UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

SEDE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE CONTRATOS PARA PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL APLICADO A LA METODOLOGÍA SIX SIGMA

Memoria para Optar el Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: Felipe Riquelme Riquelme

Alumno: Daniel Segura Flores

Concepción, Agosto, 2019

© Daniel Adolfo Segura Flores

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

HOJA DE CALIFICACIÓN

En Concepción, el …… de …… de……, los abajo firmantes dejan constancia que el alumno Daniel Adolfo Segura Flores, de la carrera Ingeniería Civil ha aprobado la memoria para optar al Título de Ingeniero Civil con una nota de _____.

_____

Profesor Guía: Felipe Riquelme Riquelme

_____

Profesor Corrector: Marcela Santibáñez

Resumen

En el presente proyecto de título denominado, Administración y control de contratos con la metodología Six Sigma se realizó el análisis y comparación de contratos administrativos y de construcción de un proyecto habitacional en la comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío, perteneciente a la empresa e inmobiliaria PY, obras que a su vez son llevadas a cabo por la constructora Carran.

El estudio se enfocó en dos partidas de construcción, específicamente CERÁMICA y PLANCHAS YESO CARTÓN en dos modelos de casa Nueva Brisa y Nueva Rocío.

El objetivo general considerado es el Análisis de administración de datos reales de obra Aire de San Pedro III con el método Six Sigma.
Mientras que los objetivos específicos son:
Implementar el método Six Sigma comprendiendo sus datos clave
Evaluar el funcionamiento de Six Sigma a nivel administrativo
Analizar la optimización de los proyectos debido al método Six Sigma

La idea fue generar conciencia y motivación para reducir al mínimo las pérdidas aumentando las utilidades tanto en proceso de ahorro de materiales, procesos constructivos, seguimientos de obra y evitando al máximo los defectos constructivos por mala utilización de materiales y mano de obra, ya que afectan directamente al cliente (comprador), constructor (ejecutor) con la consecuencia de tener insatisfecho, debido a los plazos y dinero invertido, al cliente (mandante).

Palabras clave: Six Sigma, defectos, calidad, DMAIC

Abstract

In the present project of title of name, Administration and control of contracts with the methodology Six Sigma was carried out the analysis and the comparison of the administrative contracts and of the construction of a housing project in the commune of San Pedro de la Paz eighth region of the Biobío, belonging to the company and the real estate PY, work of his life are carried out by the construction company Carran. The study focused on two parts of the construction.

CERAMICS AND PLATES YESO CARTON in two models of the house Nueva Brisa and Nueva Rocío. The general objective refers to the analysis of the management of the real data of the work Aire de San Pedro III with the Six Sigma method.

While the specific objectives are: Implement the Six Sigma method comprising your key data Evaluate the operation of Six Sigma at an administrative level Analyze the optimization of projects due to the Six Sigma method.

The idea was to create an awareness and a motivation to minimize losses to improve profits as well as savings in materials, construction processes, monitoring of the work and avoiding to the maximum the constructive effects of the misuse of materials and the hand of the play. the client (buyer), constructor (executor) with the consequence of having dissatisfied due to the deadlines and the money invested to the customer (principal).

Key words: Six Sigma, defects, quality, DMAIC

AGRADECIMIENTOS

Al llegar a esta etapa en la carrera, no puedo sino agradecer a cada uno de los que me ayudaron a llegar hasta aquí, en primer lugar a Dios por darme la fuerza y apoyo en momentos difíciles. A mis padres Rosa y Nelson por su amor, esfuerzo y paciencia en todas las etapas que he tenido.

A mi hermana Natalia y mis tías por su cariño y apoyo incondicional, a mi novia Nathalie por su amor, comprensión y consejos durante esta última etapa.

A todos los docentes de la USS que me formaron siempre con dedicación y esmero en especial a mi profesor guía Felipe Riquelme que siempre tuvo algún tiempo para mi.

A la Constructora Carran que me permitió obtener los datos que ocupe para esta memoria y a todo el personal que colaboró conmigo desde oficina técnica hasta los obreros.

Y por último a mis amistades de la universidad, que tantas risas y ánimos nos dábamos mutuamente.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 Justificación y motivación 1
1.2 Descripción del proyecto 1
1.3 Objetivos 2
1.3.1 Objetivo General 2
1.3.2 Objetivos Específicos 2
1.4 Alcances 2
1.5 Metodología 3
2. CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO 4
2.1 Desarrollo histórico 4
2.2 Definición de Six Sigma 5
2.3 Generalidades 9
2.4 Las fases 10
2.4.1 Diagrama de flujo de procesos 11
2.4.2 Histogramas 11
2.4.3 Diagrama de Tendencias 12
2.4.4 Diagrama de Causa-Efecto 13
2.4.5 Diagrama de Pareto 13
2.4.6 Diagramas de Dispersión 14
3. CAPÍTULO 3 PARTICIPANTES 18
3.1 Estado del Arte 18
3.2 Integrantes del método 20
3.2.1 La Dirección. 21
3.2.2 Jefatura de Obra. 22
3.2.3 EL Organigrama. 23
3.2.4 La Producción. 24
3.2.5 La Ejecución. 24
3.3 Herramienta estadística 26
4. CAPÍTULO 4 DESARROLLO 27
4.1 Planteamiento del problema 27
4.1.2 Tipos de pérdida 27

4.2 Implementación del método 28
4.2.1 Aplicación de DMAIC 29
4.3 Tipos de Placa Yeso Cartón 41
4.3.1 PLACA YESO CARTON RH: 41
4.3.2 PLACA YESO CARTON ST: 42
4.4 Proceso de mejora 47
4.4.1 Medidas Preventivas: 47
4.4.2 Medidas Correctoras: 48
4.5 Comparativa de datos 51
4.6 Etapa de control 53
5. CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES 57
5.1 Conclusiones 57
5.2 Futuras líneas de investigación. 60
BIBLIOGRAFÍA 61
Anexos 62

Índice de Figuras

Figura 2.1 Nivel Sigma (dmaictools 2009) 10
Figura 2.2 Diagrama de flujo (elaboración propia) 12
Figura 2.3 Histograma (dmaictools 2009) 12
Figura 2.4 Diagrama de tendencias (dmaictools 2009) 13
Figura 2.5 Diagrama causa-efecto (dmaictools 2009) 13
Figura 2.6 Diagrama de Pareto (Calidad Total 2015) 14
Figura 2.7 Diagrama de dispersión (dmaictools 2009) 14
Figura 2.8 Gráfico de control (métodos estadísticos 2018) 15
Figura 4.1 Diagrama de flujo material (elaboración propia) 29
Figura 4.2 Capacidad de proceso binomial en falla de Porcelanato Luna modelo Nueva Brisa 34
Figura 4.3 Capacidad de proceso binomial en falla de Cerámica Desert White modelo Nueva Brisa 35
Figura 4.4 Capacidad de proceso binomial en falla de cerámica Nevada Blanca modelo Nueva Brisa 37
Figura 4.5 Capacidad de proceso binomial en falla de Porcelanato Luna modelo nueva Rocío 38
Figura 4.6 Capacidad de proceso binomial en falla de Cerámica Desert White modelo Nueva Rocío 39
Figura 4.7 Capacidad de proceso normal en falla de Cerámica Nevada Blanca Nueva Rocío. 40
Figura 4.8 Defecto de Planchas Yeso Cartón de 10 mm modelo Nueva Brisa. 44
Figura 4.9 Diagrama de Pareto en defectos de Planchas Yeso Cartón de 12 mm modelo Nueva Brisa. 45
Figura 4.10 Diagrama Causa Efecto (Elaboración propia) 46

Índice de tablas

Tabla 2.1 Nivel Sigma y su calificación Fuente: George Michael L, “Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality Whit Lean Speed” Mc Graw-Hill, New York 2002 pág. 16 16
Tabla 2.2 Abridged Sigma Table. (13 de mayo de 2019). En Six Sigma Certification Course. Recuperado el 10 de mayo de 2019 de http://www.sixsigmacertificationcourse.com/abridged-sigma-table/ 17
Tabla 4.1 Detalle precios cerámica por modelo de casa Nueva Brisa. 31
Tabla 4.2 Detalle precios cerámica por modelo de casa Nueva Rocío. 31
Tabla 4.3 Detalle precio Planchas Yeso Cartón modelo Nueva Brisa. 43
Tabla 4.4 Comparativa cerámicas modelo Nueva Brisa. 52
Tabla 4.5 Comparativa cerámicas modelo Nueva Rocío 52
Tabla 4.6 Comparativa Planchas Yeso Cartón modelo Nueva Brisa. 53
Tabla 4.7 Comparativa ahorro de Porcelanato modelo Nueva Brisa. 54
Tabla 4.8 Comparativa ahorro de Cerámica Desert White modelo Nueva Brisa. 54
Tabla 4.9 Comparativa ahorro de Cerámica Nevada Blanca modelo Nueva Brisa 54
Tabla 4.10 Comparativa ahorro de Porcelanato Luna modelo Nueva Rocío 55
Tabla 4.11 Comparativa ahorro de Cerámica Desert White modelo Nueva Rocío 55
Tabla 4.12 Comparativa ahorro de Cerámica Nevada Blanca modelo Nueva Rocío 55
Tabla 4.13 Comparativa ahorro de Plancha Yeso Cartón ST 10 mm modelo Nueva Brisa 56
Tabla 4.14 Comparativa ahorro de Plancha Yeso Cartón Rh 12,5 mm modelo Nueva Brisa 56
Tabla 5.1 Comparativa de ahorro en las distintas etapas del modelo Nueva Brisa. 59
Tabla 5.2 Comparativa de ahorro distintas etapas modelo Nueva Rocío. 60

1. CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y motivación

Actualmente, en la industria de la construcción se aprecia cada vez más la competitividad entre las empresas para adjudicarse proyectos, por lo que cualquier ahorro, tanto en materiales como en mano de obra, indica una ventaja por sobre sus pares. Para aumentar este éxito empresarial y convertirse en una empresa líder es que se ocupa la metodología de Six Sigma, reduciendo de manera significativa la variabilidad de los procesos que hacen que ocurran errores durante el desarrollo de estos.

Considerada una evolución de teorías de calidad como TQM, (Sistema de calidad Total) y SPC (Control Estadístico de Procesos), Six Sigma revolucionó la década de los 80, ya que es más ambicioso al buscar tener 3,4 defectos por millón de oportunidades, centrándose en la reducción y eliminación de los defectos o fallos en los procesos.

1.2 Descripción del proyecto

Los datos utilizados en la memoria pertenecen al proyecto habitacional en la comuna de San Pedro de la Paz perteneciente a la empresa e inmobiliaria PY, llevada a cabo por la constructora Carran, ambas pertenecientes al grupo de empresas FPY (Francisco Pérez Yoma) el cual es uno de los conglomerados inmobiliarios más importantes del país con más de 110 mil viviendas a su haber en territorio chileno, que además cuenta con su propia filial de maquinaria de construcción.

Adicionalmente, el Grupo FPY participa en la planificación y construcción de numerosas iniciativas públicas ya sean colegios, municipalidades y urbanizaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar datos reales de la obra Aires de San Pedro III con el método Six Sigma.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar el método Six Sigma comprendiendo los datos clave.
- Evaluar el funcionamiento de Six Sigma a nivel administrativo.
- Analizar la optimización de los proyectos debido al método Six Sigma.

1.4 Alcances

El siguiente proyecto de título se enfocará en ciertas partidas de construcción dentro de la obra o conjunto habitacional denominado AIRES DE SAN PEDRO, la cual consta de tres etapas ya construidas durante un periodo de seis años. Cada etapa se desarrolló con la construcción de entre 60 y 120 viviendas además de las obras de mitigación como áreas verdes y urbanización vía interna tipo

caletera. En este caso se considerarán las partidas de cerámicas de ambos modelos de casa (Nueva Brisa y Nueva Rocío) y las planchas de yeso cartón del modelo Nueva Rocío.

