

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**ANÁLISIS Y MEJORA DE PROCESOS EN UNA EMPRESA DE
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL Y ELECTRIFICACION
APLICANDO LA METODOLOGÍA DMAIC**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

Guillermo De Jesús Alcántara Lozano

ASESOR: Eduardo Carbajal López

Lima, junio de 2017

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como propósito reducir la variabilidad en el proceso de desarrollo de ingeniería dentro de una empresa de electrificación y automatización industrial aplicando la metodología DMAIC.

En el primer capítulo, se presenta el desarrollo del marco teórico en el cual se describe la metodología DMAIC y las herramientas asociadas a cada una de las etapas, así como también, se presentan dos casos de estudios en condiciones similares tanto en proceso como en metodología aplicada.

En el segundo capítulo, se realiza una descripción de la compañía en términos de su organización, perfil organizacional y principios empresariales, su recurso humano y las unidades de negocios correspondientes. Seguidamente, se realiza un diagnóstico en donde, utilizando los objetivos estratégicos de la compañía como criterios de evaluación, se elaboró la matriz de despliegue de funciones de calidad mediante la cual se determinó que el macroproceso de gestión de la realización del producto es crítico, finalmente, a través de una matriz de priorización, se elige el proceso de ingeniería como objeto de estudio. Asimismo, se analiza la gestión de indicadores del proceso en cuestión con la finalidad de identificar los principales problemas; se analizan las causas raíces, las mismas que serán priorizadas para que finalmente, se planteen las contramedidas y se seleccionen las más adecuadas de acuerdo al resultado de la matriz de evaluación.

En el tercer capítulo, se presenta el desarrollo de la metodología DMAIC. En la etapa definir, se detalla el proceso así como también se identifica e interpreta la voz del cliente en busca de variables medibles en el proceso. En la etapa medir se procede a recopilar los datos y realizar el análisis estadístico de cada una de las variables, seguidamente, se realiza una medición de la capacidad del proceso actual. En la etapa análisis, se identifican y analizan las causas raíces de los problemas principales que son: demora en la entrega, alta cantidad de revisiones y baja calificación del documento. Seguidamente, se procede a desarrollar el análisis modal de fallas y efectos con la finalidad de priorizar las causas raíces más críticas. En la etapa mejorar, se diseñan las propuestas de mejora en base a los resultados obtenidos en las etapas previas. De acuerdo con ello, se optimiza el diseño de experimento para determinar los niveles óptimos de los factores críticos que permiten reducir la variación del tiempo de entrega; asimismo, se propone la implementación de herramientas de mejora como Poka Yoke, estandarización del proceso de ingeniería y un plan de capacitación. En la etapa controlar, se propone el uso de una matriz de seguimiento por tipo de documento a fin de monitorear el cumplimiento del objetivo de entrega a tiempo.

Finalmente, se realiza la evaluación técnica y económica de las propuestas de mejoras. Con las mejoras planteadas, se logra reducir la variación del tiempo de entrega de 8.427 a 2.4408 días (reducción del 71%); asimismo, con la automatización de documentos, se permite reducir el tiempo de actualización de documentos de 168 horas anuales a 42 horas anuales (reducción del 75%). Al cuantificar los ahorros, en un escenario pesimista se logra un ahorro anual de S/.219,156 mientras que en un escenario optimista, se logra un ahorro anual de S/.459,303. Por último, se determina la viabilidad del proyecto para un escenario pesimista con un valor actual neto de S/.157,166 y una tasa interna de retorno de 39%; y de igual forma, para un escenario optimista con un valor actual neto de S/.386,685 y una tasa interna de retorno de 53%.



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial
ALUMNO : **GUILLERMO DE JESÚS ALCÁNTARA LOZANO**
CÓDIGO : 2011.1006.12
PROPUESTO POR : Ing. Eduardo Carbajal López
ASESOR : Ing. Eduardo Carbajal López
TEMA : ANÁLISIS Y MEJORA DE PROCESOS EN UNA
EMPRESA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL Y
ELECTRIFICACIÓN APLICANDO LA METODOLOGÍA
DMAIC.
N° TEMA : # 1357
FECHA : San Miguel, 24 de enero de 2016



JUSTIFICACIÓN:

La utilidad de automatización industrial y electrificación se enfoca principalmente en el sector minero. A lo largo de la historia, la minería ha sido una actividad fundamental para el desarrollo de la economía peruana y hoy por hoy, nuestro país ha logrado establecerse como uno de los principales productores a nivel mundial de plata, cobre, zinc, estaño, plomo y oro.

El sector minería e hidrocarburos creció 15.58%, y con este resultado acumuló 20 meses de crecimiento continuo, en donde, al desplegar esta cifra, se observa que el subsector minería aumentó en 21.56% mientras que el subsector hidrocarburos disminuyó en 10.81%¹, de esta forma se puede concluir que el sector minero se encuentra en un momento oportuno para la inversión.

La inversión destinada al sector minero ha mostrado una tendencia creciente durante los últimos tres quinquenios. De acuerdo con ello, la inversión minera pasó de US\$ 1,146 millones en el 2001 hasta US\$ 7,525 millones en el 2015², lo cual representa un incremento de 400%, motivado principalmente por la culminación de la inversión de importantes proyectos mineros. No obstante, si se considera la tendencia en el último quinquenio, existen dos tendencias notorias.

¹ Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016, "Informe Técnico N°12 – Producción Nacional – Octubre 2016". Lima, pp. 4

² Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2016, "Reporte de Análisis económico sectorial – Sector minería" - Año 5 - N°6. Lima, pp. 8-9



Entre el 2011 y 2013 la inversión en minería fluctuó positivamente en un 37% mientras que, para los años 2014 y el 2015, la inversión minera se reduce en 10.6% y 15.2%, respectivamente. Aparentemente, este último resultado demuestra una actitud conservadora por parte de los inversionistas a proyectos nuevos, sin embargo en lo que respecta a los proyectos en curso tales como Las Bambas, Shahuindo, Ampliación de Cerro Verde, Toromocho, entre otros, la inversión continuó su curso.

Considerando el contexto descrito previamente, las empresas mineras deben mantener la calidad y la excelencia en sus operaciones con la finalidad de garantizar un crecimiento rentable en la economía dado que dicho sector es la columna vertebral de la economía peruana y del desarrollo sostenible en el Perú. Es por ello, que Raúl Benavides Ganoza, Presidente Ejecutivo de la Compañía de Minas Buenaventura, intenta resaltar que uno de los problemas que tiene el Perú es que no se cuenta con servicios de terceros sofisticados³.

La empresa en estudio se dedica a la comercialización de equipos, prestación de servicios y desarrollo de soluciones integrales de automatización industrial y electrificación diseñados para optimizar la productividad de los procesos y cuenta con una trayectoria en el mercado nacional desde hace más de 60 años. El giro de negocio se rige directamente con los sectores previamente mencionados y tiene presencia en los principales proyectos de minería entre ellos, los más resaltantes: Proyecto Las Bambas, Ampliación de Cerro Verde, Toromocho entre otros. Asimismo, la empresa debe enfocarse en mejorar sus procesos con la finalidad de garantizar un excelente performance durante la realización de un producto o prestación de un servicio.

El presente estudio está enfocado en la división de Process Automation en la unidad de negocio de Process Industries, específicamente en el grupo de producto 4101 que corresponde a Mineral Processing, Aluminium and Cement la cual se encarga de la ejecución de proyectos relacionados a electrificación y automatización de procesos; generalmente involucra el suministro y puesta en marcha de salas eléctricas equipadas. Dicha unidad ha identificado sobrecostos en los últimos años (2015 y 2016) por un valor de US\$ 4, 290, 000 de los cuales US\$ 1, 229, 473 (aproximadamente 30%) corresponden a sobrecostos provenientes del proceso de fabricación netamente debido a reprocesos y falta de controles operacionales durante el proceso para asegurar la calidad.⁴

Por tal motivo, se desarrollará el presente estudio el cual trata sobre el análisis y mejora del proceso de fabricación en una empresa de automatización industrial y electrificación aplicando la metodología DMAIC.

OBJETIVO GENERAL:

Analizar y mejorar el proceso de fabricación de una empresa de automatización industrial y electrificación empleando la metodología DMAIC.

³ Diario Gestión, 2016, "Raúl Benavides: Se requiere de normas más sencillas y fácilmente auditables para ser competitivos". Lima.

⁴ La compañía, 2016, "Reporte PAPI_OPQDec 2016" extraído de la herramienta Opex Analyzer Tool. Lima.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer los conceptos y herramientas de la metodología DMAIC que se utilizarán en el análisis y mejora del proceso en estudio.
- Describir la empresa en la cual se desarrollará el presente estudio, así como los procesos asociados a la unidad de negocio específica a analizar.
- Analizar la situación actual de la empresa y de acuerdo a ello, diagnosticar los procesos seleccionados previamente.
- Plantear las propuestas de mejora correspondientes con la finalidad de solucionar los problemas identificados.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de las propuestas de mejora recomendadas.

PUNTOS A TRATAR:

a. Marco teórico

Se explicarán los conceptos teóricos y las herramientas referentes a la metodología DMAIC que serán necesarias de utilizar durante el diagnóstico, análisis y propuestas de mejora.

b. Descripción y diagnóstico de la empresa

Se realizará una descripción de la empresa, su perfil organizacional y principios empresariales, su recurso humano y sus unidades de negocio. Además, en este punto, se analizará la problemática de la empresa con la finalidad de seleccionar el o los procesos críticos que posteriormente serán el foco de aplicación de la metodología DMAIC.

c. Aplicación de la metodología DMAIC

Se aplicará la metodología DMAIC a los procesos críticos identificados previamente durante el análisis. Inicialmente, en la etapa de definición se describirá el proceso seleccionado, se identificará la problemática y los requerimientos del cliente. Luego, en la etapa de medición, se analizarán las variables del proceso relacionadas con los problemas identificados previamente. Posteriormente, en la etapa de análisis, se identificarán las causas raíces que originan los problemas encontrados. Finalmente, se plantearán las contramedidas necesarias para solucionar los problemas e implementar los controles respectivos.

d. Evaluación técnica y económica de las propuestas de mejora

Se realizará la evaluación técnica y económica de la implementación de las propuestas de mejora.

e. Conclusiones y recomendaciones.

Máximo: 100 páginas



ASESOR



DEDICATORIA



A Dios, por darme la fuerza y persistencia necesaria para alcanzar mis objetivos en la vida y ser luz en mi camino.

A mis padres, William y Marile, por su amor infinito y apoyo constante en todo momento. A mi hermana, Gabriela, por estar siempre a mi lado y su cariño incondicional. A mis abuelitos Guillermo, Gloria, Juvenal y Edith, por ser parte fundamental en mi vida y sus valiosas enseñanzas.

A mi asesor, Ing. Eduardo Carbajal López, por su valioso tiempo dedicado al desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	1
1.1. Proceso.....	1
1.2. Mejora de procesos.....	2
1.3. Calidad en los procesos.....	4
1.3.1. Calidad.....	4
1.3.2. Calidad en los procesos.....	4
1.3.3. Mejora continua de la calidad.....	5
1.3.4. Costos de calidad y de no calidad.....	6
1.4. Six Sigma	7
1.5. Metodología DMAIC.....	9
1.5.1. Definir.....	9
1.5.2. Medir.....	10
1.5.3. Analizar.....	11
1.5.4. Mejorar.....	12
1.5.5. Controlar.....	12
1.6. Herramientas de calidad a utilizar	13
1.6.1. Herramientas en Etapa Definir.....	13
1.6.1.1. Mapeo de Procesos.....	13
1.6.1.2. Diagrama SIPOC.....	14
1.6.1.3. Voz del cliente (VOC).....	15
1.6.2. Herramientas en Etapa Medir.....	17
1.6.2.1. Capacidad del proceso.....	17
1.6.2.2. Transformación Box-Cox	18
1.6.3. Herramientas en Etapa Analizar.....	19
1.6.3.1. Lluvia de ideas.....	19
1.6.3.2. Diagrama de Pareto.....	20
1.6.3.3. Diagrama Ishikawa.....	21
1.6.3.4. Análisis Modal Falla Efecto (AMFE).....	22
1.6.4. Herramientas en Etapa Mejorar.....	22
1.6.4.1. Diseño de Experimentos (DOE).....	22

1.6.4.2.	Poka Yoke	24
1.6.5.	Herramientas en Etapa Controlar	24
1.6.5.1.	Cartas de control	24
1.7.	Estudio de casos.....	26
1.7.1.	Caso 1: Reduction in defects rate using DMAIC approach	26
1.7.2.	Caso 2: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach.....	31
CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA		36
2.1.	Descripción de la empresa.....	36
2.1.1.	La organización	36
2.1.2.	Perfil organizacional y principios empresariales	37
2.1.3.	Recurso humano.....	37
2.1.4.	Unidad de negocio.....	38
2.2.	Diagnóstico de la empresa.....	39
2.2.1.	Mapeo y selección de procesos.....	39
2.2.2.	Gestión de indicadores	47
2.2.3.	Identificación de problemas.....	51
2.2.4.	Priorización de problemas.....	52
2.2.5.	Análisis de causas.....	53
2.2.6.	Planteamiento y selección de contramedida.....	56
CAPÍTULO 3 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC		58
3.1.	Definir.....	58
3.1.1.	Diagrama SIPOC del proceso	58
3.1.2.	Voz del cliente.....	59
3.2.	Medir.....	61
3.2.1.	Selección de variables críticas.....	61
3.2.2.	Pruebas de ajuste de variables	63
3.2.3.	Gráficas de control para las variables seleccionadas	67
3.2.4.	Análisis de capacidad del proceso	68
3.3.	Analizar.....	71
3.3.1.	Diagrama Causa - Efecto.....	72
3.3.2.	Análisis Modal de Falla Efecto (AMFE)	74
3.4.	Mejorar	74
3.4.1.	Diseño de Experimentos.....	75

3.4.2. Estandarización de procesos	82
3.4.2.1. Proceso mejorado de desarrollo de ingeniería	82
3.4.3. Método Poka Yoke	83
3.4.3.1. Formato estándar para Dibujos.....	83
3.4.3.2. Checklist de transferencia.....	84
3.4.4. Plan de Capacitación	85
3.5. CONTROLAR	85
3.1.1. Control y seguimiento de indicadores	86
CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA ...	87
4.1. Evaluación técnica de las propuestas de mejora.....	87
4.1.1. Costos de propuestas de mejora.....	87
4.1.2. Proyección de ahorros estimados.....	90
4.2. Evaluación económica de las propuestas de mejora.....	93
4.2.1. Evaluación económica.....	93
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. Conclusiones	95
5.2. Recomendaciones	97
BIBLIOGRAFÍA	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Transformación de VOC a CTC	17
Tabla 2: Lista de problemas en el proceso	27
Tabla 3: La voz del cliente	28
Tabla 4: Valores iniciales de los factores críticos	29
Tabla 5: resultado del proceso con diferentes parámetros de factores críticos ...	29
Tabla 6: Lista de defectos encontrados	32
Tabla 7: Causas raíces del problema	33
Tabla 8: Propuestas de solución	34
Tabla 9: Descripción de macroprocesos	40
Tabla 10: Matriz de selección de línea de producto	41
Tabla 11: Matriz de Despliegue de Funciones de Calidad (QFD)	43
Tabla 12: Matriz de priorización de procesos	44
Tabla 13: Propuesta de Indicadores del proceso de ingeniería	47
Tabla 14: Problemas por indicador	51
Tabla 15: Problemas ordenados según impacto	52
Tabla 16: Matriz de priorización de causas	54
Tabla 17: Aplicación de 5 Porqués a las causas identificadas	55
Tabla 18: Lista de contramedidas propuestas	56
Tabla 19: Matriz FACTIS de evaluación de propuestas de solución	57
Tabla 20: Diagrama SIPOC del proceso actual	59
Tabla 21: Criterios para el versionamiento de documentos de ingeniería	60
Tabla 22: Calificación de la documentación revisada por el cliente	61
Tabla 23: Tipos de documentos dentro un Estado de Ingeniería	62
Tabla 24: Media y variación de variables por tipo de documento	63
Tabla 25: Frecuencias esperadas y observadas para “cantidad de revisiones” ... 64	
Tabla 26: Frecuencias esperadas y observadas para “estado de documento” 65	
Tabla 27: Resultado de medición por tratamiento:	77
Tabla 28: Mejora del proceso de desarrollo de ingeniería	82
Tabla 29: Poka Yoke para el formato estándar de dibujos	84
Tabla 30: Poka Yoke para la transferencia de información	84
Tabla 31: Cronograma del plan de capacitación	85
Tabla 32: Costos por elaboración de Plan de Aseguramiento de Calidad	87
Tabla 33: Costo por la elaboración del Poka Yoke 1	88
Tabla 34: Costo por la elaboración del Poka Yoke 2	88
Tabla 35: Costo por la elaboración del Poka Yoke 3	89
Tabla 36: Costo por el plan de capacitación	89
Tabla 37: Costo por la elaboración de la matriz de seguimiento de OTD	90
Tabla 38: Resumen del costo total por la implementación de las mejoras	90
Tabla 39: Resumen de análisis de capacidad de proceso por escenario	90
Tabla 40: Proyección de la cantidad de dibujos requeridos al año	91
Tabla 41: Costo por reprocesar un Dibujo	91
Tabla 42: Ahorros según el escenario analizado	91

Tabla 43: Escenario actual de tiempos requeridos para actualizar un dibujo	91
Tabla 44: Escenario mejorado para la actualización de dibujos.....	92
Tabla 45: Ahorros por reducción de tiempo de actualización.....	92
Tabla 46: Ahorros totales por implementación de propuestas	92
Tabla 47: Cálculo del Cok.....	93
Tabla 48: Cálculo del WACC	93
Tabla 49: Resumen de evaluación económica por escenario	94



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Representación de un proceso	2
Gráfico 2: Representación de la reacción en cadena de la calidad	5
Gráfico 3: Clasificación de costos de acuerdo al motivo que los origina	7
Gráfico 4: Relación de errores por millón de partes y nivel sigma del proceso	8
Gráfico 5: Representación del nivel 6 sigma	8
Gráfico 6: Metodología DMAIC y sus etapas	9
Gráfico 7: Modelo de mapa de procesos	13
Gráfico 8: Estructura de un mapa SIPOC	15
Gráfico 9: Percepción del cliente sobre el proceso de una empresa	15
Gráfico 10: La voz del cliente	16
Gráfico 11: Modelo de diagrama de Ishikawa	21
Gráfico 12: Ejemplo de Gráfico de control	25
Gráfico 13: Proceso de fabricación de hilo	27
Gráfico 14: Porcentaje de defectuoso y nivel sigma por proceso	27
Gráfico 15: Diagrama Causas Efecto para los defectos de bobinado	28
Gráfico 16: Gráfica X del proceso	30
Gráfico 17: Gráfica R del proceso	30
Gráfico 18: Proceso de ensamble y pruebas de motores	32
Gráfico 19: Análisis Pareto	33
Gráfico 20: Resultados luego de la implementación de soluciones	34
Gráfico 21: Mapa de macroprocesos de la empresa	39
Gráfico 22: Macroproceso Gestión de Realización de producto	43
Gráfico 23: Mapa As Is del proceso de desarrollo de ingeniería	44
Gráfico 24: Layout típico de una sala eléctrica con aprobación del cliente	45
Gráfico 25: Etapas dentro del desarrollo de la Ingeniería	46
Gráfico 26: OPQ por transferencia de información	48
Gráfico 27: Eficiencia en tiempo de ingeniería	48
Gráfico 28: Índica de calidad a la primera	49
Gráfico 29: Nivel de entrega a tiempo de documentos	49
Gráfico 30: Número de revisiones promedio	50
Gráfico 31: Porcentaje de documentos cargados en SharePoint	50
Gráfico 32: Diagrama de Pareto de problemas frecuentes en el período 2015 - 2016	53
Gráfico 33: Diagrama Ishikawa del problema analizado	53
Gráfico 34: Diagrama CQT para el proceso de elaboración de propuestas	60
Gráfico 35: Prueba de normalidad Anderson-Darling para "variación tiempo entrega"	66
Gráfico 36: Gráfico de control p de cantidad de documentos con más de 2 revisiones	67
Gráfico 37: Gráfico de control p de documentos con calificación menor a 3 ..	68
Gráfico 38: Gráfico de control Xbarra-R de la variable "Variación tiempo entrega Dibujos"	68

Gráfico 39: Análisis de capacidad de proceso "cantidad revisiones Dibujos"	. 69
Gráfico 40: Análisis de capacidad de proceso "estado revisiones Dibujos".....	70
Gráfico 41: Análisis de capacidad del proceso "Variación tiempo entrega Dibujos"	71
Gráfico 42: Diagrama Causa Efecto para "Alta cantidad de revisiones y baja calificación".....	72
Gráfico 43: Diagrama Causa Efecto para "Demora en el tiempo de entrega" ..	73
Gráfico 44: Factores críticos del proceso	76
Gráfico 45: Diseño factorial 2k con tres factores	76
Gráfico 46: Gráfico de cubos para "Variación tiempo entrega Dibujos"	77
Gráfico 47: Hipótesis nula y alternativas para el análisis	77
Gráfico 48: Análisis de varianza	78
Gráfico 49: Gráfica normal de efectos.....	78
Gráfico 50: Gráfico de efectos principales.....	79
Gráfico 51: Gráfico de contornos para variable respuesta.....	79
Gráfico 52: Ecuación de correlación	80
Gráfico 53: Optimización de factores	80
Gráfico 54: Resumen de valores óptimos de cada facto relevante.....	81
Gráfico 55: Nuevo proceso de desarrollo de ingeniería.....	83
Gráfico 56: Matriz de indicadores OTD por tipo de documento	86

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

En este acápite, se procederá a definir los conceptos previos que servirán como base para plantear las propuestas de mejora de los procesos desarrollados en este trabajo. Para este fin, se definirá lo que es un proceso, lo que involucra la mejora de procesos, la teoría relacionada a la metodología DMAIC y sus etapas, así como las herramientas que se utilizarán durante el presente estudio.

1.1. Proceso

Según Hitpass (2014:10), un proceso corresponde a la representación de una secuencia lógica de acciones o actividades que se hacen bajo ciertas condiciones o reglas y que cumplen un determinado fin, a través del tiempo y lugar, impulsadas por eventos.

De acuerdo con esa definición, existen cuatro características esenciales que describen a todo proceso y se detallan a continuación:

- Se debe desatar un evento (factor externo) para que el proceso inicie su flujo o reaccione ante este.
- Todo proceso debe cumplir un fin determinado.
- Las actividades en un proceso consumen tiempo y recursos.
- Las actividades en un proceso forman una secuencia lógica que determinan en conjunto las condiciones del negocio.

Sin embargo, la definición previa es un concepto básico de proceso. Es por ello, que será necesario explicar cómo se entienden los procesos desde el punto de vista de las organizaciones. De acuerdo con ello, el autor propone la siguiente definición:

Proceso de negocio es un conjunto de actividades que impulsadas por un evento y ejecutándose de forma secuencial, generan valor para un cliente ya sea interno o externo.

Asimismo, en esta definición se identifican tres elementos claves y la representación se muestra en el gráfico 1:

- Input o entradas, producto que puede provenir de un proveedor que puede ser interno o externo o como salida de otro proceso.

- Secuencia de actividades, conjunto de actividades que deben cumplir determinados reglamentos o requisitos para transformar las entradas en salidas.
- Output o salidas, producto con determinadas especificaciones que va destinado a un usuario o cliente.

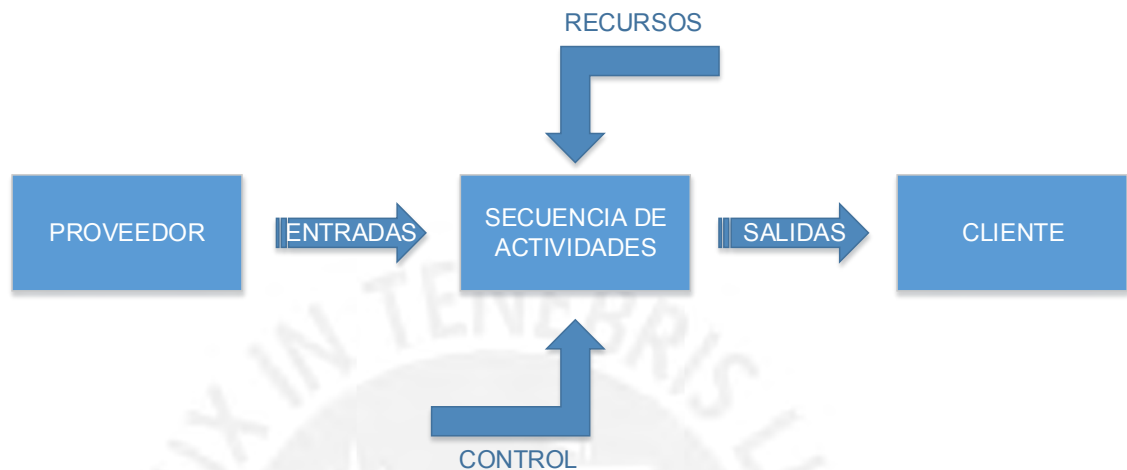


Gráfico 1: Representación de un proceso

Fuente: Pérez (2010:53)

Elaboración propia

1.2. Mejora de procesos

De acuerdo con Cook (1996:3), la mejora de procesos implica un cambio en el método de organización y realización del conjunto de actividades que actualmente se ejecutan con la finalidad de aumentar la eficacia y eficiencia de modo que se incremente la capacidad de cumplir con los requerimientos del usuario final. Cabe mencionar que las ventajas de la mejora de los procesos son:

- Eliminar la duplicidad de los procesos y reducción de procesos críticos, disminuyendo o eliminando los errores, defectos del producto o servicio, así como las actividades que no generan valor.
- Reducción de tiempos, optimizando el tiempo de entrega de un producto o servicio al cliente final.
- Mejorar el rendimiento del proceso así como la calidad del mismo con la finalidad de incrementar la satisfacción del cliente.
- Mejorar la productividad y eficiencia de los colaboradores en sus actividades diarias así como generar valor para el cliente generando experiencias únicas.

Hoy en día, mejorar los procesos se ha convertido en una necesidad para las organizaciones. Según Andersen (2007:3), las razones por las cuales la mejora de procesos es necesaria son las siguientes:

- El nivel de rendimiento de la mayoría de procesos muestra una tendencia decreciente a medida que pasa el tiempo a menos que un factor externo ejerza presión para mantenerlo. Sin embargo, mantener no es mejorar, de tal forma que los procesos seguirán estando en el mismo nivel.
- Si una organización no mejora sus procesos, es casi seguro que sus competidores si lo harán. Pero, en el hipotético caso en que ni la organización ni sus competidores realicen esfuerzos por mejorar, siempre habrá un actor externo dispuesto a entrar a ese segmento de negocio con procesos de mejor rendimiento y capacidad.
- Los clientes hoy en día son más demandantes y, claramente, más exigentes. Si no es posible exceder las expectativas de los clientes, lo cual es el escenario ideal, al menos se deben alcanzar los requerimientos solicitados; de lo contrario, está garantizado que la organización perderá a ese cliente.

Existe más de un enfoque respecto a la mejora de procesos. Algunos son generales y otros son específicos, sin embargo, todos los enfoques están basados en los conceptos básicos de la resolución de problemas, los cuales comprenden las siguientes etapas:

- Identificación de objetivos
- Análisis de la situación actual
- Definición del alcance
- Desarrollo de un plan de acción
- Ejecución del plan de acción
- Medición de los resultados.

A continuación se presentan algunos de los métodos de mejora de procesos:

- Administración de la calidad total (TQM): Técnica desarrollada por Edwards Deming para mejorar la calidad de las salidas de un proceso así como la reducción del número de partes defectuosas y fallas.
- Teoría de restricciones (TOC): Es una metodología desarrollada por Eliyahu Goldratt para identificar y eliminar los cuellos de botella de un proceso determinado.

- Lean: Es una herramienta que se enfoca en identificar y eliminar las actividades que no agregan valor dentro de un proceso determinado así como los desperdicios que se generan.
- BPM: Metodología que permite diseñar, desplegar, gestionar y analizar los procesos operacionales del negocio.
- Six Sigma: Metodología que provee de las herramientas necesarias para mejorar la capacidad del proceso, entendiendo al proceso como la unidad básica para la mejora.

1.3. Calidad en los procesos

En este punto, se definirá el concepto de calidad, se describirán los principales conceptos asociados a la calidad en los procesos, la mejora continua de la calidad y los costos de calidad.

1.3.1. Calidad

De acuerdo con Yang (2003:2), cuando la palabra “calidad” se utiliza, usualmente se relaciona con la entrega de un producto o servicio excelente que satisface o excede las expectativas. Cuando un producto o servicio sobrepasa las expectativas, se considera que la calidad fue buena; por lo tanto, la calidad está asociada a la percepción.

Según la norma ISO 8402, calidad es el conjunto de propiedades y características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas; mientras que, según la Sociedad Americana de Calidad (ASQ), calidad es un término subjetivo en el que cada persona tiene su propia definición.

Si se evalúan estos dos conceptos conjuntamente, se puede deducir que la primera definición se refiere que el producto o servicio debe ser capaz de satisfacer las necesidades del cliente; significado al cual se podría asociar el término hacer las cosas bien. Asimismo, la segunda definición se refiere a que el producto o servicio puede satisfacer las necesidades del cliente continuamente; significado al cual se podría asociar el término hacer las cosas bien siempre.

1.3.2. Calidad en los procesos

Con la finalidad de conferir calidad en un producto o servicio, la organización necesita de un conjunto de métodos y actividades, a lo cual llamará aseguramiento

de la calidad, el cual es definido y forma parte de los procesos de negocio. De esta forma, se puede validar que la confiabilidad de que un producto o servicio cumplirá con las especificaciones y requerimientos solicitados por el cliente. Es importante recalcar que un buen programa de aseguramiento deberá actuar en cada etapa de todo el proceso de negocio desde la recepción del requerimiento hasta la entrega del producto o servicio al cliente final.

De acuerdo con Colunga (1994:35), si una organización mejora la calidad, sus costos se reducen porque hay menos errores; bajan los precios porque aumenta la productividad y el precio puede reducirse; captura el mercado ya que compite con un precio más bajo que la competencia; se mantiene en el negocio debido a la alta captación de nuevos cliente; y por último, proporciona más empleos. A esta secuencia de sucesos, lo denomina la reacción en cadena de calidad, la cual se puede apreciar en el gráfico 2 que se muestra a continuación.

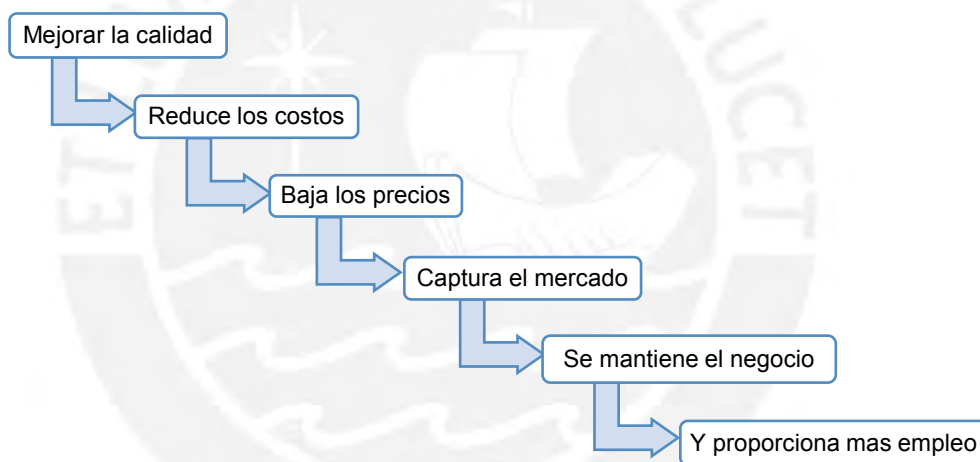


Gráfico 2: Representación de la reacción en cadena de la calidad

Fuente: Colunga (1994)

Elaboración propia

1.3.3. Mejora continua de la calidad

El uso contante y creativo de los datos de los sistemas internos de información utilizados por la organización en la toma diaria de decisiones facilita la implementación constante de grandes y pequeñas mejoras ya sea en el proceso, en el producto o en el servicio, según Colunga (1994:39). A este proceso se le conoce como la mejora continua de la calidad.

