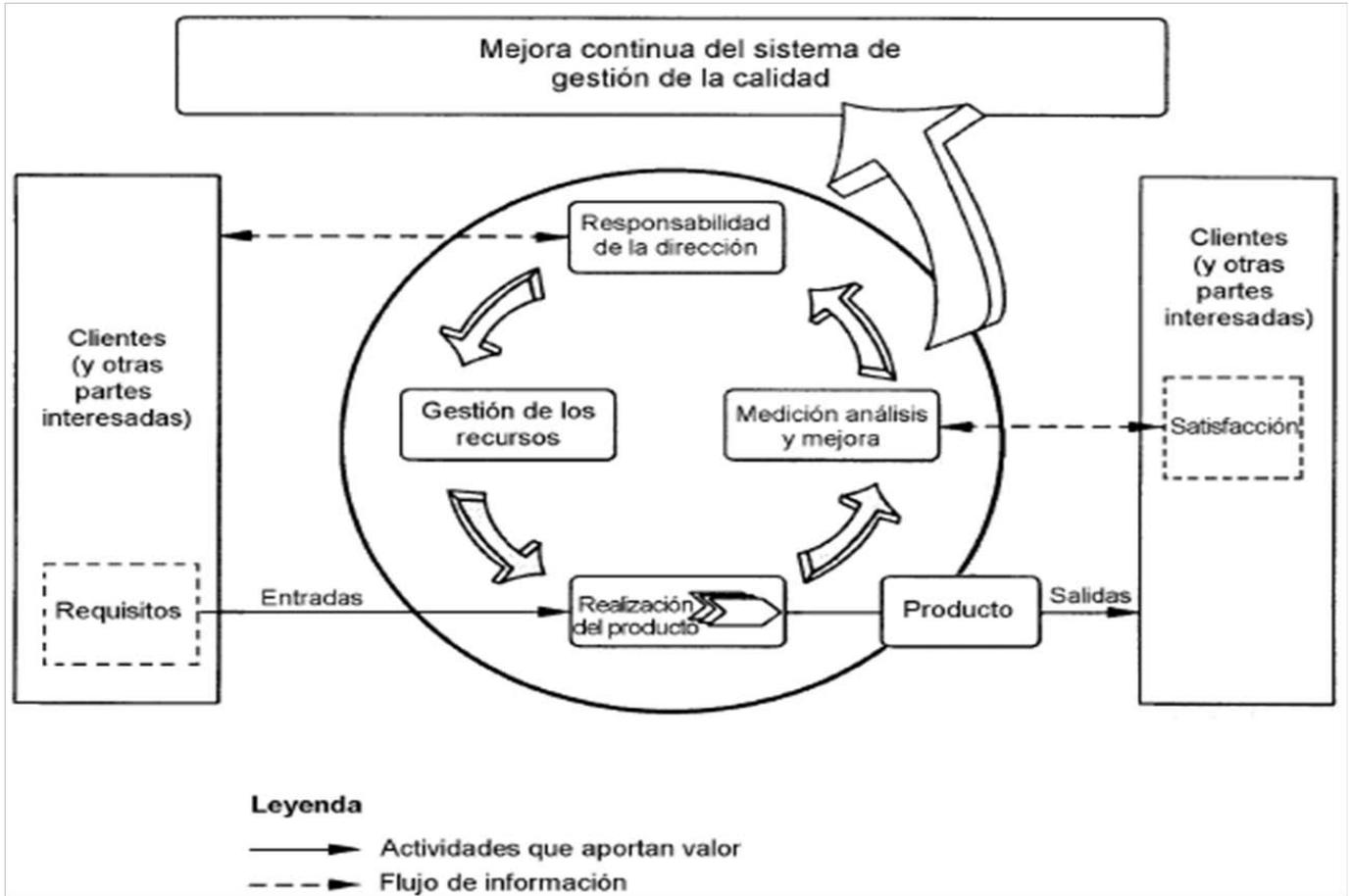
# *Anexos*



Anexos

Anexo 1.1

Figura: Mejoramiento continuo del Sistema de Gestión de la Calidad



Fuente: ISO 9000:2005

## Anexo 1.2 Definiciones de procesos

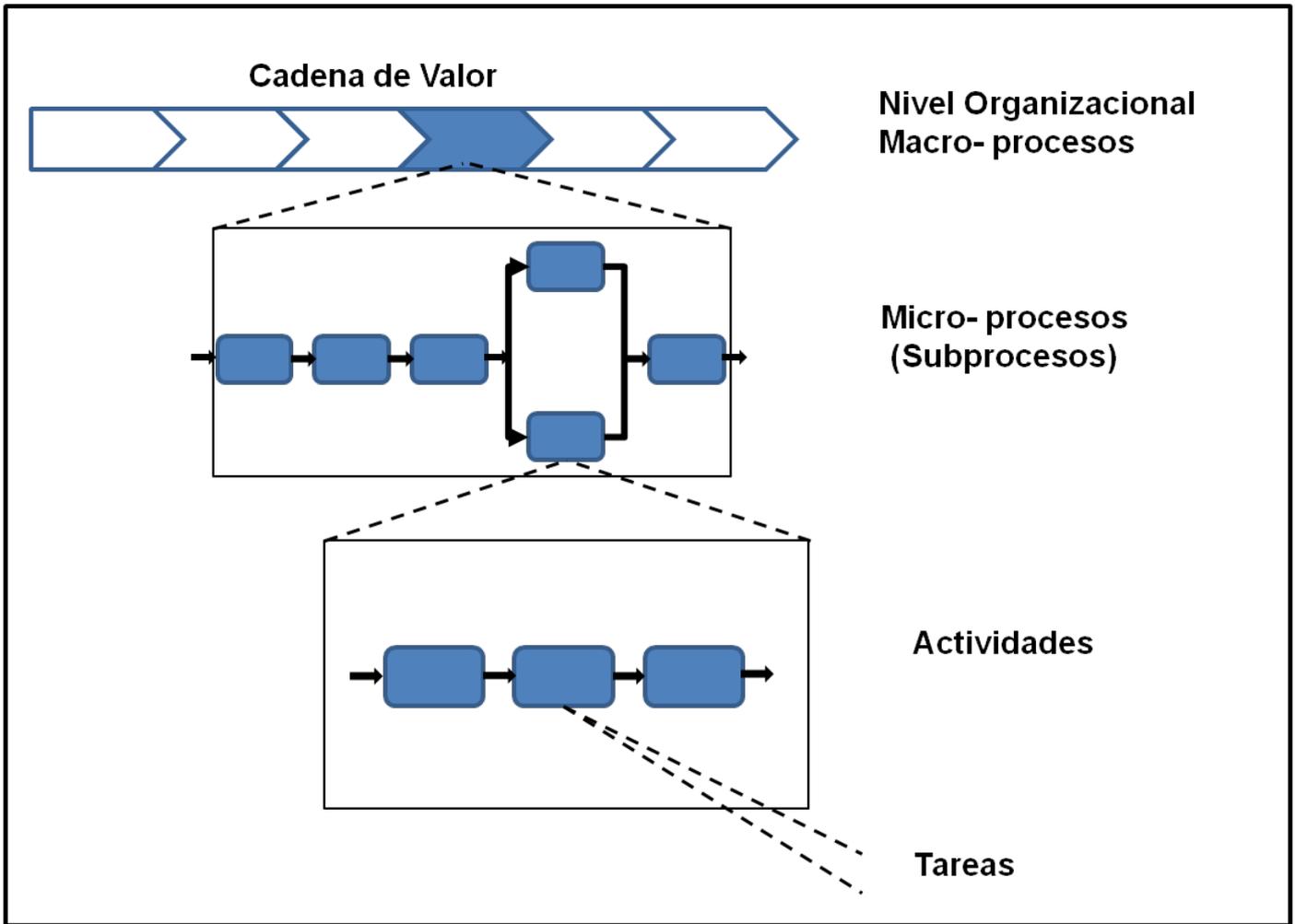
**Tabla:** Definiciones de procesos

Autor(es)	Definición	Enfoque del Concepto
Harrington (1991)	Cualquier actividad o grupo de actividades que toma una entrada, le agrega valor y provee una salida a un cliente interno o externo. Los procesos utilizan los recursos de la organización para proveer un resultado fina.	Operacional
Krajewski y Ritzman (2002)	Cualquier actividad o grupo de actividades mediante las cuales uno o varios insumos son transformados y adquieren un valor agregado, obteniéndose así un producto para el cliente.	Operacional
Davenport y Short (1990)	Es un grupo lógico de tareas que son realizadas para asegurar un resultado en el negocio.	Operacional
Davenport (1993)	Un específico ordenamiento de actividades de trabajo a través del tiempo y espacio, que cuenta con un inicio y un fin y con una clara definición de entradas y salidas en su estructura de acción <sup>10</sup> .	Operacional (Influencia del TI)
Venkatram (1994)	Conjunto de actividades lógicas que producen un resultado, el cual puede ser mejorado mediante la re-configuración de sus elementos.	Operacional (Influencia del TI)
Hammer y Champy (1993)	Al conjunto de actividades que reciben uno o más clases de inputs, crean un producto para dar valor para el cliente.	Innovación-Radical
Talwar (1993)	Cualquier secuencia de actividades predefinidas que son llevadas con el fin de crear un grupo de resultados predefinidos.	Innovación-Radical
Pall (1987)	Es la organización lógica de gente, materiales, energía, equipos y procedimientos en actividades de trabajo, diseñadas para producir un específico resultado final (producto del trabajo)	Operacional / Organizacional
Zairi (1997)	Un acercamiento para convertir elementos de entrada en elementos de salida, este es el camino en donde todos los recursos de la organización son utilizados de manera confiable, repetible y constante (estadísticamente) para asegurar las metas de la empresa.	Organizacional
Jurán (1990)	Es una serie sistemática de acciones dirigidas al logro de un objetivo organizacional.	Organizacional
Scherr (1993)	Una serie de relaciones cliente-proveedor que produce resultados específicos, en un punto específico de tiempo.	Organizacional
Biazzo y Bernardi (2003)	El resultado de la agregación de actividades determinadas de acuerdo a un conjunto de criterios en diferentes niveles de detalle.	Organizacional