1.5 Metodología

Este estudio tiene como función principal generar conciencia y motivación en reducir al mínimo las pérdidas para aumentar las utilidades tanto en proceso de ahorro de materiales, procesos constructivos, seguimiento de obra y evitar al máximo los defectos constructivos en las pérdidas producidas por la mala utilización de recursos como materiales o mano de obra dado que afecta tanto al cliente (comprador) como al constructor (ejecutor) con la consecuencia y mal aprovechamiento de tiempo y costo que se generan provocando insatisfacción con el cliente (mandante). Mediante la colaboración por parte del equipo de trabajo de la Obra Aires de San Pedro III se obtuvieron los datos tanto de capataces como de obreros de las partidas de cerámica y tabiquería de yeso cartón, realizándose de manera periódica controles de avance de obra para llevar a cabo el posterior análisis y resultados. Para la realización de esta memoria se utiliza el ciclo DMAIC, realizando cada etapa para su posterior análisis, encontrando en un principio niveles lejanos al óptimo deseado (tres sigma en general), debido a esto es necesario investigar métodos para poder mejorar este nivel y reducir así su variabilidad.

2. CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Desarrollo histórico

La filosofía Six Sigma inicia en el año 1981 de la mano de la empresa Motorola como una estrategia de mercado y de mejoramiento de calidad de la empresa, cuando el ingeniero Mikel Harry definió como meta estimable en la compañía, la evaluación y análisis de la variación de los procesos como una manera de ajustarse más a la realidad. En este período y con el auge de la globalización de las empresas se empezaron a desarrollar técnicas más eficientes que permitieran optimizar procesos para mejorar su productividad y competitividad, lo que lleva a reducir las variables que de alguna forma alteran el normal desempeño de los procesos productivos. Por ello se toma como medida confiable la estadística, especialmente la desviación estándar representada por la letra griega sigma "σ" que será el indicador de desempeño, permitiendo determinar la eficiencia y eficacia de la empresa.

Esto llamo la atención del director ejecutivo de Motorola Bob Galvin quien fue fundamental, puesto que no solo se hizo énfasis en el análisis, sino que también en la mejora continua. Se observó que cuando se realiza un control estadístico a un proceso, se toma como variabilidad natural cuando el valor de sigma oscila a tres desviaciones del promedio, mientras que con Six Sigma se encuentra a 4,5 desviaciones de la media, lo que estadísticamente implica que se considera normal que 34 elementos por millón de oportunidades del proceso no cumplan los criterios de calidad exigidos por el cliente.

Así, este método fue motivando a muchas otras compañías quienes adoptaron la filosofía tales como General Electric en 1991, Texas Instruments, ABB o IBM, alcanzando éxitos similares.

Por ejemplo, Telefónica con su marca Movistar en Argentina evaluó el proceso de atención al cliente. El desafío fue mejorar la satisfacción al cliente y aumentar el ahorro al reducir el escalamiento de llamadas de servicio al cliente, logrando una reducción del escalamiento en línea del 48% y un ahorro de $2.9 millones.

2.2 Definición de Six Sigma

"*Six Sigma es un método de gestión de calidad combinado con herramientas estadísticas cuyo objetivo es mejorar el nivel de desempeño de un proceso mediante decisiones acertadas logrando así que la organización comprenda las necesidades de sus clientes*".
(Herrera, R. Fontalvo, T. (2011), *Seis Sigma. Métodos Estadísticos y sus Aplicaciones).*

La metodología ocupada se conoce como **DMAIC** que por sus siglas en ingles son:

- **Definir (Define):** definición del proyecto.
- **Medir (Measure):** medición de la información suministrada por el proceso de clientes de la organización.
- **Análisis (Analyze):** análisis de la información, en donde se aplican algunas herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales.
- **Mejoramiento (Improve):** etapa en donde se proponen las soluciones de los problemas de calidad planteados.
- **Control (Control):** incluye métodos estadísticos de seguimiento a las variables del proceso.

La forma en que la metodología DMAIC se aplica adecuadamente es la siguiente:

- Debe centrarse en las necesidades y requerimientos de los clientes.

- Identificar las causas de los problemas que atentan con el producto o servicio.
- Medir todas las variables críticas del proceso con el conocimiento necesario de cada una de las etapas de las actividades de la empresa.
- Utilización de herramientas estadísticas apropiadas para encontrar soluciones verdaderas y efectivas.
- Control o seguimiento de las diferentes actividades para llevar a cabo la solución.

Personajes que han contribuido a la construcción de la metodología Six Sigma

Año	Nombre	Contribución
1900-1920	Frederick Winslow Taylor (1856-1915)	-Análisis y medición del trabajo para simplificar las tareas -Capacitación y asignación apropiada de los trabajadores a las tareas -Incentivos por buen desempeño -Uso de metas claras y específicas
1913	Henry Ford (1863-1947)	-Flujo continuo -División del trabajo -Reducción del esfuerzo desperdiciado
1908	William Sealy Gossett (1876-1937)	Inventa la distribución de T-Student utilizada en estadística para los efectos de mejoramientos del proceso.
1920	Ronald Aylmer Fisher (1890-1962)	Creó el método estadístico para el diseño de experimentos (DOE) y la herramienta de análisis de datos.

Año	Nombre	Contribución
1924	Walter A. Shewhart (1891-1967)	Su aporte fue la Hoja de Control el cual es un diagrama de desempeño del proceso en el tiempo.
Décadas de los 20 y 30	Harold F. Dodge (1893-1976)	Desarrolló los métodos de aceptación de la muestra
Décadas de los 40 y 50	Compañías varias	Se implementa el Control Estadístico de Calidad para controlar y mejorar la calidad del producto
1940	W. Edwards Deming (1900-1993)	Introdujo el control estadístico de la calidad en Japón
1940	Joseph Moses Juran (1904-1995)	Desarrolló la trilogía de la calidad que se basa en tres aspectos: -Planeación de la calidad -Control de la calidad -Mejora de la calidad
1945	Armand Feigenbaum (1922-2014)	Autor del Control Total de la Calidad
Décadas de los 50 y 60	John Wilder Tukey (1915-2000)	Introdujo los conceptos y métodos de análisis de datos exploratorio, así como el análisis gráfico como un método creíble y necesario para el análisis de datos
1960	Shigeo Shingo (1909-1990)	Desarrolló el Poka Yoke, término japonés que significa prevenir el error accidental
1962	Kaoru Ishikawa (1915-1989)	Crea los Círculos de Calidad, que son básicamente grupos de voluntarios estables en el tiempo, que tienen como

		objetivo principal mejorar la calidad de procesos y el entorno de trabajo
1970	Taiichi Ohno (1912-1990)	Iniciador del sistema de gestión de la producción Just in Time
1980	Phillip B Crosby (1926-2001)	Creó el concepto y programa de cero defectos
Década del 80	Gen'ichi Taguchi (1924-2012)	Desarrolló lo que se conoce como ingeniería de calidad. Métodos para el diseño de productos y desarrollo de procesos de industrialización
1983	Masaaki Imai (1930- actual)	Difusor del KAIZEN, estrategia de mejora continua que sintetiza alguna de las principales teorías sobre la calidad.
1987	Kiyoshi Suzaki	Propone la teoría de la gestión visual, que destaca la importancia de la disponibilidad de la información necesaria para cada persona en su puesto de trabajo
1990	Michael Hammer y James Vhampy	Introducen la reingeniería de procesos, la cual fue bien recibida por la audiencia desencantada con el TQM y lista para usarla en la automatización de los procesos

Javier Diaz. (2010). CALIDAD TOTAL. 2019, de Emprendices Sitio web: https://www.emprendices.co/calidad-total-origen-evolucion-y-conceptos/

2.3 Generalidades

En esta sección se hace una descripción de cómo se compone la metodología Six Sigma, enfocada al mejoramiento de la productividad y a la calidad de producción definida como la conformidad de acuerdo con las especificaciones, entre mayor sea el grado en que un producto cumple estas especificaciones, mejor será su calidad. La productividad estudiada llamada productividad total de los factores (PTF) se define como el aumento o disminución de los rendimientos en la variación de cualquiera de factores que intervienen como mano de obra, maquinaria, etc.

El objetivo de la metodología es implantar un sistema productivo que opere en base a los pedidos de sus clientes, al mínimo costo (sin desperdicios o defectos), reducir cualquier consumo, rapidez y flexibilidad de respuesta.

Consideramos como defecto a la consecuencia o síntoma de la falta de consistencia de un producto, como resultado de un proceso incapaz de cumplir los requerimientos del cliente, que existió una variación en relación con el comportamiento esperado.

Debido a lo anterior debemos definir los tipos de clientes como internos y externos, los últimos son los que disfrutan el producto terminado en este caso las viviendas mientras que los clientes internos serán los trabajadores y subcontratistas que están en la obra.

La metodología Six Sigma se basa en la distribución normal (Figura 2.1) ya que generalmente los procesos productivos tienden a seguir la forma de campana de Gauss, con probabilidad de que queden valores fuera de los límites inferior y

superior, siendo ésta la probabilidad de defecto. Entre más centrada y más ancha y alta respecto a los límites más confiable será el proceso; cuando se obtiene una campana de Gauss achatada y descentrada se debe a grandes probabilidades de defectos. En las tablas de distribución normal se encuentra definida como **$Z=(x-\overline{X})/\Omega$,** donde **Z** es el valor de sigma, $\overline{X}$ la media y Ω la desviación.

La probabilidad de defecto será la suma de la probabilidad de exceder el límite superior más la probabilidad de exceder el límite inferior.

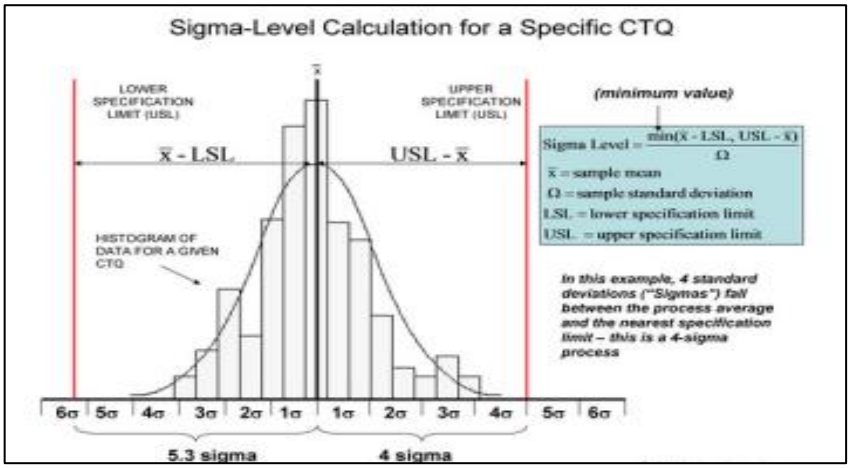


Figura 2.1 Nivel Sigma (dmaictools 2009)

2.4 Las fases

Las herramientas utilizadas por Six Sigma se desarrollan en el marco del modelo conocido como DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar), se puede resumir en cuatro fases ya que la primera (definir) es parte del diagnóstico y no necesariamente es característica de este modelo.

Siguiendo con las fases del modelo DMAIC, la segunda será Medir, aquí consiste en identificar los procesos internos que influyen en las características críticas para la calidad y los defectos generados a partir de estas características.

Las variables que deben medirse son aquellas importantes para el negocio, en este caso la construcción de viviendas de la constructora Carran cuyas variables serán: mano de obra, tiempo de ciclo, materiales, etc., además de cualquier elemento que sea necesario mejorar para garantizar cambios positivos duraderos.

Mientras se desarrollan las etapas se utilizan herramientas y técnicas potentes de recolección y análisis de datos. En esta etapa se utilizan estudios de benchmarking (proceso sistemático y continuo para evaluar productos, servicios y proceso de trabajo de las mejores organizaciones del mercado para posterior compararlas con la propia empresa encontrando mejoras e implementándolas), de capacidad de procesos y correlación entre defectos y confiabilidad además herramientas como:

2.4.1 Diagrama de flujo de procesos (Figura 2.2): para conocer las etapas del proceso por medio de una secuencia de pasos, así como las etapas críticas.

2.4.2 Histogramas (Figura 2.3): También conocidos como diagramas de frecuencias, proveen una distribución de los datos, así es más fácil estimar la variabilidad y la tendencia central. La altura representa la frecuencia o número de veces que se repite un dato.