A continuación, Colunga describe las tres fases que forman parte de dicho proceso:

a) Planear la calidad

Los responsables de la planificación del proceso productivo, se encargarán de desarrollar los diseños adecuados del producto o servicio de tal manera que sean capaces de satisfacer las necesidades y requerimientos del cliente; así, como de desarrollar e implementar procesos capaces de producir las características del producto o servicio.

b) Controlar la calidad

Los responsables de la ejecución del proceso productivo, se encargarán de ejecutar los procesos previamente definidos y fabricar los productos de acuerdo a las características y especificaciones solicitadas por el cliente. A medida que pasa el tiempo, se identifica que el proceso no es capaz de producir continuamente productos que cumplan con las características solicitadas; de tal forma que, los colaboradores se limitarán a establecer puntos de control de calidad que permitan detectar los productos defectuosos para reprocesarlos o desecharlos según sea el caso.

c) Mejorar la calidad

Para ello, será imprescindible aplicar una determinada metodología de mejora que permita identificar problemas, analizar la causa raíz del problema y en base a ello, plantear propuestas de mejora que permitan eliminar definitivamente dichos problemas.

1.3.4. Costos de calidad y de no calidad

De acuerdo a lo expuesto por Colunga (1994:47), la identificación de los costos tanto de calidad y de no calidad, le facilitará a la organización la cuantificación monetaria de los problemas así como la visualización de las áreas con mayores oportunidades de mejora, a fin de implementar planes de acción que permitan incrementar los niveles de calidad, costos, servicio, entre otros.

En el gráfico 3 se presenta la clasificación de costos que describe Colunga de acuerdo al motivo que los origina.

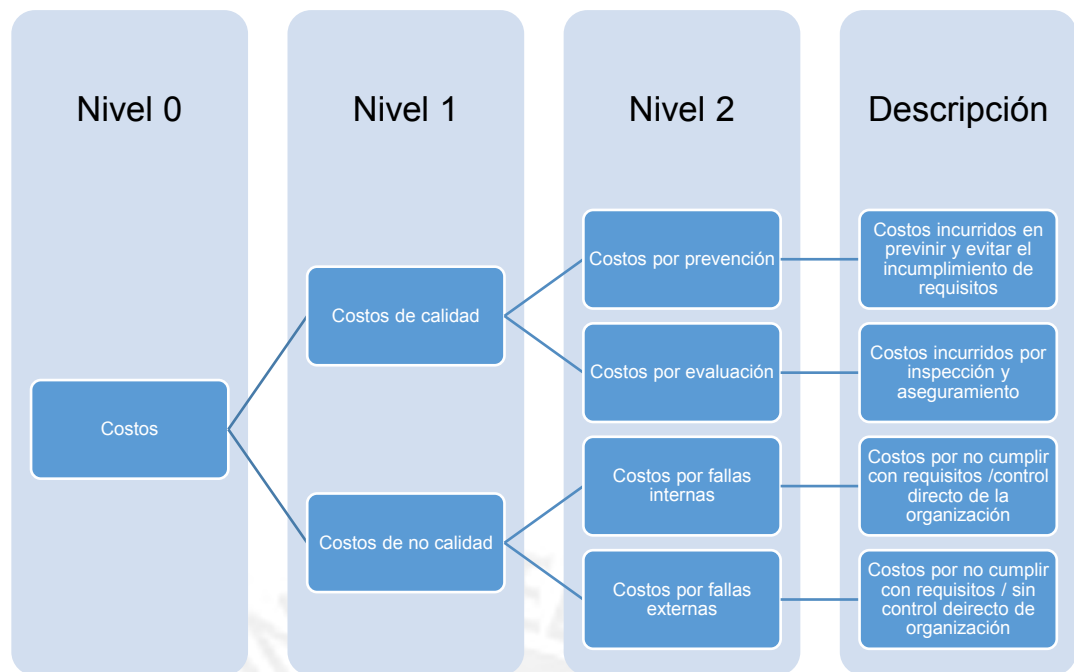


Gráfico 3: Clasificación de costos de acuerdo al motivo que los origina

Fuente: Colunga (1994)

Elaboración propia

1.4. Six Sigma

En la actualidad, Six Sigma es uno de los sistemas de gestión por procesos con mayor crecimiento y aceptación en la industria, atribuyéndose billones de dólares en ahorros en diversas compañías desde el comienzo de la década del 90. El concepto fue desarrollado por Motorola a mediados del año 1980; sin embargo, el punto de quiebre no fue sino hasta que Jack Welch, CEO de General Electric, decidió consolidar esta metodología como pilar fundamental para el desarrollo de su estrategia empresarial en 1995 (Yang: 2003, pp. 21).

De acuerdo a lo expuesto por Yang, el nombre Six Sigma se deriva de la terminología estadística sigma, el cual significa desviación estándar. En una distribución normal, la probabilidad de estar dentro de un rango de +/- 6 sigma a partir de la media equivale a 0.9999966 (2003:21). Desde el punto de vista de un proceso productivo, Six Sigma significa que el ratio de productos defectuosos será de 3.4 defectos por millón de unidades. En conclusión, el propósito de Six Sigma es reducir la variabilidad con la finalidad de lograr una desviación estándar muy pequeña.

En el gráfico 4 se puede ver la relación inversamente proporcional entre los errores por millón de partes y el nivel sigma del proceso actual, es decir, mientras mayor sea este último, menor será la proporción de defectuosos.

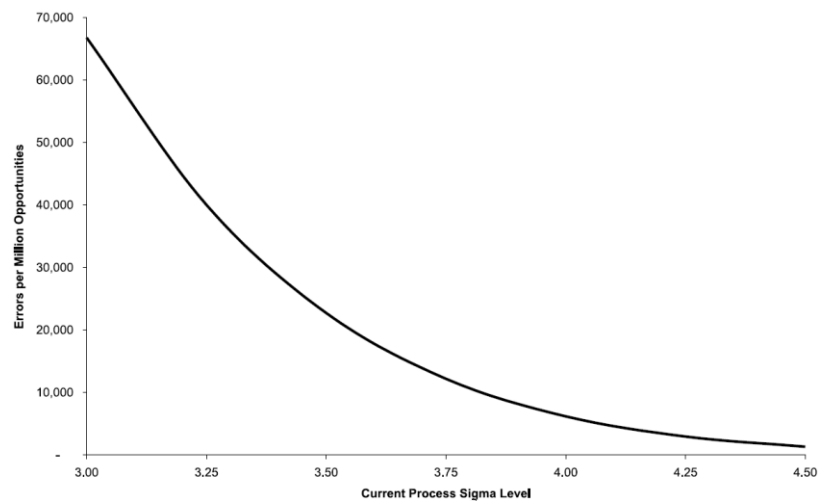


Gráfico 4: Relación de errores por millón de partes y nivel sigma del proceso
Fuente: Pyzdek (2003)

En el gráfico 5 se observa que los límites de especificaciones del cliente contiene a la los límites del proceso. Vale decir que, los regímenes de control por parte de la organización son mucho más estrictos y rigurosos que los límites especificados por el cliente, por tal motivo la probabilidad de que un producto tenga alguna falla es mínima. Para este caso en particular, la voz del cliente (límites de especificación) fue entendida por el proceso y fue transformada en límites de proceso más exigentes con la finalidad de cumplir con los requisitos solicitados por el cliente.

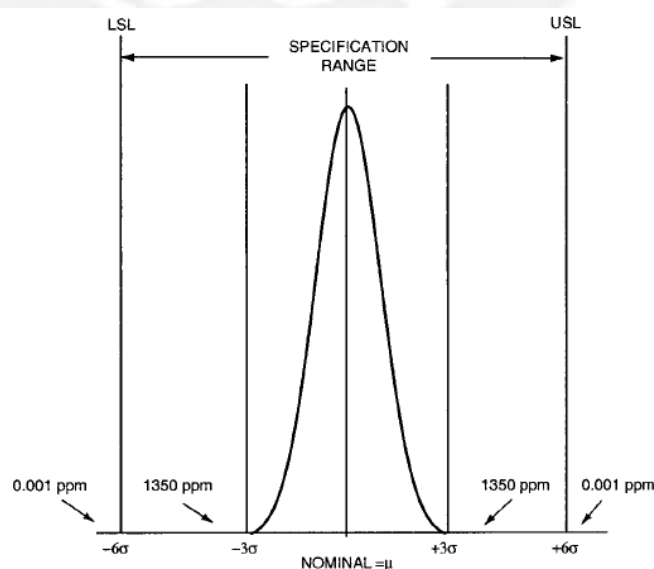


Gráfico 5: Representación del nivel 6 sigma
Fuente: Pyzdek (2003)

1.5. Metodología DMAIC

Dentro de los proyectos de Six Sigma, existe una serie de metodologías de mejora de procesos que pueden ser utilizadas para la resolución de problemas; dentro de las cuales, la que mayormente se utiliza es DMAIC, llamada así por las iniciales de sus etapas en inglés correspondientes a definir, medir, analizar, mejorar y controlar. DMAIC es usado cuando el objetivo de un proyecto puede ser realizado a través de la mejora de un proceso, producto o servicio existente (Pyzdek, 2003:237). En el gráfico 6 se muestran las etapas de la metodología que son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar

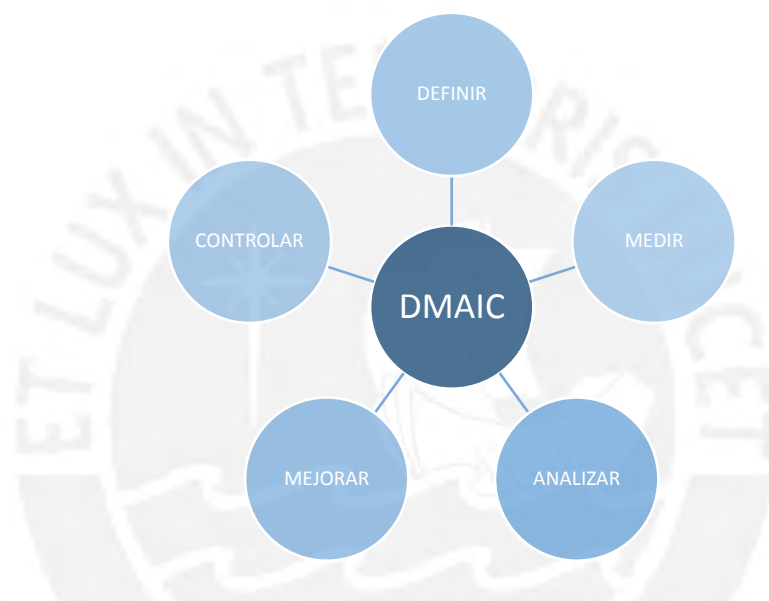


Gráfico 6: Metodología DMAIC y sus etapas
Fuente: Pyzdek (2003)

1.5.1. Definir

Según Pyzdek (2003:238), en esta etapa se deben definir los puntos de partidas correspondientes al proyecto de mejora. Uno de estos puntos más importantes es el objetivo del proyecto. Se debe tener en cuenta que los objetivos más importantes son aquellos que provienen desde el punto de vista del cliente.

Los puntos que se deben identificar son los siguientes:

- El objetivo del proyecto.
- El alcance del proyecto.
- Identificar al cliente.
- Mapear el estado actual.
- Entregables
- Horizonte del proyecto (Plazo).

Para poder identificar la línea base del proyecto será necesario emplear técnicas tales como:

- Mapeo de procesos: Herramienta que consiste en representar gráficamente la secuencia de actividades de un proceso determinado.
- Diagrama SIPOC: Diagrama de alto nivel que representa las entradas, la secuencia de actividades y las salidas de un proceso determinado.
- Voz del cliente: Herramienta para identificar los requerimientos del cliente y transformarlos en especificaciones concretas y medibles.

1.5.2. Medir

Según Pyzdek (2003), en esta etapa se debe medir el estado inicial del sistema, es decir, capturar los datos que muestren el desempeño de los procesos para que posteriormente sean transformados en información y permitan determinar puntos de mejora.

Se debe tener presente que medir procesos es una actividad que forma parte de “algo más grande”, que es el proceso de mejora continua. La medición de procesos es una actividad que no aporta valor por sí misma y, como otra cualquiera, necesita unos objetivos bien definidos en la etapa de “Definición” al cual deberán ajustarse las acciones que se planeen en las siguientes etapas de la metodología.

Cabe resaltar, que es necesario establecer métricas válidas y confiables para ayudar a monitorear el progreso de camino al logro de los objetivos definidos en la etapa anterior.

Los puntos que hay que tener en cuenta son los siguientes:

- Las métricas claves para el proceso en estudio.
- Identificar métricas válidas y confiables.
- Existencia de data adecuada en el proceso.
- Establecer cómo se medirá el progreso.
- Establecer cómo se medirá el éxito del proyecto.

Para poder identificar las métricas iniciales del proyecto será necesario emplear técnicas tales como:

- Capacidad del Proceso: se utiliza para medir el desempeño actual del proceso y verificar si se está cumpliendo con las especificaciones del cliente.

- Estudio Gage R&R: se utiliza para validar el sistema de medición.
- Análisis de data histórica: es una herramienta muy importante para determinar correctamente los antecedentes y a partir de ahí proyectar alguna línea de tendencia.
- Estadística descriptiva: es una técnica que parte de la estadística y permite recolectar, ordenar, analizar y representar un conjunto de datos, con el fin de describir apropiadamente las características de este.

1.5.3. Analizar

En esta etapa, Yang (2003) menciona que se debe analizar el sistema para identificar las formas de eliminar la diferencia entre el desempeño actual del sistema o proceso y el desempeño que se desea alcanzar.

Los puntos que hay que tener en cuenta son los siguientes:

- Análisis del sistema actual.
- Identificar si el estado actual está en su máximo nivel de performance.
- Identificar a los responsables del cambio.
- Recursos y requerimientos.
- Identificar los potenciales riesgos que pueden traer abajo el proyecto.
- Identificar los obstáculos a los que se enfrenta el proyecto.

Para poder hacer un correcto análisis del proyecto será necesario emplear técnicas tales como:

- Diagrama de Pareto: Es una gráfica de barras que ilustra las causas de los problemas por orden de importancia y frecuencia de aparición, costo o actuación.
- Diagrama de Ishikawa: Es un diagrama que permite el análisis de problemas mediante la representación de la relación entre un efecto y todas sus causas o factores que originan dicho efecto, por este motivo recibe el nombre de “Diagrama de causa – efecto” o diagrama causal.
- Análisis Modal Falla Efecto: Herramienta que permite evaluar la probabilidad de falla y el efecto del impacto; y de esta manera, identifica que acciones podrían eliminar o reducir la probabilidad de ocurrencia de una falla.
- 5 Porqués: Herramienta sistemática que permite desglosar las causas encontradas en el diagrama de Ishikawa en causas mucho más específicas.

1.5.4. Mejorar

La cuarta etapa de la metodología es mejorar el sistema. De acuerdo con Pyzdek (2003), se debe ser creativo en encontrar nuevas formas de hacer las cosas mejor, a bajo costo y rápido. Se debe utilizar técnicas de gerenciamiento de proyectos u otras técnicas de planeamiento para implementar el nuevo enfoque deseado.

Se pueden aplicar algunas técnicas explicadas a continuación:

- Diseño de experimentos (DOE): Se basan en estudiar simultáneamente los efectos de todos los factores de interés. Sirve para diseñar las condiciones ideales de un producto, proceso o servicio para que cumpla con las expectativas usando el mínimo número de experimentos o pruebas.
- Estandarización de procesos: Es una técnica que permite lograr un comportamiento estable que genere productos o servicios con calidad homogénea y bajos costos.
- 5S: Es una práctica de Calidad ideada en Japón referida al “Mantenimiento Integral” de la empresa, no sólo de maquinaria, equipo e infraestructura sino del mantenimiento del entorno de trabajo por parte de todos.
- Poka Yoke: Esta técnica ayuda a eliminar la causa de un error desde la fuente, detectar un error que se está cometiendo y detectar un error tan pronto como ya se cometió pero antes de que se cometa otro.

1.5.5. Controlar

Esta última etapa, según Pyzdek (2003), consiste en controlar y dar seguimiento al nuevo sistema. Institucionalizar el sistema mejorado a través de la modificación de sistemas de compensaciones e incentivos, políticas, procedimientos, instrucciones operativas y otros sistemas de gestión. Para ello, es recomendable implementar la estandarización mediante la norma ISO 9000.

Los puntos que hay que tener en cuenta son los siguientes:

- Durante el proyecto, determinar cómo se controlará el riesgo, la calidad, los costos y cambios en el plan.
- Identificar qué registros del progreso se deben crear.
- Identificar como se asegurará que los objetivos del proyecto se realizaron.
- Determinar cómo se mantendrán los beneficios obtenidos.

Se pueden aplicar alguna de las técnicas mencionadas a continuación:

- Gráficos de control
- Listas de verificación
- Procedimientos e instructivos de trabajos

1.6. Herramientas de calidad a utilizar

En el presente punto, se describirán las herramientas propias de calidad que se utilizarán en cada etapa de la metodología DMAIC.

1.6.1. Herramientas en Etapa Definir

A continuación, se describen las herramientas correspondientes a la etapa Definir de la metodología DMAIC.

1.6.1.1. Mapeo de Procesos

El mapeo de procesos es una representación gráfica de un proceso, evidenciando la secuencia de eventos y actividades requeridas para producir una salida con determinados parámetros a través de símbolos de diagramas de flujo estándares. De acuerdo con Pyzdek (2003:252), un mapa de procesos equivale a una guía para ayudar a los colaboradores a entender el proceso.

Para realizar un adecuado mapa de procesos, debe existir una planificación previa:

- Seleccionar el proceso a ser mapeado
- Definir el proceso
- Mapear el proceso primario
- Mapear rutas alternativas
- Mapear puntos y controles operacionales
- Utilizar el mapa para mejorar el proceso.

En el gráfico 7 se presenta un modelo de mapa de proceso:

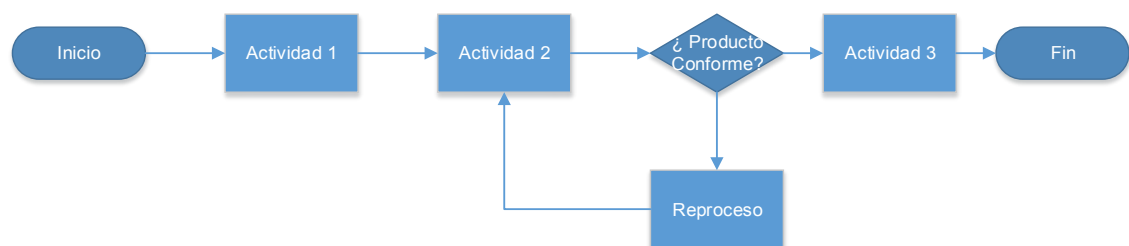


Gráfico 7: Modelo de mapa de procesos

Elaboración propia

1.6.1.2. Diagrama SIPOC

El mapa de proceso de SIPOC, por sus siglas en inglés *Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customers*, es un diagrama que permite la representación detallada de un proceso. Es un anexo útil al mapa de proceso lineal o de carriles el cual reúne detalles importantes sobre el inicio y el fin de un proceso, por lo que esta herramienta es útil para comprender qué entradas y salidas forman parte del proceso.

Para la elaboración del SIPOC, según Pyzdek (2003:388), será necesario cuestionarse las siguientes interrogantes cuyas respuestas servirán como información base:

- ¿Quiénes son los stakeholders involucrados en este proceso?
- ¿Qué valor se crea? ¿Cuáles son las salidas que se producen?
- ¿Quién es el dueño del proceso?
- ¿Quién provee las entradas para el proceso?
- ¿Cuáles son las entradas?
- ¿Qué recursos requiere y utiliza este proceso?
- ¿Qué etapas del proceso son las que generan valor?
- ¿Existen subprocesos con inicios y finales que se disgregan del proceso primario?

Asimismo, el autor sugiere desarrollar las siguientes etapas con la finalidad de elaborar un adecuado diagrama SIPOC:

- Identificar las salidas del proceso en cuestión.
- Identificar a los usuarios encargados de recibir las salidas.
- Identificar las entradas que son requeridas por el proceso para generar las salidas.
- Identificar los proveedores de las entradas.
- Evaluar todos los datos recopilados realizando los ajustes necesarios.
- Elaborar el diagrama SIPOC.

En el gráfico 8 se muestra un ejemplo de diagrama SIPOC:

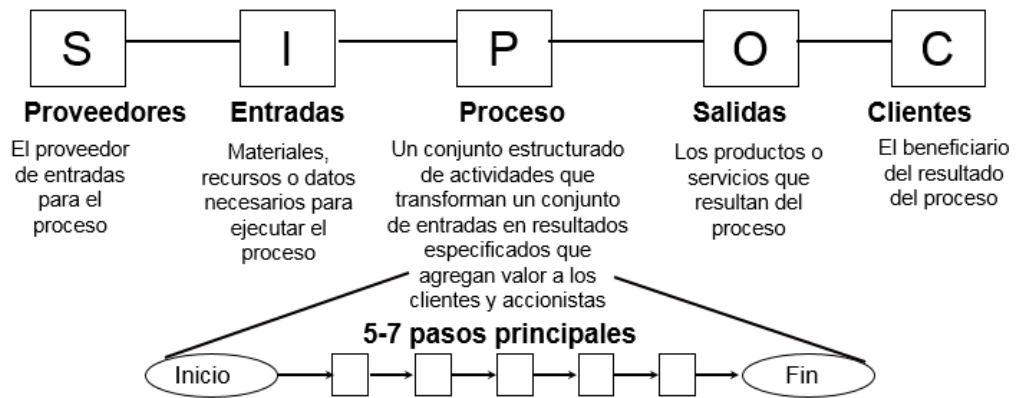


Gráfico 8: Estructura de un mapa SIPOC
Fuente: La compañía

1.6.1.3. Voz del cliente (VOC⁵)

La voz del cliente es la percepción que tiene el cliente sobre alguna situación particular dentro del proceso de negocio de una compañía. Entendiéndose como cliente al receptor del resultado de un proceso determinado, un cliente puede ser tanto interno como externo.

En este sentido, es importante identificar como es percibido el proceso por el cliente además de las características medibles que son críticas para el cliente. En el gráfico 9 se muestra una representación de cómo sucede en la realidad:



Gráfico 9: Percepción del cliente sobre el proceso de una empresa
Fuente: La compañía

El líder del proyecto de mejora debe conocer siempre cual es la actual percepción del cliente respecto al proceso y respecto al estado del proyecto. Las quejas del cliente se utilizan para facilitar las mejoras. A partir de este punto, se puede

⁵ VOC: *Voice of customer*, es una herramienta que permite capturar los requerimientos del cliente, que puede ser externo o interno, para que el proyecto se enfoque en resolver dicha necesidad. (Fuente: La compañía)

identificar qué es lo crítico para el cliente (CTC)⁶ y se pueden establecer métricas para hacerles seguimientos (KPI)⁷.

Es posible afirmar que los clientes no entienden cómo se desarrollan las actividades dentro de la organización, por ende, los cliente adquieren los servicios o productos de una determinada compañía debido a que no poseen los recursos, habilidades y tiempo de hacer las cosas solos. Lógicamente, de todas las necesidades Críticas para el Cliente que obtenemos de ellos, por lo general necesitamos priorizarlas para descubrir cuáles debemos intentar atender.

En el gráfico 10, se muestra un caso correspondiente a un proceso de facturación particular para representar la voz del cliente. En dicho ejemplo, el cliente reclama sobre el tiempo de facturación el cual tarda demasiado por lo que este requerimiento se puede transformar en una variable de salida cuantificable como lo sería el tiempo de ciclo desde la entrega del equipo o servicio hasta la factura recibida.



Gráfico 10: La voz del cliente

Fuente: La compañía

Para esto, podemos dividirlos en tres categorías:

- Obligatorias: estos son críticos para estar en el negocio.
- Necesarias: estos son importantes para mantener y hacer crecer el negocio. Estas funcionan después de que los "debe tener" fueron atendidos.
- Deseables: estos funcionan como diferenciadores en el negocio.

En la tabla 1 se presentan tres casos de transformación desde la voz del cliente hasta la definición de los criterios cuantificables que deben ser alcanzados por el proceso actual:

⁶ CTC: *Critical to customer*, cualquier característica del producto o servicio medible que sea importante para el cliente desde su punto de vista.

⁷ KPI: *Key performance indicator*.

Tabla 1: Transformación de VOC a CTC

VOC	Característica del resultado	CTC
“No me gusta llenar este formulario tan complicado”	Formulario simplificado	El formato deberá llevar menos de 20 minutos para ser completado
“No entiendo mi póliza de seguro”	Instrucciones sin ambigüedad	El 95% de los clientes deben poder entender su póliza cuando la leen por primera vez
“Necesito que el sistema funciones constantemente”	Tiempo de receso mínimo	100% de funcionamiento durante horas laborales

Fuente: La compañía (Elaboración propia)

1.6.2. Herramientas en Etapa Medir

A continuación, se describen las herramientas correspondientes a la etapa Medir de la metodología DMAIC.

1.6.2.1. Capacidad del proceso

De acuerdo con Bertrand (1990:199), la capacidad del proceso se puede definir como el intervalo de la variación que incluirá casi todos los productos que se obtengan mediante el proceso. Dicho de otra forma, mide el nivel de cumplimiento de los requerimientos solicitados por el cliente.

El propósito es tener procesos en donde la variabilidad de los productos sea lo suficientemente pequeña para que de esta forma todos los productos fabricados se encuentren dentro de la tolerancia. Sin embargo, dado que la variabilidad no puede ser eliminada, el control de la misma es la clave para mejorar la calidad de los productos.

Según explica Booker (2001:289), existen dos índices muy utilizados hoy en día para medir la capacidad de los procesos, Cp y Cpk. En ambos casos, se asume que la data que se utiliza para realizar la medición sigue una distribución normal.

a) Índice de capacidad del proceso, Cp

El índice de capacidad del proceso es una medida de cuantificación que determina si un proceso produce componentes dentro de la tolerancia respectiva.

$$Cp = \frac{U - L}{6\sigma}$$

En donde, U equivale a los límites de especificación superior, L equivale a los límites de especificación inferior y sigma es la desviación estándar. De esta fórmula,

se entiende que el índice Cp es la relación entre la voz del cliente (diferencia entre los límites de especificación, U – L) y la voz del negocio (nivel de variación, 6σ).

A continuación, Booker (2001:289) interpreta de la siguiente manera:

- Si el valor de Cp resulta igual o mayor a 1.33, esto indica que la distribución de las características del producto cubre el 75% de la tolerancia. Con este resultado, se puede asumir que el proceso es capaz de producir componentes con un adecuado cumplimiento de las especificaciones.
- Si el valor de Cp resulta menor a 1.33, esto indica que el proceso no es capaz de fabricar componentes con las características solicitadas y asocia criticidad a dicho proceso.

b) Índice de capacidad del proceso, Cpk

El índice Cpk es utilizable y tiene validez cuando la media se encuentra centrada en los límites de las especificaciones. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Cpk = \frac{|\mu - Ln|}{3\sigma}$$

En donde, μ corresponde a la media y Ln corresponde al límite de tolerancia más cercana a la media. De esta fórmula, al utilizar el límite de tolerancia más cercano a la distribución de la media, se asegura que el cálculo de la capacidad del proceso no sea sobre optimista y por el contrario, se calcula en base al peor escenario.

De igual forma que el índice Cp, si el Cpk resulta en un valor mayor o igual a 1.33, entonces se concluye que el proceso es capaz; y por el contrario, cuando resultado en un valor menor a 1.33, significa que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones.

1.6.2.2. Transformación Box-Cox

Dado que existe la posibilidad de que los datos medidos en un proceso no se adecuen a una distribución normal, el cual es un requisito fundamental si se quiere aplicar la metodología DMAIC; existen algunos métodos que permiten ajustar los datos a una distribución normal. Según Pyzdek (2003:495), entre los métodos más utilizados se encuentra la transformación Box-Cox.

La transformación Box-Cox son un conjunto de transformaciones potenciales utilizadas con la finalidad de corregir sesos en la distribución, corregir la variabilidad así como ajustar la no linealidad entre los datos.

1.6.3. Herramientas en Etapa Analizar

A continuación, se describen las herramientas correspondientes a la etapa Analizar de la metodología DMAIC.

1.6.3.1. Lluvia de ideas

La herramienta Lluvia de ideas permite identificar oportunidades y problemas ocultos en un proceso determinado. Si bien es cierto que no es un método exacto, permite tener una amplia lista de opciones o alternativas de mejora respecto al problema analizado. De acuerdo con Galgano (1995:261), es una técnica de grupo que tiene la finalidad de estimular la creatividad y obtener, en poco tiempo, una gran número de ideas sobre un tema o problema común.

Adecuado por su capacidad para hacer surgir ideas, la Lluvia de ideas es una técnica utilizada frecuentemente por grupos encargados de proyectos de mejora. Dado que esta técnica se desarrolla como un debate normal de grupo en base a un tópico elegido, el autor explica que las ideas deberán siempre responder a la pregunta ¿cómo?.

A continuación, se describen las etapas que se deben desarrollar con la finalidad de elaborar una adecuada Lluvia de ideas:

- Organizar la reunión: El facilitador invitará a los responsables involucrados en el proceso así como a los usuarios afectados por algún cambio en el mismo. Seguidamente, se programará la reunión tomando en cuenta una duración aproximada de 1 a 2 horas.
- Presentar el tema a desarrollar: El facilitador presentará el tema a tratar con información utilizable por los participantes.
- Generar ideas individuales y grupales: Inicialmente el facilitador incitará a generar ideas individuales respecto al tema en cuestión. Cada participante es libre de expresar sus ideas y nadie tiene derecho a interrumpir o cuestionar. Seguidamente, el facilitador invitará a los participantes a discutir sus ideas en grupo con la finalidad de evaluar la validez de las mismas.
- Presentar los resultados: Cada miembro de un grupo presentará sus ideas con los sustentos correspondientes que le permitan respaldar dichas ideas.

- Priorizar las ideas de forma grupal: Finalmente, se llega a un consenso grupal, descartando ideas que sean inviables y acordando las posibles opciones definitivas.

1.6.3.2. Diagrama de Pareto

Según Pyzdek (2003), el análisis de Pareto es el proceso de priorizar los problemas con la finalidad de determinar sobre cual deberían enfocarse los esfuerzos para desarrollar un plan de acción. El criterio que se aplica para efectuar la priorización es la regla 80-20, la cual se interpreta según Koch (2011) de la siguiente forma: se puede eliminar el 80% de los problemas atacando al 20% de los factores que lo generan. De acuerdo con el autor, es necesario enfocarse en los problemas más críticos.