**Fuente:** (Manuel F., S, 2007) a partir del artículo de: (Tannia, M, 1995)

Anexo 1.3: Clasificación de procesos

Figura: Clasificación de procesos por su ubicación en la jerarquía organizacional



Fuente: Interpretado de (Harrington, 1991)

## Anexo 1.4: Procedimiento de resolución de problemas

**Tabla:** Técnica de la Historia de la Calidad y su relación con el ciclo PDCA

No.	Nombre del paso	Descripción	Fase del Ciclo PDCA
1	<b>Identificación del problema</b>	Se selecciona un problema o conjunto de problemas (tema) a mejorar del área de trabajo.	PLANEAR (GUÉ)
2	<b>Observación y clarificación del problema</b>	Se clarifican las razones del problema a través de determinar cómo y porqué ocurre el problema. Durante este paso se reúne la información y datos del problema desde diferentes puntos de vista (tiempo, lugar, tipo, síntomas o efectos).	PLANEAR (CÓMO Y POR QUÉ)
3	<b>Análisis</b> Búsqueda de causas principales	Determinada la situación actual y conocimiento con exactitud la magnitud del problema, así como sus características, es necesario averiguar sus causas, para poder terminar de raíz con el problema, de otro modo, sólo se atacarán los síntomas (efectos) y el problema se seguirá presentando.	PLANEAR
4	<b>Establecimiento de acciones correctivas</b> (Eliminación de las causas, búsqueda de soluciones )	Conocidos los efectos y las causas, entonces se tienen que analizar las alternativas para solucionar el problema, a través de decidir las acciones de mejora que se van a realizar. Para ello, es preciso elaborar un plan de acción de mejora en dónde se determine quiénes llevarán a cabo las diferentes acciones, cuándo lo harán, de cuánto tiempo disponen, qué recursos necesitan, etc.	HACER
5	<b>Verificación.</b> Evaluación de los resultados	Una vez completado el plazo de tiempo establecido para la ejecución del plan de acción de mejora, entonces se tiene que evaluar la efectividad de dichas acciones, es decir, sus resultados.	ACTUAR
6	<b>Estandarización.</b> Prevención para evitar la reaparición del problema	Todas las acciones de mejora que funcionaron en el proceso después de eliminar el problema se deben convertir en la nueva forma de trabajar (Estándar). En caso de que no sea así, habrá que corregir las desviaciones encontradas.	ACTUAR
7	<b>Conclusión</b>	Establecer un resumen de lo logrado y una reflexión básica de lo aprendido, tanto a nivel individual, cómo a nivel grupal. Este auto-análisis ayudará a establecer un marco referencial en cada trabajador.	ACTUAR

**Fuente:** (Suárez Barraza, F., 2007)

## Anexo 1.5: Herramientas básicas de la Calidad

**Tabla:** Herramientas básicas de la Calidad

NOMBRE HERRAMIENTAS
1. Diagrama de Pareto
2. Diagrama Causa-Efecto
3. Histograma
4. Gráficos de Control
5. Diagrama de Dispersión
6. Hoja de Recogida de Datos
7. Estratificación de Datos

**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 1.6: Metodologías Mejora Continua de Procesos (MCP)

**Tabla:** Cuadro comparativo de las dimensiones de la Mejora Continua de Procesos

AUTORES	TÉCNICA	METODOLOGÍA
<b>PRIMERA DIMENSIÓN</b>		
<b>La Mejora Continua de Procesos con enfoque incremental o Kaizen</b>		
-Kume (1985) -Ishikawa (1988)	La historia de la calidad	Los siete pasos que se describen en el Anexo 1.4
-Juran (1990)	Trilogía de la calidad	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Planeación de la calidad.</i> Diseñar el proceso conforme a los requerimientos de los clientes.</li> <li>2. <i>Control de la calidad.</i> Medir y controlar la variabilidad del proceso</li> <li>3. <i>Mejora de la calidad.</i> Eliminar defectos del proceso</li> </ol>
-Crosby (1979)	Proceso para la eliminación de no conformidades.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definir el problema y la situación</li> <li>2. Fijar el problema o la situación</li> <li>3. Identificar la causa raíz</li> <li>4. Acción correctiva</li> <li>5. Evaluación y seguimiento</li> </ol>
-Imai (1998)	Gestión del lugar de trabajo (Gemba)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vaya al Gemba e identifique el problema del proceso.</li> <li>2. Observe los datos relevantes del problema.</li> <li>3. Establezca acciones correctivas y preventivas en el terreno.</li> <li>4. Encuentra las causas raíz del problema y elimínela.</li> <li>5. Estandarizar para evitar la reaparición.</li> </ol>
-Mizuno (1988) -Galgano (2003)	Mejora del trabajo diario.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar el proceso prioritario y la finalidad de la mejora.</li> <li>2. Identificar clientes y sus necesidades y expectativas.</li> <li>3. Identificar indicadores de calidad del proceso.</li> <li>4. Establecer objetivos y límites de control del proceso.</li> <li>5. Definir el sistema de control e implantarlo</li> <li>6. Verificar los resultados y estandarizar.</li> <li>7. Mantener y evaluar estándares (si hay desviaciones) establecer acciones correctivas a través del ciclo PDCA.</li> </ol>
<b>SEGUNDA DIMENSIÓN</b>		
<b>La Mejora Continua de Procesos con enfoque de Rediseño de Procesos</b>		
-Harrington (1991, 1995) -Ward (1994) -Galloway (1994)	Mejora de los Procesos del Negocio (Business Process Improvement BPI).	<p>Fase 1. <i>Organizarse para la calidad.</i> Definir procesos críticos, seleccionar dueños del proceso, entrenar y establecer medidas.</p> <p>Fase 2. <i>Comprender el proceso.</i> Realizar diagramas de flujo, medir y analizar eficiencia, eficacia y tiempos de ciclo.</p> <p>Fase 3. <i>Racionalizar los procesos.</i> Encontrar mejoras y desarrollar un plan.</p> <p>Fase 4. <i>Implementar, medir y controlar.</i></p> <p>Fase 5. <i>Mejora Continua.</i> Implantar un proceso de MCP.</p>
-Chang (1994)	Mejora de Procesos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diagnosticar situación actual.</li> <li>2. Seleccionar procesos.</li> <li>3. Generar compromiso de la dirección</li> </ol>

**Tabla:** Cuadro comparativo de las dimensiones de la Mejora Continua de Procesos

AUTORES	TÉCNICA	METODOLOGÍA
		<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Generar sistemas de apoyo.</li> <li>5. Encontrar mejoras y realizar prueba piloto.</li> <li>6. Implantar las acciones de mejora.</li> <li>7. Reflexionar de las lecciones aprendidas.</li> </ol>
-Larry Bossidy, Jack Welch (1995)	Metodología de Mejora Seis Sigma (DMAMC)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definir el problema o el defecto</li> <li>2. Medir y recopilar datos</li> <li>3. Analizar datos</li> <li>4. Mejorar</li> <li>5. Controlar</li> </ol>
-Lee y Chuah (2001)	SUPER Metodología para la Mejora de los Procesos del Negocio.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar el proceso.</li> <li>2. Comprender el proceso.</li> <li>3. Medir el proceso.</li> <li>4. Ejecutar el proceso.</li> <li>5. Valorar las mejoras.</li> </ol>
- Gardner (2001)	Mejora Continua de procesos.	<p>Fase 1. Recolectar datos e información del rendimiento del proceso.</p> <p>Fase 2. Fijar meta del proceso.</p> <p>Fase 3. Asignar responsabilidad y alinear a los objetivos estratégicos.</p> <p>Fase 4. Monitorear el rendimiento y gestionar la operación.</p>
-Rohleder y Silver (1997)	Guía para la Mejora Continua de Procesos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Establecer apoyos organizacionales.</li> <li>2. Seleccionar el proceso y formar un equipo de mejora.</li> <li>3. Definir y comprender el proceso.</li> <li>4. Simplificarlo (remover los desperdicios obvios).</li> <li>5. Solucionar los problemas y monitorear las mejoras.</li> <li>6. Implementar los cambios y soluciones.</li> <li>7. Innovar el proceso.</li> </ol>
- Yingling (1997)	Mejora de los Procesos Claves.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar procesos claves y relacionarle metas.</li> <li>2. Definir procesos claves inter-organizacionales.</li> <li>3. Desarrollar equipos y desarrollar sistemas de apoyo.</li> <li>4. Medir el rendimiento</li> <li>5. Gestionar los procesos (mantener y mejorar).</li> </ol>
- Carpinetti, Buosi, et al.,(2003)	Modelo de referencia para mejorar los procesos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar las acciones de mejora.</li> <li>2. Identificar las dimensiones y los procesos.</li> <li>3. Elaborar el mapa de procesos y seleccionar críticos.</li> <li>4. Analizar y valorar procesos críticos.</li> <li>5. Proponer acciones de mejora.</li> <li>6. Implementar y revisar el progreso.</li> </ol>
- Ungan (2006b)	Esquema para documentar procesos utilizando la gestión del conocimiento.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar el proceso.</li> <li>2. Designar el maestro del proceso (aquel que mejor lo conoce).</li> <li>3. Integrar un equipo de mejora de procesos.</li> <li>4. Definir el proceso y descomponerlo en actividades secuenciales.</li> <li>5. Comprender el proceso en cada una de sus actividades, adquiriendo conocimiento de la misma.</li> <li>6. Codificar y verificar los conceptos semánticos del vocabulario utilizado en el mapa.</li> <li>7. Combinar y establecer un formato estándar como guía.</li> </ol>
-Davenport	Innovación de los	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollar la visión del negocio.</li> </ol>