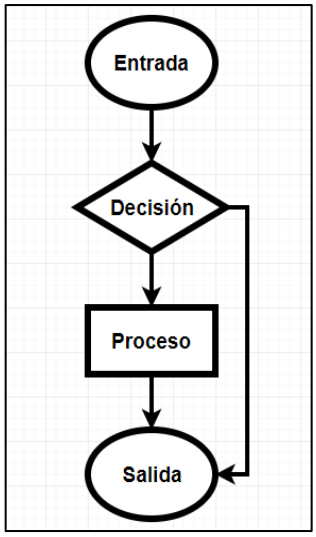


Figura 2.2 Diagrama de flujo (elaboración propia)

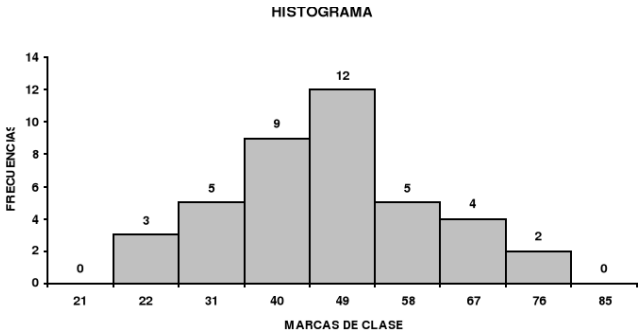


Figura 2.3 Histograma (dmaictools 2009)

2.4.3 Diagrama de Tendencias (Figura 2.4): se utiliza para representar datos gráficamente respecto a un tiempo, permitirá observar y seguir los defectos de un proceso.

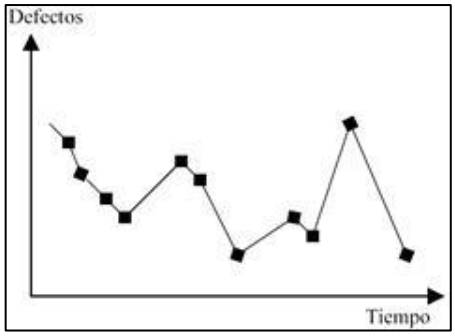


Figura 2.4 Diagrama de tendencias (dmaictools 2009)

Continuando con las fases del método DMAIC el siguiente paso consiste en analizar el sistema para eliminar la diferencia entre lo actual y el objetivo a lograr, para así entender por qué se generan defectos. El resultado de esta fase será la aplicación de las variables que tienen mayor probabilidad de influir en la variación del proceso. Para ello contamos con distintos tipos de herramientas tales como:

2.4.4 Diagrama de Causa-Efecto (Figura 2.5): Se ocupa como lluvia de ideas para identificar las causas y sus consecuencias de distintos tipos de procesos.

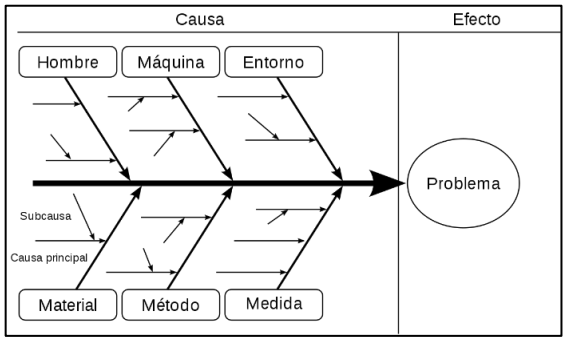


Figura 2.5 Diagrama causa-efecto (dmaictools 2009)

2.4.5 Diagrama de Pareto (Figura 2.6): a diferencia del anterior aquí se identifican los problemas, pero además se ordenan de mayor a menor para ir eliminando de en uno en uno, dándole prioridad a los problemas más grandes.

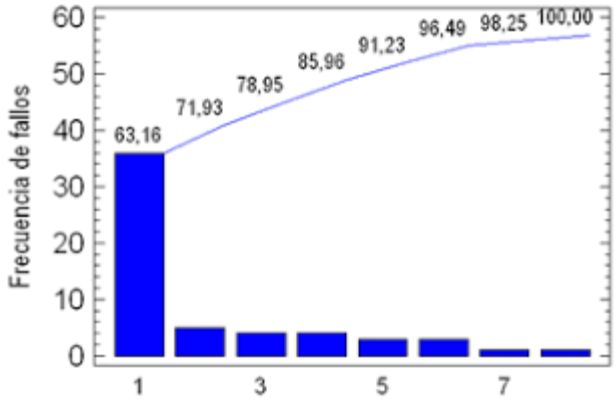


Figura 2.6 Diagrama de Pareto (Calidad Total 2015)

2.4.6 Diagramas de Dispersión (Figura 2.7): Mediante este tipo de diagramas se relacionan dos variables, permite hacer estimaciones e identificar anomalías.

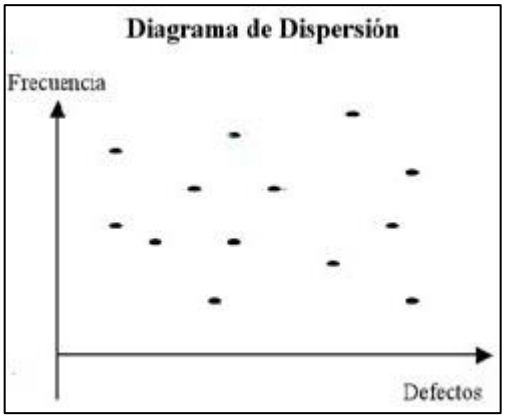


Figura 2.7 Diagrama de dispersión (dmaictools 2009)

Luego de analizar los datos y encontrar los que ofrecen un mayor riesgo de oportunidad se continua con la etapa de Mejorar, cuyo objetivo es verificar las variables clave y cuantificar el efecto de las características críticas para la calidad. Una herramienta utilizada en este punto es el “Diseño Experimental Unifactorial”, que es una de las usadas en el mejoramiento y optimización de procesos. Se realiza con una técnica denominada análisis de varianza ideado por R. Fisher,

procedimiento que transforma la variabilidad total o variabilidad explicada por los distintos niveles de los factores de clasificación.

Para asegurar que todo esté en orden con las mejoras realizadas se realiza la siguiente fase llamada Control, cuyo objetivo será garantizar que los procesos modificados permitieran a las variables clave permanecer dentro de los márgenes de variación máximos aceptables, para ello se ocupa una herramienta como el Control Estadístico de Proceso y gráficas de control que se utilizan para mantener los procesos en un valor medio identificando las causas que generan variaciones.

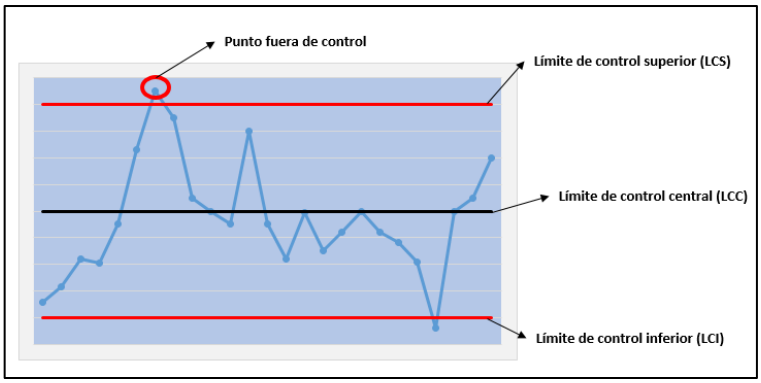


Figura 2.8 Gráfico de control (métodos estadísticos 2018)

Algunas de las métricas utilizadas para llevar a cabo análisis de six sigma son:
Defectos por unidad (DPU): métrica que mide el nivel de la calidad de un proceso que no toma en cuenta oportunidades de error, se obtiene de la siguiente manera:

$$DPU = \frac{d}{U} \tag{2.1}$$

Dónde: d: es el número de defectos observados
U: es el número de unidades producidas
Ambas son referidas a un lapso determinado.

Defectos por oportunidad (DPO): El defecto por oportunidad mide la no calidad de un proceso y se obtiene de la siguiente manera:

$$\mathrm{DPO} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{UxO}} \tag{2.2}$$

Dónde: O: es el número de oportunidades de error por unidad.

Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO): Este índice mide los defectos esperados en un millón de oportunidades de error, y se calcula como sigue:

$$\mathrm{DPMO} = 1000000\mathrm{xDPO} \tag{2.3}$$

El objetivo principal de Six Sigma es lograr que el DPMO sea inferior a 3,4, en la tabla siguiente se aprecian los niveles de desempeño de la metodología Six Sigma.

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades[19]	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio[20]	Clasificación
6	3.40	99.9999998%	Menos del 1% de Ventas	Clase Mundial
5	233.00	99.98%	5 – 10% de Ventas	Industria Promedio
4	6.210.00	99.4%	15 – 25% de Ventas	Baja Competitividad
3	66.807.00	93.3%	25 – 40% de Ventas	No Competitivo
2	308.537.00	69.2%	No Aplica	No Competitivo
1	690.000.00	30.9%	No Aplica	No Competitivo

Tabla 2.1 Nivel Sigma y su calificación Fuente: George Michael L, "Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality Whit Lean Speed" Mc Graw-Hill, New York 2002 pág. 16

Posterior a haber obtenido el DPO se puede hallar el desempeño del proceso (Yield) y el nivel Sigma del proceso.

$$Yield = (1 - DPO)x100 \tag{2.4}$$

Dónde: Yield: desempeño del proceso.

Para conocer el nivel Sigma se busca el valor de Yield en la siguiente tabla.

Abridged Process Sigma Conversion Table

Long-Term Yield	*Process Sigma*	*Defects Per 1,000,000*	*Defects Per 100,000*	*Defects Per 10,000*	*Defects Per 1,000*	*Defects Per 100*
99.99966%	6.0	3.4	0.34	0.034	0.0034	0.00034
99.9995%	5.9	5	0.5	0.05	0.005	0.0005
99.9992%	5.8	8	0.8	0.08	0.008	0.0008
99.9990%	5.7	10	1	0.1	0.01	0.001
99.9980%	5.6	20	2	0.2	0.02	0.002
99.9970%	5.5	30	3	0.3	0.03	0.003
99.9960%	5.4	40	4	0.4	0.04	0.004
99.9930%	5.3	70	7	0.7	0.07	0.007
99.9900%	5.2	100	10	1.0	0.1	0.01
99.9850%	5.1	150	15	1.5	0.15	0.015
99.9770%	5.0	230	23	2.3	0.23	0.023
99.9670%	4.9	330	33	3.3	0.33	0.033
99.9520%	4.8	480	48	4.8	0.48	0.048
99.9302%	4.7	680	68	6.8	0.68	0.068
99.9040%	4.6	960	96	9.6	0.96	0.096
99.8650%	4.5	1,350	135	13.5	1.35	0.135
99.8140%	4.4	1,860	186	18.6	1.86	0.186
99.7450%	4.3	2,550	255	25.5	2.55	0.255
99.6540%	4.2	3,460	346	34.6	3.46	0.346
99.5340%	4.1	4,660	466	46.6	4.66	0.466
99.3790%	4.0	6,210	621	62.1	6.21	0.621
99.1810%	3.9	8,190	819	81.9	8.19	0.819
98.930%	3.8	10,700	1,070	107	10.7	1.07
98.610%	3.7	13,900	1.390	139	13.9	1.39
98.220%	3.6	17,800	1,780	178	17.8	1.78
97.730%	3.5	22,700	2,270	227	22.7	2.27
97.130%	3.4	28,700	2,870	287	28.7	2.87
96.410%	3.3	35,900	3,590	359	35.9	3.59
95.540%	3.2	44,600	4,460	446	44.6	4.46
94.520%	3.1	54,800	5,480	548	54.8	5.48
93.320%	3.0	66,800	6,680	668	66.8	6.68
91.920%	2.9	80,800	8,080	808	80.8	8.08
90.320%	2.8	96,800	9.680	968	96.8	9.68
88.50%	2.7	115,000	11,500	1,150	115	11.5
86.50%	2.6	135,000	13,500	1,350	135	13.5
84.20%	2.5	158,000	15,800	1,580	158	15.8
81.60%	2.4	184,000	18,400	1,840	184	18.4
78.80%	2.3	212,000	21,200	2,120	212	21.2
75.80%	2.2	242,000	24,200	2,420	242	24.2
72.60%	2.1	274,000	27,400	2,740	274	27.4
69.20%	2.0	308,000	30,800	3,080	308	30.8
65.60%	1.9	344,000	34,400	3,440	344	34.4
61.80%	1.8	382,000	38,200	3,820	382	38.2
58.00%	1.7	420,000	42,000	4,200	420	42
54.00%	1.6	460,000	46,000	4,600	460	46
50%	1.5	500,000	50,000	5,000	500	50
46%	1.4	540,000	54,000	5,400	540	54
43%	1.3	570,000	57,000	5,700	570	57
39%	1.2	610,000	61,000	6,100	610	61
35%	1.1	650,000	65,000	6,500	650	65
31%	1.0	690,000	69,000	6,900	690	69
28%	0.9	720,000	72,000	7,200	720	72
25%	0.8	750,000	75,000	7,500	750	75
22%	0.7	780,000	78,000	7,800	780	78
19%	0.6	810,000	81,000	8,100	810	81
16%	0.5	840,000	84,000	8,400	840	84
14%	0.4	860,000	86,000	8,600	860	86
12%	0.3	880,000	88,000	8,800	880	88
10%	0.2	900,000	90,000	9,000	900	90
8%	0.1	920,000	92,000	9,200	920	92