A fin de desarrollar un adecuado diagrama de Pareto, se describen las siguientes etapas a ser efectuadas:

- Determinar las categorías que se utilizarán en el gráfico. Usualmente se definen los problemas más frecuentes.
- Seleccionar un intervalo de tiempo sobre el cual se efectuara el análisis de los datos.
- Determinar la cantidad de ocurrencia para cada categoría, así como también, determinar el total. Cabe mencionar que la ocurrencia estará definida ya sea por impacto económico, piezas defectuosas, entre otros.
- Calcular los porcentajes para cada categoría, dividiendo el total de la categoría entre el total y multiplicar por 100.
- Reordenar las categorías de mayor a menor cantidad de ocurrencias.
- Calcular el porcentaje acumulado, añadiendo el porcentaje de cada categoría al porcentaje de las categorías precedentes.
- Elaborar el gráfico de barras con la cantidad de ocurrencias de cada categoría si como la línea de porcentaje acumulado para visualizar la regla 80-20.
- Trazar un alineamiento horizontal de 80%, de tal manera que intercepte a la gráfica de frecuencia acumulada. En el punto de intercepción, trazar una línea vertical de tal manera que todas las categorías que se encuentren al lado izquierdo de dicha línea serán aquellas que representan la mayoría de los problemas.

1.6.3.3. Diagrama Ishikawa

Según Pyzdek (2003:261), el diagrama Ishikawa es un método gráficamente simple de despliegue de causas relacionadas a algún problema en particular.

A fin de desarrollar un adecuado diagrama Ishikawa, se describen las siguientes etapas a ser efectuadas:

- Desarrollar un flujo del área o proceso a ser mejorado
- Definir el problema que se va a solucionar
- Realizar una Lluvia de ideas previamente para encontrar todas las causas posibles asociadas al problema.
- Organizar los resultado de la lluvia de ideas in categorías racionales
- Elaborar el diagrama Ishikawa que muestre eficazmente la relación de todas las causas identificados con el problema asociado.

Según el autor, una vez que los pasos previos fueron efectuados, la construcción del diagrama Ishikawa se debe realizar considerando los siguientes puntos:

- Dibujar una caja a la derecha en donde se colocará el problema en cuestión.
- Dibujar una línea horizontal larga que parte de la caja que contiene al problema.
- Seguidamente, se debe escribir las categorías sobre las cuales se identificarán las causas.
- Por último, dibujar flechas que contengan causas detalladas para cada categoría.

En el gráfico 11 se presenta un modelo de diagrama de Ishikawa

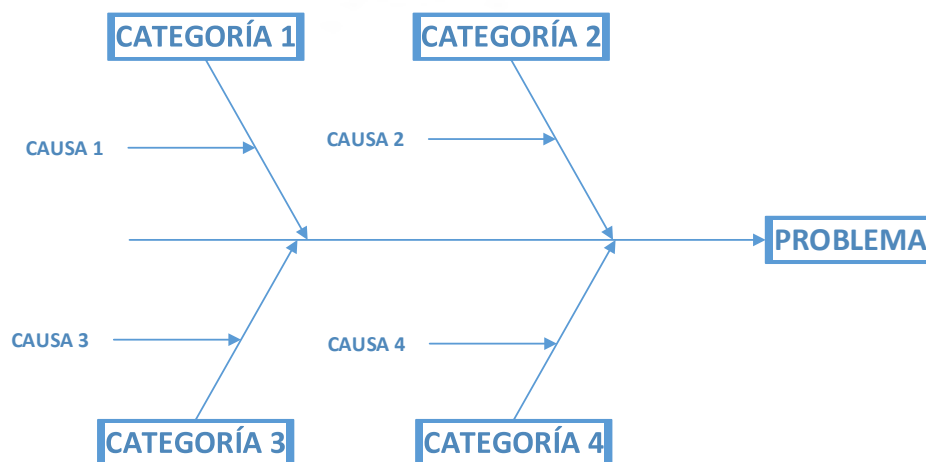


Gráfico 11: Modelo de diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia

1.6.3.4. Análisis Modal Falla Efecto (AMFE)

Según Griful (2002:24), el análisis modal de falla efecto es un método de análisis de la seguridad de funcionamiento de un sistema facilitando así el proceso de mejora.

A continuación, se describen las etapas que se deben efectuar para desarrollar el AMFE:

- Describir el nombre del producto o componente así como la función que realiza
- Describir el modo de fallo
- Detallar el efecto del fallo
- Aginar un valor de gravedad de fallo
- Asignar un valor de probabilidad de ocurrencia de fallo
- Asignar el valor de probabilidad de no detección
- Finalmente, calcular el valor Número de Prioridad de Riesgo, que resulta de la multiplicación del valor de gravedad, probabilidad de ocurrencia y probabilidad de no ser detectado.
- De acuerdo a ello, se plantea una contramedida.

1.6.4. Herramientas en Etapa Mejorar

A continuación, se describen las herramientas correspondientes a la etapa Mejorar de la metodología DMAIC.

1.6.4.1. Diseño de Experimentos (DOE)

Según Eriksson (2008:8), DOE (Design of Experiments) envuelve la ejecución de una serie de experimentos representativos con respecto a una problemática determinada. El autor explica que un enfoque común en DOE es definir un experimento de referencia estándar para posteriormente, llevar a cabo los siguientes en torno al experimento inicial.

Existen tres problemas críticos que el DOE enfoca de manera más efectiva que otros métodos similares:

- Involucra el entendimiento de un sistema o proceso influenciado por uno o más factores, de tal forma que permite la estimación de resultados a través de la interacción de dichos factores.

- Variabilidad sistemática, la cual es llamada también efecto y variabilidad no sistemática, la cual es llamada ruido, son difíciles de estimar y considerar en los cálculos sin una diseñada serie de experimentos.
- La confiabilidad de los resultados durante la realización de los experimentos puede verse afectada si no se diseña una adecuada serie de experimentos.

Además, en DOE existen dos tipos de variables fundamentales, las cuales se describen a continuación:

- Variable de respuesta: Estas variables informan sobre las propiedades y condiciones generales del sistema o proceso analizado; en otras palabras, reflejan la manera en que se comporta un sistema determinado ya sea de forma estable o inestable.
- Factores: Estas variables son las herramientas que permitirán manipular el sistema, dado que ejercen influencia en el sistema o proceso analizado.

Entre los tipos de diseños de experimentos más desarrollados se encuentra el diseño factorial, específicamente el del tipo 2^k , el cual se detallará a continuación

- Diseño factorial 2^k : De acuerdo con Montgomery (2011:35), este tipo de diseño es particularmente efectivo porque provee dos niveles por cada factor así como sus interacciones respectivas, de tal manera que reduce el foco de atención al llevar a cabo el experimento; de esta forma, se asumen que la variable de respuesta puede ser aproximada con exactitud por una regresión lineal en todo el rango de los niveles del factor que tienen influencia sobre la misma.

El enfoque general que describe Montgomery para el análisis estadístico del diseño 2^k se describe de la siguiente forma:

- Identificar la variable de respuesta asociada a la problemática que se desea analizar.
- Identificar los factores que tienen alta probabilidad de influencia sobre la variable de respuesta.
- Plantear el modelo inicial.
- Analizar la normalidad de los datos.
- Realizar las pruebas estadísticas que correspondan en base a las distintas gráficas que describen a los efectos.
- Ajustar el modelo.
- Analizar los residuales.

- Interpretar los resultados.

1.6.4.2. Poka Yoke

De acuerdo con Shingo (1986), el término Poka-Yoke viene de las palabras japonesas “poka” (error accidental) y “yoke” (prevención), también conocido como “a prueba de errores”. Esta técnica ayuda a eliminar la causa de un error desde la fuente, detectar un error que se está cometiendo y detectar un error tan pronto como ya se cometió pero antes de que se cometa otro.

Características:

- Bajo costo.
- Se vuelve parte del proceso.
- Está en lugares donde el error puede ocurrir.
- No permite que el error avance a otra parte del proceso.
- En la mayoría de los casos, su implementación y aplicación resulta sencilla para el equipo de trabajo involucrado en el proceso; de esta forma, su preservación y estandarización también se vuelve sencilla.

1.6.5. Herramientas en Etapa Controlar

A continuación, se describen las herramientas correspondientes a la etapa Controlar de la metodología DMAIC.

1.6.5.1. Cartas de control

Según Xie (2002:4), la variabilidad esta generalmente fuera de nuestro control, por lo tanto son permisibles algunos límites de variación. Con la finalidad de establecer dicho control, es necesario graficar las características de un proceso a lo largo del tiempo para poder tomar decisiones en base a los resultados obtenidos.

Aunque existe muchos tipos de graficas de control y diferentes formar de grafiarlas, las etapas básicas para desarrollar pueden ser resumidas en los siguientes pasos, según Xie (2002:4).

- Obtener una serie de características del proceso a través de las observaciones.
- Calcular la media del proceso y utilizarla como línea central.
- Calcular desviación estándar.

- Calcular los límites de control superior y límites de control inferior basados en la media y la desviación estándar calculadas previamente.
- Graficar los puntos y conectarlos consecutivamente.

Generalmente, se utilizan los gráficos de control por variables, los cuales son:

- Gráfico de control para la media (\bar{X}): el cual permite controlar la media del proceso o nivel promedio de calidad de la variable en cuestión.
- Gráfico de control para el rango (R): el cual permite realizar seguimiento a la variabilidad del proceso en cuestión.

A continuación, en la gráfica 12 se presenta un modelo de gráfico de control:

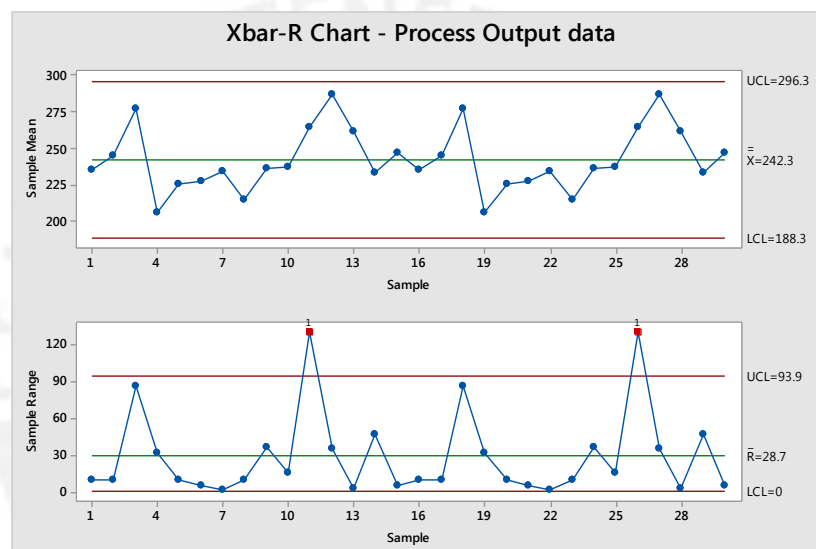


Gráfico 12: Ejemplo de Gráfico de control

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con Juran (2002), sugiere un conjunto de reglas de decisión para detectar patrones no aleatorios en las cartas de control. Cuando se detecta alguno de los patrones siguientes se puede decir que se debe tomar alguna acción para corregir el problema ya que el proceso puede estar fuera de control.

- Uno o más puntos fuera de los límites de control.
- Nueve puntos seguidos en la zona C o más allá.
- Seis puntos seguidos con aumento o disminución estables.
- Catorce puntos seguidos alternándose arriba y abajo.
- Dos de cada tres puntos seguidos en la zona A o más allá.
- Cuatro de cada cinco puntos seguidos en la zona B o más allá.
- Quince puntos seguidos en la zona C (arriba y debajo de la recta central).
- Ochos puntos seguidos a ambos lados de la recta central.

1.7. Estudio de casos

Para la documentación de casos de aplicación de la metodología DMAIC para mejorar procesos de fabricación, se considerará dos papers: “*Reduction in defects rate using DMAIC approach – A Case Study*” de Jitender Kumar, Mukesh Verma y K.S Dhillon y “*Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach*” de Nitesh Kathar, S.A. Sonawane y Santosh Badve.

1.7.1. Caso 1: Reduction in defects rate using DMAIC approach

El presente caso presenta la aplicación de la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de hilo para una empresa textil.

a) Objetivo:

Este estudio tiene como objetivo aplicar la metodología DMAIC al proceso de fabricación de hilo con la finalidad de reducir la variabilidad de la calidad de materia prima, condiciones de producción y métodos de trabajo de los operarios.

b) Literatura

La metodología DMAIC fue introducida por primera vez por Motorola en 1980 como parte de su medición de desempeño de calidad y programas de mejora continua. Desde entonces, es una herramienta sistemática de solución de problemas utilizado a nivel mundial.

c) Descripción del problema

En todo proceso, la más mínima variación de la calidad en factores como materia prima, métodos de trabajo, entre otros puede resultar en una variación acumulada de la calidad del producto final. Por lo tanto, es importante definir y medir la variación con la intención de analizar sus causas y desarrollar medidas operacionales eficientes para controlar y reducir dicha variación.

d) Etapa Definir

El producto involucrado es hilo el cual ha evidenciado una alta tasa de rechazos debido a defectos en distintas operaciones del proceso. A continuación, en el gráfico 13 se muestra el proceso de fabricación involucrado:



Gráfico 13: Proceso de fabricación de hilo

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Elaboración propia)

e) Etapa Medir

En esta etapa se identifica los principales defectos en el producto recopilando información validada sobre el proceso que servirá como línea base y establecer los objetivos de la mejora. A continuación, en la tabla 2 se muestran los principales problemas agrupados por proceso:

Tabla 2: Lista de problemas en el proceso

Proceso	Defecto
Soplado	Formación de nudos
	Algodón rizado debido a calibre ajustado
	Goteo
Cardado	Formación de nudos
	Agujeros
	Alta variación de cinta
Trama	Variación en la cinta de trama
Peinado	Variación de peso
	Numero de perforaciones
	Problema de limpieza de cepillo
Bobinado	Rotura del hilo durante devanado

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)
Elaboración propia

Asimismo, en el gráfico 14 se presenta el nivel sigma y el porcentaje de defectuosos por proceso (barra azul relacionada con el porcentaje de defectuosos y la barra roja se refiere al nivel sigma).

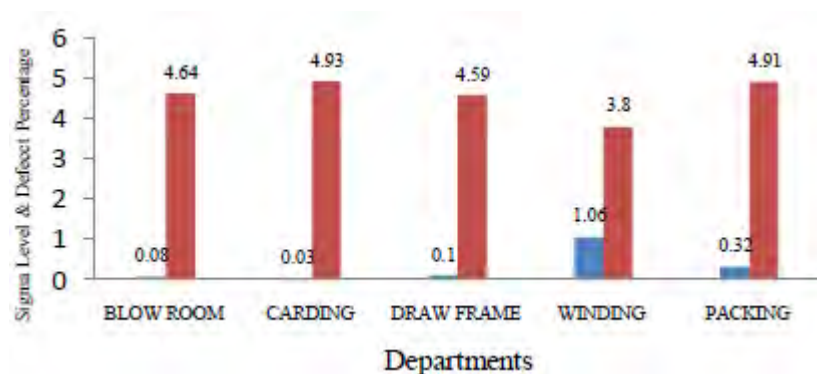


Gráfico 14: Porcentaje de defectuoso y nivel sigma por proceso

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)

f) Etapa Análisis

Durante la producción de hilo, las fallas ocurren en distintas etapas. En este sentido, del gráfico 14 se puede observar que la mayor variación sucede en el proceso de bobinado en términos de porcentaje de defectuosos, 1.06% y nivel sigma, 3.8. Por lo que es conveniente implementar la metodología DMAIC en este proceso para eliminar la variación. En la gráfica 15 se presenta el análisis de causa y efecto:

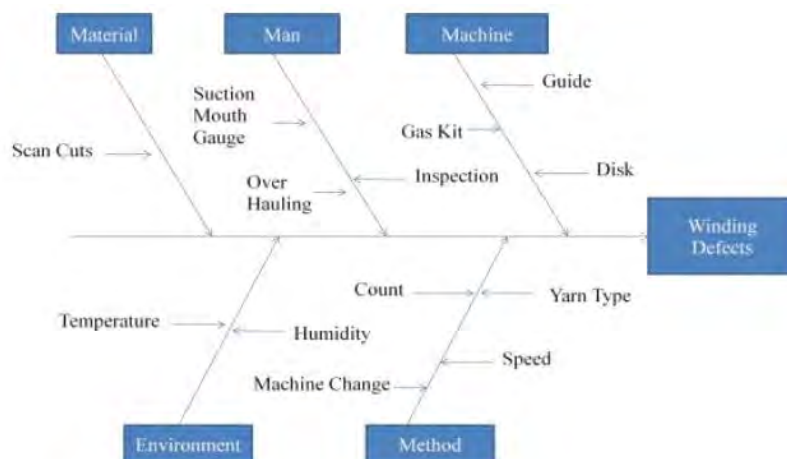


Gráfico 15: Diagrama Causas Efecto para los defectos de bobinado
Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)

Asimismo, en la tabla 3 se presenta la voz del cliente con los requerimientos principales:

Tabla 3: La voz del cliente

RATING OF IMPORTANCE OF CUSTOMER			10	6	6	1	8	8	9	7	
KEY PROCESS OUTPUTS			DEFECT RATE	REWORK	B-GRADE YARN	HARD WASTE	CUSTOMER COMPLAINT	CUSTOMER RETURN	CUSTOMER CLAIMS	INSPECTION	FAILURE
S.N.	PROCESS STEP	PROCESS INPUT									TOTAL
1	MAN	INSPECTION	3	3	3	3	1	1	1	1	101
		SUCTION MOUTH GAUGE	9	9	1	9	9	6	6	1	340
		OVER HAULING	3	3	3	6	1	1	1	3	118
2	MATERIALS	SCAN CUTS	9	9	9	9	9	9	3	6	320
		GUIDE	9	9	1	3	3	3	3	1	207
3	MACHINE	GAS KIT	9	9	1	1	1	3	3	1	217
		DISK	3	3	1	3	3	1	1	1	105
		TEMPERATURE	3	3	3	6	3	3	3	3	168
4	ENVIRONMENT	HUMIDITY	3	3	3	3	1	1	1	1	101
		COUNT	6	6	6	6	1	1	1	3	184
5	METHODS	SPEED	9	9	6	9	9	6	6	6	303
		YARN TYPE	3	3	3	3	1	1	1	1	101
		MACHINE CHANGE	3	3	1	3	3	1	1	1	105
		TOTAL	930	558	240	68	496	400	396	210	

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)

De acuerdo con la tabla anterior, los factores que originan la mayor cantidad de defectos en el proceso de bobinado son:

- Angulo de corte
- Velocidad
- Calibre de succión

En la tabla 4 se muestran los valores actuales de los factores críticos:

Tabla 4: Valores iniciales de los factores críticos

Parámetros	Ángulo de corte	Velocidad	Calibre
Valor inicial	45	1500 rpm	8 mm
Rango	37 – 45	700 – 1500 rpm	5 – 8 mm

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)
Elaboración propia

g) Etapa Mejorar

En la tabla 5, se muestra el diseño de experimentos modificando los parámetros en sus diferentes valores:

Tabla 5: resultado del proceso con diferentes parámetros de factores críticos

° Corte	Velocidad	Calibre	Defectos	Producción	% Defectos	DPMO	Nivel σ
45	1500 rpm	8 mm	13012	1227130	1.06	10604	3.8
43	1400 rpm	8mm	10657	1134275	0.94	9395	3.85
42	1300 rpm	7mm	8652	1082813	0.8	7990	3.91
40	1200 rpm	7mm	2866	989524	0.29	2896	4.26
37	700 rpm	6mm	643	659372	0.1	975	4.6
37	1000 rpm	6mm	629	818259	0.08	769	4.67
37	1200 rpm	<6mm	513	1056981	0.05	205	5.03

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)
Elaboración propia

h) Etapa Controlar

En este punto, se busca mantener las mejoras realizadas a través de un buen control. Por lo que es necesario documentar las nuevas condiciones del proceso de tal forma que permita su permanencia. Asimismo, será necesario una evaluación post para identificar si el proceso se encuentra estable; por esta razón, se utilizarán las gráficas de control X – R como se aprecia en la gráfica 16 y 17.

Como se observa en ambas gráficas, el proceso se encuentra bajo control y no existen puntos fuera de los límites de control.

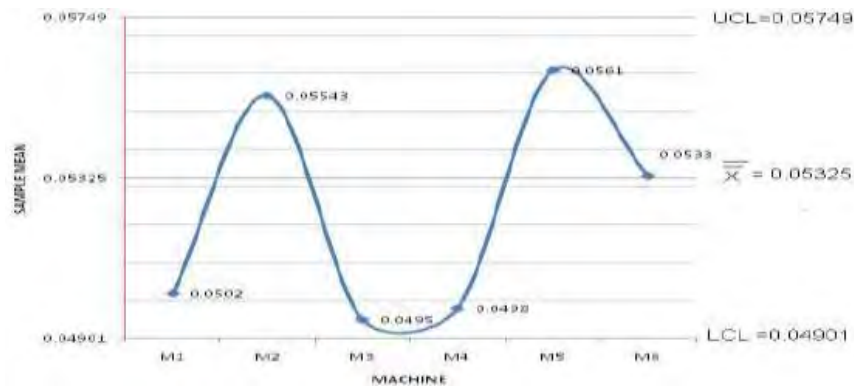


Gráfico 16: Gráfica X del proceso

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)

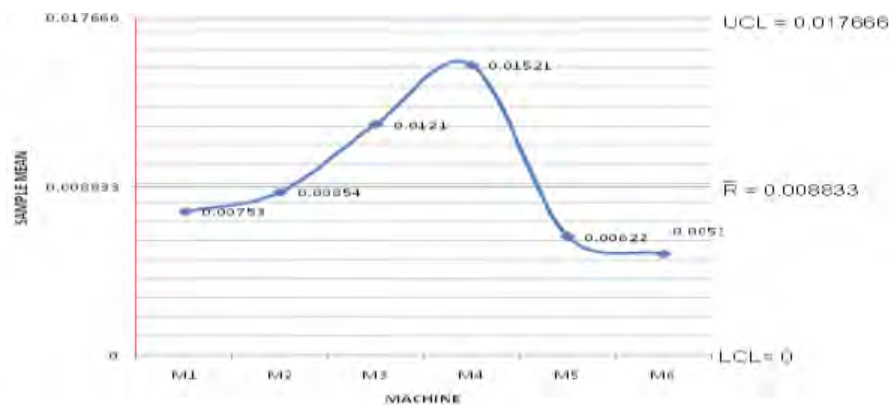


Gráfico 17: Gráfica R del proceso

Fuente: Reduction in defects rate using DMAIC approach (Kumar, Dhillon)

i) Resultados

Con la implementación de la metodología DMAIC en el proceso de fabricación, los productos defectuosos se han reducido de 13012 unidades/mes a 513 unidades/mes; mientras tanto, el nivel sigma se ha incrementado de 3.81 a 5.03 volviendo el proceso mucho más capaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

j) Conclusión

Se identificaron factores críticos que generaban una alta cantidad de defectuosos en el proceso de fabricación de hilos, entre ellos el ángulo de corte, velocidad y calibre de succión los cuales necesitan ser ajustados a valores óptimos con la finalidad de reducir errores y retrabajos en el proceso de fabricación, de esta manera se podrán obtener resultados óptimos (mayor cantidad de productos sin defectos).

1.7.2. Caso 2: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

El presente caso presenta la aplicación de la metodología DMAIC en el proceso de ensamble y pruebas hilo para una empresa textil.

a) Objetivo

Este estudio tiene como objetivo aplicar la metodología DMAIC con la finalidad de reducir los defectos de motores en el proceso de ensamble y pruebas. En este sentido, se trazó objetivos específicos, los cuales se mencionan a continuación:

- Identificar los factores críticos que causan los defectos en los motores.
- Mejorar la calidad al reducir los defectos de motores
- Reducir el nivel PPM del proceso (Nivel Sigma)
- Lograr reducción de costos al reducir retrabajos.

b) Literatura

La metodología de solución de problemas de Six Sigma llamada DMAIC ha sido una de las técnicas más usadas para mejorar la calidad. Este paper demuestra la aplicación empírica de Six Sigma y DMAIC para reducir productos defectuosos dentro de una empresa fabricante de motores.

c) Descripción del problema

Dentro del proceso de ensamble y pruebas, existen problemas desde la perspectiva de calidad. Durante el desarrollo de este paper, se identifican que las causas de estos problemas son: el descuido de los operarios durante el proceso productivo, uso de herramientas y equipos adecuados y también la calidad de los componentes del motor.

d) Etapa Definir

El producto involucrado es motores el cual ha evidenciado una alta tasa de rechazos debido a defectos durante el despacho de motores en el proceso de pruebas, exactamente se detectó un nivel de defectuosos de 16217 PPM. A continuación, en el gráfico 18 se muestra el proceso involucrado:



Gráfico 18: Proceso de ensamble y pruebas de motores

Fuente: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

Durante las pruebas, se revisan los parámetros tales como escape de humo, presión, bomba de aceite, configuración de potencia, consumo de combustible y características del combustible.

e) Etapa Medir

Los indicadores del proceso reflejan la evaluación del producto en términos de calidad como por ejemplo: defectuosos o rechazos. Para este estudio, el indicador de salida se evaluará en términos de PPM (partes por millón).

A continuación, en la tabla se presenta la lista de indicadores propios del proceso en estudio:

Tabla 6: Lista de defectos encontrados

Sr.No.	Engine Quality defects	Total defective quantity
1	Oil Leak From Rocker Shaft	40
2	Starting Trouble	38
3	Flywheel Bolt Loose	20
4	High Smoke	19
5	Fuel Filter & Pipe Position Wrong	10
Total engine quality defect quantity		127
Total production		7400

Fuente: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

- PPM: La cantidad de defectuosos se calcula de la siguiente forma:

$$PPM = \text{Defectuosos} * \frac{1,000,000}{\text{Nivel de Producción}} = 127 * \frac{1000000}{7400} = 17162$$

- Nivel Sigma: Con un valor PPM de 17162, el nivel sigma correspondiente es 3.7.
- COPQ: Los costos de calidad representan aproximadamente el 18% del costo total.

f) Etapa Análisis

En esta etapa, se busca encontrar las causas raíces del problema definido previamente, que para este caso se relaciona con la alta cantidad de productos defectuosos (motores). En el gráfico 19 se realizó el análisis de Pareto donde se identifica que el 80% de los defectos se deben a tres causas principales: fuga de aceite del eje, problemas de arranque y pernería floja o faltante.

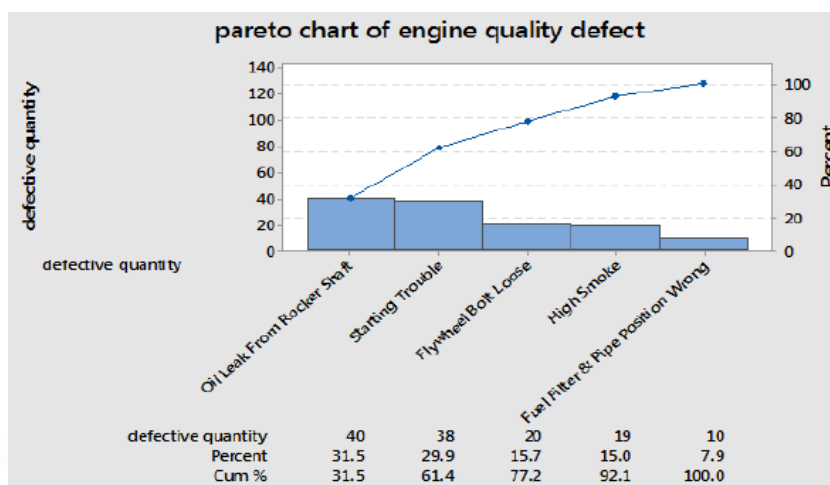


Gráfico 19: Análisis Pareto

Fuente: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

Asimismo, en la tabla 7 se muestran las causas identificadas por cada problema analizado luego de haber realizado el diagrama de causa-efecto y aplicado la herramienta 5 porqués

Tabla 7: Causas raíces del problema

Defectos	Causas raíces
Fuga de aceite del eje	Método de presión inadecuado
	Chaflán de entrada no apropiadas
Problemas de arranque	FIP no se encuentra en el lugar adecuado.
Pernería floja o faltante	Perno no engranado adecuadamente
	Rosca del tornillo de poco tamaño
	Ajuste incorrecto de los pernos
	Falla del operador
	Torque de la pistola
	Tornillos erróneos en la línea
Alto nivel de humo	Golpe excesivo
	Menos NTP
	Ajuste de prueba no es adecuado
	Bloque del agujero del inyector
Posición incorrecta del filtro y tubo de escape	Poca habilidad del operario
	Mezcla distinto modelos de ensamble de motores

Fuente: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

g) Etapa Mejorar

En esta etapa, se plantearon las alternativas de solución en términos de mejora de calidad basado en las causas identificadas en la etapa previa. El objetivo de este estudio se logrará con el diseño de soluciones creativas para prevenir la ocurrencia de problemas. A continuación, en la tabla 8 se muestran las propuestas por problema:

Tabla 8: Propuestas de solución

Defectos	Contramedidas
Fuga de aceite del eje	Utilizar spray revelador para detectar la humedad del aceite en el eje después de presionar el mismo.
	Instalación de prensa hidráulica para montaje del eje. Cabeza de cilindro OD 15 mm añadido para facilitar la entrada del eje en el orificio del cilindro.
Problemas de arranque	Elaborar matriz de habilidades expuestas en la zona de trabajo
	Procedimiento de ajuste de la bomba después del ajuste de calce para que muestre en la zona de trabajo.
	Identificación del dueño del proceso en la zona de ajuste.
Pernería floja o faltante	La reconfirmación del par del tornillo del volante y de la llave de torsión manual digital posicionada fijamente en la etapa de inspección.
	Recolección de data detección de pernos sueltos en etapa de ensamble.
Alto nivel de humo	Inspección integral en todas las etapas de las pruebas.
	Verificación de niveles
Posición incorrecta del filtro y tubo de escape	Elaborar matriz de habilidades que se mostrará en la etapa de montaje del filtro de combustible
	Separar compartimiento provisto para entra y salida de tuberías del filtro de combustible debido a los distintos modelos de motores ensamblados.

Fuente: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

Luego de la implementación de las soluciones, se procedió a realizar el monitoreo de la cantidad de productos defectuosos por tipo de problema, obteniéndose los resultados indicados en el gráfico 20:

SR.NO.	Quality Defect	Defective quantity before solution	Defective quantity After solution
1	Oil Leak From Rocker Shaft	40	0
2	Starting Trouble	38	0
3	Flywheel Bolt Loose	20	2
4	High Smoke	19	3
5	Fuel Filter & Pipe Position Wrong	10	0
	Total engine quality defect Quantity	127	5
	Total Production	7400	7000
	PPM	17162	714

Gráfico 20: Resultados luego de la implementación de soluciones

Fuente: Engine assembly & testing process quality improvement using DMAIC approach

h) Etapa Controlar

Durante esta etapa, las soluciones fueron monitoreadas con la ayuda de gráficas de control, reportes mensuales y auditorias de productos en base a tamaños de muestra representativos. Asimismo, el control se acompañó con entrenamiento y capacitación al personal, implementando una estrategia de incentivos. Por otro lado, los procedimientos de operaciones fueron adecuados y actualizados de acuerdo a las mejoras implementadas

i) Resultados

El objetivo de este proyecto es reducir los productos defectuosos (motores) dentro del proceso de ensamble y mejorar el nivel sigma. Utilizando los datos del gráfico 20, se procedió a calcular el Nuevo valor de PPM y nivel sigma, tal y como se muestra a continuación.