**Tabla:** Cuadro comparativo de las dimensiones de la Mejora Continua de Procesos

AUTORES	TÉCNICA	METODOLOGÍA
(1993)	Procesos del negocio.	2. Identificar las características de los procesos claves. 3. Comprender y medir el rendimiento de los procesos existentes. 4. Encontrar los factores de éxitos y las barreras de implementación.
- Davenport y Short (1990) - Knorr (1991) - Short y Venkatram (1992)	Re-diseño de procesos (Business Process Redesign).	1. Desarrollar la visión del negocio y los objetivos de los procesos 2. Identificar los procesos para rediseñar. 3. Comprender y medir el rendimiento de los procesos existentes. 4. Diseñar y construir un prototipo del proceso e implementar las mejoras.
- Kaplan y Murdock (1991)	Rediseño de procesos claves (Core process Redesign).	1. Identificar los procesos a mejorar. 2. Definir los requerimientos de rendimiento, áreas de oportunidad y posibles soluciones. 3. Desarrollar una visión a largo plazo del rediseño. 4. Evaluar las alternativas. 5. Desarrollar un plan de acción para implementar las alternativas. 6. Hacer que sucedan.
- DeToro y McCabe (1997)	Rediseño de Procesos.	1. Encontrar las necesidades del cliente. 2. Seleccionar los procesos claves. 3. Documentar los procesos claves. 4. Medir el rendimiento de los procesos. 5. Mejorar los procesos.
-Elzinga, Horak <i>et al.</i> , (1995) - Zairi (1997) - Lee y Dale (1998)	Gestión de los Procesos del Negocio (BPM)	1. <i>Preparación.</i> Definir factores cruciales para la implantación. 2. Selección del proceso. 3. Descripción y documentación del proceso. 4. Cuantificación del proceso. 5. Selección de oportunidades de mejora. 6. Implementación de las mejoras.
		8.
<b>TERCERA DIMENSIÓN</b>		
<b>La Reingeniería de los Procesos del Negocio</b>		
Hammer (1990)	Reingeniería de los Procesos del Negocio (BPR).	1. Nombrar el proceso a seleccionar y establecer su alcance. 2. Realizar el mapa del proceso. 3. Comprender el proceso (identificar supuestos, modelos, tareas y actividades, realizar benchmarking, comenzar y terminar con el cliente, y dibujarlo en hojas de papel). 4. Rediseñarlo (Reengineer) utilizando varias técnicas.
Hammer y Champy (1993)	Reingeniería de los Procesos del Negocio.	1. Organizarse alrededor de resultados y no tareas. 2. Conocer los resultados de los procesos y quiénes participan en ellos. 3. Utilizar la tecnología de información para producir información real para los procesos. 4. Vincular las actividades paralelas en lugar de integrar tareas. 5. Establecer los puntos de control del proceso y establecer

**Tabla:** Cuadro comparativo de las dimensiones de la Mejora Continua de Procesos

AUTORES	TÉCNICA	METODOLOGÍA
-Klein (1994) -Lowenthal (1994)	Reingeniería de los Procesos del Negocio.	los sistemas mismos de control. 1. <i>Preparación.</i> Reconocer la necesidad, conformar el plan de cambio. 2. <i>Identificación.</i> Definir al cliente, definir los sistemas de medición y el mapa de la organización, de procesos y recursos. 3. <i>Visión.</i> Comprender la estructura de los procesos, su flujo, las actividades de valor agregado, estimar oportunidades, tanto internas, como externas (Benchmarking), redefinir alternativas, aplicar la tecnología e implementar el plan. 4. <i>Diseño social. Solución.</i> Diseñar los sistemas de la organización (planes de carrera, cartera de clientes, estructura organizacional, gestión de procesos y del cambio, plan de incentivos, etc.). 5. <i>Transformación.</i> Rediseñar por completo los sistemas del negocio, evaluar al personal, re-construir los sistemas, generar mejora continua.
-Talwar (1993)	Reingeniería de los Procesos del Negocio.	1. Construir la visión de la reingeniería de la organización. 2. Planear como se realizará la visión. 3. Analizar la situación actual de los procesos. 4. Rediseñar los procesos. 5. Implementar los rediseños. 6. Medir los beneficios y compartir las lecciones aprendidas.
-Guha, Grover <i>et al.</i> , (1997) -Kettinger, Teng <i>et al.</i> , (1997)	Gestión de los Procesos de Cambio (Business Process Change BPC)	Fase 1. <i>Cambio del ambiente.</i> Encontrar las relaciones entre las iniciativas estratégicas, capacidad de aprendizaje, tecnología de información y cultura organizacional. Fase 2. <i>Gestión del BPC.</i> Gestionar procesos y gestionar el cambio. Fase 3. Impacto del BPC en el rendimiento organizacional. Mejorar los procesos, la calidad de vida de los empleados y la satisfacción del cliente.

**Fuente:** Adaptado y enriquecido a partir del artículo de: (Tinnila, M. 1995, p. 29)

**Anexo 2.1 Infraestructuras Seis Sigma dentro de la Organización recomendada por la ISO 13053-1**

El tipo de infraestructura seleccionada por una organización dependerá de varios factores y primará el principio de que no hay arreglos ni "buenos" ni "malos". Lo que funciona para una organización puede no funcionar para otra. Las proporciones entre los roles deben suministrar una masa crítica, la cual puede ajustarse para cualquier industria o servicio, así como para el despliegue exitoso y la función continua de la iniciativa Seis Sigma.

Los factores tienden a ser los siguientes:

- a) la estructura sobrearqueda impuesta por una facilidad central;
- b) el número de empleados en el sitio; y
- c) la naturaleza del negocio.

**Grandes - Más de 1000 trabajadores en el sitio**

La infraestructura recomendada para sitios que tienen una gran población se muestra en la siguiente tabla. Debe establecerse una posición especial para el Master Cinta Negra y los Cintas Negras para residir aparte a modo de traslado temporal y en este caso ellos tendrían como jefe inmediato al Director del Despliegue.

**Tabla 2.1:** Infraestructura típica Seis Sigma para poblaciones de sitios grandes

Rol	Cantidad	Comentarios
Jefe del despliegue	1	Rol permanente
Patrocinadores del proyecto	Variable	Varía de acuerdo a la cantidad y los tipos de proyecto.
Master Cinta Negra	1 por 5 cintas negras	A tiempo completo
Cintas Negras	1 por 5 cintas verdes	A tiempo completo. Generalmente ejercen esta función 2 años y luego regresan a funciones propias del negocio
Cintas Verdes	1 por 30 empleados	A tiempo parcial. Para apoyar los proyectos de acuerdo a las necesidades
Nota: Las cantidades referidas en esta tabla no son siempre las apropiadas para cada despliegue Seis Sigma Six y el número real puede ser diferente en cada caso.		

**Medianas - 250 hasta 1000 trabajadores en el sitio**

Debe establecerse una posición especial para el Máster Cinta Negra y los Cintas Negras para residir aparte a modo de traslado temporal y en este caso ellos tendrían como jefe inmediato al Director del Despliegue.

La infraestructura recomendada para sitios que tienen una población mediana se muestra en la siguiente tabla. No es usual establecer una posición especial para que residan aparte el Máster Cinta Negra y los Cintas Negras. Sus jefes inmediatos serían sus propios jefes normales “operacionales”

**Tabla:** Infraestructura típica Seis Sigma para poblaciones de sitios medianos

Rol	Cantidad	Comentarios
Jefe del despliegue	1	Rol permanente
Patrocinadores de proyectos	Variable	Varía de acuerdo a la cantidad y los tipos de proyecto.
Master Cinta Negra	1 por 5 cintas negras	A tiempo completo. Por lo general están presentes solo en organizaciones con más de 500 empleados.
Cintas Negras	1 por 5 cintas verdes	Una mezcla de a tiempo completo y a tiempo parcial. Generalmente ejercen esta función dentro de su propia área de trabajo.
Cintas Verdes	1 por 30 empleados	A tiempo parcial. Para apoyar los proyectos de acuerdo a las necesidades.
Cintas Amarillas	Todos los empleados	A tiempo parcial. Para apoyar los proyectos de acuerdo a las necesidades.
Nota: Las cantidades referidas en esta tabla no son siempre las apropiadas para cada despliegue Seis Sigma y el número real puede ser diferente en cada caso.		