Tabla 2.2 Abridged Sigma Table. (13 de mayo de 2019). En Six Sigma Certification Course. Recuperado el 10 de mayo de 2019 de http://www.sixsigmacertificationcourse.com/abridged-sigma-table/

3. CAPÍTULO 3 PARTICIPANTES

3.1 Estado del Arte

Es importante recalcar que las empresas no solo deben preocuparse de aumentar su productividad y aumentar la eficiencia de sus procesos, además deben mejorar la calidad de sus productos y adaptarse a las diversas demandas de sus clientes. Por ello la composición ejecutiva de cada organización se define en tres ejes estratégicos:

- **Eficiencia**
- **Calidad**
- **Flexibilidad**

La flexibilidad se sustenta en el uso de ciertas prácticas organizativas tales como: *"Cuanto mayor sea la capacidad de decisión que posean los trabajadores y mayor sea la cooperación en equipos de trabajo, más capaz será la empresa de responder a cambios en las preferencias de sus clientes, de resolver problemas, de mejorar continuamente y de reaccionar a ineficiencias en los procesos productivos" (García Olaverri,C., Huertas Arribas, E., Urtasun Alonso, E.,Larraza Kintana,M.,2004)*

En las últimas décadas los signos visibles al cambio están mayormente relacionado con empresas japonesas, donde uno de los mayores exponentes es el grupo nipón de Toyota.

"El éxito de la firma japonesa se sustenta en la paciencia, un enfoque a largo plazo en lugar de una búsqueda de resultados a corto plazo, reinvertir en las

personas, el producto y la fábrica, sin olvidar en ningún momento el compromiso con la calidad" (Robert B. McCurry Exvicepresidente ejecutivo, Toyota Motors Sales) Jeffrey K. Liker. (2006)

Otras empresas como General Electric (GE), Motorola, ABB, Nokia, Ford, Toshiba, Sony han optado por el uso de la metodología Six Sigma como estrategia para incrementar su competitividad alcanzando gran logro.

"Six Sigma, es un proceso empresarial que permite a las compañías mejorar drásticamente lo esencial en ellas diseñando y monitorizando las actividades diarias se minimiza la dilapidación y los recursos necesarios mientras se incrementa la satisfacción del cliente" Harry, M (1998) "Six Sigma: A breaktrough Strategy for Profitability", Quality Progress.

"Six Triumphs and Six Tragedies of Six Sigma" Thong Ngee 2010.

Artículo que expone factores que contribuyen al desarrollo de Six sigma. Adicionalmente, el artículo describe los triunfos y tragedias del método, lo cual ofrece una orientación importante para la implementación con preguntas como: ¿Qué constituye un triunfo?, cuando se presentan soluciones en campos empresariales o académicos que no se han trabajado en la ingeniería. Estos deben conducir a unos impactos significativos en pro del mejoramiento de la organización.

¿Qué constituye una tragedia o fracaso en Six Sigma? Si una etapa del proceso se deja de controlar, podría negar un triunfo, crear acciones equivocadas o incluso destruir lo que originalmente ha sido útil.

Otro documento importante para el uso de la memoria es el documento llamado *"Six Sigma: un enfoque teórico y aplicado en el ámbito empresarial basándose en información científica" de Rodrigo Andrés Gómez Montoya, Santiago Barrera 2011*. Elaboración de una metodología de apoyo para el diseño o mejoramiento

de las operaciones o recursos de la gestión de almacén de productos utilizando Six Sigma.

"A Review of Six Sigma Approach: Methodology, Obstacles and Benefits" Kumar Dhiraj & Kaushish Deepak 2014.
Paper que trata del enfoque que ha adoptado Six Sigma en el mundo para mejorar la productividad, rendimiento y calidad, la metodología de comprensión y los obstáculos del método Six Sigma, los cuales permiten apoyar a las organizaciones apoyar sus direcciones estratégicas.

"*Implementing Six Sigma Approach for Quality Evaluation of a RMC plant at Mumbai, India*" P. G. Chaundhary, N.R. Grupta, A. D. Lade. 2015
Estudia la calidad del concreto premezclado mediante la metodología Six Sigma, dando recomendaciones para la mejora del proceso.

"Implementation of Six Sigma Concepts in Construction Project for Ensuring Quality Improvements". S.Sriram, A. Revathi. 2016
Describe la implementación de los conceptos Six Sigma en los proyectos de construcción para cumplir con los estándares de calidad y satisfacción del cliente.

3.2 Integrantes del método

Se deberá encontrar un modo de establecer que consignas son necesarias para aplicar Six Sigma en el sector de la construcción.
Para ello, se analizará desde dos puntos de vista, por un lado, en qué modo se realizan sus trabajos o ejercen sus atribuciones, y por otro, el modo se relaciona con el resto de los intervinientes.

No debe confundirse una nueva filosofía de trabajo con la implantación de una herramienta para facilitarla. Un cambio de ideología obliga a modificar las estructuras de decisión, balancear las preferencias en los sistemas de responsabilidad, hay que penalizar la improvisación, la decisión por intuición, el individualismo y todos aquellos factores que influyen la variabilidad.

Primeramente, recordar, que en una implementación de Six Sigma, el equipo de proyecto debe ser totalmente independiente de los agentes que intervienen propiamente en la construcción. Por tanto, no se limitará a este equipo sino, más bien en los agentes ya existentes.

3.2.1 La Dirección.

Como definición de dirección, se entenderá a aquellas personas que se encuentren al mando de la empresa constructora. Las cuales realmente tienen poder de decisión sobre el devenir de la empresa y las que marcan las directrices para todo el personal.

Se considera dirección a todos los directores existentes hasta llegar al Jefe de Obra, sin incluirlo.

De esta manera depende primeramente de ellos el arranque del cambio. Serán los responsables de llevar a la compañía a una nueva filosofía. La administración de recursos, la capacidad de mando, la visión global de la empresa y un sinfín de características propias de la dirección.

Las fases Six Sigma se basa precisamente en el desarrollo de las fases más conocido como (DMAIC), de esta manera primeramente la dirección deberá definir sus necesidades en cuanto a la implementación. La mejor manera de involucrar a la dirección será comenzar con la definición de metas que se pretende alcanzar y cuáles son sus objetivos y alcances de dicha función.

Medir correspondería a la estimación de costos económicos y humanos, la dirección debe conocer que inversiones debe realizar.

Analizar, una vez obtenido los valores y contraprestaciones, es momento de realizar una puesta en común y considerar sus ventajas y desventajas. La evaluación debe inclinar la balanza hacia un lado, la cual debiera ser hacia los beneficios.

Una vez el análisis no ha sido del todo optimista, es la oportunidad para la gerencia de tomar las decisiones que corrijan los defectos encontrados y comenzar realmente con la mejora.

3.2.2 Jefatura de Obra.

El jefe de obra es el máximo responsable de una obra, tanto del avance como del control, independientemente de la obra, tamaño o presupuesto, datos y hechos. La recogida de datos útiles y necesarios, medir, es lo que permite al Jefe de Obra el control del proceso, el análisis exhaustivo de los datos que se recogen de la obra son los que previenen los imprevistos y no como resultado de defectos.

Una planificación estricta y minuciosa, basada en datos reales y no en imaginarios, permiten su posterior seguimiento y adecuación a factores externos que puedan alterar las previsiones.

Otra característica clave de un jefe de obra debe ser la proactividad, es decir, adelantarse a los problemas, aunque esto signifique redundar en los mismos principios.

3.2.3 EL Organigrama.

Por lo general las empresas constructoras están formadas por infinidad de departamentos que trabajan en diferentes partes del proceso constructivo. Desde la producción hasta la administración, pasando por contratación, prevención de riesgos, calidad, planificación, hasta que se cumpla con todo lo que requiera el proceso. Sea cual fuere la estructura de la compañía, siempre nos encontraremos con que los objetivos son comunes, y por ello, involucrarse en la filosofía Six Sigma, es idéntico en todos los casos.

Otro aspecto fundamental de los departamentos es el trabajo en equipo. Six Sigma debe derribar barreras y obstáculos entre departamentos. Para que las metas sean las mismas, da a entender la necesidad de una colaboración total entre todos. La comunicación y el flujo de información debe ser totalmente abierto y necesario. La contratación de una unidad de obra no puede realizarse a kilómetros de donde va a ejecutarse sin la colaboración de los que conocen el método de la obra. Recursos humanos no puede dotar de un puesto de trabajo sin la información de las necesidades reales del departamento donde se pretende cubrir.
Fijación en el proceso, la colaboración entre el organigrama no debe confundirse con la intromisión. La especialización de los departamentos debe permitir alcanzar la perfección en sus procesos.

Realizar la mejora continua del proceso ayudará, como no, a la satisfacción del cliente. La mejora continua se obtiene mediante la metodología Six Sigma, DMAIC, dentro del proceso definir el objetivo, medir, analizar los datos, proponer las mejoras y controlar el seguimiento, y por supuesto con el fin de alcanzar la total satisfacción del cliente, porque, aunque algunos de estos departamentos no suelen tener comunicación directa con el cliente, el éxito de su trabajo si repercutirá directamente en el producto final.

3.2.4 La Producción.

Es el equipo de personas dedicadas a prestar apoyo a la jefatura de obra. Existe un encargado de obra, y dependiendo del volumen de obra, existirán jefes de terreno, ellos son los responsables de determinadas ejecuciones de partidas, cumplir con los procesos de calidad y el presupuesto, son asumidas a pequeña escala dentro del todo que conforma la obra.

De esta manera, todas las funciones de la jefatura se delegan en el equipo de producción, repartidas en lo que se llama especialistas, de modo que todo lo descrito para el jefe de obra serviría completamente para el equipo de producción.

Otro aspecto importante con el jefe de obra es la comunicación. Como es común una distribución departamental debe existir comunicación en todas direcciones, la recopilación de datos y su análisis debe gestionarse desde un punto de vista global que junte todos los procesos de producción, de modo que no se produzcan duplicidades en los errores que tanto se desean eliminar.

3.2.5 La Ejecución.

Dentro de los agentes intervinientes en el proceso constructivo, la ejecución contiene a todos los operarios que conforman la mano de obra.
Involucrar a estos dentro del cambio de filosofía de una empresa es una tarea bastante ardua, por varias razones. El primero y principal, corresponde con que la mayoría de las veces estos operarios no pertenecen a la propia empresa, que forman parte de subcontratos que participaran en la obra durante un período limitado de tiempo. La otra razón, es mayormente, la reticencia a modificar los métodos de trabajo de este tipo de empleados. Como última traba significativa,

están las condiciones laborales, las condiciones salariales actuales, impiden a estos operarios mantener un compromiso de implicación que permita alcanzar la excelencia tan deseada.

La búsqueda de la perfección es, dentro de metodología Six Sigma, el principio que más se puede extrañar dentro de la ejecución. Su bajo nivel de exigencia viene regulado por la creencia de suficiencia y la necesidad de abarcar mayores rendimientos. La solución para luchar contra estas condicionantes puede comenzar por dar continuidad a los operarios dentro de la empresa constructora, mediante plantillas propias que entiendan y compartan la filosofía de la empresa o fidelizando a proveedores, ejerciendo el mismo efecto en estos. El aumento teórico de costo resultante se verá en el ahorro de defectos y en el valor aportado al cliente.