- PPM: El nivel de productos defectuosos se calculó de la siguiente forma:

$$PPM = Defectuosos * \frac{1,000,000}{Nivel\ de\ Producción} = 5 * \frac{1000000}{7000} = 714$$

- Nivel Sigma: según el valor de PPM, corresponde un valor de 4.7.
- COPQ: Los costos de pobre calidad se redujeron significativamente a 10%.

j) Conclusión

Se identificaron factores críticos que generaban una alta cantidad de productos defectuosos en el proceso de ensamble de motores, entre ellos la falta de control en la zona de trabajo, falta de procedimientos y falta de definición de dueños del proceso los cuales necesitaban ser definidos y ser adoptados como parte del proceso. Con la implementación de la metodología DMIAC, los productos defectuosos se redujeron de 17162 unidades a 714 unidades; mientras tanto, el nivel sigma se ha incrementado de 3.7 a 4.7 volviendo el proceso mucho más capaz de cumplir con los requerimientos del cliente. Finalmente, se redujo el costo de mala calidad de 18% a 10%.

CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

En este acápite, se procederá a describir la organización en la cual se desarrolla el estudio. En este sentido, se detallará información de la empresa en cuanto a las unidades o divisiones de negocio y con ello las soluciones, servicios o productos que se brindan, participantes involucrados en el negocio, infraestructura, maquinaria y equipos, materia prima e insumos y recursos humanos. Por último, se describe la problemática general de la empresa y una selección del proceso crítico, por medio de una matriz de priorización, sobre la cual se desarrollará la metodología DMAIC.

2.1. Descripción de la empresa

En este punto, se describirán aspectos organizacionales de la empresa sobre la cual se está desarrollando esta investigación. Entre ellos, una breve descripción de la compañía, su perfil organizacional y principios empresarial, recurso humano y las unidades de negocio correspondientes.

2.1.1. La organización

La empresa en estudio pertenece al sector de ingeniería eléctrica y automatización en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica; la cual se encuentra organizada estratégicamente en cuatro divisiones, las cuales se estructuran en unidades de negocios y estas últimas, están conformadas por grupos de productos dedicadas a industrias específicas.

La empresa de origen suizo cuenta con más de 56 años de trayectoria en Perú y es líder mundial en tecnologías de energía y automatización.

Actualmente cuenta con una sede en el Cercado de Lima en la cual se encuentra tanto el área administrativa como el área operativa y una sede en el departamento de Arequipa en donde funciona el centro de servicios para atender necesidades cercanas a la zona. Cabe mencionar que en Perú no cuenta con talleres de producción o manufactura, pero si cuenta con talleres de mantenimiento y reparación.

2.1.2. Perfil organizacional y principios empresariales

La visión de la compañía: “Como una de las primeras compañías mundiales de ingeniería, ayudamos a nuestros clientes a utilizar la energía eléctrica de forma eficiente, y a aumentar la productividad industrial y a reducir su impacto medioambiental, de forma sostenible”, lo cual se complementa con su lema: “Poder y productividad para un mundo mejor”.

La misión de la compañía: “Ayudamos a nuestros clientes a mejorar la performance en sus operaciones, la confiabilidad de las redes y la productividad, mientras que ahorran energía y reducen el impacto al medio ambiente. Impulsamos la innovación, entendiendo que la innovación y la calidad son características clave de nuestra oferta de productos, sistemas y servicios. El desarrollo sustentable, reducir el impacto al medio ambiente y la ética en los negocios están en el corazón de nuestra oferta al mercado y de nuestras propias operaciones”

Como parte de los principios empresariales bajo los cuales se rige la compañía de acuerdo con su código de conducta, se encuentra la responsabilidad, respeto y determinación. Los funcionarios de la compañía y los stakeholders aplican estos principios empresariales diariamente en sus trabajos y acciones. La interrelación de estos tres principios se transforma en la filosofía de la compañía, la cual consiste en proveer de productos y servicios accesibles a sus clientes sin comprometer la calidad y la confiabilidad, haciendo lo correcto en la forma más generalizada – cumpliendo la ley, actuando con honradez y tratándose unos a otros con respeto.

2.1.3. Recurso humano

La empresa cuenta aproximadamente con 621 trabajadores aproximadamente (Febrero 2016) considerando ambas sedes Lima y Arequipa. Del total de empleados, el 94.8% correspondieron a personal permanente, mientras que el restante 5.2% fue personal eventual. Cabe mencionar que esta estructura es similar a la registrada en el año 2010.

Tanto el área productiva como el área administrativa laboran de lunes a viernes en un solo turno de trabajo de 8 horas diarias que empiezan a las 8:00 a.m. hasta las 5:15 p.m. y 45 minutos disponibles para refrigerio desde las 11:45 a.m. hasta las 2:00 p.m.

2.1.4. Unidad de negocio

La compañía se encuentra conformada por cuatro divisiones claramente segmentadas en cuanto a la razón de su negocio:

- Productos de Electrificación: división encargada de otorgar la confiabilidad y eficiencia necesarias para las instalaciones eléctricas a través de paquetes de subestaciones modulares, productos de automatización de distribución, tableros, productos de control y comunicación de datos.
- Automatización discreta: esta división se encarga de suministrar productos, soluciones y servicios relacionados para mejorar la productividad industrial y la eficiencia energética. Desde motores, generadores, accionamientos, electrónica de potencia y robótica, proveen energía, movimiento y control a una amplia gama de aplicaciones de automatización.
- Automatización de procesos: El objetivo principal de este negocio es proporcionar a los clientes productos y soluciones de instrumentación, automatización y optimización de procesos industriales. Involucrando industrias como petróleo y gas, energía, productos químicos y farmacéuticos, pulpa y papel, metales y minerales, marina y turbocompresores. Los beneficios clave para el cliente incluyen la mejora de la productividad de los activos y el ahorro de energía.
- Sistemas de potencia: esta división ofrece productos, sistemas y soluciones de servicio de potencia y automatización sobre la cadena de valor en la generación, transmisión y distribución. Su oferta incluye productos de alta tensión, sistemas de transmisión de energía, y soluciones de automatización e integración de redes para permitir una red más fuerte, inteligente y sustentable. Entre los principales clientes se encuentran compañías eléctricas de generación, transporte y distribución de electricidad, otras compañías de infraestructuras, industrias de todo tipo y empresas comerciales.

Como se explicó anteriormente, en cada división existe una estructura basada en unidades de negocios o *business units* (BU), y estas a su vez se encuentran conformadas por grupos de productos o *product group* (PG). En el anexo 1 se muestra el detalle de dicha estructura de acuerdo a la organización actual de la compañía. Asimismo, todas las divisiones cuentan con una estructura organizacional tal como se muestra en el anexo 2.

2.2. Diagnóstico de la empresa

El diagnóstico consiste en el mapeo de los procesos de la empresa con la finalidad de seleccionar el proceso a mejorar; posteriormente, se analiza la problemática para identificar potenciales oportunidades de mejora; y, finalmente, según la determinación de causas, se plantean las contramedidas.

2.2.1. Mapeo y selección de procesos

El análisis de los procesos de la organización nos ayudará a entender el modelo de negocio y a su vez poder identificar cuáles agregan y no agregan valor. A continuación, en el gráfico 21 se presenta el mapa de macroprocesos de la empresa:

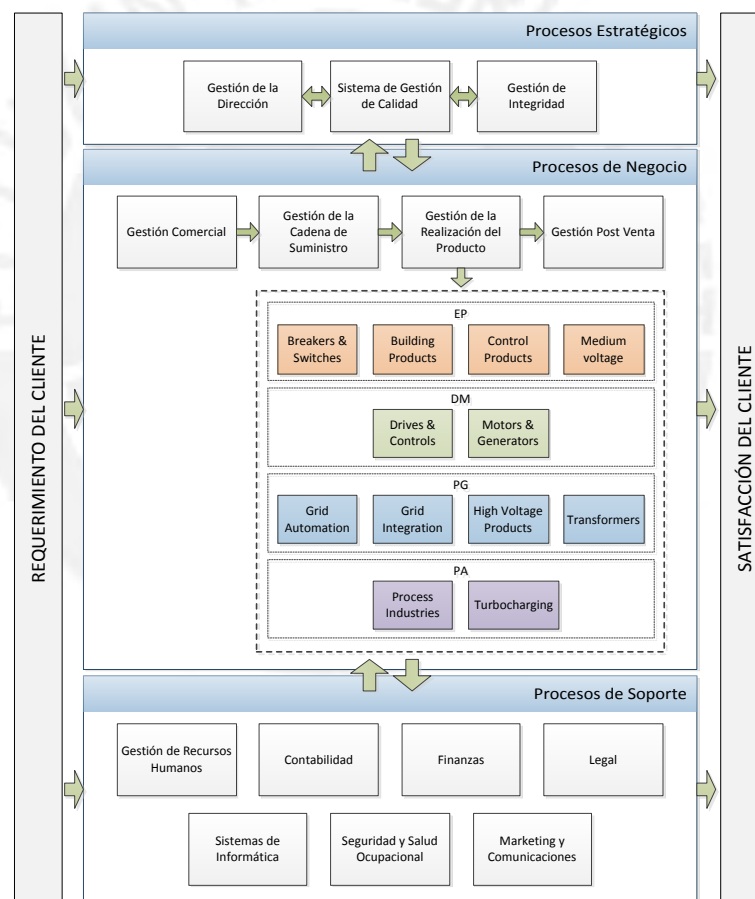


Gráfico 21: Mapa de macroprocesos de la empresa
Fuente: La compañía (Elaboración propia)

Dicho macroproceso sigue la cadena de valor que clasifica los procesos en tres niveles: procesos estratégicos, los cuales orientan a los demás procesos de acuerdo a la visión de la empresa; procesos de negocio, los cuales generan valor para el cliente y están direccionados de acuerdo a la misión de la compañía; y

procesos de soporte, los cuales proporcionan recursos e insumos a los procesos de negocio.

De acuerdo con lo expuesto en el gráfico 21, los procesos estratégicos son los de la gestión de la dirección, sistema de gestión de calidad y gestión de integridad; por su lado, los procesos de negocio son gestión comercial, gestión de la cadena de suministro, gestión de la realización del producto y gestión postventa; y finalmente, entre los procesos de soporte se encuentran la gestión de recursos humanos, contabilidad, finanzas, legal, sistemas de informática, seguridad y salud ocupacional y marketing y comunicaciones. En la tabla 9 se describen los macroprocesos definidos previamente en el mapa de macroprocesos:

Tabla 9: Descripción de macroprocesos

Macroproceso	Descripción
Gestión de la dirección	Proceso encargado de definir el planeamiento estratégico, de procesos, presupuestos y objetivos al mediano y largo plazo.
Sistema de Gestión de Calidad	Proceso que involucra las actividades de gestión de la calidad, control de calidad y aseguramiento de calidad.
Gestión de Integridad	Proceso que involucra actividades de difusión, revisión e incorporación de la integridad como valor primordial en los negocios y procesos que gestiona la compañía.
Gestión Comercial	Este proceso involucra la identificación de oportunidades, planeamiento comercial y presentación de propuestas comerciales y técnicas.
Gestión de la Cadena de Suministro	Proceso que incluye el abastecimiento de materiales, equipos e insumos a través de la interrelación con proveedores tanto externos como internos con la finalidad de completar las adquisiciones de acuerdo a los requisitos existentes.
Gestión de la Realización del producto	Involucra las actividades de transformación de los inputs en el producto final solicitado por el cliente y definido en el contrato u orden de compra.
Gestión Postventa	Proceso que abarca actividades de atención de garantías y servicios postventa.
Gestión de Recursos Humanos	Proceso que involucra las actividades de atracción, evaluación, reclutamiento y desarrollo del recurso humano.
Contabilidad	Proceso que incluye actividades de gestión de activos y pasivos de la compañía aplicando los principios de contabilidad generalmente aceptados.
Finanzas	Proceso que consiste en la gestión y control de la situación económica y financiero de la compañía.
Legal	Proceso que se encarga de gestionar correctamente los aspectos legales de la compañía, velando por el cumplimiento de contratos, normativas y políticas.
Sistemas de Informática	Proceso encargado de gestionar los recursos informáticos con la finalidad de que la compañía pueda ejecutar sus actividades de negocio eficiente y eficazmente.
Seguridad y salud ocupacional	Incluye actividades de identificación, control y aseguramiento de riesgos durante la ejecución de servicios y proyectos.
Marketing y comunicaciones	Proceso que involucra las actividades de difusión de comunicaciones, promoción de la marca e identificación de nuevas oportunidades de penetración de mercado.

Elaboración propia

En el anexo 3 se describen los principales procesos de cada unidad de negocio definida previamente en el mapa de macroprocesos detallado (ver gráfico 21). Como se puede observar, cada unidad de negocio sigue dicho macroproceso, pero

se diferencian en la etapa de realización de producto dado que cada una maneja un portafolio de productos distinto para atender una necesidad de mercado específica.

El presente trabajo se enfocará en la unidad de negocio de Process Industries la cual se encuentra compuesta por 3 líneas o grupos de productos (PG) como ya se revisó previamente (ver anexo 1), la primera PG es la 4101 la cual se encarga de la ejecución de proyectos relacionados a electrificación y automatización de procesos, generalmente involucra el suministro y puesta en marcha de salas eléctricas equipadas; la segunda PG 4102 la cual se encarga de ejecución de proyectos relacionados a sistemas de control; y finalmente, la PG 4108 encargada de la ejecución de servicios relacionados a electrificación y automatización involucrando sistemas de control, sistemas de manipulación de materiales entre otros. En el anexo 4 se muestra el portafolio de productos que maneja la división en cuestión.

Con la finalidad de identificar qué línea de producto presenta mayor criticidad, se definió un conjunto de criterios los cuales necesariamente están relacionados con la estrategia de la compañía. El 2015, la compañía presentó su estrategia al 2020 denominada Next Level, la cual sienta sus bases sobre tres pilares fundamentales: Crecimiento rentable, operación implacable y colaboración orientada al negocio. De acuerdo con ello, en el anexo 5 se muestran los factores y la determinación de sus pesos así como también, la puntuación a utilizar durante la evaluación:

En la tabla 10, se muestra la evaluación de las líneas de producto. Se consideró el valor de cada factor por línea de producto que servirá como base para asignar la puntuación correspondiente.

Tabla 10: Matriz de selección de línea de producto

Factor	Peso	PG					
		4101		4102		4108	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Ingresos (MUSD)	20%	56.908	5	4.992	3	18.969	4
EBITDA (MUSD)	25%	3.046	4	0.248	3	3.096	5
Sobrecostos (MUSD)	10%	1.667	5	0.000	1	0.648	4
Seguridad (#)	35%	953	5	40	2	317	4
Reclamos (#)	10%	18	3	0	1	35	5
Total	--		4.55		2.25		4.35

Fuente: La compañía (Elaboración propia)

Al totalizar la puntuación de cada factor multiplicando por su peso correspondiente, se determina la línea de producto más crítica que para este caso, resulta ser la PG 4101 correspondiente a Mineral Processing Aluminium and Cement con un puntaje de 4.55 mayor en comparación a las otras dos líneas de producto tal y como se muestra en la tabla 10.

El proceso de negocio de la PG 4101 inicia con la confirmación de la orden de compra o contrato. Teniendo en cuenta que la fabricación de las salas eléctricas es tercerizada, previamente se inician las contrataciones de servicios de terceros y adquisiciones de materiales. Posteriormente, el contratista ejecuta las actividades necesarias para la fabricación de las salas eléctricas teniendo en cuenta los controles operacionales establecidos en el plan de calidad y la identificación de riesgos definidos en el plan de seguridad. Seguidamente, las salas son inspeccionadas por el personal de calidad (pruebas internas) y finalmente se realizan las pruebas con presencia del cliente, quien dará su conformidad a través de la firma de los protocolos de pruebas. Luego, las salas son transportadas a mina para finalmente ejecutar las actividades de montaje y puesta en marcha.

Ahora que ya se tiene una visión general de los macroprocesos involucrados en la unidad de negocio de Process Industries, el siguiente paso es determinar qué macroproceso es el que tiene mayor criticidad mediante el uso de la matriz de despliegue de funciones la cual se explicara con mayor detalle más adelante.

Para ello es importante definir los criterios de evaluación que permitirán evaluar la criticidad de los procesos. Anteriormente, para la elección de la línea de producto se mencionó los tres pilares fundamentales (Crecimiento rentable, operación implacable y colaboración orientada al negocio) de la estrategia Next Level de la compañía. De acuerdo con ello, en el anexo 6 se muestran los factores que se utilizarán para la evaluación de macroprocesos y la determinación de sus pesos mediante el método de comparación pareada así como también, la puntuación a utilizar durante la evaluación:

De acuerdo a los criterios y macroprocesos definidos previamente, se construye la matriz de Despliegue de funciones de calidad como se muestra en la tabla 11, la cual ha sido diseñada tomando como referencia lo expuesto por Akao en su libro: Despliegue de funciones de calidad (1993). Este método permite desarrollar un proceso de calidad enfocado a satisfacer los requerimientos del cliente y de esta manera se puede identificar que procesos no están orientados en esa dirección. En el anexo 7 se puede ver un ejemplo de la matriz de despliegue de funciones de calidad.

Para la evaluación de cada proceso se asignó una puntuación que fluctúa en el rango de 1 a 5 teniendo en cuenta que el valor de 1 significa que existe un impacto muy bajo sobre el macroproceso, mientras que el valor de 5, que existe un impacto muy alto sobre el macroproceso.

Tabla 11: Matriz de Despliegue de Funciones de Calidad (QFD)

Matriz de Despliegue de Funciones de Calidad		Macroprocesos													
		Gestión de la dirección	Sistema de Gestión de Calidad	Gestión de Integridad	Gestión Comercial	Gestión de Cadena de Suministro	Gestión de la Realización del Producto	Gestión Postventa	Gestión Recursos humanos	Contabilidad	Finanzas	Legal	Sistemas de Informática	Seguridad y Salud Ocupacional	Marketing y Comunicaciones
Factores	Peso														
Impacto sobre las utilidades	13%	3	3	2	4	4	5	3	2	1	3	3	1	1	1
Nivel de aporte sobre los ingresos	11%	3	3	2	4	4	5	2	1	2	3	1	1	3	1
Reducción de costos	6%	2	3	1	2	4	3	2	3	3	2	2	3	3	3
Gestión de calidad	12%	1	2	3	3	3	3	3	3	4	3	2	4	3	3
Seguridad en los procesos	11%	1	1	1	2	2	2	1	5	2	1	2	1	3	1
Influencia en rapidez de entrega	6%	3	1	1	2	4	4	4	4	3	3	2	4	4	3
Orientación a la mejora continua	12%	1	3	3	4	4	4	4	1	2	2	3	3	4	3
Desarrollo de negocio sostenible	12%	3	2	3	3	3	4	3	5	1	5	2	3	3	2
Desarrollo de proveedores	7%	2	4	3	2	4	2	2	2	2	5	1	4	3	2
Satisfacción del cliente	10%	1	4	3	5	2	4	4	1	3	1	5	3	1	5
Total	--	1.97	2.59	2.3	3.26	3.34	3.7	2.82	2.66	2.21	2.78	2.37	2.55	2.72	2.31

Fuente: La compañía (Elaboración propia)

De acuerdo a los resultados de la matriz QFD, al totalizar la puntuación de cada factor multiplicando por su peso correspondiente se determina que el macroproceso crítico de la unidad de negocio en estudio es la gestión de la realización del producto con un puntaje total de 3.7, mayor en comparación con los otros macroprocesos tal y como se muestra en la tabla 11.

En el gráfico 22 se grafica el macroproceso de gestión de la realización del producto:

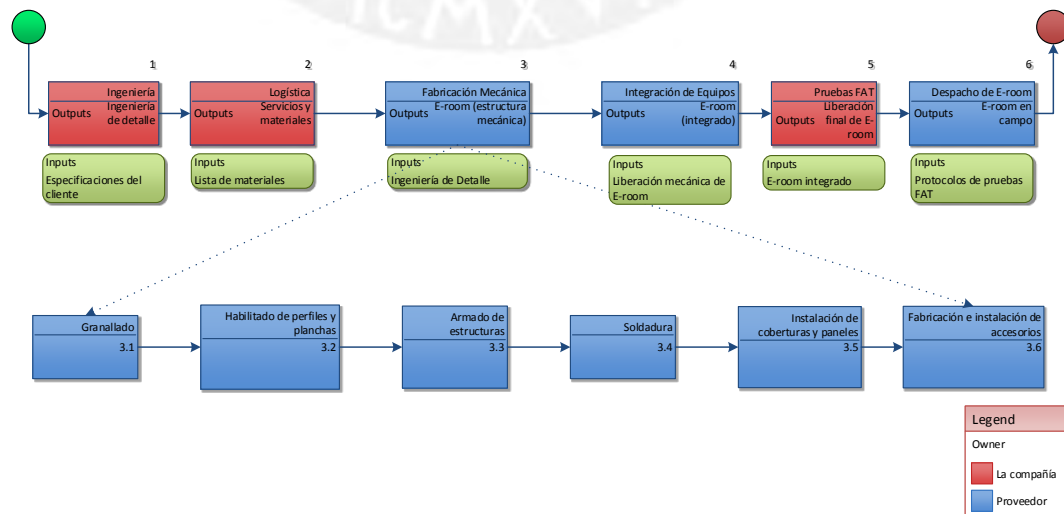


Gráfico 22: Macroproceso Gestión de Realización de producto
Elaboración propia

Con la finalidad de seleccionar el proceso crítico dentro del macroproceso Gestión de Realización del producto, se elaborará una matriz de priorización. Para ello, en el anexo 8 se muestran los factores que se utilizarán para la evaluación de procesos y la determinación de sus pesos mediante método de comparación pareada así como también, la puntuación a utilizar durante la evaluación.

Tabla 12: Matriz de priorización de procesos

Procesos	Criterios					Puntaje
	Costos	Calidad	Tiempo de entrega	Satisfacción del cliente	Seguridad	
	25%	15%	10%	15%	35%	
Ingeniería	5	5	4	5	3	4.2
Logística	3	3	3	3	3	3
Fabricación Mecánica	4	4	5	4	4	4.1
Integración de equipos	3	3	4	3	4	3.45
Pruebas FAT	2	2	3	2	5	3.15
Despacho	3	3	3	3	5	3.7

Elaboración propia

De acuerdo a la totalización de puntajes en la matriz de priorización presentada en la tabla 12, el proceso crítico es el de ingeniería ya que obtuvo el mayor puntaje (4.2) en comparación con el resto. A continuación, en el gráfico 23 se representa el proceso de ingeniería:

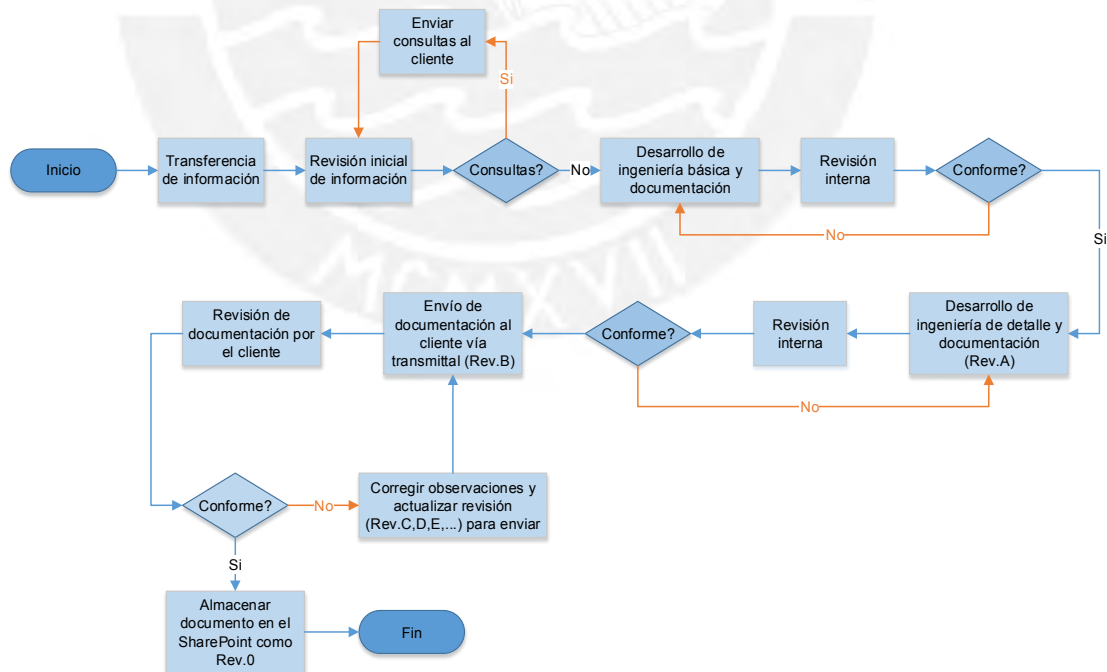


Gráfico 23: Mapa As Is del proceso de desarrollo de ingeniería

Elaboración propia

A continuación, se detallan las actividades principales del proceso de ingeniería:

- Transferencia de información: corresponde a la transferencia de información por parte del equipo comercial inmediatamente después de haber ganado la oferta hacia el equipo del proyecto, en donde se encuentra involucrado el equipo de ingeniería. Para ello, el equipo comercial programa una reunión con todos los involucrados para transferir el alcance, las bases y las especificaciones técnicas en su última versión.
- Revisión inicial de información: Durante la reunión transferencia, el equipo de ingeniería se encargará de revisar el aspecto técnico del alcance del proyecto y en caso de haber consultas u observaciones, estas deberán ser enviadas al cliente para que sean aclaradas.
- Desarrollo de ingeniería básica: En esta etapa, los ingenieros responsables del proyecto se encargan de diseñar la ingeniería básica en la cual revisan las especificaciones técnicas, determinan la lista de cargas que se manejarán desde la Sala y definen los equipos que se colocarán dentro de la sala y sus respectivos pesos.

Durante esta etapa, el entregable principal corresponde al layout típico de sala (ver gráfico 24) el cual debe contar con la aprobación formal del cliente, de esta manera se garantiza la congelación de la ingeniería para proseguir con la ingeniería de detalle. Lógicamente, es parte del gerente del proyecto lograr que la congelación se obtenga en un tiempo razonable para no impactar negativamente en los costos operativos del proyecto.

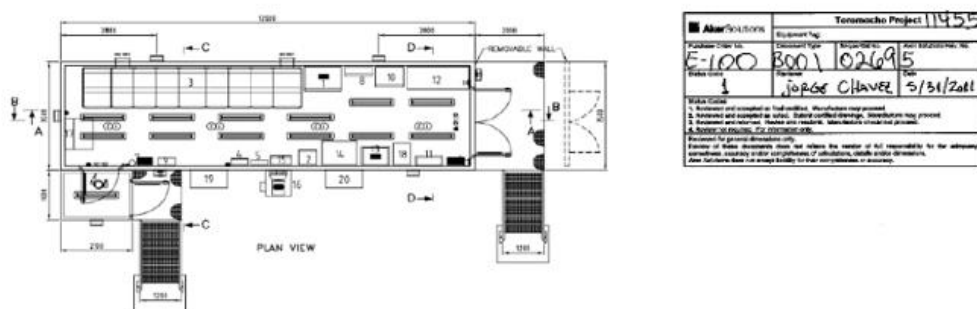


Gráfico 24: Layout típico de una sala eléctrica con aprobación del cliente

Fuente: La compañía

- Revisión interna: La documentación una vez elaborada por el ingeniero de aplicaciones pasa a ser revisada por el jefe de ingeniería con la finalidad de proceder con la elaboración de la ingeniería de detalle.

- Desarrollo de ingeniería de detalle: Una vez se logra la aprobación de la ingeniería básica, se procede a desarrollar la ingeniería de detalle en donde se define el cálculo estructural, se definen los detalles mecánicos constructivos de la sala y sus componentes secundarios, así como también, las etapas que se pueden visualizar en el gráfico 25 a continuación:



Gráfico 25: Etapas dentro del desarrollo de la Ingeniería

Fuente: La compañía (Elaboración propia)

- Revisión interna: La documentación una vez elaborada por el ingeniero de aplicaciones pasa a ser revisada por el jefe de ingeniería con la finalidad de proceder con el envío de la misma al cliente.
- Envío de documentación al cliente: La documentación en su versión final (Rev.B), deberá ser cargada al portal de proyectos ubicado en el SharePoint en la librería que corresponde por el ingeniero responsable y deberá notificar al responsable del control documentario del proyecto vía correo electrónica que la documentación se encuentra lista para su envío. De esta forma, control documentario enviará la documentación vía transmittal para los motivos que sean pertinentes, ya sea para información o para aprobación.
- Revisión por el cliente: La documentación es revisada por el cliente de acuerdo a los criterios y estándares que garantizan el cumplimiento de las especificaciones técnicas acordadas. El cliente enviará una respuesta al transmittal indicando si existen comentarios o si el documento se encuentra aprobado.
- Corregir observaciones: En caso existan observaciones, el ingeniero responsable deberá corregir las mismas oportunamente para enviar la documentación nuevamente con la finalidad de obtener la aprobación del cliente (se seguirá el mismo proceso de envío por el control documentario a

través de transmittal). Asimismo, se actualizará la versión del documento a Rev.C, Rev.D y así sucesivamente.

- Almacenar documentos en SharePoint: Cuando se obtenga la aprobación del cliente, el ingeniero responsable se encargará de cargar la versión aprobada del documento en el portal de SharePoint.

2.2.2. Gestión de indicadores

En este punto, se describirá la lista de indicadores que forma parte del proceso de ingeniería. Para ello, se definió indicadores de acuerdo a las actividades involucradas dentro del proceso de ingeniería. Cabe mencionar que el área de ingeniería no cuenta con indicadores definidos e implementados como parte de sus operaciones, por lo que dichos indicadores se han propuesto conjuntamente. A continuación, en la tabla 13 se muestra la descripción, el propósito de dicho indicador y los objetivos para cada uno de ellos. Asimismo, el detalle de cada indicador se puede verificar en el anexo 12.

Tabla 13: Propuesta de Indicadores del proceso de ingeniería

N°	Actividad	Razón	Indicador	Objetivo
1	Transferencia de información	Poder saber si la transferencia de información fue efectiva	Sobrecostos (OPQ) relacionados a transferencia de información.	<8 KUSD
2	Desarrollo de ingeniería de detalle	Poder saber si el diseño desarrollado fue el óptimo	Eficiencia en tiempo de ingeniería (Duración – Atrasos)/ Duración	1
		Poder saber el nivel de documentos con más de dos revisiones.	Índice de calidad a la primera de ingeniería (Documentos aprobados en primera/ total de documentos)	85%
		Identificar el nivel de cumplimiento de entrega de documentos en plazo solicitado	Entrega a tiempo de documentos en el plazo solicitado (documentos a tiempo/total de documentos)	95%
3	Revisión del cliente	Poder identificar la calidad de la documentación enviada	Cantidad de revisiones promedio por parte del cliente (flujo de revisión)	2 revisiones
4	Almacenar documentación en SharePoint	Poder identificar nivel de utilización del repositorio actual	Porcentaje de carga de documentos en SharePoint (cargados / obligatorios)	95%

Elaboración propia

Seguidamente, se procede a analizar cada indicador tomando como referencia los proyectos correspondientes al año 2016 que involucraron la fabricación de salas, integración de equipos y despacho a mina.

Indicador 1: OPQ debido a transferencia de información

Durante la ejecución de cada proyecto, se detectó sobrecostos (OPQ) debido a errores en la transferencia de información al inicio del proyecto. Entre los más resaltantes se encuentran diferencias de especificación de componentes, desconocimientos de condiciones de servicios incluidos y falta de materiales. El rango de los sobrecostos va desde los 10 kUSD hasta los 50 kUSD tal como se muestra en el gráfico 26.