## Pequeñas - menos de 250 trabajadores en el sitio

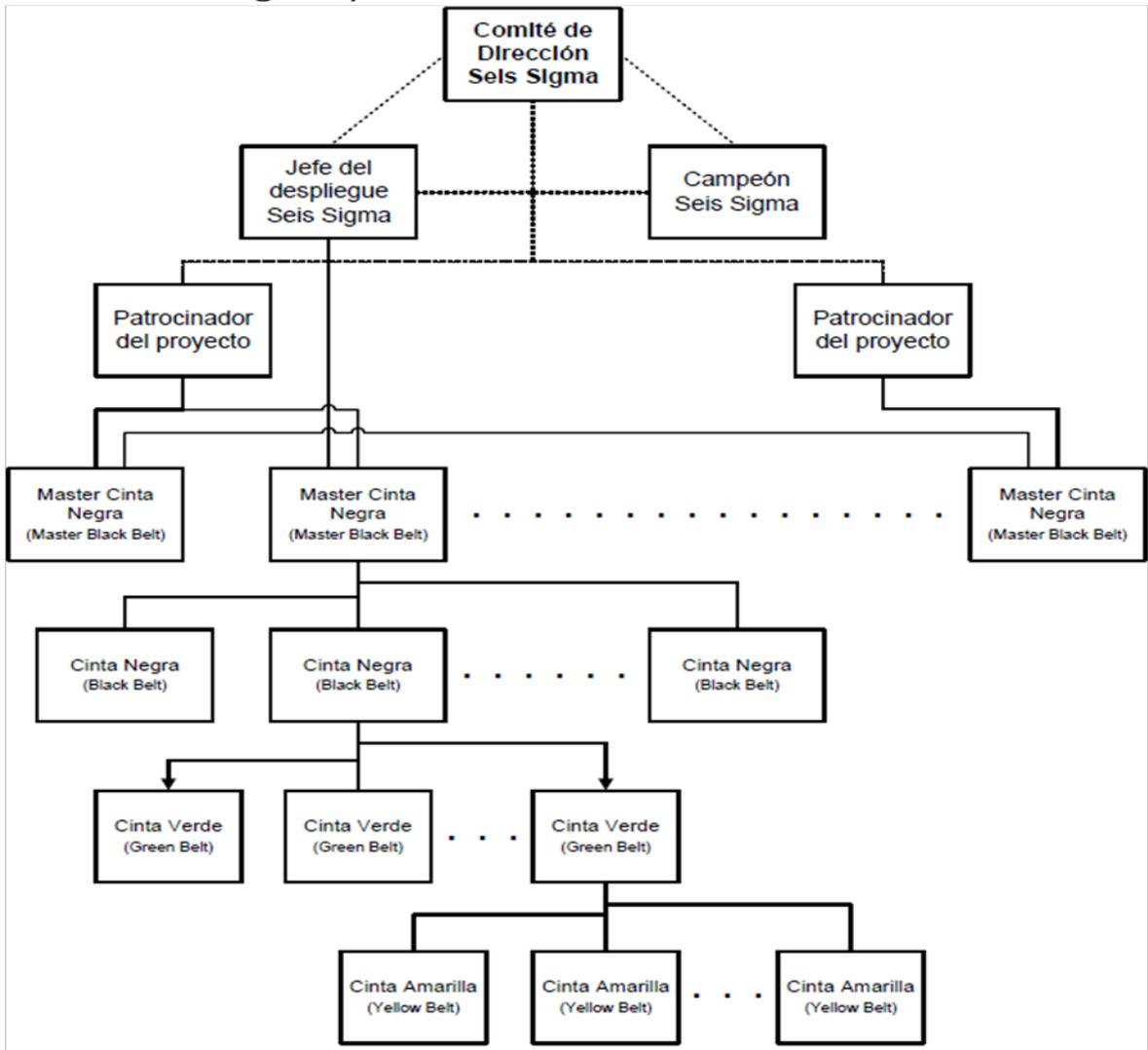
La infraestructura recomendada para sitios que tienen una población pequeña se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla:** Infraestructura típica Seis Sigma para poblaciones de sitios pequeños

Rol	Cantidad	Comentarios
Jefe del despliegue	0	A tiempo parcial
Patrocinadores de proyectos	Variable	Varía de acuerdo a la cantidad y los tipos de proyecto.
Master Cinta Negra	0	Generalmente no son empleados directos, en lugar de ello la organización usa recursos externos.
Cintas Negras	1 por 5 cintas verdes	A tiempo parcial. Generalmente ejercen esta función dentro de su propia área de trabajo.
Cintas Verdes	1 por 30 empleados	A tiempo parcial. Para apoyar los proyectos de acuerdo a las necesidades.
Cintas Amarillas	Todos los empleados	A tiempo parcial. Para apoyar los proyectos de acuerdo a las necesidades.
Nota: Las cantidades referidas en esta tabla no son siempre las apropiadas para cada despliegue Seis Sigma y el número real puede ser diferente en cada caso.		

La representación esquemática de roles Seis Sigma y su interrelación se muestra en la siguiente figura:

Figura : Roles Seis Sigma y su interrelación



Fuente: ISO 13053, 2011

## ACTA DEFINICION DEL PROYECTO

Programa Seis Sigma de CUVENPETROL.SA, Unidad de Negocios. Refinería de Cienfuegos.

### 1. Autorización para acometer el proyecto

Organización:	Campeón:	Dueño del proceso:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Denominación del proyecto:		Proyecto #:
<input type="text" value="Project"/>		<input type="text"/>
Enunciado del problema (Descripción del problema, y de la métrica usada para describirlo, nombre del proceso, y lugar dónde ocurre, período en el que ha ocurrido, el tamaño o su magnitud)		
<input style="height: 30px;" type="text"/>		
Objetivo del proyecto (Es la métrica Y que se pretende mejorar desde un valor de línea base hasta un valor meta en un período de tiempo dado)		
<input style="height: 30px;" type="text"/>		
Nivel Estimado del Defecto:	Meta Inicial:	Beneficios Estimados:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fecha aprobación:	Firma del Campeón:	Firma Dueño del Proceso:
<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
Fecha estimada de Completación:	Nombre Líder del Proyecto:	Nombre Analista Financiero:
<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>

### Equipo del Proyecto

Nombre y Apellidos	Role en el Proyecto	Comentarios	Teléfono

### Definición y Alcance del Proyecto

Métricas (unit de medida):

Características Críticas para la Satisfacción del cliente (CTQ, CTC, CTS):

Definición del Defecto (Incluido el número de oportunidades en que éste puede ocurrir):

Alcance del Proyecto (Proceso, límites del proceso /comienzo y terminación/, sitios/líneas, clientes afectados, restricciones):

### Metas y Beneficios

Niveles del Defecto/Metas:				
	Fecha	DPMO(LT)	Z-bench(ST)	Cpk
Línea Base	<input type="text" value=""/>	0	0.00	0.00
Meta	<input type="text" value=""/>	0	0.00	0.00
Meta desplazamiento	<input type="text" value=""/>	0	0.00	0.00

A continuación se muestran los pasos a seguir para el estudio R&R.

Procedimiento para el estudio largo (método de medias y rango).

No	PASOS
1	Seleccionar dos o más operadores para conducir el estudio sobre el instrumento de interés.
2	Seleccionar al azar de la producción un conjunto de 10 partes o piezas que serán medidas varias veces por cada operador.
3	Decidir el número de ensayos o veces que cada operador medirá la misma pieza.
4	Etiquetar cada parte y aleatorizar el orden en el cual las partes se dan a los operadores. Identificar la zona o punto en la parte donde la medición será tomada y el método o técnica que deberá aplicarse.
5	Obtener en orden aleatorio la primera medición (o ensayo) del operador A para todas las piezas seleccionadas.
6	Volver a aleatorizar las piezas y obtener la primera medición del operador B.
7	Continuar hasta que todos los operadores hayan realizado la primera medición sobre todas las piezas.
8	Repetir los tres pasos anteriores hasta completar el número de ensayos elegidos.
9	Seguir los pasos y el análisis estadístico de los datos.
10	Analizar los resultados y desarrollar un plan de acción a partir de los criterios de aceptación. Ver inciso a).

Fuente: (Elaboración propia)

- a) Analizar los resultados y desarrollar un plan de acción a partir de los criterios de aceptación. Ver tablas criterios de aceptación y plan de acción para los resultados no aceptables.