El análisis de la calidad de los procesos constructivos fue abordado con la adaptación de la metodología Six Sigma a la construcción. Si bien, la metodología fue introducida como herramienta de gestión de procesos de fabricación industrial, en la cual se produce un mismo elemento reiterativamente en líneas de producción, ella puede ser adaptada a la construcción de dos formas;

1.- En la construcción, a diferencia de la industria fabril, la línea de producción se mueve en torno a un producto que permanece estacionario.

2.- Los productos pueden diferir de obra en obra, ellos tecnológicamente son similares.

Ambas formas que llevan a los preceptos de la producción en línea se pueden aplicar a la construcción.

La metodología tiene como objetivo disminuir la variabilidad de la calidad de los productos, basado en el esquema DMAMC (DMAIC) en un ambiente de mejora continua. La definición implica explicitar las dimensiones de calidad a incorporar en cada elemento (teoría constructiva, planeidad, verticalidad, etc). Medir corresponde al seguimiento del proceso constructivo, para registrar las causas de no conformidad, frecuencia y medir las dimensiones de calidad estipuladas para el elemento constructivo. El análisis, implica la determinación del nivel de calidad empleando el análisis estadístico y causas de no calidad a ser incorporadas en estrategias de mejoramiento mediante análisis de Pareto, las que serán implementadas y luego controladas en las fases siguientes.

3.3 Herramienta estadística

El intensivo uso de herramientas y metodologías estadísticas necesarias para eliminar la variabilidad de los procesos constructivos generará la necesidad del uso de softwares especializados en la estadística avanzada. Antiguamente se contaba con poca variedad de programas dedicados a la estadística.

Para desarrollar los cálculos y gráficos tales como histograma, gráfica de dispersión, de distribución de probabilidades, etc., se ocupará el software de estadística avanzada **Minitab**, el cual es ampliamente utilizado en la aplicación del método Six Sigma, dado que a menudo depende de profesionales expertos, los cuales son muy calificados en diversos campos laborales mas no en estadísticas. Con el uso del software y un conocimiento primordial de estadísticas será factible la realización del planteamiento.

4. CAPÍTULO 4 DESARROLLO

4.1 Planteamiento del problema

En este apartado se dará a conocer las partidas CERÁMICAS y PLANCHAS YESO CARTÓN tomadas en consideración para su posterior análisis.

Generalmente las obras de edificación se realizan en etapas y los pedidos de materiales se hacen considerando los porcentajes de mermas que generaron las etapas anteriores mas no tomando en consideración los motivos que las generan, siendo a menudo importantes volúmenes de materiales que son eliminados sin siquiera utilizarse.

Los materiales en las obras de construcción representan aproximadamente un 30% del costo directo total, por ello la importancia de reducir las pérdidas. Además, se encuentra un extenso listado de las posibles fallas que se generan en una obra, a continuación, se define cada una de ellas:

4.1.2 Tipos de pérdida

-**Pérdida por transporte**: se produce por no tener un medio adecuado acondicionado para el tipo de material a transportar desde el proveedor hasta la obra en cuestión.

-**Pérdida por corte:** se debe a que las dimensiones del diseño de las obras no compatibilizan con las de los materiales existentes en el mercado.

-**Pérdida por mal acopio de materiales:** cada material debe tener una forma diferente de acopio dependiendo de sus propiedades.

-**Pérdidas por trabajo mal realizado:** Ocurre dado que en la construcción existe mano de obra no calificada que realiza trabajos que afectan la calidad de la obra.

-**Pérdida por mala calidad de los materiales:** se produce cuando en obra no se realiza un procedimiento adecuado de recepción de los materiales.

-**Pérdidas por vandalismo**: robos o rotura de materiales.

-**Pérdidas por mala planificación del pedido de materiales:** ocasionado por una mala coordinación con lo que realmente se necesita en terreno o por la compra excesiva o distinta a lo especificado

-**Pérdida por falta de control de los materiales:** se origina cuando bodega no cuenta o no hace uso del sistema de control de materiales.

-**Pérdidas por uso incorrecto de materiales:** causado cuando el personal a cargo del trabajo utiliza los materiales para una función distinta a la destinada del material.

-**Pérdida por error en especificaciones:** se producen por deficiencias en los documentos del proyecto, tener poca claridad en los planos o especificaciones técnicas deficientes.

4.2 Implementación del método

Mediante la obtención de datos in situ en la obra Aires de San Pedro III se considerarán dos partidas principalmente por la cantidad de oportunidades de error que presentan a lo largo de su implementación en obra además que en el período de visita a obra ya estaba terminada la obra gruesa por lo que no se considerará otra de las partidas que genera bastantes pérdidas como la albañilería, estas serían:

- CERÁMICAS
- PLANCHAS YESO CARTON

Ambas partidas pertenecen al apartado terminaciones y ambas están presentes en los dos modelos de CASAS NUEVA BRISA y NUEVA ROCÍO que realiza la CONSTRUCTORA CARRAN pero en distintas magnitudes, se realizará un estudio de los mencionados modelos encontrando sus oportunidades de error para su posterior medición y análisis.

4.2.1 Aplicación de DMAIC

Como primera parte del proceso DMAIC se comienza con la etapa de definir, entablando la partida de CERÁMICA.
Para enfocarnos en definir es necesario preguntarse quién será el cliente y cuáles serán sus requerimientos que serán críticos para la calidad.
Sabiendo que el cliente será, en este caso, en principio el mandante (Inmobiliaria PY) el cual tiene unos estándares bastante elevados en lo que respecta a terminaciones, el flujo desde que se pide el material será el siguiente:

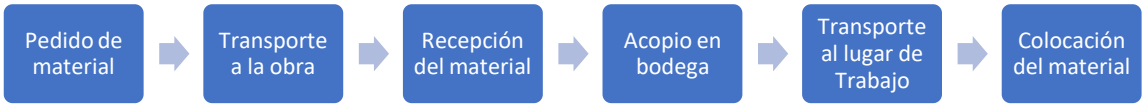


Figura 4.1 Diagrama de flujo material (elaboración propia)

Una vez que se tiene definido se procederá a la medición en el cual se señalarán los principales defectos dentro del proceso de la partida cerámica. Para ello se comprueba en terreno las siguientes falencias:

- **Cerámica soplada:** queda con aire bajo la superficie lo que la deja frágil.
- **Falta de adhesivo:** en la colocación de la cerámica con menos del 80% de cobertura de mezcla en la parte posterior de los revestimientos.
- **Cerámica quebrada:** por mal uso o descuido
- **Cerámica separada:** quedan espacios entre las cerámicas lo que puede provocar la caída del revestimiento.

Estas oportunidades de error se asocian a los tipos de pérdidas que se mencionaron anteriormente siendo una de las más comunes la pérdida por trabajo mal realizado, ya que en un principio solo basta que el obrero diga que es experto en el oficio para luego verificar que no es así, en algunos casos debiendo retirar las cerámicas colocadas para su posterior reposición por un verdadero experto (Ceramista), otra de las pérdidas comunes observadas es la mala administración de bodega ya que no existía un lugar destinado exclusivamente para el acopio de cerámica dentro de bodega sino que se mantenían dentro de oficinas y a lo largo de los pasillos del comedor, lo que generaba desgaste por el transito diario cerca de estas, dado lo frágil de su consistencia. Análoga es la pérdida por corte, ya que se debe adaptar la medida estándar ocupada en la colocación de cerámicos a las dimensiones del piso en los modelos de casa en cuestión, a continuación se muestran los tipos de cerámicos utilizados en los dos modelos de casa Nueva Brisa y Nueva Rocío.

En Anexo A se complementa la información con fotografías del lugar en estudio de las fallas más comunes.

Tabla 4.1 Detalle precios cerámica por modelo de casa Nueva Brisa.

Descripción Casa Nueva Brisa	Precio Unitario ($)	Unidad	Cantidad	Total ($/m2)
Cerámica Desert White 45x45 MK	4.865	m2	24	116.760
Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK	5.284	m2	72	380.448
Porcelanato Luna 60x60 MK	7.530	m2	6	45.180

Elaboración propia.

Tabla 4.2 Detalle precios cerámica por modelo de casa Nueva Rocío.

Descripción Casa Nueva Rocío+	Precio Unitario ($)	Unidad	Cantidad	Total ($/m2)
Cerámica Desert White 45x45 MK	4865	m2	22	107.030
Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK	5284	m2	25	132.100
Porcelanato Luna 60x60 MK	7530	m2	6	45.180

Elaboración propia.

Posteriormente y siguiendo con el método DMAIC se analizan los datos para encontrar el nivel sigma que poseen, es decir revisar en la condición que está y cuánto poder mejorarlo. Para ello se utilizan las fórmulas (2.3) de la pág. 16.
Así, comenzando con la partida de la cerámica específicamente el porcelanato Luna 60x60 MK encontramos que:

d= n° defectos de la muestra = 10

U= n° de unidades de la muestra= 1206 (considerando el total de vivienda los dos modelos)

O= n° de oportunidades de defectos por unidad= 4

$$\text{DPMO} = \frac{1000000\text{xD}}{\text{UxO}}$$

$$\text{DPMO} = \frac{1000000\text{x}10}{1206\text{x}4} = 2073$$

Esto significa que, según las condiciones iniciales, se encuentran 2073 errores por cada millón de porcelanato Luna MK 60x60 colocado.

Posteriormente, calculando el nivel sigma de la partida de porcelanato:
Primero se deben calcular los defectos por oportunidad (DPO)

$$\text{DPO} = \frac{\text{d}}{\text{UxO}}$$

$$\text{DPO} = \frac{10}{1206\text{x}4} = 0{,}002$$

Luego se revisa por tabla el nivel yield que entregará el valor de sigma.

$$\text{yield}\% = (1 - \text{DPO})\text{x}100$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}002)\text{x}100$$

$$\text{yield}\% = 99{,}8\%$$

Con el valor yield% nos dirigimos a la tabla de la página n°17, que nos da un resultado de:

Proceso sigma= 4,4, lo cual indica una baja competitividad en comparación con empresas las cuales aplican el método Six Sigma.

Considerando el mismo porcelanato Luna MK 60 x 60, pero solo para el modelo Nueva Brisa, nos queda:

d= 256
U= 864 (ya que vienen 4 unidades por caja y se ocupan 4 cajas y 54 viviendas de este modelo)
O= 4

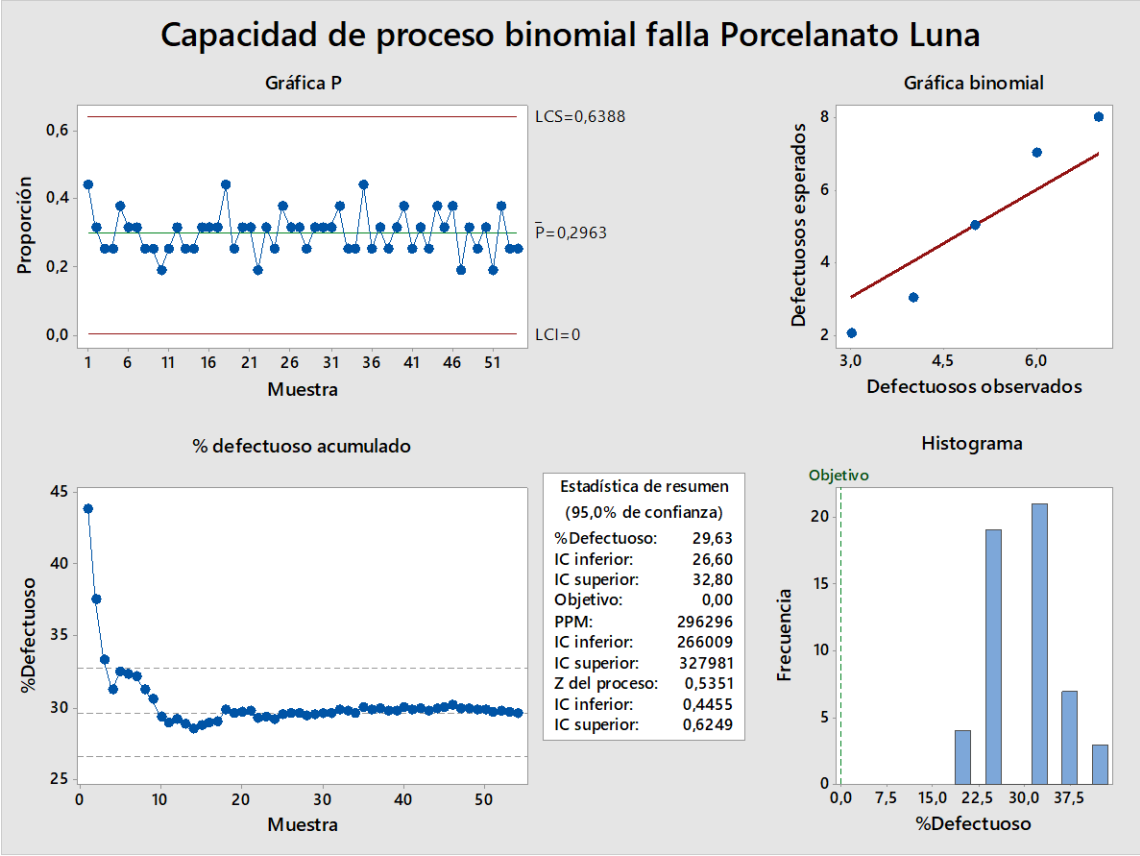
$$\text{DPO} = \frac{256}{864\text{x}4} = 0{,}074$$

$$\text{yield\%} = (1 - 0{,}074)\text{x}100$$

$$\text{yield\%} = 92{,}6\%$$

Revisando la tabla encontramos que se trata de un proceso 3 sigma, por lo que está a la mitad del óptimo deseado, tal como se aprecia en la tabla (4.2) con sus respectivos gráficos.