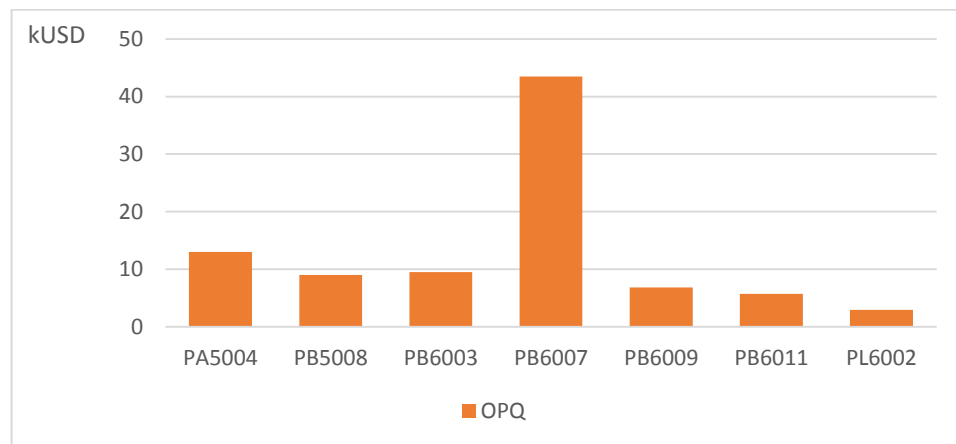


Gráfico 26: OPQ por transferencia de información
Elaboración propia

Indicador 2: Eficiencia en tiempo de ingeniería

En el gráfico 27, se muestra el índice de eficiencia de ingeniería, el cual se calcula como la diferencia entre la duración del proyecto y los días de atraso entre la duración del proyecto. En este sentido, un índice mayor a 1 refleja un alto nivel de eficiencia mientras que un índice menor a 1 refleja deficiencia de tiempo en el proyecto.

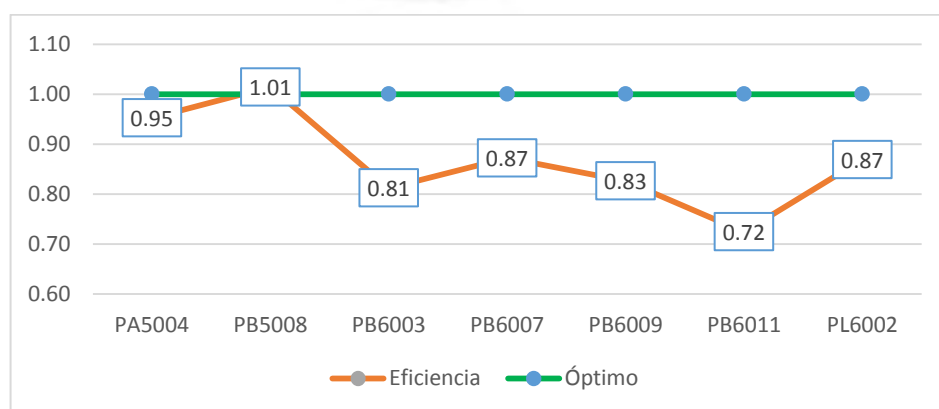


Gráfico 27: Eficiencia en tiempo de ingeniería
Elaboración propia

Indicador 3: Índice de calidad a la primera de ingeniería

Los documentos emitidos para aprobación del cliente reciben los comentarios de este último, que pueden ser la aprobación del documento u observaciones que deben ser corregidas. De acuerdo con el jefe de ingeniería, lo permisible es que el documento sea enviado, observado, corregido y enviado nuevamente logrando la aprobación; vale decir, debe tener a lo mucho 2 revisiones. Según el gráfico 28, el índice de calidad a la primera (documentos aprobados en primera revisión entre total de documentos) se encuentra por debajo del 80% en los proyectos analizados.

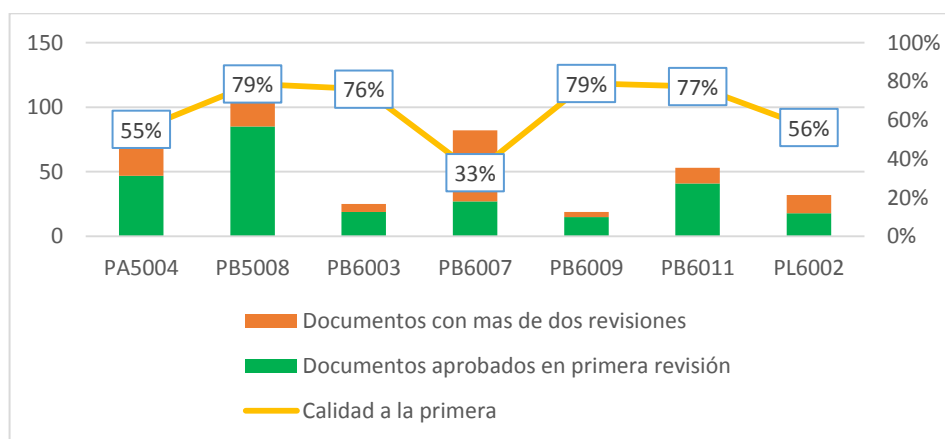


Gráfico 28: Índice de calidad a la primera
Elaboración propia

Indicador 4: Entrega a tiempo de documentos de ingeniería

Este indicador mide la cantidad de documentos entregados en la fecha solicitada del total de documento a ser entregados. En ese sentido, en el gráfico 29, se muestra el nivel de entrega a tiempo por proyecto y se observa que dicho indicador se encuentra por debajo de 90%.

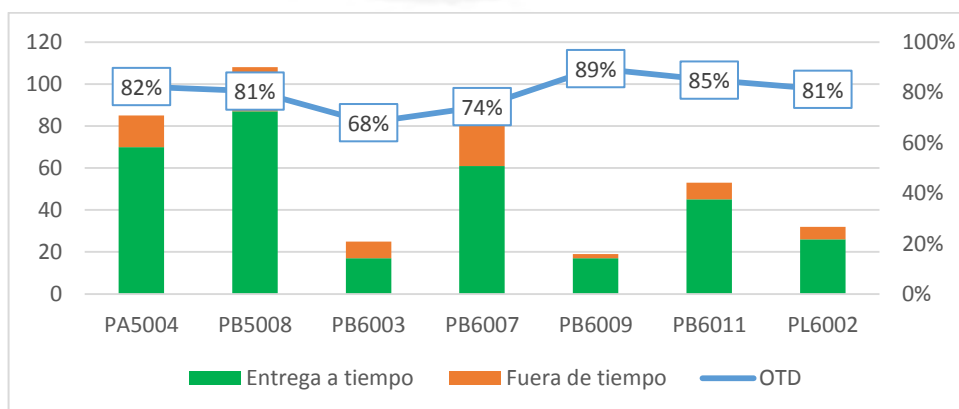


Gráfico 29: Nivel de entrega a tiempo de documentos
Elaboración propia

Indicador 5: Número de revisiones promedio

De acuerdo al gráfico 30, de los 7 proyectos analizados, 5 de ellos tienen un número de revisiones promedio mayor a 2 (valor máximo aceptable, según el jefe de ingeniería).

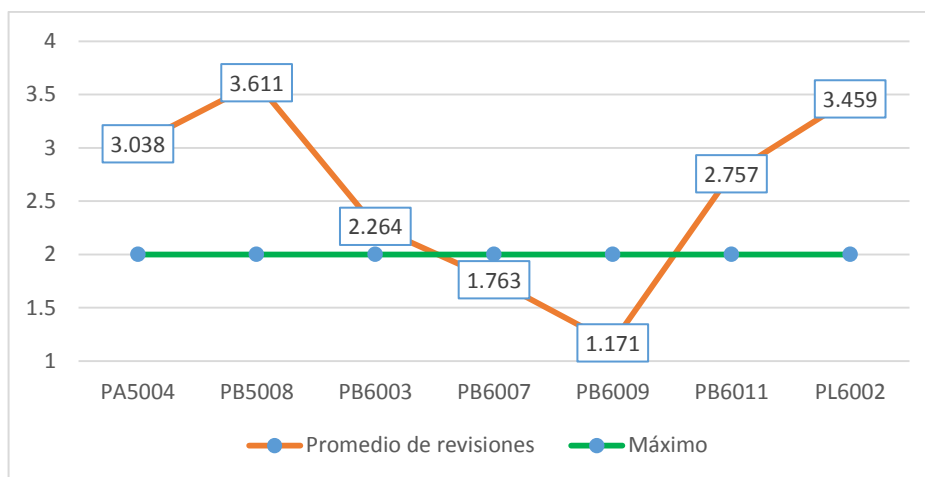


Gráfico 30: Número de revisiones promedio
Elaboración propia

Indicador 6: Porcentaje de carga de documentos en SharePoint

Previo al envío de un documento al cliente, este debe ser cargado en el repositorio de documentos actual en SharePoint; de esta forma, todo el equipo del proyecto tiene acceso a la última información. Sin embargo, al revisar el sitio de cada proyecto se encontró que no toda la información se encuentra cargada de acuerdo al último estado de ingeniería tal como se muestra en el gráfico 31.

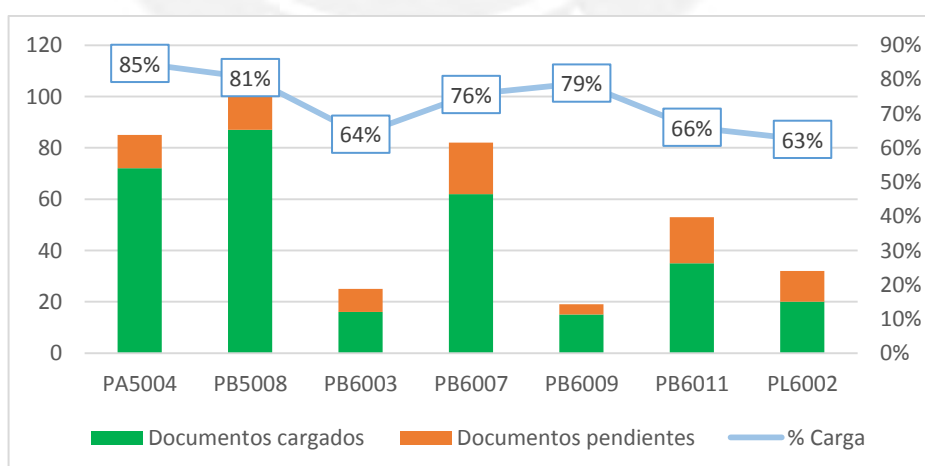


Gráfico 31: Porcentaje de documentos cargados en SharePoint
Elaboración propia

2.2.3. Identificación de problemas

Para identificar los problemas más frecuentes se utilizará la data histórica correspondiente a los años 2015 y 2016, con la cual se realizará un análisis de la situación de cada actividad de acuerdo a los indicadores definidos previamente (ver tabla 13).

La compañía a nivel global maneja un tablero de indicadores llamado RELEX con la finalidad de medir y comparar a todas las unidades de negocio de cada país de la misma manera. Como se puede ver en el anexo 9, hay un conjunto de 8 indicadores enfocados en cuatros aspectos importantes en las operaciones de la compañía: Seguridad, Enfoque al cliente, Costos y Flujo de dinero. Para cuantificar el impacto de cada problema identificado, el aspecto que se considerará es costos y dentro de este aspecto, el indicador a tomar en cuenta es OPQ. En el anexo 10, se explica más a detalle el concepto de este indicador que tiene como objetivo, en líneas generales, medir el nivel la diferencia entre lo planificado y lo ejecutado.

La compañía ha definido las categorías de OPQ en 3 niveles (proceso, tipo, subtipo) siguiendo la estructura de procesos ya establecidos en las distintas unidades de negocio con la finalidad de asociar los OPQ a estos procesos y con ello identificar oportunidades de mejoras en las áreas correspondientes tal y como se puede observar en el anexo 11. De acuerdo con ello, en la tabla 14 se muestran los problemas y sus respectivos impactos económicos:

Tabla 14: Problemas por indicador

N°	Indicador	Problema	Frecuencia	Impacto Económico ⁸
1	Sobrecostos (OPQ) relacionados a transferencia de información.	Transferencia deficiente de información de ventas y propuestas al equipo del proyecto.	4	\$ 100,523.49
2	Eficiencia en tiempo de ingeniería (Duración – Atrasos)/ Duración	Retrabajos en el desarrollo de ingeniería	7	\$ 184,968.19
3	Índice de calidad a la primera de ingeniería (Documentos aprobados en primera/ total de documentos)	Pobre calidad en la documentación de ingeniería enviada al cliente (Forma y contenido)	6	\$ 70,949.70
4	Entrega a tiempo de documentos en el plazo solicitado (documentos a tiempo/total de documentos)	Retrasos en el desarrollo de la ingeniería	15	\$ 132,754.70
5	Cantidad de revisiones promedio por parte del cliente (flujo de revisión)	Revisión interna inadecuada antes de enviar documentación al cliente	21	\$ 564,138.87
6	Porcentaje de carga de documentos en SharePoint (cargados / obligatorios)	No se trabaja con la información más reciente o actualizada	19	\$ 105,258.36

Elaboración propia

⁸ El impacto económico de cada problema es la sumatoria del impacto económico en cada ocurrencia.

2.2.4. Priorización de problemas

Con la finalidad de priorizar los problemas identificados previamente, se procederá a tomar como referencia el impacto económico que está involucrado en cada uno de ellos. En ese sentido, se ordenarán los problemas de mayor a menor impacto económico y posteriormente se calcularán los porcentajes acumulados. A continuación, en la tabla 15, se muestran los problemas con sus respectivos impactos:

Tabla 15: Problemas ordenados según impacto

N°	Indicador	Problema	Impacto	%	% Acum.	80-20
5	Cantidad de revisiones promedio por parte del cliente (flujo de revisión)	Revisión interna inadecuada antes de enviar documentación al cliente	\$ 564,138.87	49%	49%	80%
2	Eficiencia en tiempo de ingeniería (Duración – Atrasos)/ Duración	Retrabajos en el desarrollo de ingeniería	\$ 184,968.19	16%	65%	80%
4	Entrega a tiempo de documentos en el plazo solicitado (documentos a tiempo/total de documentos)	Retrasos en el desarrollo de la ingeniería	\$ 132,754.70	11%	76%	80%
6	Porcentaje de carga de documentos en SharePoint (cargados / obligatorios)	No se trabaja con la información más reciente o actualizada	\$ 105,258.36	9%	85%	80%
1	Sobrecostos (OPQ) relacionados a transferencia de información.	Transferencia deficiente de información de ventas y propuestas al equipo del proyecto.	\$ 100,523.49	9%	94%	80%
3	Índice de calidad a la primera de ingeniería (Documentos aprobados en primera/ total de documentos)	Pobre calidad en la documentación de ingeniería enviada al cliente (Forma y contenido)	\$ 70,949.70	6%	100%	80%
	Total		\$ 1,158,593.31	100%	100%	

Fuente: La compañía (Elaboración propia)

Seguidamente, se construyó un Diagrama de Pareto como se puede observar en el gráfico 32, con la finalidad de identificar el 20% de los problemas que originan el 80% de las fallas en el proceso de ingeniería.

De acuerdo con el diagrama, se determina que los principales problemas que impactan negativamente en el proceso son: revisión interna inadecuada antes de enviar documentación al cliente (#5), retrabajos en el desarrollo de ingeniería (#2) y retrasos en el desarrollo de la ingeniería (#4). Por estos motivos, una vez que los proyectos se encuentran en ejecución, durante las revisiones de proyectos mensuales suelen identificarse sobrecostos y retrasos en los hitos definidos en el cronograma vigente del proyecto.

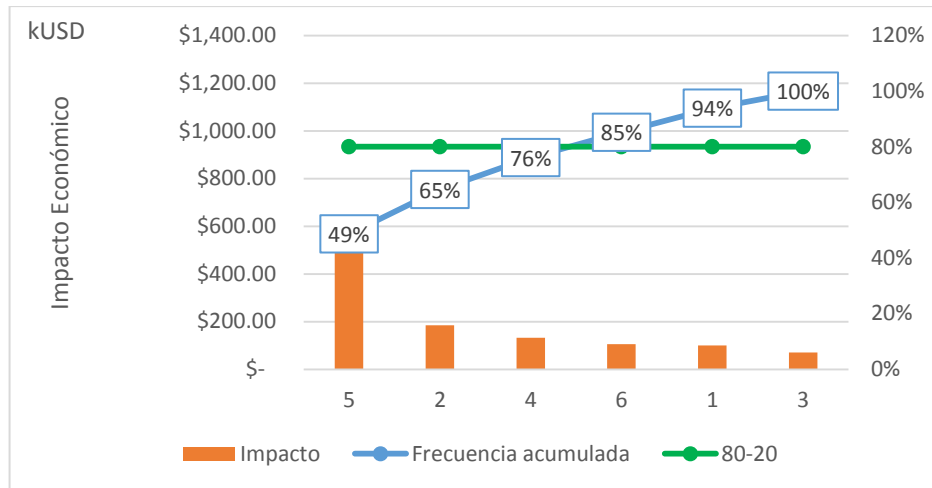


Gráfico 32: Diagrama de Pareto de problemas frecuentes en el período 2015 - 2016
Fuente: La compañía (Elaboración propia)

Si bien es cierto que el 80% de fallas en el proceso es ocasionado por los tres problemas mencionados previamente (5, 2 y 4 respectivamente), se analizará solamente el problema 5 ya que es el que genera mayor impacto económico (aproximadamente 49 % del impacto total).

2.2.5. Análisis de causas

Con los problemas frecuentes ya priorizados, lo siguiente en determinar son las causas raíces de la aparición de los problemas encontrados. En este sentido, la primera herramienta que se utilizará será el Diagrama de Análisis de Causa y Efecto o también llamado Diagrama Ishikawa para visualizar un primer nivel de causas raíces.

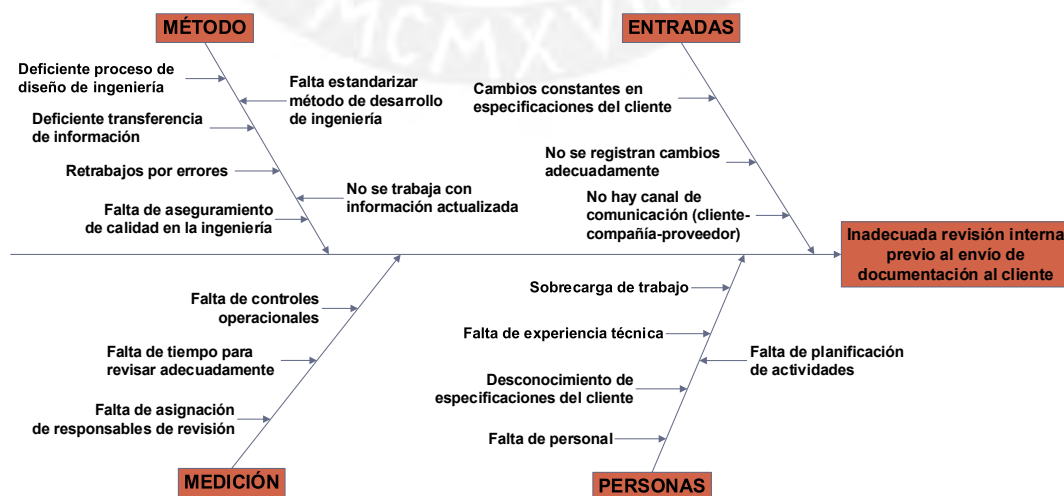


Gráfico 33: Diagrama Ishikawa del problema analizado
Elaboración propia

A continuación, en el gráfico 33 se muestra el diagrama Ishikawa correspondiente a la problemática de inadecuada revisión interna de la documentación antes del envío al cliente para su aprobación.

Con la finalidad de identificar las causas más críticas, se presenta la matriz de priorización en la tabla 16 teniendo en cuenta dos factores: probabilidad de ocurrencia y nivel de impacto o repercusión. Para ello, la probabilidad de ocurrencia será medida con valores que fluctúan desde 1 a 5, donde 1 significa que existe poca probabilidad de ocurrencia, mientras que 5 significa que es muy probable que la causa se presente. Asimismo, el impacto será medido con valores que fluctúan de 1 a 5, donde 1 significa que la causa impacta de manera insignificante mientras que 5 significa que de que ocurrir la causa esta impacta de manera muy significativa.

Tabla 16: Matriz de priorización de causas

Causa	Probabilidad	Impacto	Puntaje
Falta de aseguramiento de calidad en la ingeniería	5	5	25
No se trabaja con información actualizada	5	5	25
Deficiente transferencia de información	4	5	20
Deficiente proceso de diseño de ingeniería	4	4	16
Deficiente flujo de información a proveedores y clientes	3	5	15
Falta estandarizar método de desarrollo de ingeniería	3	5	15
No se registran cambios adecuadamente	3	5	15
Retrabajos por errores	3	5	15
Falta de tiempo para revisar adecuadamente	3	4	12
Sobrecarga de trabajo	3	4	12
Cambios constantes en especificaciones del cliente	3	4	12
Desconocimiento de especificaciones del cliente	2	5	10
Falta de experiencia técnica	2	5	10
Falta de asignación de responsables de revisión	2	4	8
Falta de personal	2	4	8
Falta de planificación de actividades	2	4	8

Elaboración propia

De acuerdo con la priorización de causas, se determina que la falta de aseguramiento de calidad en la ingeniería, trabajar con información desactualizada durante el desarrollo de la ingeniería, una deficiente transferencia de información al inicio del proyecto y la falta de controles operacionales en el proceso son las causas principales por obtener los mayores puntajes (mayores o iguales a 20).

Si bien es cierto que el Diagrama de Ishikawa permite tener un panorama general de cuáles son las causas de los problemas en cuestión, se necesita de otra herramienta para profundizar aún más sobre el análisis de dichas causas; para lo

cual, se utilizará la herramienta 5 Porqués. A continuación, se presenta su aplicación en la tabla 17:

Tabla 17: Aplicación de 5 Porqués a las causas identificadas

Causa	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Falta de aseguramiento de calidad en la ingeniería	Existen factores críticos que no han sido correctamente definidos.	No existe una adecuada relación entre los factores críticos en el proceso.	No existe una adecuada combinación entre los mismos.
No se trabaja con información actualizada	Las modificaciones no son comunicadas a los responsables	No existe un control de cambios adecuado	No existe un procedimiento de control de cambios
	La información se almacena en distintas ubicaciones	El sitio oficial para almacenar documentación no es amigable.	La estructura del sitio está diseñada sobre SharePoint 2010.
Deficiente transferencia de información	Método de transferencia actual no es adecuado	Durante la reunión de transferencia no se revisan todos los puntos a tratar.	No utilizan un checklist para verificar que se transfiere toda la información.

Elaboración propia

Para la primera causa, la estructura del equipo de ingeniería dentro de la organización del proyecto está conformada por un ingeniero de aplicaciones y un líder de ingeniería usualmente, por lo que todo documento que es elaborado para aprobación del cliente por el ingeniero de aplicaciones deberá pasar por un flujo de revisión y aprobación en donde el líder de ingeniería revisa y aprueba los documentos. Sin embargo no existe una adecuada combinación entre los niveles de los factores más críticos para el proceso.

En cuanto a la segunda causa, la información del proyecto durante la etapa de ingeniería debe ser la más reciente dado que en base a ella, se diseña la solución requerida por el cliente; por ello, existe un repositorio actual de documentos diseñado en SharePoint 2010 en el cual se almacena la documentación aprobada por el cliente. Sin embargo, no toda la información se encuentra en este sitio dado que su usabilidad no es muy sencilla obligando a los ingenieros a utilizar carpetas en sus discos locales. Asimismo, cuando existe algún cambio del alcance o especificaciones por parte del cliente, la información no es desplegada a todo el equipo de ingeniería del proyecto de manera que cada disciplina (mecánica, eléctrica y control) trabaja en base a la última información que tiene disponible.

Respecto a la tercera causa, una vez que se gana el proyecto, el área de propuestas en conjunto con el área comercial programa la reunión de transferencia con la finalidad de entregarle al equipo del proyecto toda la información de entrada

necesaria para lograr una excelente ejecución de actividades. Sin embargo, en repetidas ocasiones, durante la ejecución de actividades se identifican requerimientos omisos que son críticos para el proceso de fabricación de las salas eléctricas.

2.2.6. Planteamiento y selección de contramedida

Con las causas raíces determinadas en el punto anterior, se procede a proponer una contramedida para cada una de las causas raíces, como se muestra en la tabla 18:

Tabla 18: Lista de contramedidas propuestas

Causa raíz	Contramedida	Herramienta
No existe una adecuada combinación entre los mismos.	Desarrollar un diseño de experimento para determinar el nivel óptimo de los factores críticos en el proceso.	Diseño de experimentos
No existe un procedimiento de control de cambios	Capacitación en conceptos técnicos y de mejora continua para asegurar que la elaboración sea óptima.	Plan de capacitación
La estructura del sitio está diseñada sobre SharePoint 2010.	Elaborar un nuevo sitio (repositorio de documentos) con una estructura adecuada para el fácil acceso y localización de documentos en SharePoint 2013.	Actualización de sistemas
No utilizan un checklist para verificar que se transfiere toda la información.	Elaborar el checklist con el que se verificará que toda la información necesaria para el proceso sea transferida del área comercial al equipo del proyecto.	Herramienta de Control

Elaboración propia

Ahora que se tienen las contramedidas para contrarrestar a las causas raíces que originan el problema en cuestión, lo siguiente es someter estas contramedidas a una evaluación aplicando la matriz FACTIS, la cual ha sido definida en el anexo 13 tanto los factores que se utilizarán así como la puntuación correspondiente a asignar.

Según los resultados matriz de evaluación presentados en la tabla 19 tomando como referencia los criterios ya antes mencionados en el anexo 13, la contramedida

más efectiva al corto plazo a aplicar es: desarrollar un diseño de experimento que permita determinar el nivel óptimo de los factores críticos en el proceso.

Tabla 19: Matriz FACTIS de evaluación de propuestas de solución

Propuesta de solución	Peso						Total
	20%	10%	25%	20%	15%	10%	
	F	A	C	T	I	S	
Desarrollar un diseño de experimento para determinar el nivel óptimo de los factores críticos en el proceso.	2	2	3	3	3	2	2.6
Elaborar un nuevo sitio (repositorio de documentos) con una estructura adecuada para el fácil acceso y localización de documentos en SharePoint 2013.	2	2	3	2	3	3	2.5
Elaborar un checklist de transferencia con el que se verificará que toda la información necesaria para el proceso sea transferida del área comercial al equipo del proyecto.	3	1	2	3	3	1	2.35
Capacitación en conceptos técnicos y de mejora continua para asegurar que la elaboración sea óptima.	2	1	2	2	2	3	2
Elaborar un procedimiento de control de cambios que permita gestionar adecuadamente alguna modificación sobre el alcance o especificaciones de la ingeniería.	2	1	3	1	1	2	1.8

Elaboración propia

CAPÍTULO 3 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC

Según el diagnóstico efectuado en el capítulo anterior, se identificó a través de la matriz de despliegue de funciones de calidad que el macroproceso crítico es el proceso de realización del producto como se puede ver en la tabla 11. Posteriormente, luego del resultado de la matriz de priorización según la tabla 12, se determinó que el proceso crítico es el proceso de ingeniería. En este capítulo, se aplicará la metodología DMAIC a este proceso crítico.

Para ello, primero se realizarán las definiciones de las variables del proceso de ingeniería para proyectos que involucran salas eléctricas; luego, se procederá con las mediciones de las mismas; seguidamente, se analizará los resultados de la medición del proceso. Posteriormente, con base en el análisis se propondrán las mejoras correspondientes y finalmente se propondrá la estandarización de las propuestas de mejora.

3.1. Definir

En este capítulo se busca identificar el proceso de ingeniería y utilizar aquellos resultados e indicadores de proceso que permitan reconocer cuándo ocurre un problema. A continuación se describe el proceso de ingeniería para proyectos que involucran salas eléctricas, seguidamente, se analizará la voz del cliente identificando los factores críticos para el cliente que se encuentran en el proceso y que se transformarán en indicadores medibles llamados variables del proceso. Finalmente, se describirán las variables del proceso, las cuales se analizarán posteriormente.

3.1.1. Diagrama SIPOC del proceso

Para describir el proceso de ingeniería se utilizó el diagrama de alto nivel SIPOC tal como se muestra en la tabla 20, con el cual se da una visión general del proceso, identificando a los proveedores, insumos o entradas, los subprocesos relevantes, las salidas, los clientes y sus requerimientos. En este diagrama se identificó que el área comercial transfiere las bases, especificaciones, alcances y otra información que requiera el proyecto y dicha información sirve como input para que el área de ingeniería inicie con el desarrollo y diseño de la misma. Como resultado del proceso se obtiene la documentación correspondiente al diseño de la ingeniería entre los cuales se encuentran los diagramas unifilares, layouts finales, lista de equipos con su respectivo dimensionamientos, hojas de datos, entre otros la cual es enviada al

cliente para su revisión y aprobación. Este consolidado de información se encuentra estructurado en la lista maestra de documentos o también llamado estado de ingeniería, el cual contiene la codificación, descripción, área responsable, revisiones y aprobaciones de todos los documentos que forman parte del entregable de ingeniería para el proyecto; de esta forma se realiza la gestión documentaria.

Tabla 20: Diagrama SIPOC del proceso actual

SUPPLIER	INPUT	PROCESS	OUTPUT	CUSTOMER
Cliente final	Especificaciones del cliente	Transferencia de información del área comercial al área de ingeniería.	Consultas técnicas y comerciales.	Ingeniería
	Alcance del proyecto		Lista de documentos	
	Otra documentación		Cronograma del proyecto	
Ingeniería	Especificaciones del cliente	Desarrollo de la ingeniería básica para el proyecto.	Hoja de Datos	Ingeniería
	Planos básicos del cliente		Concepto de ingeniería básico	
	Layouts		Lista de equipos	
Ingeniería	Ingeniería básica	Desarrollo de la ingeniería de detalle para el proyecto.	Diseño final de ingeniería	Ingeniería
	Especificaciones del cliente		Lista de equipos final	
	Lista de equipos		Layouts finales	
	Hoja de Datos		Lista maestra de documentos.	
Ingeniería	Diseño final de ingeniería	Revisión interna de información	Diseño final de ingeniería revisado.	Ingeniería
	Planos, diagramas, dibujos, entre otros.		Planos, diagramas, dibujos, entre otros, revisados.	
Control Documentario	Diseño final de ingeniería	Envío de información para aprobación del cliente	Transmittal	Cliente final
	Planos, diagramas, dibujos, entre otros.		Documentación de ingeniería	
Ingeniería	Diseño final de ingeniería	Transferencia de información de ingeniería a producción.	Diseño final de ingeniería aprobado.	Producción
	Planos, diagramas, dibujos, entre otros.		Planos, diagramas, dibujos, entre otros. Aprobado.	

Elaboración propia

3.1.2. Voz del cliente

Para definir la voz del cliente, se revisó todos los comentarios de los clientes correspondientes a problemas relacionados al área de ingeniería como resultado de las encuestas NPS⁹ durante el periodo 2015 y 2016. Se identificó una de las características críticas de la calidad para los entregables de ingeniería y dicha

⁹ Net Promoter Score (NPS): Encuesta de satisfacción anual de la compañía en donde se le califica del 1 al 10 respondiendo a la pregunta: "¿Qué probabilidades hay de que recomiendes a la compañía a un compañero de trabajo?"; además, el cliente puede comentar acerca de las debilidades y fortalezas de la compañía en distintos aspectos técnicos y soft.

información se diagramó en un *Critical Quality Tree* (CQT) que se muestra en el gráfico 34.