**Tabla:** Criterios de aceptación

% Tolerancia	Criterio Aceptación
$\%R\&R < 10\%$	Excelente proceso
$10 < \%R\&R < 20$	Bueno aceptable
$20 < \%R\&R < 30$	Marginalmente aceptable
$\%R\&R > 30$	Inaceptable y debe ser corregido

## ¿Qué hacer si los resultados no son aceptables?

Si los resultados no son aceptables, es necesario la fuente ó fuentes de estos resultados. Cuestionarse si estos resultados son debido principalmente a la repetibilidad (equipo) o reproducibilidad (Operario), o ambos factores. Conociendo la respuesta a estas preguntas pueden seguirse algunos planes de acción:

**Tabla:** Plan de acción para resultados no aceptables del sistema de medición

No	Plan de acción
1	Si la fuente de variación es debido a la repetibilidad se deben investigar las posibles causas, alguna de las cuales pudieran ser: (suciedad del instrumento, componentes gastados, variabilidad dentro del mensurado, instrumento mal diseñado, funcionamiento inadecuado, método inadecuado y condiciones ambientales). Otra posibilidad para mejorar la precisión es hacer más de una medición sobre la misma pieza y reportar el promedio de estas mediciones como la magnitud de la misma.
2	Si la fuente de variación es debido a la reproducibilidad, entonces los esfuerzos se deben enfocar a estandarizar los procedimientos de medición y entrenar a los operadores para que se apeguen a ellos. Esto se debe a que por lo general se encontrará que los operadores usan métodos distintos, carecen de entrenamiento en el uso del equipo o se tiene un diseño inapropiado del instrumento que permite evaluaciones subjetivas.
3	Con independencia de la fuente dominante, debemos cuestionar si las especificaciones son realistas y averiguar si el consumidor en realidad requiere especificaciones tan estrechas.
4	Si las causas de variación son debidas a calibración incorrecta ó variación dentro de la muestra, si es el caso, entonces es necesario saber si los resultados no satisfactorios son debido a estos componentes, por lo que sería necesario diseñar estudios especiales para aislar esas causas.
5	Si a pesar de la mala calidad de las mediciones la capacidad del proceso de producción es adecuada ( $C_p > 1.33$ y centrado en el valor nominal), entonces el desempeño inadecuado del sistema de medición no necesariamente es problema critico.
6	Si el proceso de producción es incapaz ( $C_p < 1$ ), los resultados inaceptables del estudio R&R pueden ser la diferencia entre reportar o no el proceso coma capaz.

## Anexo 2.4 Matriz de prioridad

A continuación se muestran los pasos para desarrollar la matriz de prioridad:

1. Seleccionar los objetivos.

Todos los miembros del equipo deben estar de acuerdo con los objetivos.

2. Crear la lista de criterios.

La lista de criterios puede ser creado utilizando herramientas tales como tormentas de ideas, o de documentos antiguos, etc.

3. Crear una escala de criterios.

Seleccionar los niveles de importancias por ejemplo:

Muy importante	9
Importante	3
Criterio estándar	1
Sin importancia	0

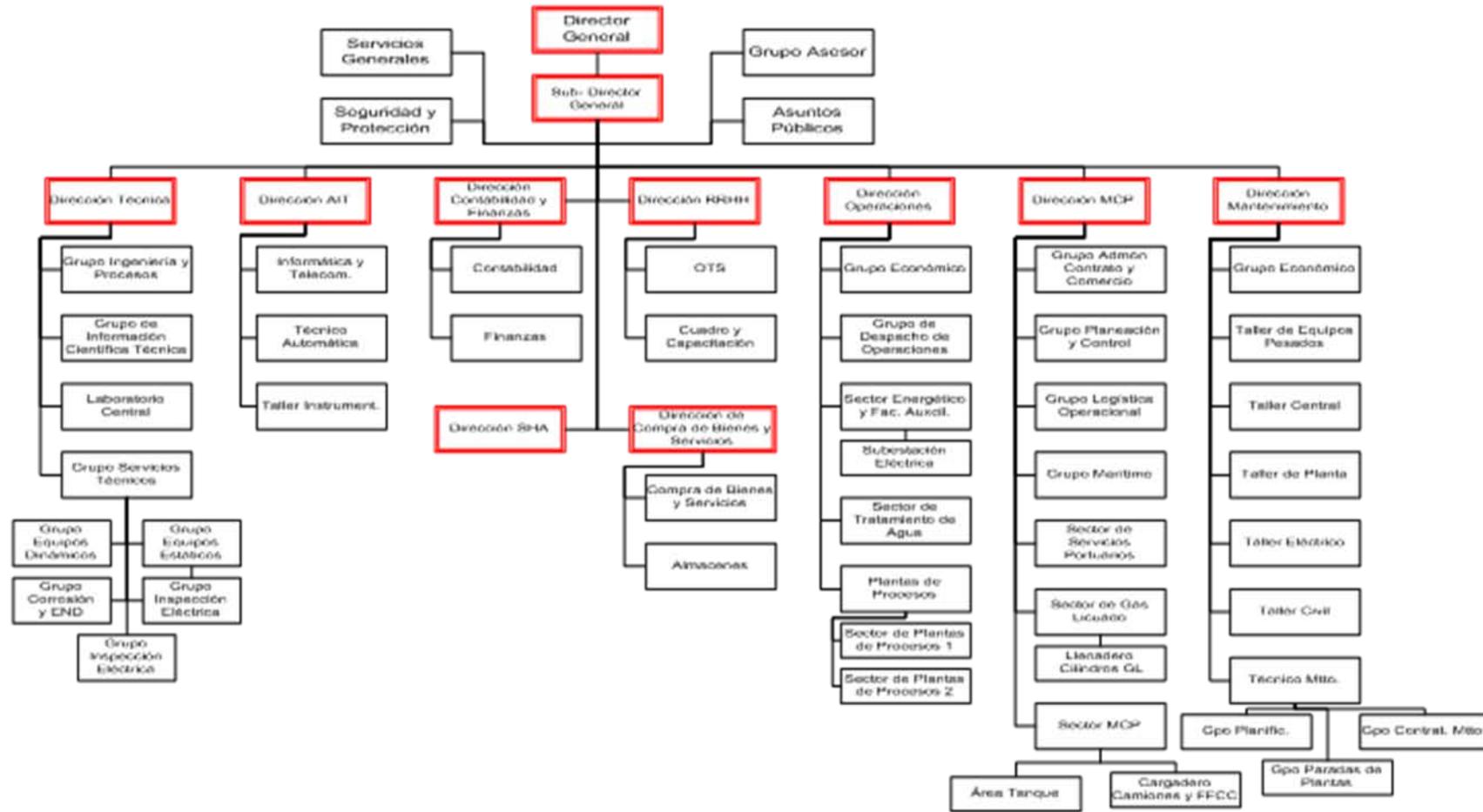
4. Usar los resultados

En orden de encontrar cuales son las causas/soluciones más importantes, se suman las puntuaciones de cada criterio y el total indica cuales son causas/soluciones más importantes.

Ejemplo:

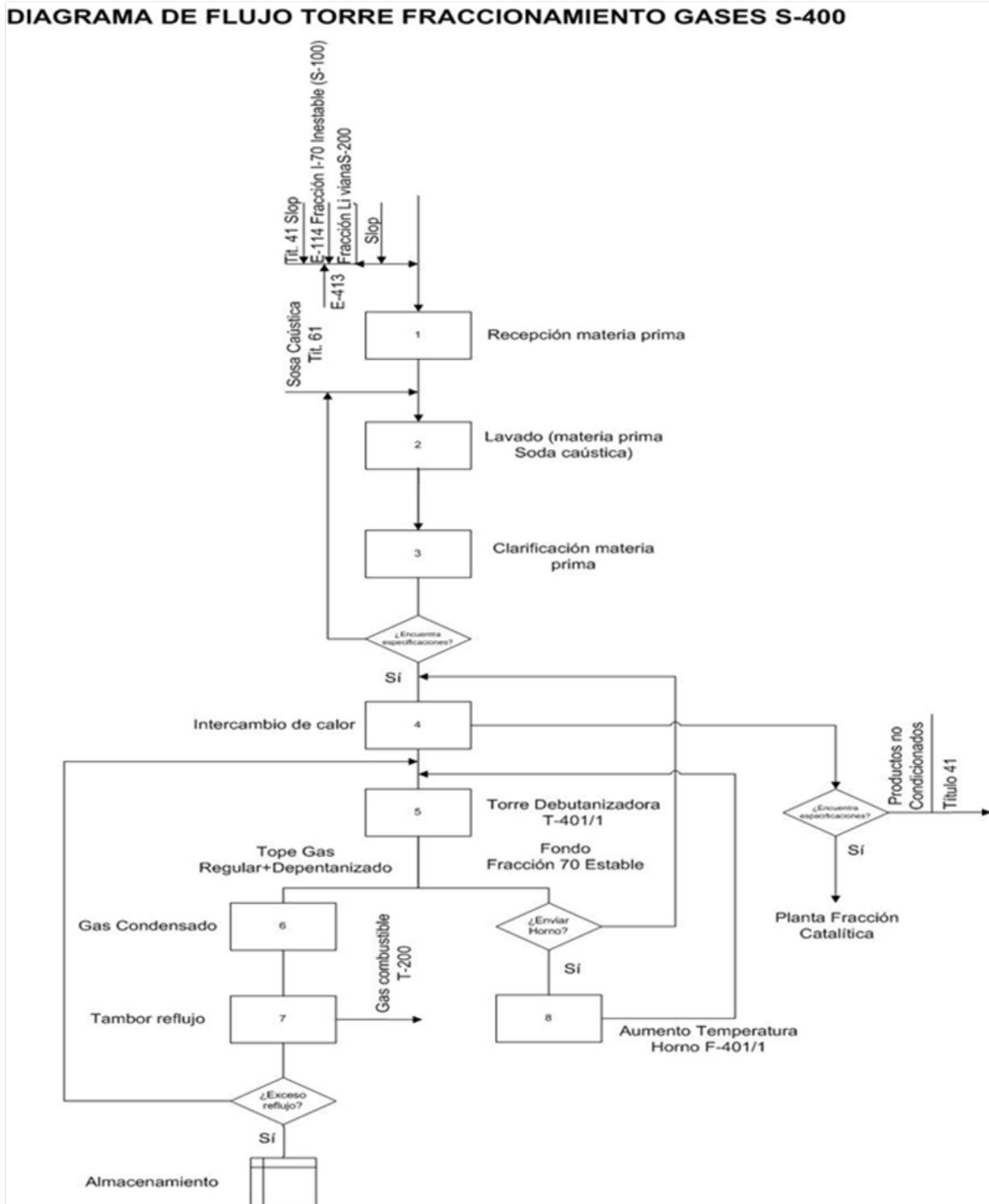
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Total	Rank
Causa A						
Causa B						
Causa C						
Causa D						