Figura 4.2 Capacidad de proceso binomial en falla de Porcelanato Luna modelo Nueva Brisa



Elaboración propia.

Así mismo comprobamos en el nivel sigma que se encuentran las demás variantes de cerámicas. Para la CERÁMICA DESERT WHITE 45x45 MK en el modelo de casa Nueva Brisa se obtiene el siguiente resultado:

d: n° de defectos = 907

U: n° de unidades de la muestra = 6480

O: n° de oportunidades de defectos por unidad = 4

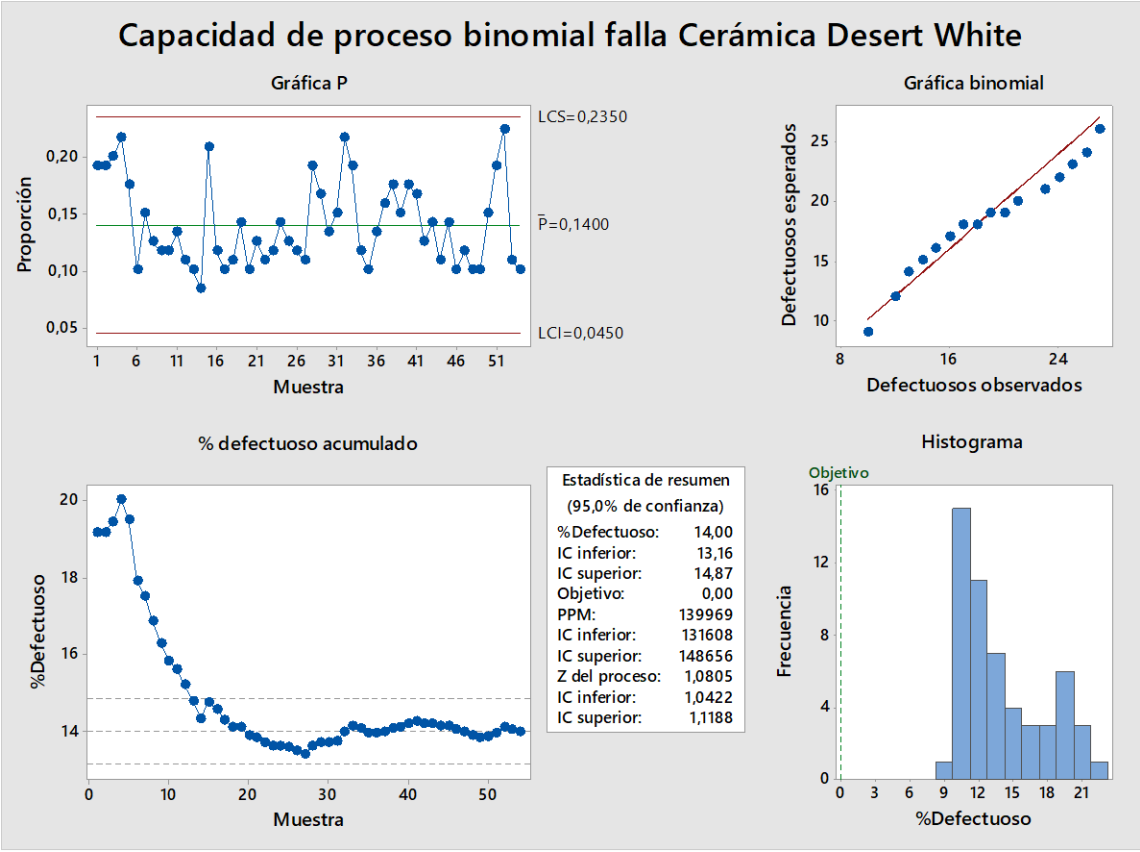
$$\text{DPO} = \frac{907}{6480\text{x}4} = 0{,}035$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}035)\text{x}100$$

$$\text{yield}\% = 96{,}5$$

Proceso sigma de 3,3, lo cual ocasiona baja competitividad y genera un costo de calidad promedio entre 25-40% de ventas, es decir se desperdicia una ganancia por efecto de los errores entre 25 a 40% en la instalación de esta cerámica. Lo ideal es que, aplicando el método a la perfección, debiera llegarse a un 1% como mucho para así aumentar la ganancia de la empresa. Figura (4.3)

Figura 4.3 Capacidad de proceso binomial en falla de Cerámica Desert White modelo Nueva Brisa



Elaboración propia.

Lo mismo se realiza para la CERÁMICA NEVADA BLANCA 31x45 MK, la cual va ubicada en las paredes del baño y cocina para el modelo Nueva Brisa.

d: n° de defectos = 739
U: n° de unidades de la muestra = 9720
O: n° de oportunidades de defectos por unidad = 4

$$\text{DPO} = \frac{739}{9720x4} = 0{,}019$$

$$yield\% = (1 - 0{,}019)x100$$

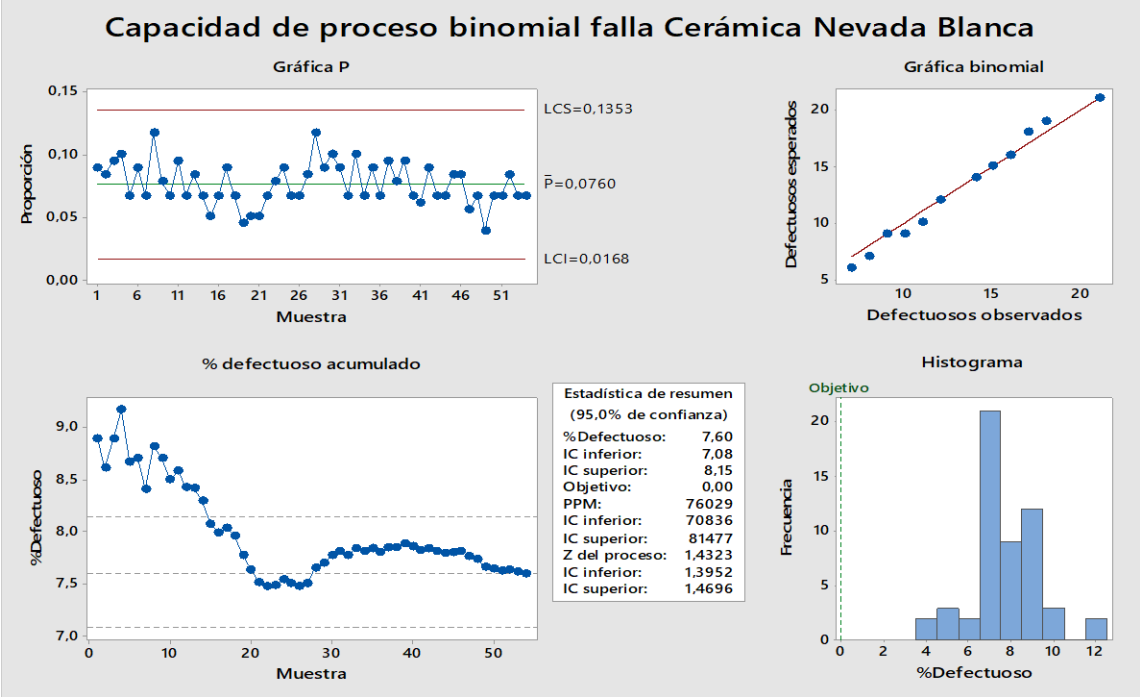
$$yield\% = 98{,}1$$

Revisando la tabla de procesos sigma nos da un valor de 3,6. Lo cual corresponde a una baja competitividad tanto, es decir se pierden recursos al igual que el caso anterior entre un 25 a 40%. Figura (4.4)

Principalmente nos encontramos frente a una empresa que tiene nivel sigma tres lo que significa que gasta de 15 a 25% de sus ingresos por ventas, en costos de falla, además confía en sus métodos para encontrar defectos, no posee un sistema ordenado para colectar datos y actuar en consecuencia. Considera un 99 % de efectividad es suficientemente bueno mientras que Six Sigma lo considera inaceptable. Y produce 66.807 defectos por cada millón de oportunidades contra los 3,4 que considera Six Sigma.

En anexo B se muestran los modelos de vivienda con mayor detalle.

Figura 4.4 Capacidad de proceso binomial en falla de cerámica Nevada Blanca modelo Nueva Brisa



Elaboración propia.

Posteriormente revisaremos ahora para el otro modelo de vivienda llamado- NUEVA ROCÍO, comenzando por el PORCELANATO LUNA 60x60 MK ubicado en la cocina de la casa.

d: n° de defectos = 89

U: n° de unidades de la muestra = 342

O: n° de oportunidad de defectos por unidad =4

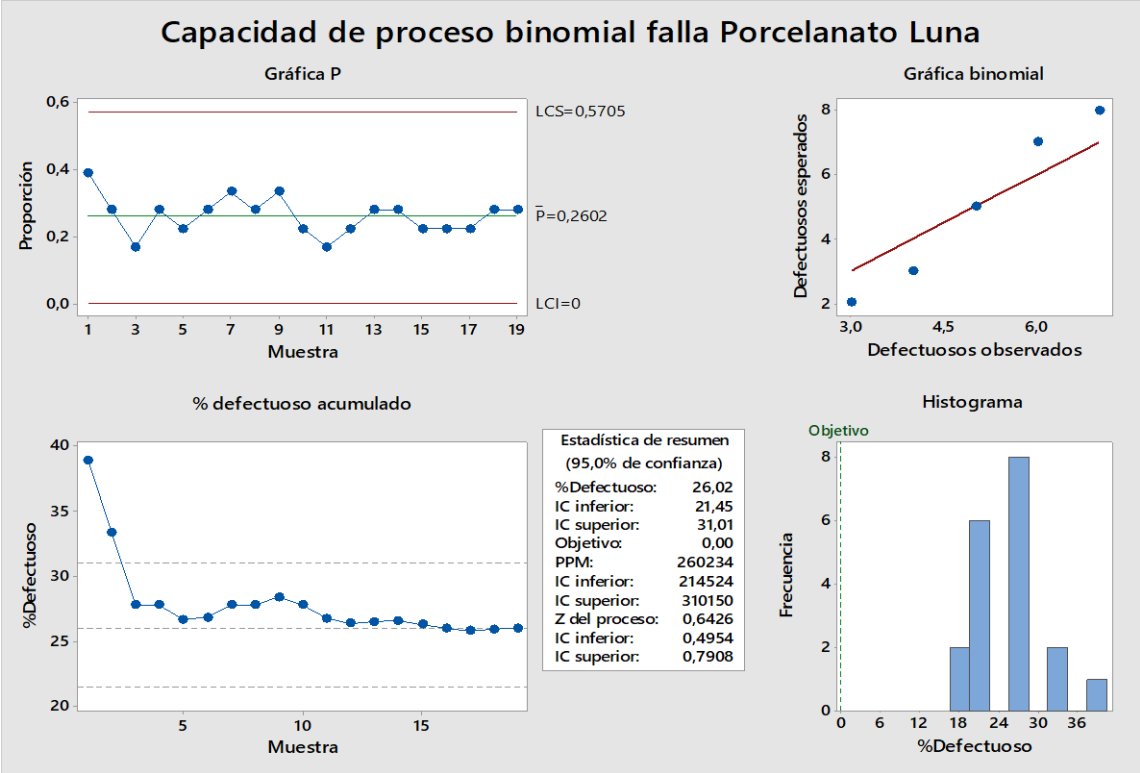
$$DPO = \frac{89}{342x4} = 0{,}065$$

$$yield\% = (1 - 0{,}065)x100$$

$$yield\% = 93{,}5$$

Proceso sigma de 3 figura (4.5)

Figura 4.5 Capacidad de proceso binomial en falla de Porcelanato Luna modelo nueva Rocío



Elaboración propia.