Se puede observar que la voz del cliente (VOC) se interpreta con el siguiente requerimiento: los entregables de ingeniería para el proyecto deben cumplir con las especificaciones tanto técnicas (contenido) como de estructura (forma) definidas previamente, vale decir, que un documento no debe ser enviado para revisión más de dos veces para finalmente conseguir la conformidad; así como también, deben cumplir con el plazo de entrega acordado en el cronograma del proyecto.

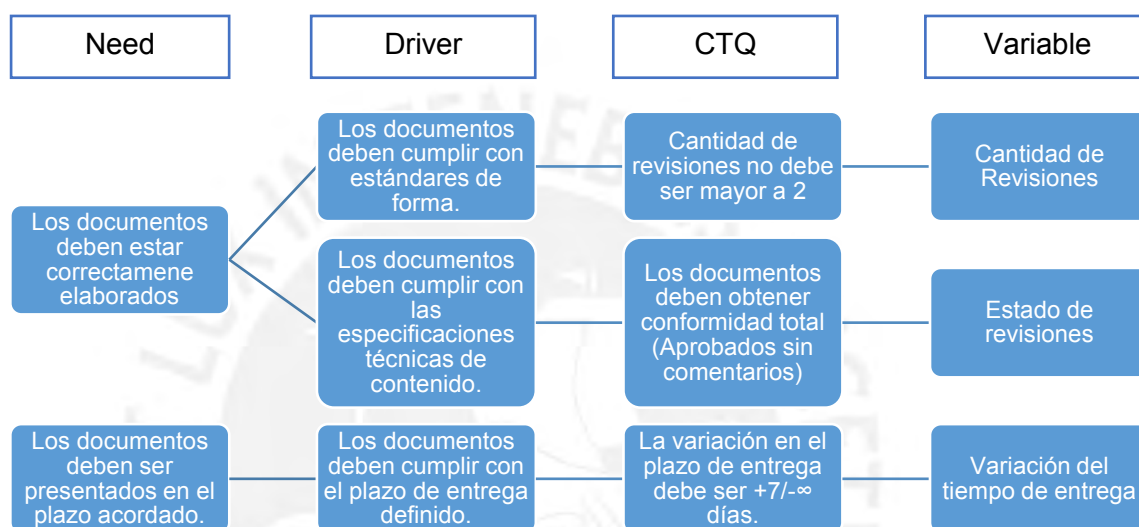


Gráfico 34: Diagrama CQT para el proceso de elaboración de propuestas
Elaboración propia

A continuación se describirán los indicadores definidos en el CQT (gráfico 34):

- Cantidad de revisiones del documento: todo documento que pasa por un proceso de aprobación cuenta con un control de cambios que permite gestionar adecuadamente el versionamiento del mismo. El flujo de aprobación de un documento inicia con una revisión interna, levantamiento de observaciones y finalmente aprobación del cliente; para lo cual, se maneja la siguiente regla como se muestra en la tabla 21:

Tabla 21: Criterios para el versionamiento de documentos de ingeniería

Revisión	Descripción
Rev.A	Emitido para revisión interna
Rev.B	Emitido para aprobación del cliente
Rev.C	En caso, existan observaciones por parte del cliente en la Rev.B, se procederá con la corrección de las mismas actualizando la revisión del documento a Rev.C y se envía nuevamente para aprobación. En caso existan nuevas observaciones, estas se corrigen y el documento pasaría a una siguiente Rev.D; y así sucesivamente.
Rev.0	El documento se encuentra aprobado por el cliente. Se emite para fabricación (producción), por lo que corresponde enviarlo al cliente nuevamente.

Elaboración propia

- Estado del documento: una vez que el documento es enviado al cliente y este último da sus comentarios, el documento recibe una calificación correspondiente la cual se aplica de acuerdo a la siguiente regla detallada en la tabla 22:

Tabla 22: Calificación de la documentación revisada por el cliente

Calificación	Descripción	Puntaje
INFO	Informativo	3
DPC	Devuelto para corrección	1
APR	Aprobado	3
ACO	Aprobado con comentarios	2

Elaboración propia

- Variación en el plazo de entrega: Los plazos de entrega de los documentos han sido definidos en el cronograma del proyecto, por lo que es un acuerdo entre ambas partes, tanto el cliente como la compañía; por lo tanto, es imperativo el cumplimiento de la entrega de los documentos en el plazo establecido. Para tal efecto, se utilizará como indicador, la diferencia entre la fecha solicitada por el cliente y la fecha de entrega real.

3.2. Medir

En este capítulo se enfocará en cómo medir las variables críticas del proceso determinadas en la etapa anterior de la metodología, las cuales tienen un alto impacto en la percepción del cliente. Es necesario entender las relaciones causales entre el desempeño de los procesos y el valor para el cliente. Sin embargo, una vez que se entienden, es necesario definir e implementar los procedimientos para reunir los hallazgos; vale decir, recopilar los datos adecuados y proceder con el análisis respectivo. Por lo tanto, se seleccionarán las variables a medir de acuerdo al tipo de documento más crítico, se realizarán las pruebas de normalidad correspondientes, así como también, se elaborará las gráficas de control. Finalmente, se llevará a cabo el análisis de capacidad del proceso.

3.2.1. Selección de variables críticas

Con el proceso ya descrito, se procedió a recolectar información sobre las variables definidas previamente: cantidades de revisiones, estado del documento y variación en el tiempo de entrega. Para ello, se realizó una recopilación de los estados de ingeniería de los últimos proyectos cerrados, tomando como referencia proyectos que involucraron salas eléctricas.

La documentación dentro del estado de ingeniería se puede agrupar por tipo de documento; de tal manera que el análisis de variables se realizará en base a tipos de documentos. A continuación, en la tabla 23 se muestra los tipos de documentos que se encuentra en un estado de ingeniería:

Tabla 23: Tipos de documentos dentro un Estado de Ingeniería

Tipo de Documento	Descripción
Dibujos	Planos mecánicos, Planos eléctricos, Layouts, Diagramas unifilares
Hoja de Datos	Hoja de datos
Especificaciones	Especificaciones técnicas
Listas	Lista de cargas, Lista de materiales, Lista de señales
Manuales	Manuales de Instalación, Operación y Mantenimiento
Plan	Plan de calidad, Plan de seguridad, Plan de pruebas
Protocolo	Protocolo de pruebas
Reportes	Memorias de Cálculo, Reportes de estudios previos

Fuente: La compañía

En el anexo 14 se detalla una muestra de datos de las variables y su respectiva clasificación por tipo de documento, el cual fue extraído de un Excel que consolida los Estados de Ingeniería de los proyectos cerrados.

Con dicha base de datos, se agruparon los datos por tipo de documento con la finalidad de obtener los datos de cantidad de revisiones, estado de documento y variación de tiempo de entrega a ese nivel; de esta forma, se podrá calcular la media y variación de las variables por tipo de documento. De acuerdo a lo expuesto por Evans (2008:94), el enfoque de la metodología DMAIC es reducir la variabilidad en los procesos la cual se refleja en la varianza de una variable asociada a dicho proceso. Por lo tanto, se escogerán los tipos de documentos que presenten mayor variabilidad, en otras palabras, los que tengan mayor varianza.

Para tal efecto, se seleccionó al tipo de documento Dibujo ya que es el que presenta mayor variabilidad con respecto al resto de tipos de documentos en base a los indicadores críticos, cantidad de revisiones, estado de documento y variación en el tiempo de entrega; como se puede apreciar en la tabla 24.

Tabla 24: Media y variación de variables por tipo de documento

Tipo de Documento	# Datos	Cantidad de Revisiones		Estado de Documento		Variación de Tiempo de Entrega	
		Media	Varianza	Media	Varianza	Media	Varianza
Dibujos	500	1.977	0.581	2.674	0.722	10.337	8.097
Especificaciones	75	1.714	0.374	2.846	0.141	3.308	6.397
Hoja de datos	54	1.950	0.155	2.611	0.652	6.450	7.839
Lista	48	1.154	0.474	2.000	0.600	1.545	4.873
Manual	62	1.429	0.457	2.667	0.238	5.300	8.028
Plan	43	2.000	0.237	2.467	0.410	6.250	7.537
Reportes	99	1.750	0.286	2.714	0.238	9.000	5.667

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Pruebas de ajuste de variables

Para poder aplicar un análisis estadístico es requisito demostrar que las variables continuas se ajustan a una distribución normal, mientras que las variables discretas se ajustan a una distribución binomial.

3.2.2.1. Variable “cantidad de revisiones Dibujos”

Para la variable cantidad de revisiones (ver datos en el anexo 15), dado que es una variable discreta, se analizará el grado de ajuste respecto a una distribución binomial dadas las características propias de los datos. Durante el análisis de CTQ se definió que el nivel máximo de revisiones que debe tener un documento es 2, por lo tanto, se utilizará este valor para identificar si un dibujo es conforme o no, es decir, si el documento tiene más de 2 revisiones entonces se considerará una disconformidad.

En ese sentido, se realizará la prueba chi cuadrado para la bondad de ajuste, mediante la cual se buscará analizar la diferencia existente entre la frecuencia de ocurrencia de las observaciones en una muestra observada y las frecuencias esperadas que se obtienen a partir de la distribución hipotética.

A continuación, se presenta la prueba de chi cuadrado con un α de 0.05:

H0: Los datos se ajustan a una distribución binomial

H1: Los datos no se ajustan a una distribución binomial

$$\mu = f(z) = \frac{\sum fx}{\sum f} = \frac{(72) * (1) + (79) * (2) + (64) * (3) + (41) * (4) + (44) * (5)}{300}$$

$$\mu = 2.923$$

$$p = \frac{\mu}{n} = \frac{2.923}{5} = 0.584$$

$$p(x) = C_x^5 (0.5373)^x (0.4627)^{(5-x)}$$

En la tabla 25, se muestra las frecuencias esperadas y observadas de cada valor para la variable “cantidad de revisiones”:

Tabla 25: Frecuencias esperadas y observadas para “cantidad de revisiones”

Revisiones	P(x revisiones)	Frecuencia esperada	Frecuencia observada
1.00	0.08698923	26.09676915	36
2.00	0.244910289	73.47308681	74
3.00	0.344761354	103.4284063	92
4.00	0.242661082	72.79832451	73
5.00	0.068319027	20.49570806	25
Total			300

Elaboración propia

$$\text{Grados de libertad} = k - 1 - m = 5 - 1 - 1 = 3$$

Para este caso, el valor de m se considerará 1 ya que se tuvo que estimar la media poblacional con la finalidad de obtener el valor de p y finalmente calcular los valores esperados.

Según el valor α igual a 0.05 y los grados de libertad igual a 3, se determinó el valor chi cuadrado teórico en tablas de acuerdo al anexo 18:

$$X^2_{(0.05,3)} = 7.81$$

Regla de decisión:

Si $X^2 < 7.81$ no se rechaza H_0 .

Si $X^2 > 7.81$ se rechaza H_0 .

$$X^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j}$$

$$X^2 = \frac{(72 - 36.93)^2}{36.93} + \frac{(79 - 85.78)^2}{85.78} + \frac{(64 - 99.63)^2}{99.63} + \frac{(41 - 57.85)^2}{57.85} + \frac{(44 - 13.44)^2}{13.44}$$

$$X^2 = 6.015$$

Dado que valor X^2 de 6.015 no es mayor al valor 7.81 calculado en tablas de distribución, por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis H_0 ; de acuerdo con ello,

se concluye con un nivel de confianza del 95% que los datos se ajustan a una distribución binomial.

3.2.2.2. Variable “estado de revisión Dibujos”

Para la variable “estado de revisión Dibujos” (ver datos en el anexo 15), de igual forma que la variable anterior, se analizará el grado de ajuste respecto a una distribución binomial mediante la prueba de bondad de ajuste chi cuadrado. De acuerdo con ello, durante el análisis CTQ se definió que la calificación óptima que debe obtener el documento es aprobado sin comentarios, lo cual según la tabla 22 se traduce en un puntaje de 3, se utilizará este valor para identificar si un dibujo es conforme o no, es decir, si el documento tiene una calificación menor a 3 entonces se considerará una disconformidad.

A continuación, se presenta la prueba de chi cuadrado con un α de 0.05:

H0: Los datos se ajustan a una distribución binomial

H1: Los datos no se ajustan a una distribución binomial

$$\mu = f(z) = \frac{\sum fx}{\sum f} = \frac{(72) * (1) + (79) * (2) + (64) * (3) + (41) * (4) + (44) * (5)}{300}$$

$$= 2.05$$

$$p = \frac{\mu}{n} = \frac{2.05}{3} = 0.683$$

$$p(x) = C_x^3 (0.683)^x (0.317)^{(3-x)}$$

En la tabla 26, se muestra las frecuencias esperadas y observadas de cada valor para la variable “estado de documento”:

Tabla 26: Frecuencias esperadas y observadas para “estado de documento”

Revisiones	P(x revisiones)	Frecuencia esperada	Frecuencia observada
1.00	0.20556944	61.6708333	73
2.00	0.44359722	133.079167	139
3.00	0.3190787	95.7236111	88
Total			300

Elaboración propia

$$\text{Grados de libertad} = k - 1 - m = 3 - 1 - 1 = 1$$

Para este caso, el valor de m se considerará 1 ya que se tuvo que estimar la media poblacional con la finalidad de obtener el valor de p y finalmente calcular los valores esperados.

Según el valor α igual a 0.05 y los grados de libertad igual a 1, se determinó el valor chi cuadrado teórico en tablas de acuerdo al anexo 18: $X^2_{(0.05,1)} = 3.84$

Regla de decisión:

Si $X^2 < 3.84$ no se rechaza H_0 .

Si $X^2 > 3.84$ se rechaza H_0 .

$$X^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j} = \frac{(73 - 61.67)^2}{61.67} + \frac{(139 - 133.08)^2}{133.08} + \frac{(88 - 95.72)^2}{95.72} = 2.967$$

Dado que valor X^2 de 2.967 no es mayor al valor 3.84 calculado en tablas de distribución, por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis H_0 ; de acuerdo con ello, se concluye con un nivel de confianza del 95% que los datos se ajustan a una distribución binomial.

3.2.2.3. Variable "variación en tiempo de entrega Dibujos"

Finalmente, para el caso de la variable "variación en tiempo de entrega Dibujos" (ver datos en el anexo 15), dado que es una variable continua, se verificará el ajuste de los datos a una distribución normal. En el gráfico 35, se observa el resultado de realizar la prueba de normalidad Anderson Darling a la variable en mención; de acuerdo con ello, se puede afirmar con un 95 % de confianza que los datos se ajustan a una distribución normal con media 8.427 días y una desviación estándar de 2.032, dado que el p-value tiene un valor de 0.118 y por ende es mayor a 0.05.

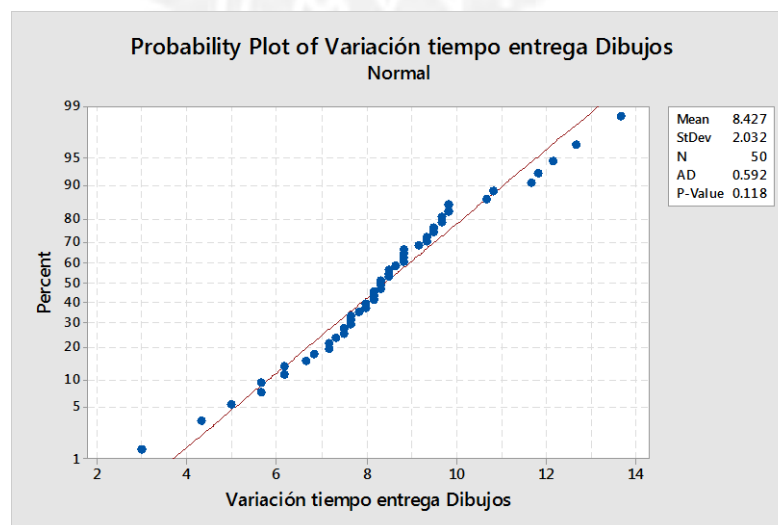


Gráfico 35: Prueba de normalidad Anderson-Darling para "variación tiempo entrega"
Elaboración propia

3.2.3. Gráficas de control para las variables seleccionadas

Para la variable “cantidad de revisiones Dibujos” (ver datos en el anexo 16), se utilizó una gráfica de control por atributos, específicamente la gráfica p, con la finalidad de monitorear la proporción de documentos que tienen más de dos revisiones a los cuales se les considerará como disconformes.

En el gráfico 36 se presenta el gráfico de control p correspondiente a la variable “cantidad de revisiones”. En dicho gráfico, se observa que la proporción se encuentra estadísticamente bajo control dado que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control y no existen patrones no aleatorios especificados por Juran en el anexo 17.

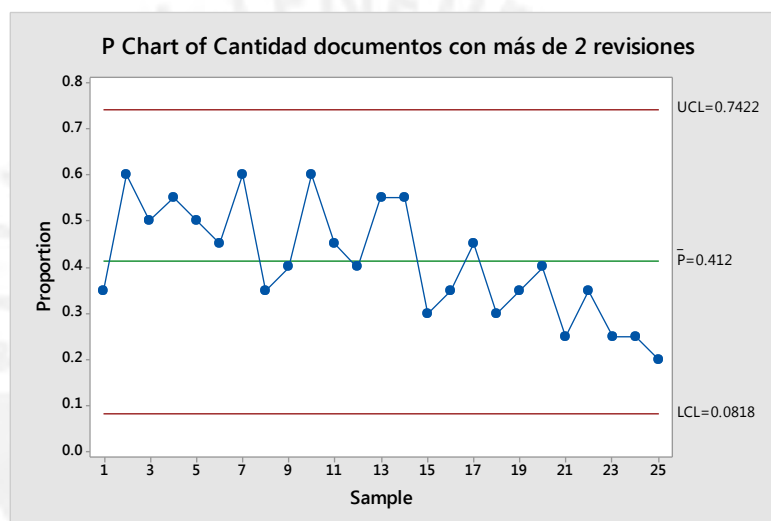


Gráfico 36: Gráfico de control p de cantidad de documentos con más de 2 revisiones
Elaboración propia

Para la variable “estado de revisión Dibujos” (ver datos en el anexo 16), se utilizó una gráfica de control por atributos, específicamente la gráfica p, con la finalidad de monitorear la proporción de documentos que tienen una calificación menor a 3 a los cuales se les considerará como disconformes.

En el gráfico 37 se presenta el gráfico de control p correspondiente a la variable “estado del documento”. En dicho gráfico, se observa que la proporción se encuentra estadísticamente bajo control dado que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control y no existen patrones no aleatorios especificados por Juran en el anexo 17.

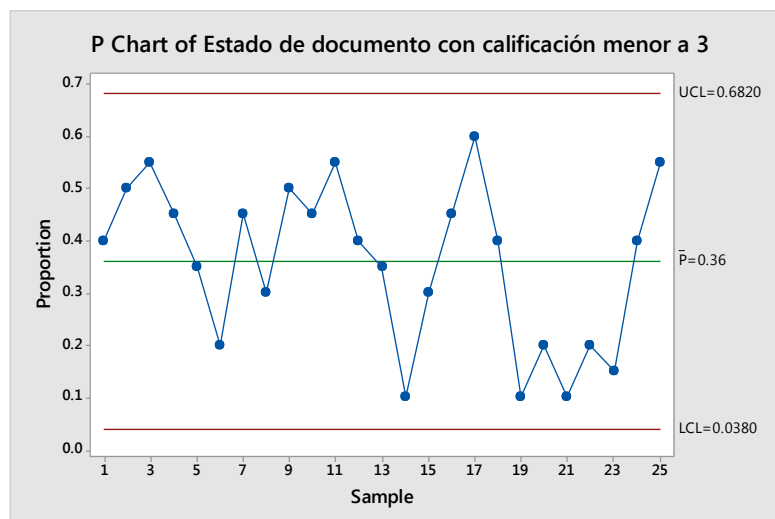


Gráfico 37: Gráfico de control p de documentos con calificación menor a 3
Elaboración propia

Finalmente, para la variable “variación en tiempo entrega Dibujos” se utilizó una gráfica de control por variable X-R, dado que los datos corresponden a una variable continua. En el gráfico 38 se presenta el gráfico de control X-R en el cual se observa que la variable se encuentra estadísticamente bajo control y no se visualizan los patrones no aleatorios detallados en el anexo 17.

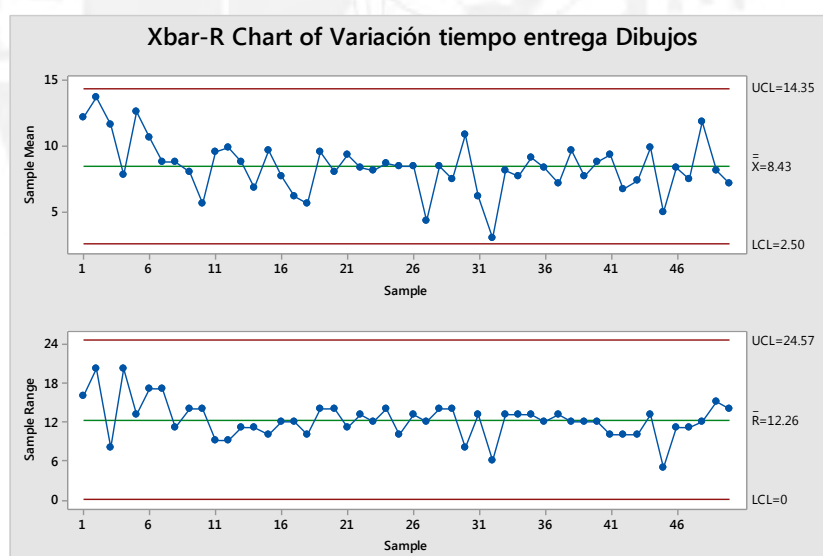


Gráfico 38: Gráfico de control Xbarra-R de la variable "Variación tiempo entrega Dibujos"
Elaboración propia

3.2.4. Análisis de capacidad del proceso

De acuerdo con Pyzdek (2003:495), los principales requisitos para iniciar un estudio de capacidad del proceso consiste en que esté se encuentre estadísticamente estable y que las mediciones individuales del proceso se comporten siguiendo una distribución normal en caso se trate de una variable continua o una distribución

binomial en caso de variables discretas (en este caso, se utiliza la distribución binomial para las variables discretas ya que se describe un proceso donde los resultados se pueden etiquetar como un evento o un no evento). Con respecto al primer requisito, en el punto anterior se realizó el análisis para cada variable, determinando que para todas ellas, el proceso se encuentre bajo control estadístico y para el segundo requisito, mediante la prueba de ajuste de cada variable se concluyó que los datos correspondientes a la variable “variación en tiempo entrega Dibujos” se ajustan a una distribución normal, mientras que, tanto la variable “cantidad de revisiones” como “estado de documento” se ajustan a una distribución binomial.

3.2.4.1. Variable “cantidad de revisiones Dibujos”

En el gráfico 39, se visualiza el análisis de capacidad de proceso binomial para la variable “cantidad de revisiones Dibujos”, para lo cual, se procederá a describir cada uno de los 4 gráficos incluidos:

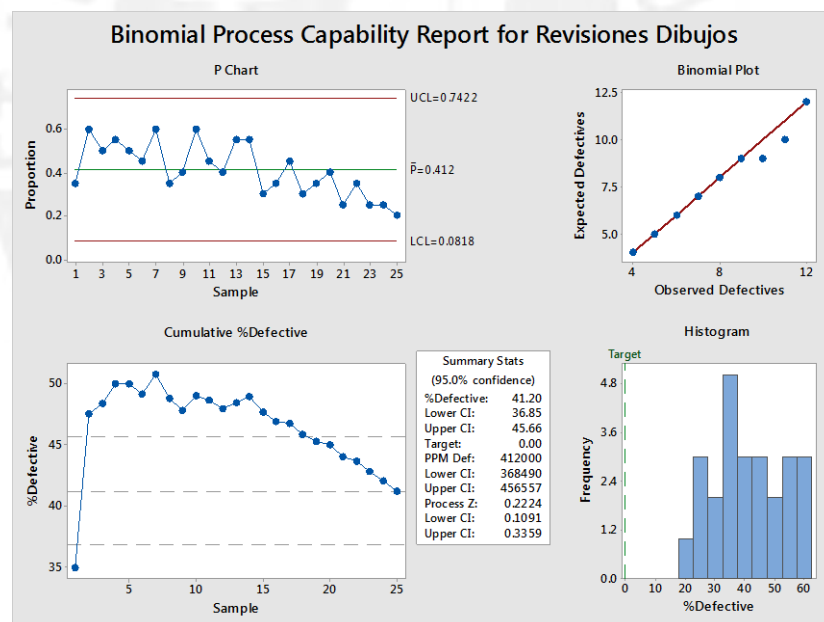


Gráfico 39: Análisis de capacidad de proceso "cantidad revisiones Dibujos"
 Elaboración propia

- P-Chart: representa la gráfica de control por atributos p, la cual demuestra que no existen puntos fuera de los límites de control ni patrones no aleatorios.
- Binomial plot: muestra la distribución binomial evidenciando la diferencia entre los valores observados y valores esperados, que para este caso, dicha diferencia no es significativa dado que la mayoría de los puntos se encuentra sobre la recta.

- Cumulative % Defective: muestra el porcentaje de defectuosos acumulados con la finalidad de evaluar la asertividad respecto a la cantidad de datos analizados. En este caso, el gráfico no se ha estabilizado lo suficiente como para determinar qué la cantidad de muestras fue adecuada.
- Histogram: representa la distribución de los porcentajes de defectuosos, el cual parece tener cierta simetría cuyo rango va de 20 a 60%.

Asimismo, se observa un valor PPM de 412,000, el cual se traduce en un nivel sigma de 0.2224, es decir, el proceso no es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

3.2.4.2. Variable "estado de revisiones Dibujos"

En el gráfico 40, se visualiza el análisis de capacidad de proceso binomial para la variable "cantidad de revisiones Dibujos", para lo cual, se procederá a describir cada uno de los 4 gráficos incluidos:

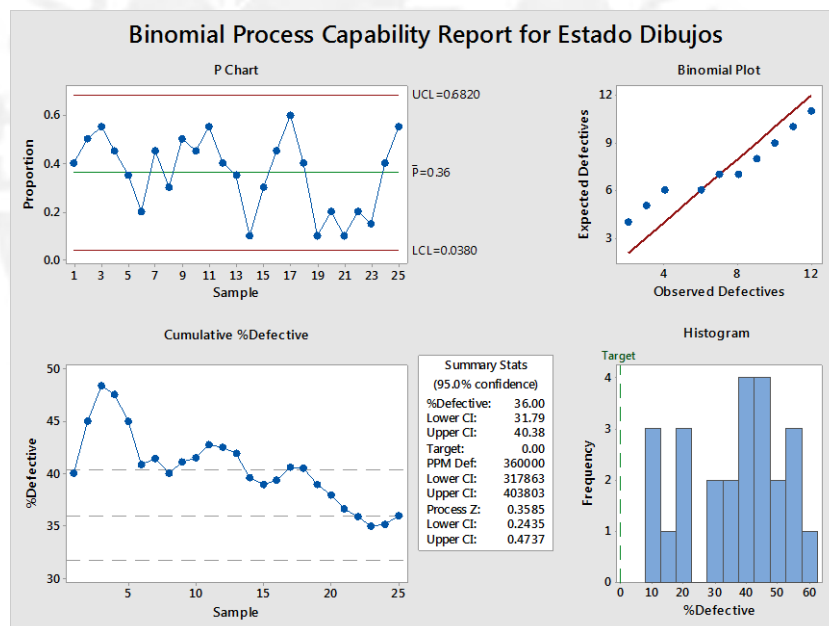


Gráfico 40: Análisis de capacidad de proceso "estado revisiones Dibujos"
 Elaboración propia

- P-Chart: representa la gráfica de control por atributos p, la cual demuestra que no existen puntos fuera de los límites de control ni patrones no aleatorios
- Binomial plot: muestra la distribución binomial evidenciando la diferencia entre los valores observados y valores esperados, que para este caso, dicha diferencia se podría considerar significativa dado que la mayoría de los puntos se encuentra por encima o debajo de la recta.

- Cumulative % Defective: muestra el porcentaje de defectuosos acumulados con la finalidad de evaluar la asertividad respecto a la cantidad de datos analizados. En este caso, el gráfico no se ha estabilizado lo suficiente como para determinar qué la cantidad de muestras fue adecuada.
- Histogram: representa la distribución de los porcentajes de defectuosos, el cual parece tener cierta simetría cuyo rango va de 10 a 60%.

Asimismo, se observa un valor PPM de 360,000, el cual se traduce en un nivel sigma de 0.3585, es decir, el proceso no es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

3.2.4.3. Variable “variación tiempo entrega Dibujos”

Como se puede observar en el gráfico 41, que corresponde al análisis de capacidad de proceso para la variable “variación tiempo entrega Dibujos”, se muestra un valor de índice Cp de 0.24 y un valor de ppm de 657,054.52 lo cual indica que el proceso no es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

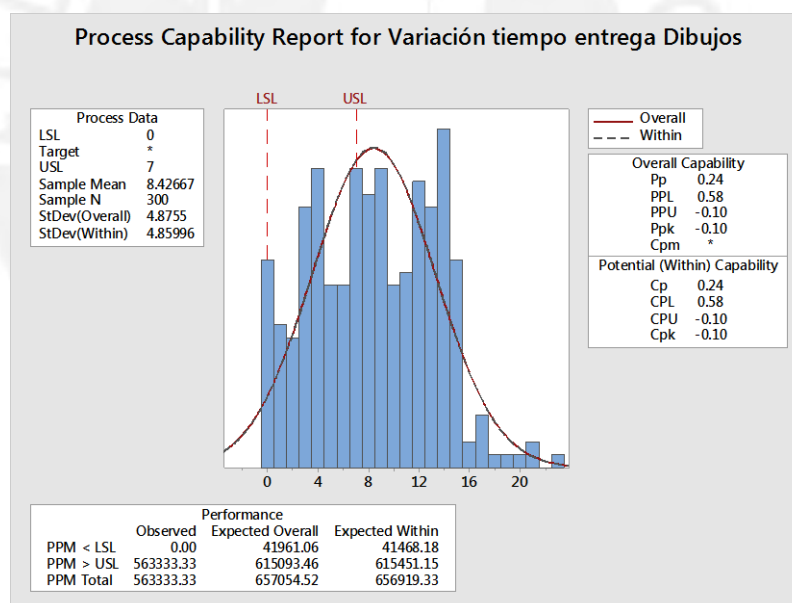


Gráfico 41: Análisis de capacidad del proceso "Variación tiempo entrega Dibujos"
Elaboración propia

3.3. Analizar

En este capítulo se analizarán las causas que originan una alta cantidad de revisiones en los tipos de documentos Dibujos y la alta variación del tiempo de entrega en este mismo tipo de documento. Para ello, se realizará un diagrama de causa efecto para identificar las distintas causas que están relacionadas directamente con la problemática definida previamente y que impactan

significativamente. Posteriormente, se utilizará el análisis modal falla efecto para calcular la prioridad riesgos de los modos de falla para el proceso de desarrollo de ingeniería.

3.3.1. Diagrama Causa - Efecto

Mediante la aplicación del método creativo llamado *Brainstorming* junto a los dueños del proceso, se elaboró un listado de posibles causas y en base a ello, se construyó el diagrama causa y efecto agrupando las causas en categorías según su afinidad. De esta forma se podrá seleccionar las causas raíces más adecuadas.