## Anexo 3.1 Organigrama de la Empresa



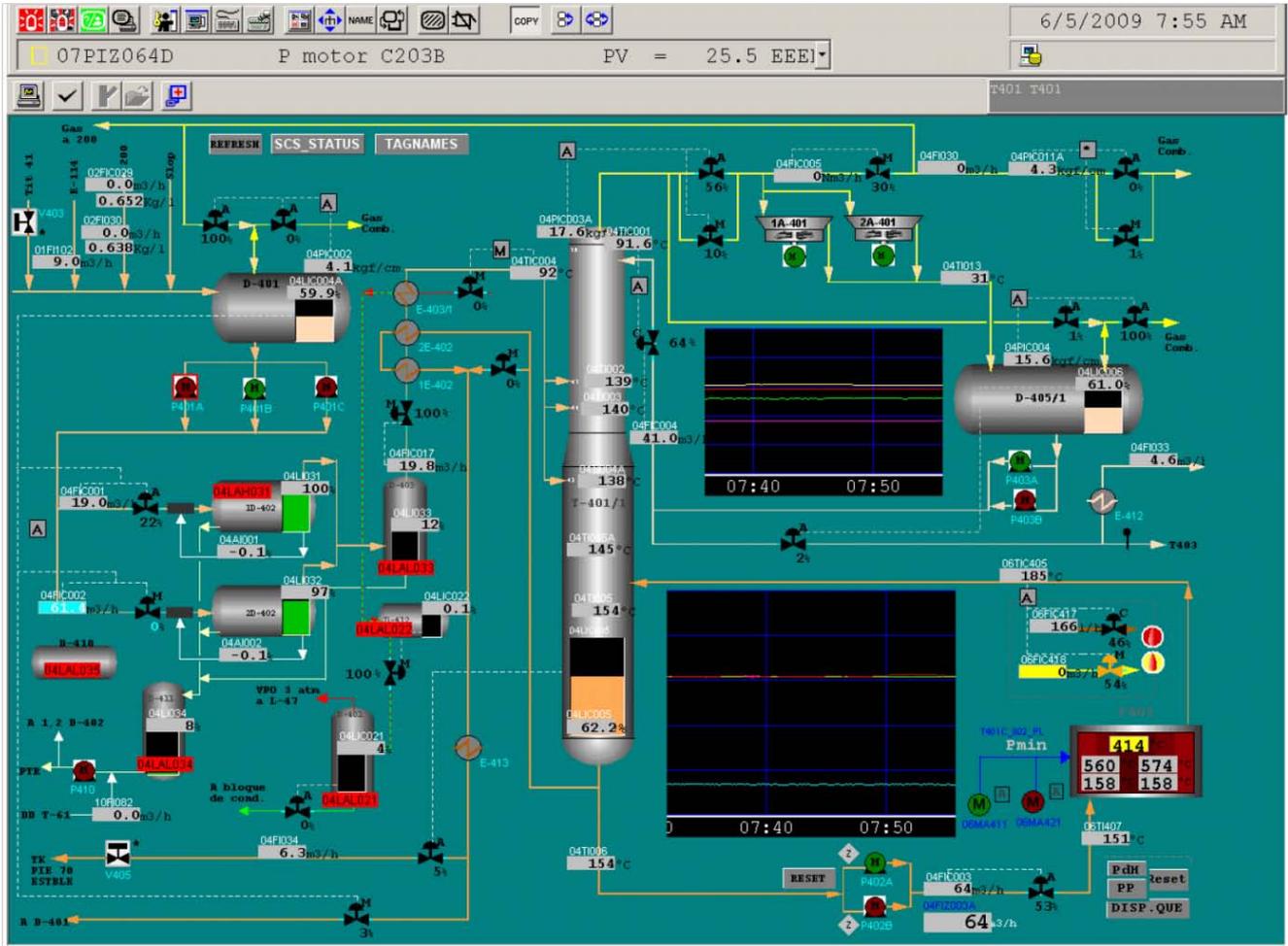
**Fuente:** Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”

Anexo 3.2 Diagrama de flujo de la planta de Fraccionamiento de los Gases (sección 400)



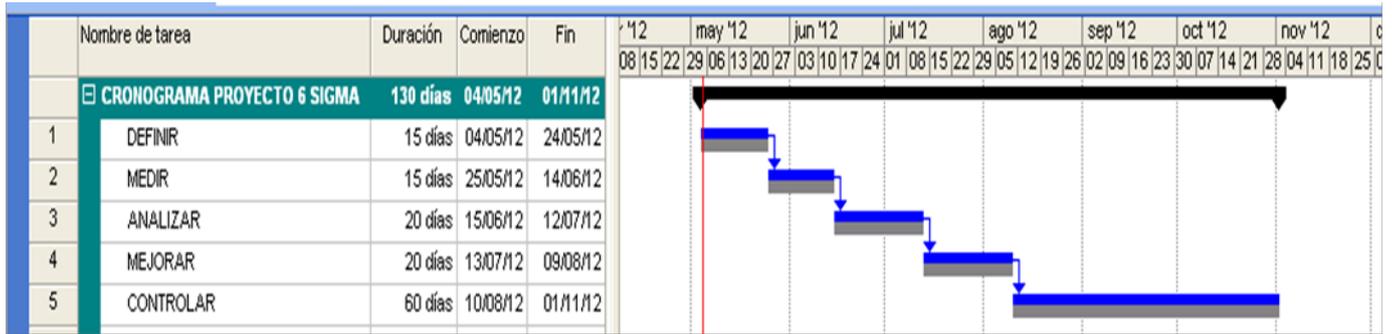
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3.3 Esquema de la planta de Fraccionamiento de los Gases (sección 400)



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3.4 Cronograma del proyecto Seis Sigma



**Fuente:** Elaboración propia

## Anexo 3.5 Resultado de los operadores

**Tabla:** Resultados operadores

Analista	Prueba	Muestras									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0.91	0.93	0.59	0.43	0.50	0.57	0.64	0.61	0.62	0.67
A	2	0.67	0.54	0.67	0.91	0.60	0.62	0.66	0.88	0.51	0.55
B	1	0.66	0.61	0.61	0.57	0.50	0.87	0.69	0.53	0.91	0.59
B	2	0.62	0.58	0.69	0.83	0.57	0.46	0.63	0.49	0.55	0.89
C	1	0.84	0.53	0.87	0.72	0.57	0.65	0.49	0.66	0.64	0.59
C	2	0.39	0.72	0.86	0.61	0.52	0.65	0.63	0.51	0.57	0.83
D	1	0.45	0.82	0.89	0.55	0.58	0.66	0.54	0.72	0.63	0.61
D	2	0.42	0.76	0.68	0.61	0.67	0.61	0.84	0.65	0.89	0.55