Para la CERÁMICA DESERT WHITE 45x45 MK modelo de casa NUEVA ROCÍO, la cual tiene los siguientes datos.

d: n° de defectos = 228

U: n° de unidades de la muestra = 2280

O: n° de oportunidad de defecto por unidad = 4

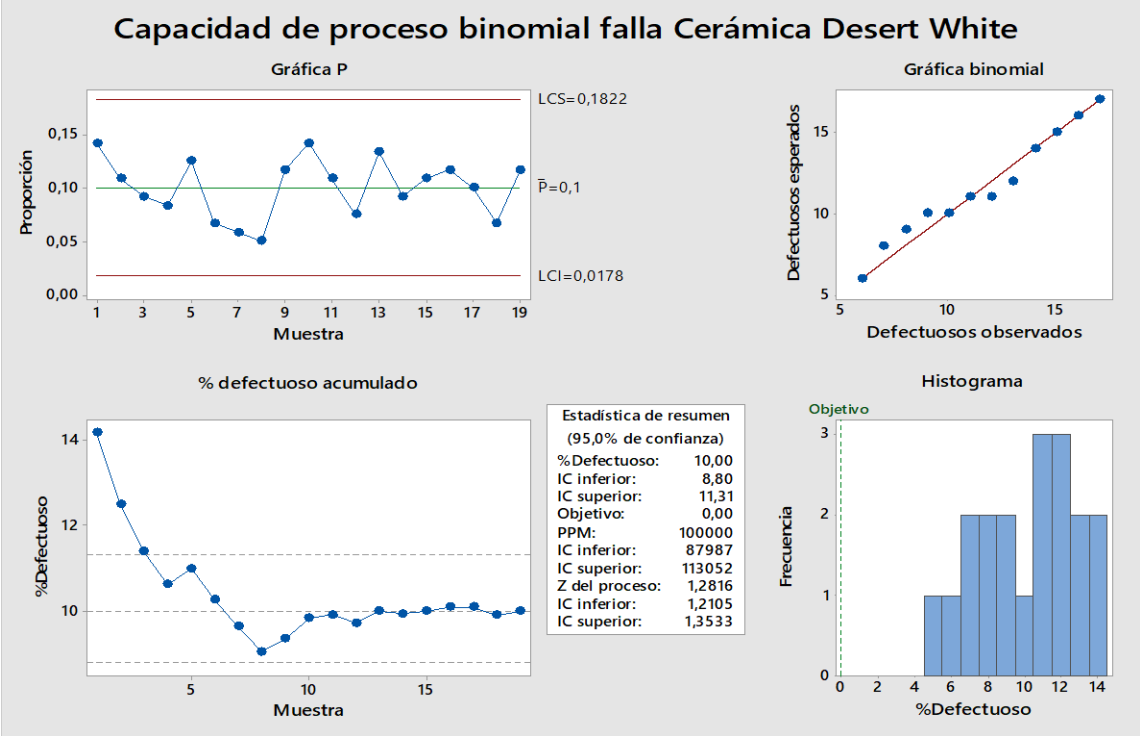
$$DPO = \frac{228}{2280x4} = 0{,}025$$

$$yield\% = (1 - 0{,}025)x100$$

$$yield\% = 97{,}5$$

Proceso sigma de 3,5, lo que es un tanto mejor que el proceso sigma del modelo NUEVA BRISA, pero aún no está en un óptimo en donde no se pierdan tantos recursos. Figura (4.6)

Figura 4.6 Capacidad de proceso binomial en falla de Cerámica Desert White modelo Nueva Rocío



Elaboración propia.

Por último, la CERAMICA NEVADA BLANCA 31x45 MK en el modelo NUEVA ROCÍO la cual se ocupa para las paredes de baños y cocina.

d: n° de defectos = 172

U: n° de unidades de la muestra =4560

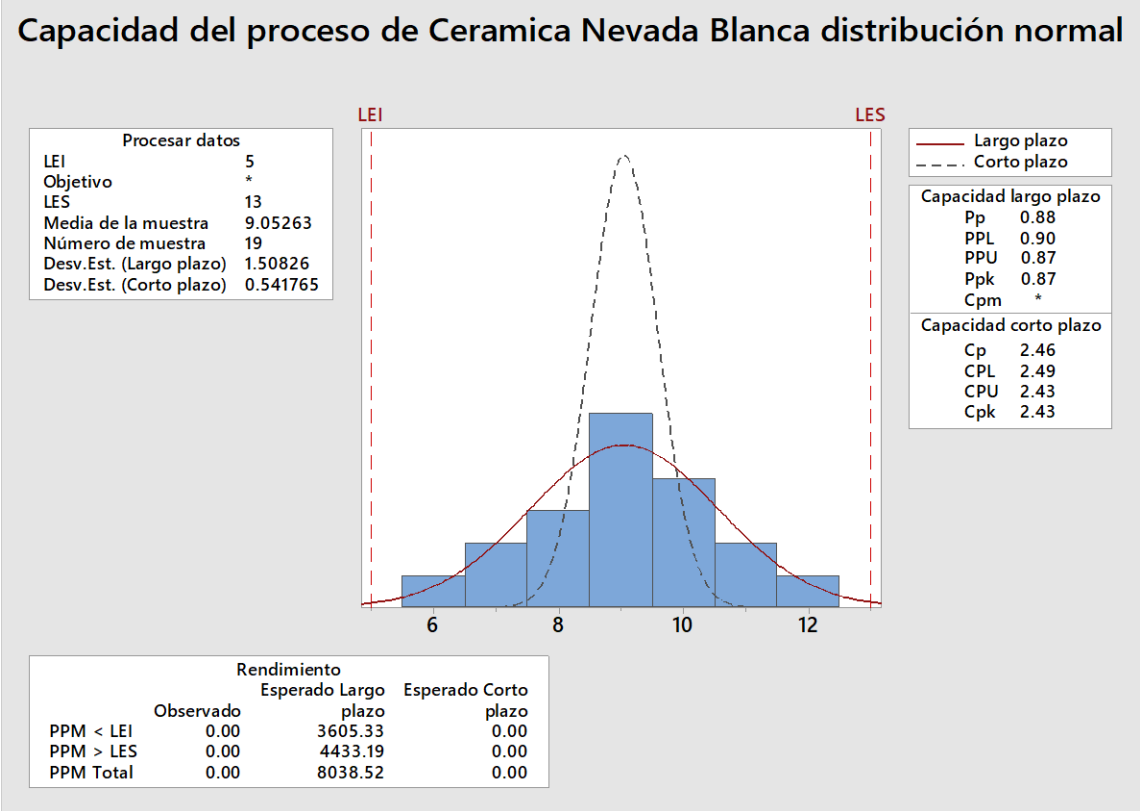
O: n° de oportunidad de defecto por unidad = 4

$$DPO = \frac{172}{4560x4} = 0{,}0094$$

$$yield\% = (1 - 0{,}0094)x100$$

$$yield\% = 99{,}06$$

Figura 4.7 Capacidad de proceso normal en falla de Cerámica Nevada Blanca Nueva Rocío.



Elaboración propia.

Según la tabla posee un nivel sigma de 4, lo cual está lejos aún del óptimo, pero mejor en comparación con el otro modelo de vivienda. Figura (4.7)

Con las medidas obtenidas podemos decir que, en lo que respecta a la instalación de cerámica, está lejos de llegar a lo deseado debido a que contiene muchos

errores, equivocaciones, descuidos, etc, por parte de los obreros como de bodega además de una considerable falta de inspección continua, para subsanar esto se requiere compromiso de parte de todo el equipo de trabajo desde el administrador al obrero y teniendo solo en mente un objetivo claro y en común que es lograr la terminación de la obra con eficiencia y eficacia.

Se proseguirá con el análisis de la partida de revestimiento cielo y perimetral el cual es realizado con placas de yeso cartón marca Volcan, las cuales comprenden las tabiquerías entre habitaciones y baños, para ello se cuenta con 2 modelos:

4.3 Tipos de Placa Yeso Cartón

4.3.1 PLACA YESO CARTON RH: Placa de yeso resistente a la humedad compuesta por un núcleo de yeso y aditivos impermeabilizantes especiales que le confieren mayor resistencia a la humedad que la placa de yeso cartón normal. Su uso es principalmente en zonas húmedas tales como baños, cocinas, logias, lavaderos, etc. Además, puede recibir distintos tipos de revestimientos tales como porcelanatos, cerámicos, azulejos, revestimiento tipo piedra o directamente pintada, donde se distinguen por su color verde claro. Entre sus principales características están:

- Baja absorción de agua y resistencia a la humedad
- Fácil de trabajar e instalar
- Acabado listo para pintar
- Acepta diferentes tipos de revestimientos
- Gran aislamiento térmico y absorción acústica

4.3.2 PLACA YESO CARTON ST: es la placa de yeso cartón estándar compuesta por un núcleo de yeso y aditivos especiales revestidos en ambas caras por un cartón de alta resistencia, su principal función es ser utilizado en tabiques divisorios y cielos, sus principales características son:

- Fácil y rápida para instalar
- Permite un excelente nivel de terminación
- Gran trabajabilidad
- Fácil de atornillar
- Se puede pintar directamente
- Conforma un aislamiento acústico y térmico

En ambos productos poseen una serie de recomendaciones que debieran llevarse a cabo tales como:

Traslado y manipulación: como precaución es preferible que los paneles de yeso cartón sean retirados de su embalaje solo en el lugar y en el momento de ser colocados definitivamente, evitando la manipulación excesiva. Para ello es deseable trasladar en pallets completos al sitio de trabajo, y una vez en el lugar de trabajo sacar cada panel de yeso cartón.

El traslado manual de paneles de yeso cartón debe realizarse a distancias menores de 15 m., cuidando siempre de no dañar por arrastre o por golpes los cantos del panel, siendo importante que se realice por dos personas, levantado el panel del pallet verticalmente hasta el lugar de uso.

Almacenamiento: Los paneles son entregados en pallets de 20 unidades, su acopio en bodegas debe realizarse sin alterar el embalaje en el que se entrega además de ser depositado en un lugar seco y ventilado.

Tabla 4.3 Detalle precio Planchas Yeso Cartón modelo Nueva Brisa.

Descripción Casa Nueva Brisa	Precio Unitario ($)	Unidad	Cantidad	Total ($/un)
Plancha Yeso Cartón 10 mm 1,20x2,40 m	3900	un	1900	7.410.000
Plancha Yeso Cartón 12,5 mm 1,20x2,40 m	5.284	un	1100	9.240.000

Elaboración propia.

Continuando con el proceso de metodología DMAIC para en este caso las planchas de yeso cartón nos encontramos con las 2 variantes mencionadas de 10 y 12,5 mm ocupadas en tabiquería muro y cielo. Se comenzará en el modelo de vivienda Nueva Brisa con la plancha de yeso cartón ST ubicadas principalmente en los 3 dormitorios de la casa, para ello se calculará su DPO.