A continuación, en el gráfico 42 se muestra el diagrama causa y efecto para la problemática de alta cantidad de revisiones y baja calificación:



Gráfico 42: Diagrama Causa Efecto "Alta cantidad de revisiones y baja calificación"
Elaboración propia

En base al gráfico 42, se explicará el detalle de las causas identificadas dentro de cada factor:

- En el factor Método, se identifica que no existen formatos estándares reutilizables que sirva como fuente para empezar a desarrollar el contenido del mismo; asimismo, sobresalió la falta de checklist que contengan los parámetros mínimos que se deben verificar durante la etapa de revisión; finalmente, la falta de procedimiento respecto al control de revisiones. De acuerdo con el equipo de ingeniería, las tres causas son las más probables.
- En el factor Proveedores, se identificó la falta de control documentario entre la compañía y el proveedor, la falta de procedimientos de comunicación entre compañía y proveedor; y finalmente, la falta de un listado mínimo de

documentación que debe emitir el proveedor como entregable. De acuerdo con el equipo de ingeniería, las tres causas son las más probables.

- Para el factor Cliente, se identificó que las causas principalmente son demoras en la emisión de compra parte del cliente, demora en la aprobación del estado de ingeniería por parte del cliente y la falta de un listado de documentación que el cliente debe entregar al inicio del proyecto.
- Para el factor Personas, se identificó que las causas son la falta de identificación de responsables de revisión, la falta de capacitación y la falta de difusión de la información entre los ingenieros del proyecto.

Asimismo, se elaboró el diagrama causa y efecto para la problemática demora en el tiempo de entrega, tal y como se muestra en el gráfico 43.

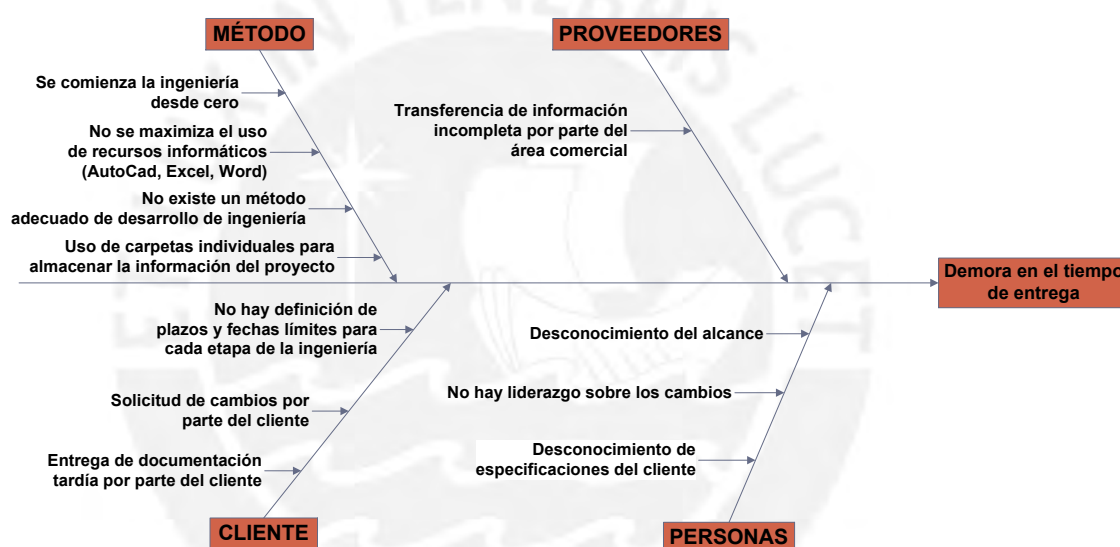


Gráfico 43: Diagrama Causa Efecto para "Demora en el tiempo de entrega"
Elaboración propia

De acuerdo con el gráfico 43, se explicará el detalle de las causas dentro de cada factor:

- En el factor Método, se identifica que no se aprovechan diseños de proyectos anteriores que pueden ser la fuente para iniciar el desarrollo de la ingeniería de un nuevo proyecto, no se maximiza el uso de recursos informáticos tales como AutoCAD, no existe un método adecuado de revisión de documentos; finalmente, la falta de un repositorio para almacenar información estándar para proyectos. Las cuatro causas son fuentes más probables de la problemática descrita.
- En el factor Proveedores, se identificó que un deficiente proceso de transferencia de información del área comercial al equipo de ingeniería del

proyecto genera demoras en el tiempo de entrega. Es una causa más probable.

- Para el factor Cliente, se identificó que las causas principalmente son la falta de definición de plazos y fechas límites para cada etapa de ingeniería, la solicitud de cambios por parte del cliente no es oficializada y la entrega de documentación tardía por parte del cliente.
- Para el factor Personas, se identificó que las causas son el desconocimiento del alcance del proyecto por parte del equipo, no hay liderazgo sobre los cambios que surgen en el proceso y finalmente, desconocimiento de las especificaciones del cliente.

Seguidamente, en el anexo 20 se presenta la matriz de priorización y matriz 5 porqués que permitirán analizar con mayor detalle las causas identificadas mediante los diagramas Ishikawa previos (Ver gráfico 42 y 43). Como resultado de dicho análisis, se identificaron 8 causas raíces, las cuales serán la entrada para desarrollar el análisis modal de falla efecto presentado en el punto siguiente.

3.3.2. Análisis Modal de Falla Efecto (AMFE)

Para efectuar un análisis de riesgo, se desarrolló un análisis modal de fallos y efecto para identificar y prevenir los modos de fallo en el proceso de desarrollo de ingeniería, específicamente para el tipo de entregable Dibujos. Para esto, se evaluó el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) que incluye los valores de gravedad (S), probabilidad (O) y probabilidad de no detección (D). En el anexo 21, se pueden encontrar los valores de puntuación para la probabilidad de ocurrencia, nivel de detección y gravedad.

Finalmente, de acuerdo a la evaluación del análisis modal de falla efecto presentado en el anexo 22, se identifica que los problemas que tienen un alto nivel de prioridad riesgos son: la falta de combinación óptima de los niveles de factores críticos, la falta de formatos estándar, falta de procedimientos y un inadecuado flujo de transferencia de información entre las áreas al inicio del proyecto.

3.4. Mejorar

En el capítulo anterior se encontraron las causas que originan una alta cantidad de revisiones del tipo de documento Dibujos así como su alta variación en cuanto al tiempo de entrega del mismo. Tomando dichos resultados como punto de partida, en este capítulo se detallan las propuestas de mejora en el proceso. A continuación,

se propone desarrollar un diseño de experimentos con la finalidad de identificar la combinación de valores óptimos de los factores críticos en el proceso de ingeniería, estandarización de procesos como medida para mejorar el proceso de desarrollo de ingeniería, se propone también el uso del método Poka Yoke para evitar la aparición de problemas inadvertidos. Además, se propone un plan de capacitación técnica al personal para que se actualicen en cuanto al uso de herramientas informáticas propias de sus actividades operativas así como también en temas de mejora continua.

3.4.1. Diseño de Experimentos

Antes de efectuar el análisis de Diseño de Experimentos, se analizarán los factores controlables y no controlables involucrados en el proceso de desarrollo de ingeniería con la finalidad de determinar la cantidad de factores que involucrará el análisis; ya sea de un factor o multivariable.

3.4.1.1. Factores del proceso

Los factores controlables son aquellos en los que el área de ingeniería tiene control y que de ser modificados, afectan directamente en los resultados del proceso; por lo tanto, estos factores pueden ser ajustados para obtener como resultado algún valor óptimo.

- Método de trabajo: el método de trabajo actual consiste en utilizar la documentación de un proyecto de igual alcance o similar como base para desarrollar la ingeniería del nuevo proyecto. Por otro lado, se desarrolló un nuevo método de trabajo el cual consiste en utilizar formatos estándar automatizados de documentación, es decir, cada vez que se cree un nuevo sitio para un proyecto en el portal de SharePoint, este contendrá los formatos necesarios para la ingeniería de dicho proyecto, los cuales tendrán un avance de hasta el 80% (dado que el concepto de ingeniería para salas se encuentra estandarizado) y el 20% restante se desarrollará en base a los requerimientos personalizados del proyecto en cuestión. En este sentido, este factor tendrá dos niveles, siendo el nivel bajo, el método de trabajo actual; mientras que, el nivel alto, el nuevo método de trabajo.
- Cantidad de documentos por ingeniero: El jefe de ingeniería del proyecto se encargará de asignar la cantidad de documentos que los ingenieros del proyecto deberán desarrollar en el plazo exigido. Cabe mencionar que el análisis involucra únicamente el tipo de proyecto en estudio, es decir,

proyectos que tienen como alcance fabricación de salas eléctricas, equipamiento y despacho a mina del cliente. Este factor, tendrá dos niveles, siendo el nivel bajo, 10 documentos; mientras que, el nivel alto, 50 documentos.

- Tiempo de revisión del documento previo a su envío: Una vez elaborado un documento por el ingeniero encargado, este deberá iniciar el flujo de revisiones previo a su envío al cliente con la finalidad de detectar posibles errores de forma y diseño que podrían repercutir en el diseño de la ingeniería. Este factor, tendrá dos niveles, siendo el nivel bajo, 0 horas; mientras que, el nivel alto, 2.5 horas.

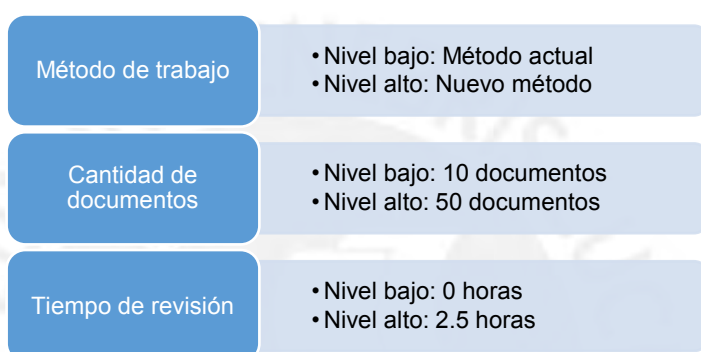


Gráfico 44: Factores críticos del proceso
Elaboración propia

3.4.1.2. Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos propuesto es un diseño factorial completo 2^k que permitirá determinar el efecto de los tres factores así como sus interacciones; de acuerdo con ello, en el gráfico 45 se muestra el resumen del diseño de experimentos con los tres factores involucrados: Método de trabajo (A), Cantidad de documentos asignados a un ingeniero (B) y Tiempo de revisión interna invertido en el documento antes de su envío al cliente (C). Asimismo, en el anexo 23 se muestra la matriz de corridas para el diseño de experimentos a ejecutar.

Full Factorial Design			
Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	16	Replicates:	2
Blocks:	1	Center pts (total):	0
All terms are free from aliasing.			

Gráfico 45: Diseño factorial 2^k con tres factores
Elaboración propia

En la tabla 27, se muestra los valores de respuesta obtenidos por cada tratamiento con sus respectivos promedios:

Tabla 27: Resultado de medición por tratamiento:

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C	n1	n2	n3	n4	n5	n6	Promedio
bc	-1	1	1	6	7	3	5	5	5	5.17
1	-1	-1	-1	13	16	7	15	13	12	12.67
ac	1	-1	1	0	3	2	1	4	3	2.17
abc	1	1	1	9	11	13	12	12	9	11.00
a	1	-1	-1	2	0	0	2	0	1	0.83
bc	-1	1	1	5	7	3	8	7	3	5.50
a	1	-1	-1	0	1	2	1	0	1	0.83
1	-1	-1	-1	13	14	9	18	11	12	12.83
b	-1	1	-1	6	6	7	8	5	8	6.67
c	-1	-1	1	3	5	2	4	5	6	4.17
b	-1	1	-1	7	6	9	6	8	5	6.83
c	-1	-1	1	3	4	9	2	4	5	4.50
ac	1	-1	1	1	5	3	3	1	2	2.50
abc	1	1	1	8	12	10	15	9	10	10.67
ab	1	1	-1	0	2	1	3	0	3	1.50
ab	1	1	-1	1	1	3	2	3	0	1.67

Elaboración propia

En el gráfico 46 se muestra el gráfico de cubos para la variable “variación tiempo entrega Dibujos” con las medias respectivas para cada nivel de los factores involucrados.

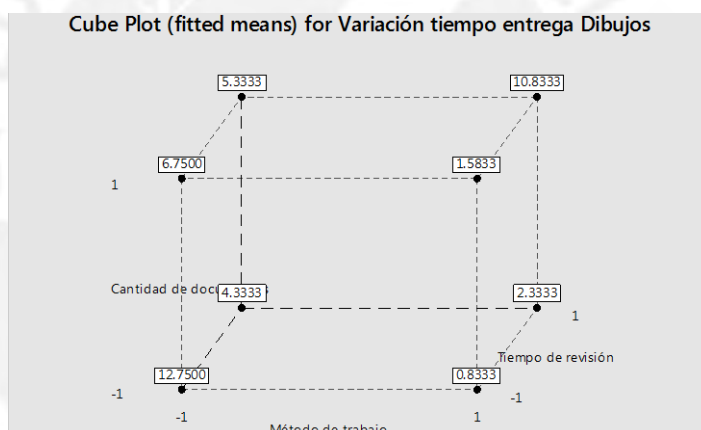


Gráfico 46: Gráfico de cubos para variable "Variación tiempo entrega Dibujos"
Elaboración propia

Como se observa en el gráfico 47, la hipótesis nula H_0 es suponer que no existe influencia en el resultado “variación tiempo entrega Dibujos” como consecuencia de los factores considerados para el proceso, mientras que la hipótesis alternativa H_1 es suponer que existe influencia en el resultado debido a un factor por lo menos.

$H_0: \tau_A = \tau_B = \tau_C = \tau_{AB} = \tau_{AC} = \tau_{BC} = \tau_{ABC} = 0$ (El factor no influye)

H_1 : El factor si influye sobre la variable de respuesta

Gráfico 47: Hipótesis nula y alternativas para el análisis
Elaboración propia

identificándolos fácilmente dado que se encuentran fuera del trazo de la recta; de esta forma se puede contrastar con los resultados del análisis de varianza. Asimismo, en el anexo 24 se muestra el diagrama de Pareto para efectos estandarizados que también permite corroborar los resultados del análisis de varianza.

Por otro lado, en el gráfico 50 se muestra los efectos principales. Teniendo en cuenta que el criterio para inferir que un efecto tiene influencia sobre la variable de respuesta es que el gráfico sea lo más vertical posible; se puede observar que los factores “cantidad de documentos” y “tiempo de revisión” tienen menor efecto en la variable de respuesta en comparación con el resto. Por otro lado, el factor “método de trabajo” es el que tiene el mayor efecto en la variable de respuesta.

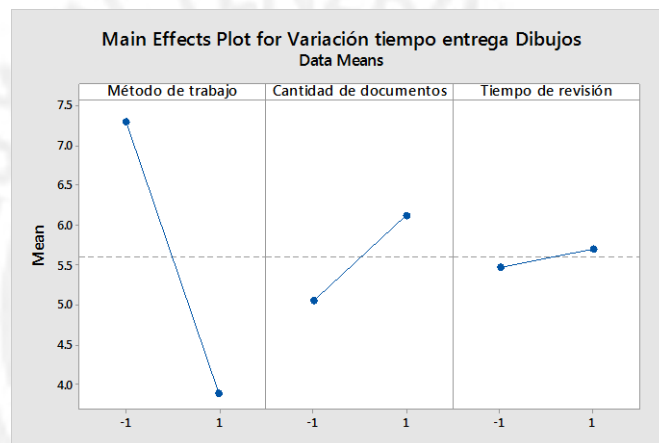


Gráfico 50: Gráfico de efectos principales
Elaboración propia

Asimismo, en el gráfico 51 se puede observar la superficie de contorno correspondiente al rango de valores de la variable de respuesta “Variación tiempo de entrega Dibujos” según las interacciones entre los factores:

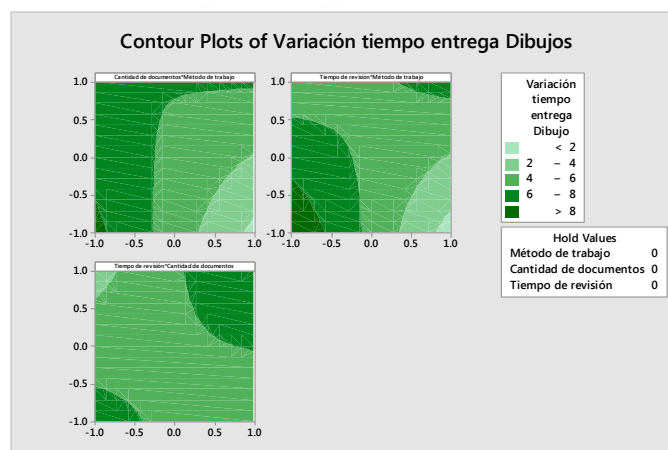


Gráfico 51: Gráfico de contornos para variable respuesta
Elaboración propia

Asimismo, se realizó el análisis de residuales en el anexo 25. Como resultado del análisis de residuales se concluye que los residuales pasan satisfactoriamente las pruebas de normalidad, variabilidad y de aleatoriedad, por lo tanto se validan los resultados obtenidos en el análisis de Diseño de Experimentos.

Finalmente, se concluye que los factores: Método de trabajo (A), Cantidad de documentos (B), Tiempo de revisión (C) y las interacciones a dos niveles son influyentes sobre la variable de respuesta. Asimismo, en el gráfico 52 se establece la siguiente ecuación con los coeficientes de los factores y/o interacciones influyentes sobre la variable de respuesta:

$$\begin{aligned} \text{Variación tiempo entrega Dibujo} = & 5.5938 - 1.6979 \text{ Método de trabajo} \\ & + 0.5313 \text{ Cantidad de documentos} + 0.1146 \text{ Tiempo de revisión} \\ & + 1.7813 \text{ Método de trabajo} * \text{Cantidad de documentos} \\ & + 2.5729 \text{ Método de trabajo} * \text{Tiempo de revisión} \\ & + 1.8438 \text{ Cantidad de documentos} * \text{Tiempo de revisión} \end{aligned}$$

Gráfico 52: Ecuación de correlación
Elaboración propia

3.4.1.3. Optimización del Diseño de Experimentos

Con la finalidad de determinar cuál es el nivel óptimo de los factores influyentes de tal manera que la variable de respuesta alcance una diferencia mínima; se utilizó el optimizador de minitab.

De acuerdo con el análisis desarrollado previamente, se determinó que los tres factores tienen influencia sobre la variable de respuesta; por lo tanto, el optimizador buscará los valores óptimos para cada factor.

A continuación, como se muestra en el gráfico 53, se puede observar la combinación de los niveles óptimos para cada factor a fin de minimizar la variación de tiempo de entrega de Dibujos; logrando alcanzar un nivel mínimo de 2.4408 días.

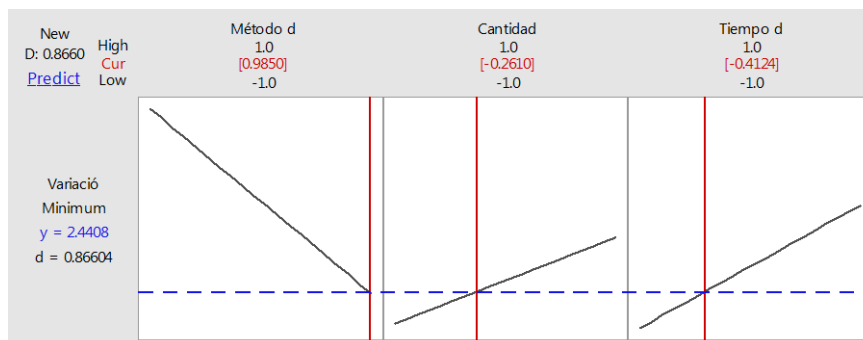


Gráfico 53: Optimización de factores
Elaboración propia

En el anexo 26, se muestra el reporte del optimizador de minitab con el resumen de los valores óptimos para cada factor.

De acuerdo con dicho reporte, los valores de cada factor son los que se muestran a continuación:

- Método de trabajo: 0.9850 el cual se puede aproximar a 1; de esta forma, equivale a trabajar con el nuevo método de trabajo que incluye formatos estándares automatizados dentro de un repositorio de documentos en SharePoint.
- Cantidad de documentos: -0.2610; equivale a una cantidad de documentos óptima de 24.78 documentos por cada ingeniero para proyectos de alcance especificado previamente (fabricación de salas, integración de equipos y despacho a mina). Valor ajustado: 25 documentos.
- Tiempo de revisión: -0.4124; el cual equivale a invertir 0.7345 horas o 44.07 minutos para la revisión del documento antes de su envío al cliente. Valor ajustado: 45 minutos.

A continuación, en el gráfico 54, se presenta el resumen de resultados con los valores óptimos de cada factor relevante que permitirá reducir la variabilidad en cuanto al tiempo de entrega de documentos (específicamente, dibujos) en el proceso de ingeniería:

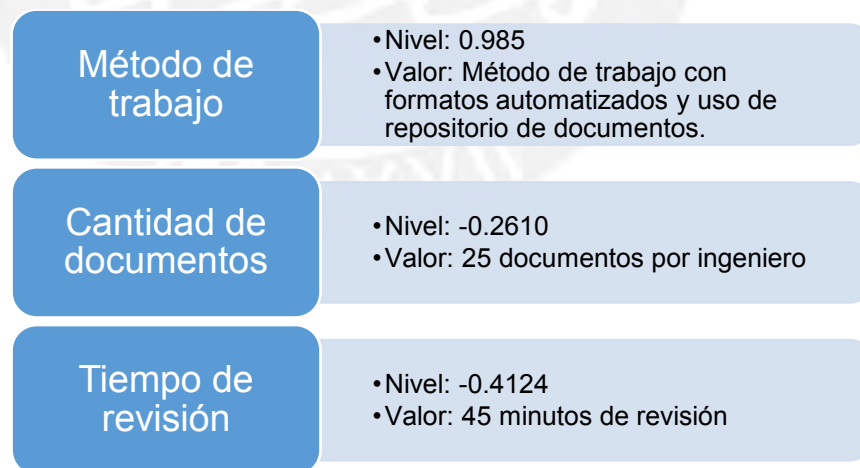


Gráfico 54: Resumen de valores óptimos de cada factor relevante
Elaboración propia

3.4.2. Estandarización de procesos

Se utilizará la estandarización de procesos como herramienta para mejorar el proceso de ingeniería.

3.4.2.1. Proceso mejorado de desarrollo de ingeniería

De acuerdo con los resultado del diseño de experimentos, se determinó que el nuevo método de trabajo con formatos automatizados en un repositorio de documentos permitía reducir la variación del tiempo de entrega de documentación, es por ello que se procederá a definir dicho método como el nuevo proceso de desarrollo de ingeniería; el cual será aplicable a todo proyecto que involucre el alcance antes definido. En la tabla 28 se muestra el detalle de la propuesta de mejora:

Tabla 28: Mejora del proceso de desarrollo de ingeniería

Repositorio de documentos en SharePoint	
Proceso: Proceso de desarrollo de ingeniería	Solución: Elaborar un repositorio de documentos que servirá como entorno de trabajo para la elaboración de documentos y transferencia de información propia de ingeniería en base a los formatos establecidos como estándares.
Problema: el proceso actual genera una alta cantidad de errores durante el desarrollo de la documentación.	Mejora Clave: el uso de formatos estándares permitirá reducir los errores; asimismo el repositorio de documentos agilizará el proceso de revisión sin descuidar el nivel de calidad del mismo.
Descripción del proceso: Los ingenieros asignados al proyecto se encargarán de desarrollar la documentación de ingeniería básica y detalle en base a las especificaciones técnicas definidas por el cliente.	
Antes de la mejora: el método de trabajo actual consiste en utilizar la documentación de un proyecto de igual alcance o similar como base sobre la cual se empezará a desarrollar la ingeniería del nuevo proyecto, es decir, se harán las modificaciones sobre los campos que lo requieran de acuerdo a las especificaciones actuales; sin embargo, al olvidar realizar algún cambio sobre una variable que lo requiera, dicho dato se quedaría con el valor del proyecto antiguo, lo cual puede repercutir en errores al llevar dicha documentación a producción.	Después de la mejora: Por otro lado, se desarrolló un nuevo método de trabajo el cual consiste en utilizar formatos estándar automatizados de documentación, es decir, cada vez que se cree un nuevo sitio para un proyecto en el portal de SharePoint, este contendrá una adecuada estructura de carpetas así como también, los formatos necesarios para la ingeniería de dicho proyecto, los cuales tendrán un avance de hasta el 80% (dado que el concepto de ingeniería para salas se encuentra estandarizado) y el 20% restante se desarrollará en base a los requerimientos personalizados del proyecto en cuestión..

Elaboración propia

En ese sentido, en el anexo 27 se detalla una vista del repositorio de documentos creado, mientras que en el anexo 28 se muestra la estructura de carpetas y documentos que se consideraron como parte de la documentación que formará parte de una biblioteca de documentos estándar (plantilla) cada vez que se cree una para un proyecto nuevo. Por otro lado, en el anexo 29 se presenta la guía de usuario para el repositorio de documentos en SharePoint con la finalidad de que todos los colaboradores involucrados puedan conocer a detalle las funcionalidades

principales que formarán parte deus actividades del día a día. Asimismo, en el gráfico 54 se presenta el nuevo flujo del proceso para el desarrollo de ingeniería:

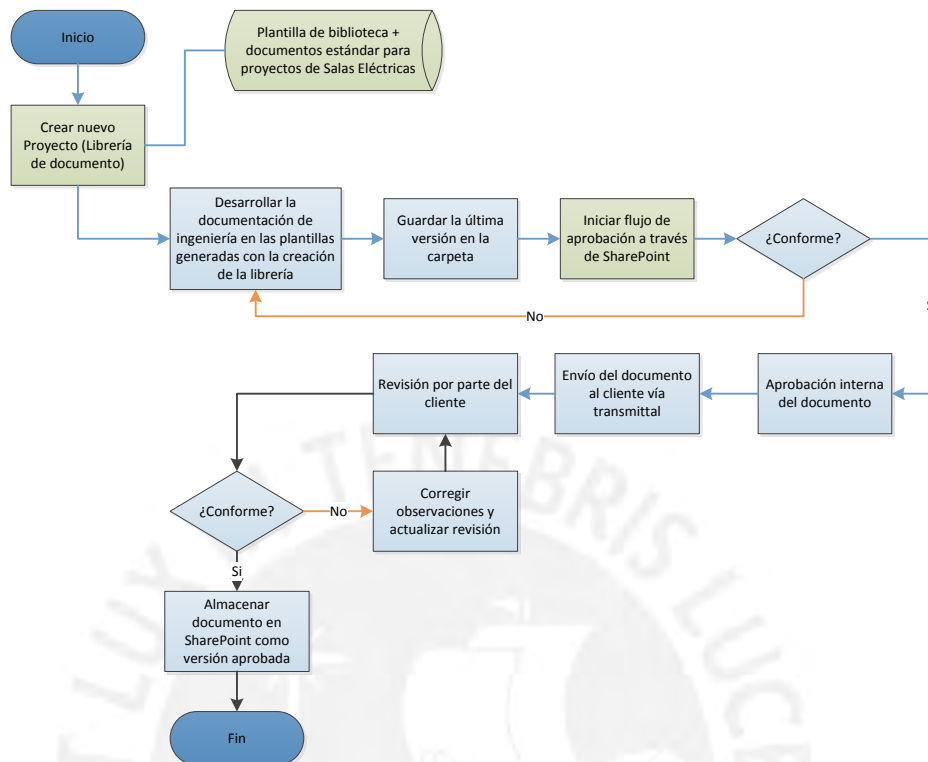


Gráfico 55: Nuevo proceso de desarrollo de ingeniería
Elaboración propia

3.4.3. Método Poka Yoke

Con la finalidad de eliminar o minimizar al máximo las fuentes de error que pueden surgir durante el proceso de desarrollo de la ingeniería para un proyecto, se planteará la aplicación del método Poka Yoke.

3.4.3.1. Formato estándar para Dibujos

Para lograr que los dibujos se elaboren correctamente y se minimice los errores de forma, se propone implementar un formato estándar en donde se actualice por única vez el cover y los planos, usando herramientas de Office y AutoCAD. El desarrollo del formato estándar se muestra en el anexo 30; por otro lado, se desarrolló una guía de usuario (ver anexo 31) con la finalidad de que todos los involucrados conozcan las herramientas de automatización que formarán parte de su nuevo proceso y por tanto deberán adoptarlas como nuevas actividades propias de sus funciones. A continuación, en la tabla 29 se muestra el detalle de la propuesta de mejora:

Tabla 29: Poka Yoke para el formato estándar de dibujos

Poka Yoke 1	
Proceso: Elaboración de dibujos de ingeniería.	Solución: Elaborar un formato estándar automatizado utilizando herramientas de Office y AutoCAD.
Problema: Los dibujos se emitían con errores al cliente, por lo que aumentaba el flujo de revisiones entre el cliente y la compañía.	Mejora Clave: Evitar que se arrastre errores en todo el documento.
Descripción del proceso: El ingeniero que se encargará de elaborar los planos correspondientes a un proyecto, tomará como base un plano similar de un proyecto de iguales características. Seguidamente, elaborará los conceptos técnicos y los plasmará haciendo uso de la herramienta AutoCAD. Finalmente, consolida el plano junto con su cover respectivo, lo envía al jefe de ingeniería para revisar y por último, se envía al cliente a través de control documentario vía transmittal.	
Antes de la mejora: El ingeniero que se encargará de elaborar los planos correspondientes a un proyecto, tomará como base un plano similar de un proyecto de iguales características. Esto genera errores del tipo: datos de otro proyecto plasmados en un proyecto nuevo tales como código de documento, tag de equipos, revisiones, fechas entre otros.	Después de la mejora: El ingeniero que se encargará de elaborar los planos correspondientes a un proyecto, tomará como base el formato estándar (cover + plano) automatizado en donde los campos estándares solo se deberán actualizar una vez, ubicado en el repositorio de documentos de ingeniería en SharePoint 2013.

Elaboración propia

3.4.3.2. Checklist de transferencia

Para lograr una adecuada transferencia de información del área comercial al equipo del proyecto, se propone implementar una hoja de especificaciones que permita corroborar que toda la información que proporciona el área comercial está completa. En el anexo 32 se desarrolló el checklist de transferencia de información con la finalidad de optimizar la recopilación de la misma al inicio de cada proyecto. A continuación, en la tabla 30 se muestra el detalle de la propuesta de mejora:

Tabla 30: Poka Yoke para la transferencia de información

Poka Yoke 2	
Proceso: Transferencia de información del área comercial al equipo del proyecto	Solución: Elaborar una hoja de especificaciones con la información clave
Problema: No toda la información requerida para desarrollar la ingeniería es transferida por área comercial al equipo del proyecto.	Mejora Clave: Llevar un control de la información recibida.
Descripción del proceso: El vendedor convoca al equipo del proyecto que está conformado por el gerente del proyecto, el equipo de ingeniería, calidad, logísticas entre otros, para transferir la información enviada por el cliente (alcance del proyecto y especificaciones). Durante la reunión, el comercial explica cuáles son los requerimientos del cliente.	
Antes de la mejora: El vendedor convoca al equipo del proyecto asignado para transferir la información enviada por el cliente (alcance del proyecto y especificaciones). Durante la reunión, el vendedor explica cuáles son los requerimientos del cliente. No había un control de la información recibida por parte del equipo del proyecto, mientras que el vendedor se enfocaba en transferir información de todo tipo (relevante / no relevante).	Después de la mejora: El vendedor convoca al equipo del proyecto asignado para transferir la información enviada por el cliente (alcance del proyecto y especificaciones). El jefe de ingeniería revisará la hoja de especificaciones para indicarle al vendedor la información que requiere para desarrollar la ingeniería. El vendedor se enfoca en transferir información relevante para el proceso.

Elaboración propia

3.4.4. Plan de Capacitación

De acuerdo con el resultado del análisis AMFE, la falta de conocimiento en el uso de herramientas informáticas tales como AutoCAD, Excel o Word influyen en el desarrollo de ingeniería. Por lo tanto, será necesario implementar un plan de capacitación que permita repotenciar las habilidades informáticas de los ingenieros, y simultáneamente ampliar sus conocimientos en cuanto a herramientas de mejora de procesos que les permita adoptar una nueva perspectiva de sus procesos actuales y se cuestionen si dicho método es el más óptimo.