**Fuente:** Elaboración propia

## Anexo 3.6 Lista de chequeo para la aplicación del diseño de experimentos

Lista de Chequeo diseño experimentos		Respuesta
<b>Caracterizar los factores</b>		
1)	¿Cuál es la cantidad de factores primarios seleccionados?	7
2)	En caso de que haya factores primarios cualitativos. ¿Cuál es el mayor número de niveles que poseen?	2
3)	¿A cuántos factores molestos se le ha asignado la estrategia de bloque o?	0
4)	¿Hay algún factor molesto que se haya seleccionado la estrategia de ANCOVA? <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	
5)	¿Se poseen factores primarios con características especiales? <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí, con los niveles similares de un factor para distintos niveles de otro factor (Diseños anidados). <input type="checkbox"/> Sí, con niveles no independientes (Diseño de mezcla). <input type="checkbox"/> Sí, otro.	
6)	Básicamente, ¿Qué tipo de región forman los factores primarios? <input checked="" type="checkbox"/> Cúbica <input type="checkbox"/> Esférica	
<b>Elegir el tipo de diseño</b>		
7)	¿Los experimentos permiten realizarse de forma secuencial? <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
8)	¿Cuál es el objetivo fundamental de esta etapa? <input type="checkbox"/> Prueba de comparación <input type="checkbox"/> Tamizado <input checked="" type="checkbox"/> <b>Caracterización</b> <input type="checkbox"/> Optimización <input type="checkbox"/> Robustez	
9)	¿Cuál es el número máximo de experimentos previsto?	52
10)	Basado en los conocimientos sobre los efectos de los factores. ¿Qué grado de complejidad entre los factores y la respuesta se asume? <input type="checkbox"/> Solo efectos principales <input checked="" type="checkbox"/> <b>Efectos principales e interacciones</b> <input type="checkbox"/> Efectos de segundo orden <input type="checkbox"/> Otros:	
<b>Seleccionar el diseño experimental</b>		
11)	¿Se planea realizar puntos centrales? <input checked="" type="checkbox"/> <b>Sí, cuántos: 4</b> <input type="checkbox"/> No, porque:	
12)	¿Es posible replicar el experimento? <input checked="" type="checkbox"/> <b>Sí, cuántas: 3</b> <input type="checkbox"/> No, porque:	
13)	¿Qué resolución mínima se requiere para realizar el experimento?	

## Lista de Chequeo diseño experimentos

- Resolución completa
- Resolución V o más
- Resolución IV**
- Resolución III
- Resolución menor a III

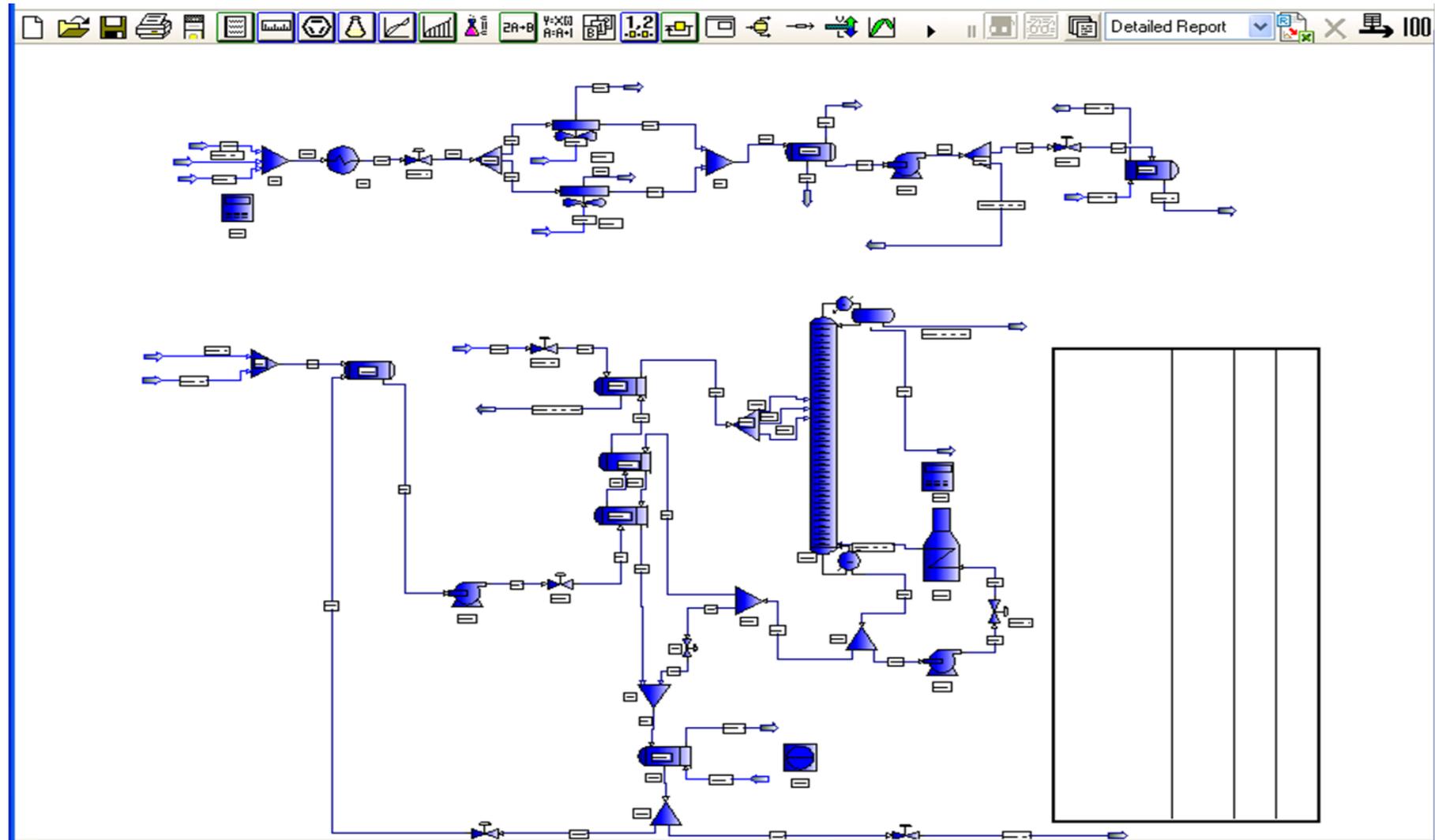
14) ¿Es posible realizar el experimento en orden aleatorio?

- Sí**
- No, porque hay factores muy costosos o difíciles de modificar.
- No, otra razón.

15) Basados en los conocimientos sobre los factores. ¿Es indistinta la ubicación de los factores en cada columna del diseño?

- Sí**
- No, porque:

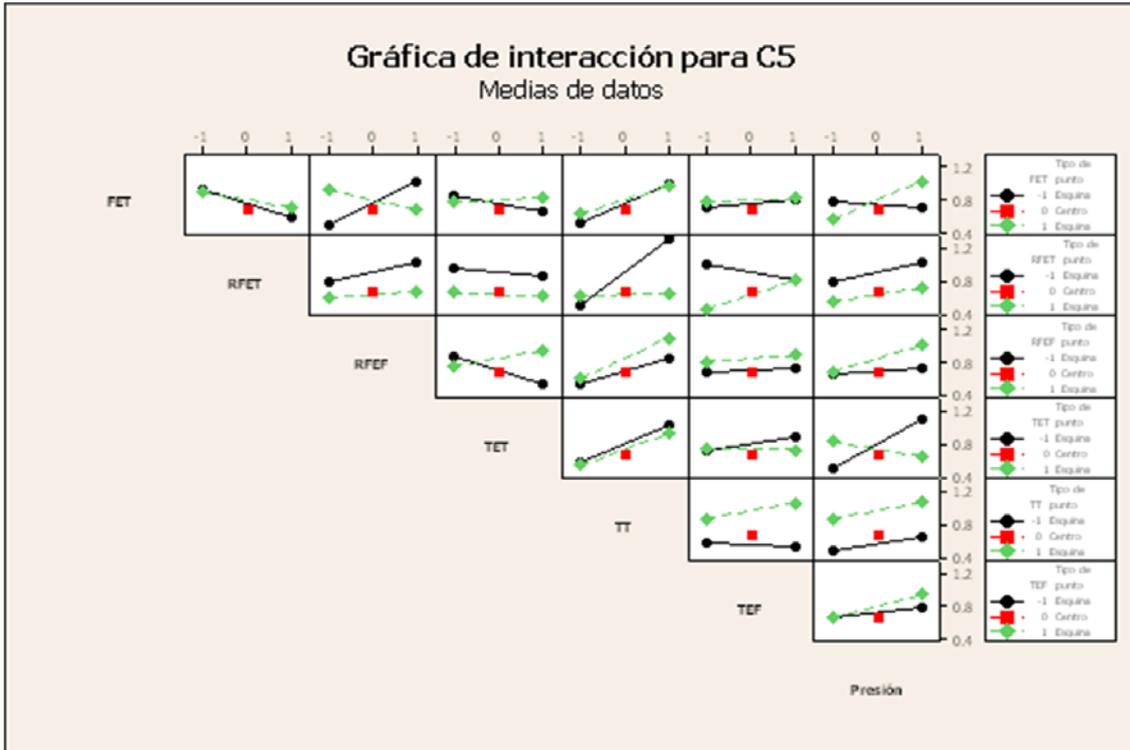
## Anexo 3.7 Simulación Torre Fraccionamiento de los Gases Sección 400