En ese sentido, en la tabla 31, se propone un cronograma del plan de capacitación con horizonte de un año. Los cursos técnicos estarán dirigidos netamente al área de ingeniería, involucrando tanto al jefe de ingeniería y su equipo de ingenieros de proyectos. Los cursos de mejora de procesos estarán dirigidos tanto al área de ingeniería como al área comercial y de proyectos.

Tabla 31: Cronograma del plan de capacitación

Ítem	Actividad	Días	Inicio	Fin
1	Programa de Capacitación para Ingeniería	209	01/03/17	05/10/17
1.1	Planificación	15	01/03/17	21/03/17
1.1.1.	Definición de cursos con el área de ingeniería	4	01/03/17	06/03/17
1.1.2.	Coordinación con gerencia para su aprobación	5	07/03/17	13/03/17
1.1.3.	Coordinación con RRHH para planificar las fechas, ambientes y actividades necesarias	5	14/03/17	20/03/17
1.1.4.	Enviar invitaciones al personal involucrado	1	21/03/17	21/03/17
1.2	Cursos	174	01/03/17	05/10/17
1.2.1.	Electrical Installation In Practice - A closer look at commercial installations	1	19/04/17	19/04/17
1.2.2.	Electrical System General Course	1	18/05/17	18/05/17
1.2.3.	Electrical Testing	1	16/06/17	16/06/17
1.2.4.	World of Power and Automation - Portfolio overview for non-technical Personnel - ch	1	17/07/17	17/07/17
1.2.5.	Mining and Mineral Processing	1	08/08/17	08/08/17
1.2.6.	Communication Protocols	1	06/09/17	06/09/17
1.2.7.	How to develop specifications	1	05/10/17	05/10/17
1.2.8.	Change Management – Implementing and Sustaining Change	1	27/10/17	27/10/17
1.2.9.	4Q Basic Training	3	13/11/17	15/11/17
1.2.10.	Change Management and Problem Solving Tools for Improvement	1	30/11/17	30/11/17
1.2.11.	Customer Loyalty Improvement Process	2	15/12/17	18/12/17

Elaboración propia

3.5. CONTROLAR

En el presente acápite se detallarán las estrategias y herramientas que se utilizarán en el proceso con la finalidad de mantener todos cambios sugeridos en el capítulo anterior, vale decir, que dichas estrategias se sostengan en el tiempo y detectar cambios que afecten al proceso para poder plantear acciones inmediatas que permitan mantener al proceso bajo control. En este sentido, se propone la

implementación de un módulo de indicadores en el cual se reporte mensualmente un indicador de On time Delivery - OTD (documentos entregados a tiempo / total de documentos a ser presentados) por tipo de documento.

3.1.1. Control y seguimiento de indicadores

Como se muestra en la gráfica 55, se propone la implementación de una matriz de seguimiento del indicador *On Time Delivery* de forma consolidada y además, por tipo de documento, de manera que el jefe de ingeniería pueda controlar mensualmente su indicador y en caso de no cumplirse con la meta, se deberá juntar con el equipos de ingeniería con la finalidad de analizar las causas y plantear alternativas de solución definiendo responsables y fechas de cumplimiento. Cabe mencionar que la meta fue establecida por el área, definiéndose una línea base de 80% como valor inicial el cual ira ajustándose anualmente de acuerdo a lo definido en el anexo 33.

Ingeniería													
PERIODO	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	GLOBAL
Total documentar planificado	175	230	196	240	434	235	229	236	372	286	462	305	3460
Total documentar a tiempo	118	176	167	152	223	198	213	191	196	229	352	287	2502
OTD	67.4%	76.5%	84.7%	63.3%	51.4%	84.3%	92.6%	80.5%	52.7%	79.7%	76.2%	95.7%	72.3%
META	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Manuales													
PERIODO	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	GLOBAL
Total documentar planificado	25	44	36	56	66	45	43	56	78	56	56	89	659
Total documentar a tiempo	20	24	33	30	25	40	41	49	34	45	40	85	464
OTD	80.0%	54.5%	91.7%	53.6%	37.9%	88.9%	95.3%	87.5%	43.6%	80.4%	71.4%	95.5%	71.7%
META	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Hoja de Datos													
PERIODO	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	GLOBAL
Total documentar planificado	30	44	36	56	66	45	43	56	78	56	56	89	659
Total documentar a tiempo	20	24	33	30	25	40	41	49	34	45	40	85	464
OTD	66.7%	54.5%	91.7%	53.6%	37.9%	88.9%	95.3%	87.5%	43.6%	80.4%	71.4%	95.5%	71.7%
META	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Listas													
PERIODO	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	GLOBAL
Total documentar planificado	45	79	44	36	118	50	50	34	69	59	147	19	750
Total documentar a tiempo	29	52	34	31	74	39	45	22	47	47	116	16	552
OTD	64.4%	65.9%	77.3%	86.1%	62.7%	78.0%	90.0%	64.7%	68.1%	79.7%	79.0%	84.2%	73.6%
META	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Dibujos													
PERIODO	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	GLOBAL
Total documentar planificado	75	123	80	92	184	95	93	90	147	115	203	108	1405
Total documentar a tiempo	49	76	67	61	99	79	86	71	81	92	156	101	1019
OTD	65.3%	61.8%	83.8%	66.3%	53.8%	83.2%	92.6%	78.9%	54.4%	80.0%	76.8%	93.5%	72.5%
META	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Gráfico 56: Matriz de indicadores OTD por tipo de documento
Elaboración propia

CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

En este capítulo, se realizará la evaluación económica de las propuestas de mejora para determinar su viabilidad de aplicación. Para esto, se detallará los costos para implementar las propuestas. Seguidamente, se proyectará en un periodo de tiempo los ahorros generados por las mejoras. Finalmente, se realiza la evaluación del valor presente neto y tasas interna de retorno; y con ello, se determinará la viabilidad de las propuestas de mejora.

4.1. Evaluación técnica de las propuestas de mejora

En este acápite, se desarrollará la evaluación técnica de las propuestas de mejoras incluyendo el cálculo de los costos asociados a su implementación, así como también, la proyección de ahorros por escenario (pesimista, moderado y optimista).

4.1.1. Costos de propuestas de mejora

A continuación se presentan los costos correspondientes a la implementación de las propuestas de mejora detalladas en el capítulo anterior:

- Diseño de Experimentos

En la tabla 32 se detalla el costo por el desarrollo del diseño de experimentos:

Tabla 32: Costos por elaboración de Plan de Aseguramiento de Calidad

Descripción	Responsable	#	H-H	Tarifa H-H (S/.)	Costo total
Personal involucrado	Jefe de Ingeniería	1	8	S/. 193.00	S/. 1,544.00
	Ingeniero de proyecto	6	8	S/. 177.00	S/. 8,496.00
Responsable de DOE	Analista	1	8	S/. 80.00	S/. 640.00
Costo total					S/.10,680.00

Elaboración propia

Para ello, se consideró las horas de participación del jefe de ingeniería y su equipo de ingenieros encargados netamente de la elaboración de la ingeniería básica y de detalle para los proyectos, la cual se multiplica por la tarifa de hora hombre¹⁰ H-H considerada por la compañía; resultando en un costo total de S/.10,680.

¹⁰ Tarifa de Horas Hombre: Anualmente cada unidad de negocio define cuáles serán las tasas y factores durante el año involucrados en el cálculo de la tarifa de horas hombre, límites de margen de ganancia, entre otros. Para tal caso, los datos de tarifas de Horas Hombre fueron extraídos del documento "PA Division – Tasas y Factores 2016"

- Estandarización de procesos: Repositorio de documentos en SharePoint

En la tabla 33 se muestran los costos por la elaboración del repositorio de documentos en SharePoint 2013 para ingeniería. Con este repositorio, le será más fácil al ingeniero ubicar los formatos estándar utilizables para elaborar la documentación propia de ingeniería tales como Dibujos como por ejemplo. Asimismo, se centralizará la información de tal manera que esté disponible para todo el equipo de ingeniería del proyecto y los principales stakeholders.

Tabla 33: Costo por la elaboración del Poka Yoke 1

Descripción	Responsable	#	H-H	Tarifa H-H (S/.)	Costo total
Definición de estructura de carpetas y documentos que deben ser estándares.	Jefe de Ingeniería	1	4	S/. 193.00	S/. 772.00
	Ingeniero de proyecto	2	4	S/. 177.00	S/. 1416.00
Elaboración de Repositorio de documentos en SharePoint con la estructura definida	Analista	1	12	S/. 80.00	S/. 960.00
Costo total					S/. 3,148.00

Elaboración propia

- Poka Yoke 2: Formatos estándar para Dibujos

En la tabla 34 se muestran los costos por la elaboración de los formatos estándar para dibujos, los cuales incluyen el cover (carátula, índice y contenido general) así como la plantilla en AutoCAD con la estructura definida para proceder con la elaboración de los Dibujos. De esta forma, se estaría estandarizando la documentación de ingeniería.

Tabla 34: Costo por la elaboración del Poka Yoke 2

Descripción	Responsable	#	H-H	Tarifa H-H (S/.)	Costo total
Elaboración de formatos estándar	Ingeniero de proyectos	2	16	S/. 177.00	S/.5,664.00
Elaboración de Guía de Usuario para automatización de formato	Analista	1	8	S/. 80.00	S/. 640.00
Costo total					S/.6,304.00

Elaboración propia

- Poka Yoke 3: Checklist de transferencia

En la tabla 35 se muestran los costos por la elaboración del checklist de transferencia del área comercial al equipo del proyecto. Con este documento se facilitará la transmisión de información relevante al equipo encargado del desarrollo del proyecto, incluido el equipo de ingeniería. De esta forma, se identificará claramente las especificaciones del cliente, las exclusiones del proyecto, los hitos, los riesgos y oportunidades, entre otros.

Tabla 35: Costo por la elaboración del Poka Yoke 3

Descripción	Responsable	#	H-H	Tarifa H-H (S/.)	Costo total
Definición de puntos de control a ser incluidos en el checklist	Jefe de Ingeniería	1	4	S/. 193.00	S/. 772.00
Elaboración de Checklist de transferencia	Analista	1	8	S/. 80.00	S/. 640.00
Costo total					S/. 1,412.00

Elaboración propia

➤ Plan de Capacitación

En la tabla 36 se muestra el costo por la elaboración del plan de capacitación para el área de ingeniería. Se consideraron cursos técnicos de electrificación y desarrollo de ingeniería, y por otro lado, cursos de mejora continua que permitirán ampliar la visión del proceso que actualmente tienen los ingenieros de dicha área. Considerando las horas hombre invertidas en la elaboración del cronograma y la definición de los cursos, el monto total asciende a S/. 7,340.

Tabla 36: Costo por el plan de capacitación

Descripción	Unidad	Tarifa H-H	Costo total
Elaboración del cronograma	6 horas	S/. 80.00	S/. 240.00
Cursos	Electrical Installation In Practice - A closer look at commercial installations	1 – 2 días	S/. 600.00
	Substation Engineering	1 – 2 días	S/. 600.00
	Electrical Testing	1 día	S/. 600.00
	World of Power and Automation - Portfolio overview for non-technical Personnel - ch	1 día	S/. 700.00
	Mining and Mineral Processing	1 – 2 días	S/. 600.00
	Communication Protocols	2 - 3 días	S/. 800.00
	How to develop specifications	2 - 3 días	S/. 800.00
	Change Management	1 – 2 días	S/. 540.00
	4Q Basic Training	1 – 2 días	S/. 540.00
	Change Management and Problem Solving Tools for Improvement	1 día	S/. 540.00
	Customer Loyalty Improvement Process	1 día	S/. 540.00
Costo total			S/. 7,340.00

Elaboración propia

➤ Matriz de seguimiento y control de indicador OTD

En la tabla 37 se muestran los costos asociados a la elaboración de la matriz de seguimiento del indicador OTD, la cual toma como entrada la información consolidada en el estado de ingeniería de los proyectos correspondientes al 2016. Se consideró las horas hombre invertidas por un analista en elaborar dicha matriz por lo que el monto asciende a S/. 640.

Tabla 37: Costo por la elaboración de la matriz de seguimiento de OTD

Descripción	Responsable	#	H-H	Tarifa H-H (S/.)	Costo total
Elaboración de matriz	Analista	1	8	S/. 80.00	S/. 640.00
Costo total					S/. 640.00

Elaboración propia

Como se observa en la tabla 38, el monto total por la implementación asciende a S/.32,500 en el cual se está considerando una provisión de 10% con respecto al monto en caso que se presente alguna eventualidad.

Tabla 38: Resumen del costo total por la implementación de las mejoras

Concepto	Monto
Costo total de implementación	S/. 29,524
Provisión (10%)	S/. 2,952
Total	S/. 32,476
Total ajustado	S/. 32,500

Elaboración propia

4.1.2. Proyección de ahorros estimados

Con la finalidad de obtener la proyección de ahorros como resultado de la implementación teórica de las propuestas de mejora, se consideró evaluar tres escenarios: optimista, moderado y pesimista, en los cuales se planteó que la variable de respuesta "Variación del tiempo de entrega Dibujos" tendrá una media de 2.4408 días y la desviación estándar se ajustara a los distintos escenarios. Para el caso del escenario optimista, la desviación estándar será 0.5 días, para el moderado se consideró 2 días y para el pesimista 3.5 días.

En el anexo 34 se realizó el análisis de capacidad de proceso para cada escenario con sus respectivas medias y desviaciones estándares, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 39, a continuación:

Tabla 39: Resumen de análisis de capacidad de proceso por escenario

	Optimista	Moderado	Pesimista	Actual
Media	2.4408	2.4408	2.4408	8.427
Desviación estándar	1.5	2.5	3.5	4.8755
Cp	0.76	0.45	0.30	0.24
PPM	57,994.08	210,386.53	387,033.35	657,054.52
% Fuera de plazo	5.79%	21.04%	38.70%	65,71%

Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 40, se muestra la cantidad de proyectos que involucraron desarrollo de ingeniería durante el 2016 así como la cantidad de Dibujos promedio por proyecto. Para dicho año, se tuvo 18 proyectos en total y 70 dibujos/proyecto en promedio.

Tabla 40: Proyección de la cantidad de dibujos requeridos al año

# Proyectos anual	18 proyectos
# Dibujos promedio/ proyecto	70 dibujos/proyecto
Cantidad de Dibujos desarrollados al año	1260 dibujos/proyecto

Elaboración propia

A continuación, en la tabla 41 se muestran los costos asociados al reproceso de un Dibujo:

Tabla 41: Costo por reprocesar un Dibujo

Concepto	Horas Hombre	Tarifa HH	Costo
Ingeniero de proyecto	8	177	S/. 1,416
Jefe de Ingeniería	1	193	S/. 193
Total			S/. 1,609

Fuente: La compañía (Elaboración propia)

En ese sentido, en la tabla 42 se muestra un resumen con los montos por concepto de ahorro correspondiente a cada escenario.

Tabla 42: Ahorros según el escenario analizado

	Optimista	Moderado	Pesimista	Actual
Costo por elaborar un dibujo	S/. 1,609.00			
Cantidad de dibujos al año	1260			
% Fuera de plazo	5.79%	21.04%	38.70%	65,71%
Cantidad de Dibujos fuera de plazo	73	265	488	828
Proporción de Dibujos devueltos para corrección	36%			
Cantidad de Dibujos a ser reprocesados	26	95	176	298
Costos por escenario	S/. 42,326	S/. 153,549	S/. 282,473	S/. 479,579
Costos actuales	S/. 479,579	S/. 479,579	S/. 479,579	
Ahorros	S/. 437,253	S/. 326,030	S/. 197,106	---

Elaboración propia

Por otro lado, existen beneficios en términos de ahorro de tiempo por utilizar los formatos estándar automatizados, dado que luego de implementarse dicha propuesta, se tendrá que actualizar por única vez tanto el cover como los dibujos (estructura de forma mas no contenido). En ese sentido, en la tabla 43 se muestra la cantidad de tiempo que se requiere actualmente para actualizar un Dibujo:

Tabla 43: Escenario actual de tiempos requeridos para actualizar un dibujo

Actualización	1 dibujo	20 dibujos	40 dibujos
Actualizar cover	2 minutos	40 minutos	80 minutos
Actualizar 4 páginas del Dibujo (1 minuto/página)	4 minutos	80 minutos	160 minutos
Ordenar documentos	2 minutos	40 minutos	80 minutos
Total	8 minutos/dibujo	160 minutos/dibujo	320 minutos/dibujo

Elaboración propia

En la tabla 44 se muestran los tiempos mejorados en el nuevo escenario luego de la implementación de la propuesta de utilizar formatos estándares automatizados:

Tabla 44: Escenario mejorado para la actualización de dibujos

Actualización	1 dibujo	20 dibujos	40 dibujos
Actualizar cover	2 minutos	2 minutos	2 minutos
Actualizar 4 páginas del Dibujo (1 minuto/página)	1 minutos	1 minuto	1 minutos
Ordenar documentos	2 minutos	40 minutos	80 minutos
Total	5 minutos/dibujo	43 minutos/dibujo	83 minutos/dibujo

En la tabla 45 se muestran los ahorros monetarios anuales, multiplicando el tiempo reducido por la tarifa de horas hombre de un ingeniero de proyecto:

Tabla 45: Ahorros por reducción de tiempo de actualización

Actualización	Tiempo actual	Tiempo Mejorado
Cantidad de dibujos al año	1260	
Actualizar cover	2 minutos/dibujo	2 minutos (única vez)
Actualizar 4 páginas del Dibujo (1 minuto/página)	4 minutos/dibujo	1 minuto (única vez)
Ordenar documentos	2 minutos/dibujo	2 minutos/dibujo
Total de minutos	10080 minutos	2523 minutos/dibujo
Total Horas Hombre	168 horas	42 horas
Tarifa Horas Hombre	S/. 175.00	
Costo total	S/. 29,400	S/. 7,350
Ahorro anual	S/. 22,050	

Elaboración propia

Por lo tanto, sumando todos los ahorros, en la tabla 46 se tiene el beneficio monetario total por escenario:

Tabla 46: Ahorros totales por implementación de propuestas

	Optimista	Moderado	Pesimista
Ahorros por reducción de dibujos entregados fuera de plazo	S/. 437,253	S/. 326,030	S/. 197,106
Ahorros por reducción del tiempo de actualización	S/. 22,050	S/. 22,050	S/. 22,050
Ahorro Total	S/. 459,303	S/. 348,080	S/. 219,156

Elaboración propia

4.2. Evaluación económica de las propuestas de mejora

A continuación se presenta el resultado de la evaluación económica referente a las propuestas de mejora.

4.2.1. Evaluación económica

En el siguiente punto se llevará a cabo la evaluación económica y financiera de las propuestas de mejora teniendo en cuenta el cálculo de dos indicadores, el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Cabe mencionar que se ha considerado un financiamiento del 70% del monto total de la inversión a una tasa efectiva anual de 25.47%¹¹ y aporte propio de capital del 30 % cuyo costo, como se puede ver en tabla 47, es de 15.70%

Tabla 47: Cálculo del Cok

	Valores
Beta no apalancado ¹²	1.15
Beta apalancado	1.49
Rm – rf	8.10%
Tasa libre de riesgo	1.58%
Riesgo del país ¹³	2.07%
COK	15.70%

Elaboración propia

Posteriormente, se hallará el costo promedio ponderado de capital o WACC, por sus siglas en inglés (*Weighted Average Cost of Capital*).

Como se observa en la tabla 48, una vez definida la estructura del capital 70 – 30 y con el valor Cok determinado (15.70%), se obtiene un valor WACC de 17.19% con el cual se podrá evaluar si es que el proyecto es viable.

Tabla 48: Cálculo del WACC

	Monto	Porcentaje (%)	Costo (a.i)	Costo (d.i)
Deuda	12,250	70%	25.47%	17.83%
Aporte propio	5,250	30%	15.70%	15.70%
Total	17,500		WACC	17.19%

Elaboración propia

¹¹ La TCEA más baja para préstamos de instituciones bancarias en términos de inversión es de 25.47% según información de la SBS: <http://www.sbs.gob.pe/app/retasas/paginas/retasasInicio.aspx#>

¹² El valor Beta no apalancado fue extraído de la siguiente página web, teniendo en cuenta que la actividad principal es la de suministro de equipos eléctricos: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

¹³ De acuerdo con Diario Gestión, la tasa riesgo país tiene un valor de 2.07%: <http://gestion.pe/noticias-de-riesgo-pais-peru-8597>

En los anexos 35, 36 y 37 se puede observar el detalle de los flujos de efectivo para cada escenario (pesimista, moderado y optimista).

En la tabla 49 se muestra el resultado de la evaluación económica por escenario, teniendo en cuenta el Valor actual neto (VPN) y Tasa interna de retorno (TIR):

Tabla 49: Resumen de evaluación económica por escenario

Escenario	VPN	TIR	Resultado
Pesimista	S/. 157,166	39%	En este escenario, el VPN es mayor a 0 y el TIR es mayor al WACC (17.19%), por lo tanto el proyecto paso la evaluación económica resultando viable.
Moderado	S/. 280,385	48%	En este escenario, el VPN es mayor a 0 y el TIR es mayor al WACC (17.19%), por lo tanto el proyecto paso la evaluación económica resultando viable.
Optimista	S/. 386,685	53%	En este escenario, el VPN es mayor a 0 y el TIR es mayor al WACC (17.19%), por lo tanto el proyecto paso la evaluación económica resultando viable.

Elaboración propia

Como resultado de la evaluación económica, se demuestra que el proyecto es viable para los tres escenarios planteados.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo, se plantearán las conclusiones y recomendaciones como resultado de la implementación de la metodología DMAIC al proceso de desarrollo de ingeniería.

5.1. Conclusiones

- a) En el capítulo de descripción y diagnóstico de la empresa, se analizó la situación actual de la compañía recopilando información de sus procesos a nivel de macroproceso, proceso y subproceso; y mediante la aplicación de la herramienta matriz de despliegue de funciones de calidad se concluyó que el macroproceso más crítico es el de gestión de la realización del producto; seguidamente, se determinó, mediante una matriz de priorización, que el proceso crítico es el de desarrollo de ingeniería. Asimismo, se evaluó el proceso de ingeniería en términos de indicadores de sobrecostos, concluyéndose que el problema principal es la entrega de documentación fuera del plazo requerido así como la alta cantidad de revisiones por errores en la documentación.
- b) En la fase definir, se llevó a cabo la identificación de los requerimientos del cliente mediante la herramienta CTQ para traducir dichos requerimientos en variables o indicadores medibles. Como resultado de esta fase, se concluye que las variables a analizar son: la variación del tiempo de entrega, la cantidad de revisiones y el estado del documento (calificación del documento).
- c) En la fase medir, se describe el proceso de desarrollo de ingeniería mediante el diagrama de alto nivel SIPOC identificando actividades, entradas, salidas y stakeholders. Asimismo, se determina que los Dibujos son el tipo de documento que presenta mayor variabilidad con respecto al resto de tipos de documentos en base a los indicadores críticos, cantidad de revisiones, estado de documento y variación en el tiempo de entrega. Asimismo, luego de realizar la prueba de bondad de ajuste chi cuadrado, se determinó con nivel de confianza de 95% que las variables cantidad de revisiones y estado de documento para Dibujos se ajustan a una distribución binomial con una proporción de 0.4 y 0.36 respectivamente. Por otro lado, luego de aplicar la prueba de normalidad Anderson Darling, se determinó que la variable variación de tiempo de entrega para Dibujos se ajusta a una distribución normal con media 8.427 días y una desviación estándar de 2.032 días.

- d) En la fase análisis, se desarrolló un análisis modal de fallos y efecto para identificar y prevenir los modos de fallo en el proceso de desarrollo de ingeniería, específicamente para el tipo de entregable Dibujos, en el cual se concluye que los problemas que tienen un alto nivel de prioridad riesgos son: la falta de combinación óptima de los niveles de factores críticos, la falta de formatos estándar, falta de procedimientos y un inadecuado flujo de transferencia entre las áreas al inicio del proyecto. Asimismo, se determinó que los factores críticos en el proceso de desarrollo de ingeniería que originan la alta variación del plazo de entrega y la alta cantidad de revisiones son: el método de trabajo, la cantidad de documentos asignados por ingeniero y el tiempo invertido en la revisión del documento previo a su envío al cliente.
- e) Con respecto a la fase mejorar, mediante la optimización del diseño de experimentos se logra reducir la variación de tiempo promedio de 8.427 días a 2.4408 días mediante la determinación de los niveles óptimos de los factores: método de trabajo con documentos automatizados (nuevo método), 25 documentos asignados por ingeniero y un tiempo de revisión de documentos de 45 minutos previo a su envío al cliente. Por otro lado, mediante la definición del nuevo método de trabajo con formatos automatizados y un repositorio de documentos, se agiliza el proceso de actualización de documentos reduciendo de un total anual de 168 horas dedicadas exclusivamente a actualizar documentación a 42 horas, lo cual representa una disminución de 75%.
- f) En la fase controlar, mediante la implementación de la matriz de OTD se realizará un mejor seguimiento respecto a la entrega de documentación en el plazo requerido por tipo de documento. De esta forma, se podrá plantear acciones correctivas en el momento oportuno luego de un análisis causa raíz previo entre el jefe de ingeniero y su equipo de ingenieros de proyectos.
- g) Luego de la evaluación económica con un horizonte a un año, a través de una inversión de S/. 32,500 en un escenario optimista se proyecta un valor actual neto de S/. 386,685 y un TIR de 53%; en un escenario moderado se proyecta un valor actual neto de S/. 280,385 y un TIR de 48%; y finalmente, para un escenario pesimista, se proyecta un valor actual neto de S/. 157,166 y un TIR de 39%; por lo que se concluye que el proyecto es rentable dado que para los tres escenarios considerados (pesimista, moderado y optimista), el VAN es positivo y el TIR es mayor al WACC (17.19%)

5.2. Recomendaciones

- a) Se recomienda a la jefatura del área de ingeniería que despliegue las mejoras hacia el resto de documentos que no se analizaron con la metodología DMAIC en este trabajo tales como listas, protocolos, manuales, planes, hojas de datos y especificaciones; de esta manera las mejoras logradas podrán ser adoptadas de manera integral para toda la documentación de ingeniería en general.
- b) Capacitar al personal involucrado en el manejo de herramientas office tales como Microsoft Word y SharePoint así como también en el manejo de AutoCAD a un nivel avanzado, de tal manera que se aprovechen al máximo las funcionalidades de dichas herramientas y permitan realizar un trabajo mucho más eficiente.
- c) Actualizar las guías de usuarios elaboradas en el presente trabajo a medida que se descubren nuevas funcionalidades en cuanto a herramientas de office y AutoCAD. Así como también, revisar periódicamente la capacidad del proceso con la finalidad de identificar el grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente.
- d) Se recomienda a la jefatura de ingeniería hacer un análisis de sus indicadores en caso no se haya cumplido con la meta para posteriormente implementar un plan de acción. Esto permitirá el involucramiento de todo el equipo de ingeniería en lograr las metas establecidas.
- e) Se recomienda realizar auditorías internas al nuevo proceso con la finalidad de identificar el nivel de adopción por parte de los ingenieros de proyectos, de forma que se logre la estabilidad del mismo en un corto plazo.

BIBLIOGRAFÍA

AKAO, Yoji

1993 *Despliegue de funciones de calidad*. Madrid. TGP-HOSHIN S.L

ANDERSEN, Bjorn

2007 *Business Process Improvement: Toolbox*. Segunda Edición. Estados Unidos. American Society for Quality

BARAHONA CASTILLO, Leandro y NAVARRO INFANTE, Jessica

2013 Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología lean six sigma. Tesis (Lic. Ing. Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

BERTRAND, L.

1990 *Control de calidad, teoría y aplicaciones*. Madrid. Ediciones DÍAZ DE SANTOS.

BREYFOGLE, Forrest W.

2003 *Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc. Segunda Edición.

BOOKER, J.D

2001 *Designing capable and reliable products*. Inglaterra. School of Engineering University of Hull.

CAMACHO, Andrés

2015 Diseño de procesos bajo el modelo BPMN como propuesta de mejoramiento de los procesos de preventa de la unidad de negocio Ruggedcom de Siemens. Tesis (Lic. Ing. Electrónica) Bogotá,

Universidad Santo Tomas. Facultad de Ingeniería Electrónica).

COLUNGA, Carlos y SALDIERNA, Arturo

1994 *Los costos de calidad.* Chile. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. Facultad de Ingeniería.

COOK, Sarah

1996 *Process Improvement, a handbook for managers.* Inglaterra. Gower Publishing Limited.

ERIKSSON, Lennart

2008 *Design of Experiments: Principles and Applications.* Suecia. Tercera Edición. MKS Umetrics AB.

EVANS R., James

2008 *Administración y Control de la Calidad.* Cengage Learning Editores. México. Séptima Edición.

GALGANO, Alberto

1995 *Los 7 instrumentos de la calidad total.* Madrid. Ediciones DIAZ DE SANTOS.

GRIFUL, Eulalia

2002 *Gestión de la calidad.* Barcelona. Edicions UPC

HITPASS, Bernhard

2014 *Business Process Management – Fundamentos y conceptos de implementación.* Chile. Tercera Edición.

JURAN, Joseph

2002 *Análisis y Planeación de la Calidad.* Tercera Edición. México: McGrawHill.

JURAN, Joseph

- 2002 *La calidad por el diseño.* Madrid. Ediciones DIAZ DE SANTOS.
- KOCH, Richard
- 2008 *The 80/20 principle: The secret to achieving more with less.* Estados Unidos. Doubleday.
- MONTGOMERY, Douglas
- 2011 *Design and Analysis of Experiments.* Estados Unidos. Séptima Edición: Hamilton Printing Company
- ORDOÑEZ ALCÁNTARA, William y TORRES CASTAÑEDA, Jorge
- 2014 Análisis y mejora de procesos en una empresa textil empleando la metodología DMAIC. Tesis (Lic. Ing. Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- PASCUAL CALDERÓN, Emilsen
- 2009 Mejora de procesos en una imprenta que realiza trabajos de impresión offset empleando Six Sigma. Tesis (Lic. Ing. Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e ingeniería.
- PÉREZ, Jose
- 2010 *Gestión por procesos.* Cuarta Edición. Madrid. ESIC EDITORIAL.
- PYZDEK, Thomas
- 2003 *The Six Sigma Handbook.* New York: McGraw Hill.
- RAMBAUD, Laurie
- 2011 *8D Structured Problem Solving.* Segunda Edición. PHRED Solutions.
- SAHNO, J. y SHEVTSHENKO, E.

- 2014 *Quality Improvement methodologies for continuous improvement of production processes and product quality and their evolution.* 9th International DAAAM Baltic conference “Industrial Engineering”.
- SHANKAR, Rama
- 2009 *Process Improvement using Six Sigma, a DMAIC Guide.* Estados Unidos. American Society for Quality.
- SHINGO, Shigeo
- 1986 *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System.* Cambridge Mass: Productivity Press.
- TORRES ACUÑA, María
- 2014 Reingeniería de los procesos de producción artesanal de una pequeña empresa cervecera a fin de maximizar su productividad. Tesis (Lic. Ing. Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- VILCHEZ MARCOS, Franko
- 2015 Diagnóstico y mejora de procesos utilizando simulación de eventos discretos en una empresa de consumo masivo. Tesis (Lic. Ing. Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- XIE, Min
- 2002 *Statistical Models and Control Charts for High-Quality Processes.* Estados Unidos. Kluwer.