Fuente: Elaboración propia

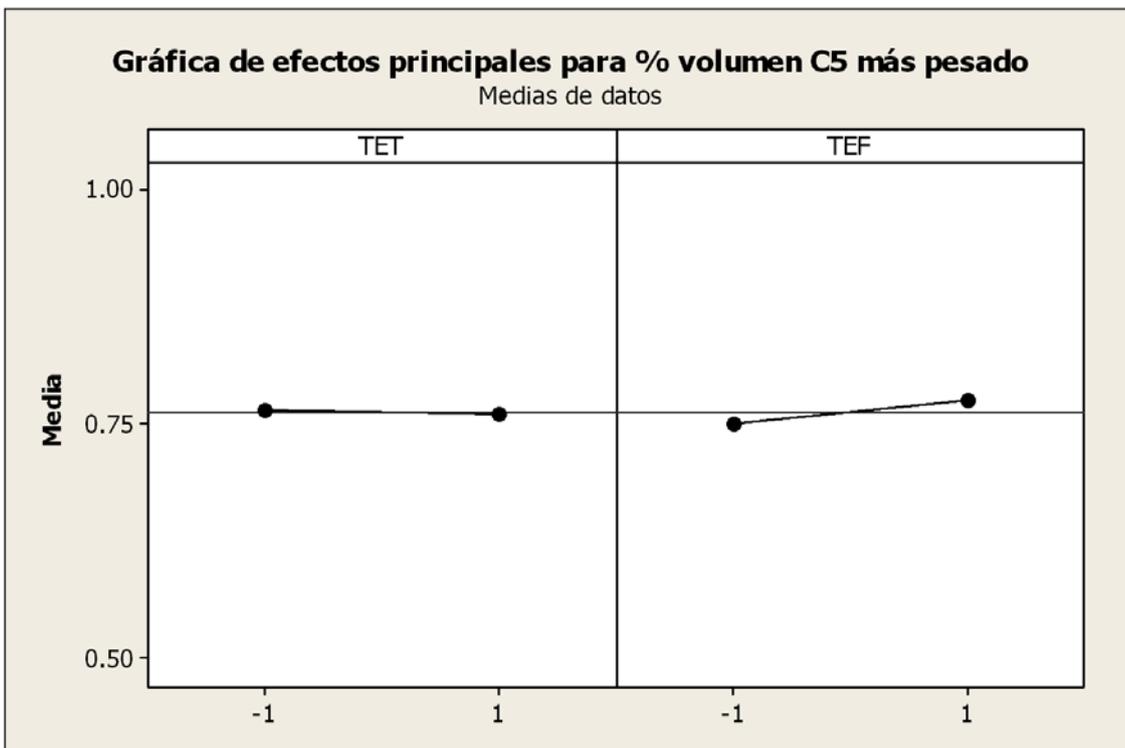
Anexo 3.8 Gráficos de efectos de los factores

Figura: Gráfica de efectos de interacción



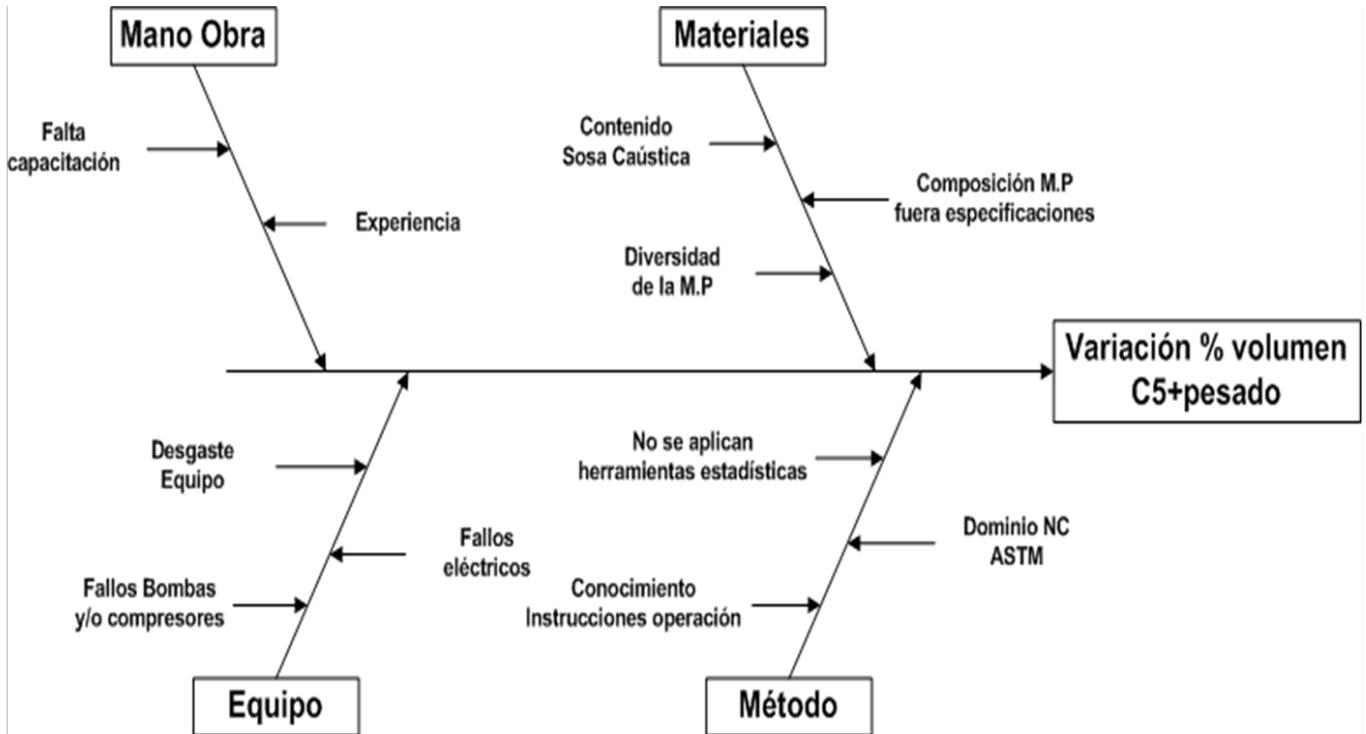
Fuente: Elaboración propia

Figura : Gráfica de efectos principales



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3.9 Diagrama causa-efecto



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3.10 Planes de acción

Tabla: Plan de acción

Oportunidad de mejora: Documentar e implementar en el Manual operaciones las variables de control analizados en el DOE.						
Meta: Implementación manual operaciones						
Responsables: Director Técnico, Jefe de producción						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Actualizar Manual Operaciones	Dtor. Técnico	Actualización mediante los expertos seleccionados	Para evitar ocurrencia de resultados erróneos	Dirección operaciones	Una vez	
Instrucción Operaciones	Jefe producción	Entrenamiento a los operadores	Para evitar ocurrencia de resultados erróneos.	Politécnico	una vez año	
Implementar Operaciones	Jefe producción	Aplicar pruebas piloto	Para comprobar los resultados teóricos con los resultados prácticos	Control de operaciones	Forma permanente.	

Tabla: Plan de acción

Oportunidad de mejora: Capacitación y certificación a los especialistas y/o operadores en la aplicación metodología Seis Sigma.						
Meta: Capacitación y creación equipos Seis Sigma						
Responsables: Director Técnico, Director de Capacitación						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Gestionar Capacitación	Dtor. Técnico	Curso certificado por el comité Seis Sigma	Para capacitar los especialistas en la utilización de la metodología Seis Sigma.	Internacional	Forma permanente	
Gestionar entrenamiento acorde a la tecnología adquirida.	Dtor de Capacitación	Identificando la necesidad de entrenamiento acorde a la tecnología y al desarrollo científico técnico	Para evitar resultados erróneos	En el extranjero o dentro del país	Forma permanente	

Tabla: Plan de acción

Oportunidad de mejora: Actualizar los datos en la web del laboratorio						
Meta: Implementar gráficos de control y de capacidad del proceso.						
Responsables: Director Técnico, Director AIT						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Aplicar herramientas estadísticas para el cálculo de capacidad y estabilidad	Dtor. Técnico	Mediante software estadísticos	Para monitorear el proceso y poder tomar acciones correctivas.	Laboratorio	Forma permanente	
Implementar los gráficos de control y de capacidad del proceso en la web del laboratorio	Dtor. AIT	Mediante software con plataforma web.	Para mostrarlos a los especialistas y conozcan el estado real del proceso y puedan tomar acciones correctivas	AIT	Una vez	

Tabla: Plan de acción

Oportunidad de mejora: Documentar e implementar en el plan de muestreo del laboratorio						
Meta: Implementar plan de muestreo						
Responsables: Director Técnico, Jefe producción, Especialistas proceso						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Aplicar herramientas estadísticas para el plan de muestreo en el análisis de la fuente de variación.	Dtor. Técnico	Mediante los métodos estadísticos	Para evitar decisiones erróneas y poder conocer la naturaleza de los datos	Laboratorio	Forma permanente	
Documentar los resultados	Especialista de proceso	Mediante hojas de registros incluidos en los procedimientos de planes de muestreo	Para registrar el estado real del proceso y poder analizar las fuentes de variación.	Laboratorio	Forma permanente	
Implementar el plan de muestreo.	Jefe producción	Mediante el plan de muestreo actualizado en el procedimiento mediante herramientas estadísticas.	Para comprobar los resultados teóricos con los resultados prácticos	Laboratorio	Forma permanente.	

Tabla: Plan de acción

Oportunidad de mejora: Auditorías internas						
Meta: Auditar el proceso.						
Responsables: Especialistas de Calidad						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Auditar el proceso	Especialista calidad	Mediante el procedimiento RF-GG-P-02-04	Evaluar la eficiencia y la eficacia	Proceso de GLP, Laboratorio	2 veces año según programa anual de auditoria	