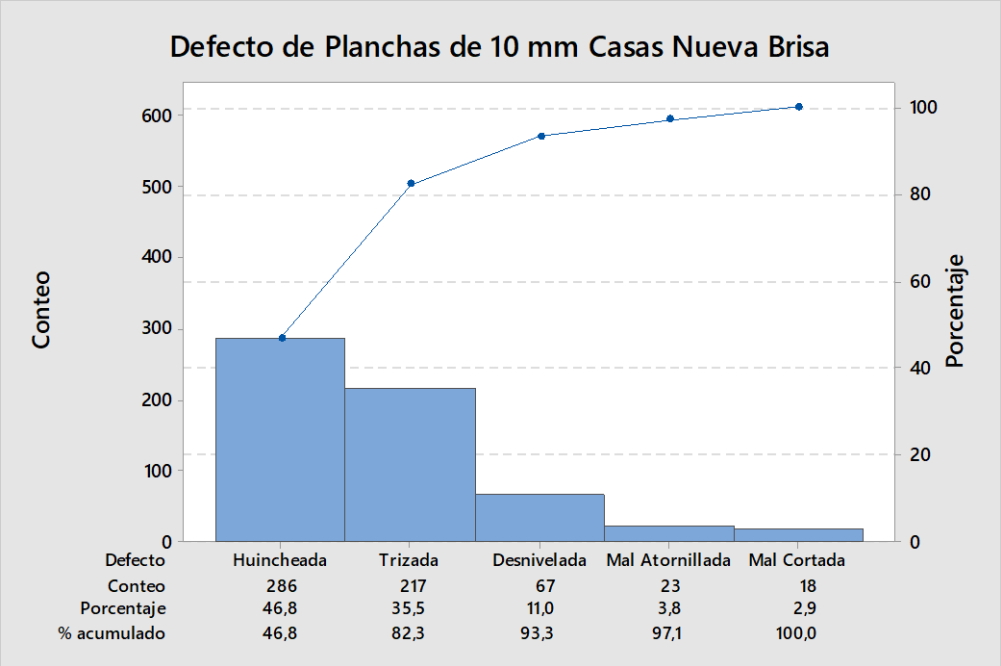
$$\text{DPO} = \frac{611}{(1900\text{x}5)} = 0{,}06$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}06)\text{x}100$$

$$\text{yield}\% = 94$$

Lo que indica un proceso sigma de 3,1 para las planchas de yeso cartón ST de 10 mm.

Figura 4.8 Defecto de Planchas Yeso Cartón de 10 mm modelo Nueva Brisa.



Elaboración propia.

Ahora veremos para el mismo modelo de vivienda, pero con las planchas de yeso cartón RH de 12,5 mm de espesor. Calculando su DPO.

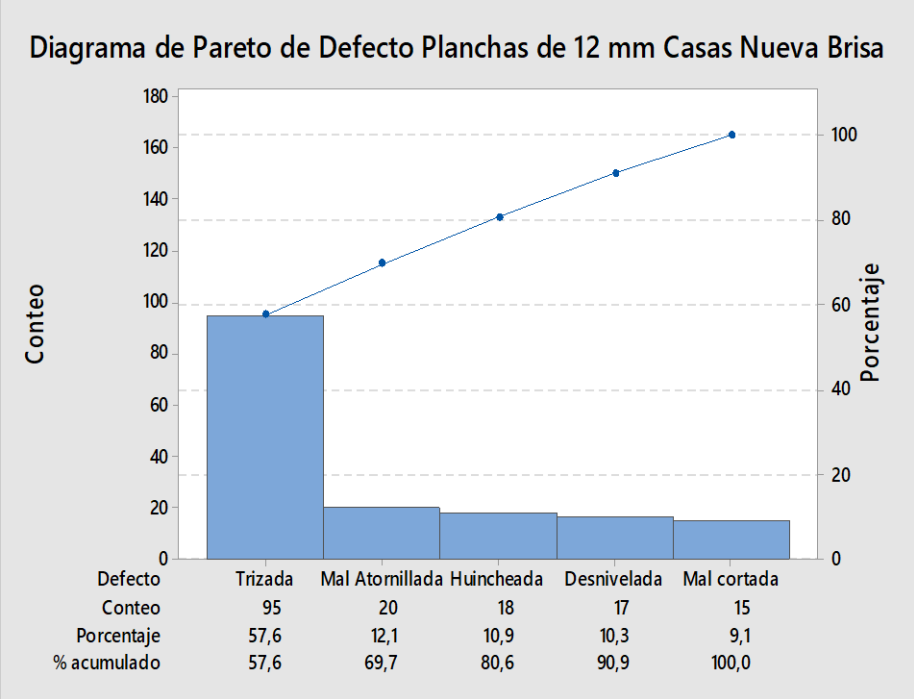
$$\text{DPO} = \frac{165}{1100\text{x}5} = 0{,}03$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}03)\text{x}100$$

$$\text{yield}\% = 97$$

Lo que según la tabla de proceso sigma indica un nivel de 3,4, superior incluso al otro tipo de plancha, siendo ambos no competitivos por la gran pérdida que supone en material y mano de obra.

Figura 4.9 Diagrama de Pareto en defectos de Planchas Yeso Cartón de 12 mm modelo Nueva Brisa.



Elaboración propia.

Se utilizan gráficos de Pareto el cual representa la frecuencia con la que ocurre cierto evento, es un gráfico de barra donde la frecuencia se muestra en orden descendente de importancia de datos de izquierda a derecha.

Usar gráficos de Pareto, permitirá saber a qué factores enfocarse, es decir, a los factores con mayor impacto. El diagrama de Pareto permitirá enfocarse en las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son los problemas más grandes que enfrenta el análisis?
- ¿Dónde se debe enfocar los esfuerzos para alcanzar mayores mejoras?

Como se aprecia en los gráficos de Pareto los defectos de las planchas de 10 mm ST y las de 12,5 mm RH son distintos en cantidad. Para las planchas

estándar mayoritariamente se deben a tener las planchas huinchadas (46% del total de errores en planchas de 10 mm), mientras que en las resistentes a la humedad se deben principalmente a grietas (57,6% del total de errores en planchas de 12,5 mm). El uso de planchas estándar es considerablemente mayor al uso de las RH por lo que se deberá poner mayor énfasis a la eliminación de variabilidad de estas, disminuyendo la pérdida y aumentado las ganancias.

Con el propósito de conocer las relaciones causales se ocupará el diagrama de Ishikawa también conocido como diagrama de causa efecto o espina de pescado, herramienta de calidad para visualizar las raíces del problema, define el problema a analizar y mediante una tormenta de ideas levanta las posibles causas que generan el problema, posteriormente divididas en categorías como: mano de obra, maquinaria, materiales, etc.

Dado que la idea es aspirar a un flujo de trabajo continuo se debe identificar la causa de la variabilidad. El flujo se consigue en el momento en el que el proceso se ejecuta sin problemas y funciona continuamente. Se acercará a ese estado una vez que gran cantidad de desperdicios o residuos se eliminen del proceso.

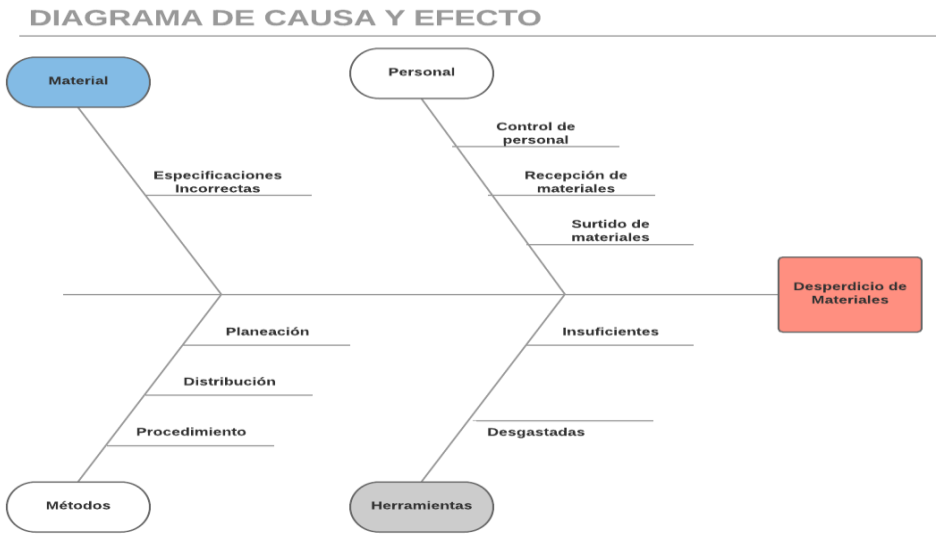


Figura 4.10 Diagrama Causa Efecto (Elaboración propia)

Como se aprecia en los diagramas de Pareto una de las principales causas de fallas son las planchas con trizaduras y planchas huinchadas, esto se debe tanto a especificaciones incorrectas, una mala planeación de la actividad, esperas innecesarias tanto por una pobre coordinación o imprevistos en obra, a esto debe agregar ciertos tipos de fallas en el inventario por error humano, el transporte, desgaste de herramientas además de una comunicación confusa entre los capataces y los obreros.

4.4 Proceso de mejora

Pasando a la siguiente fase de mejorar se debe encontrar la manera de eliminar residuos o agregar valor al trabajo realizado.

Luego de haber identificado las causas, se plantean soluciones para las mimas, usando las técnicas de brainstorming o lluvia de ideas además de pensamiento invertido o (reverse thinking), encontrando las siguientes opciones:

4.4.1 Medidas Preventivas:

- Los capataces encargados del control de calidad deben inspeccionar rigurosamente el proceso de instalación para minimizar los defectos y establecer un plan de acción con todos los obreros dedicados a esta labor.
- Mejorar el proceso de inspección en bodega y almacén central para evitar productos defectuosos.

4.4.2 Medidas Correctoras:

- Para los problemas de manipulación ya sea en cerámica o planchas de yeso cartón donde se produjeron negligencias se debe tomar medidas disciplinarias dependiendo de la gravedad del incidente.
- Para los problemas de transporte, traslado y acopio se deben realizar controles para que se cumplan las normas de seguridad del producto.
- Deberán realizarse reuniones periódicas para mantener a todo el personal enfocado en el objetivo en común de la empresa.

Con la disminución de fallos no solo se logra un aumento en las ganancias de la empresa, sino que también se logra un mejoramiento del impacto ambiental al disminuir la cantidad de desperdicios generados por las falencias encontradas en los procesos, logrando además un mejoramiento en la imagen de la empresa a nivel estratégico en el mercado.

Aplicando las medidas correctivas en las siguientes partidas encontramos los siguientes datos.

Modelos casa Nueva Brisa:
Porcelanato Nueva Luna 60x60 MK de la ecuación (2.2)

$$\mathrm{DPO} = \frac{21}{864x4} = 0{,}00621$$

$$\mathrm{yield}\% = (1 - 0{,}00621)x100$$

$$\mathrm{yield}\% = 99{,}3\%$$

Este porcentaje yield nos entrega un nivel sigma cuatro por lo que el proceso mejora con respecto a los datos tomados en un principio.

Cerámica Desert White 45x45 MK

$$\text{DPO} = \frac{277}{6480x4} = 0{,}0107$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0.0107)x100$$

$$\text{yield}\% = 98{,}93\%$$

Nivel sigma 3,8

Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK

$$\text{DPO} = \frac{180}{9720x4} = 0{,}0046$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}0046)x100$$

$$\text{yield}\% = 99{,}54\%$$

Nivel sigma 4,1

Modelo de vivienda Nueva Rocío

Porcelanato Nueva Luna 60x60 MK

$$DPO = \frac{38}{342x4} = 0{,}0227$$

$$yield\% = (1 - 0{,}0227)x100$$

$$yield\% = 97{,}73\%$$

Nivel sigma 3,5

Cerámica Desert White 45x45 MK

$$\text{DPO} = \frac{13}{2280x4} = 0{,}001425$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}001425)x100$$

$$yield\% = 99{,}8575\%$$

Nivel sigma 4,5

Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK

$$\text{DPO} = \frac{6}{4560x4} = 0.0003$$

$$\text{yield}\% = (1 - 0{,}0003)x100$$

$$\text{yield}\% = 99{,}97\%$$

Nivel sigma 5

Luego se calculan los niveles de sigma para la partida de plancha de yeso cartón para el modelo de casa Nueva Brisa

Plancha yeso cartón 10mm ST

$$\text{DPO} = \frac{60}{1900x5} = 0{,}006315$$

$$\text{yield\%} = (1 - 0{,}006315)x100$$

$$\text{yield\%} = 99{,}37\%$$

Nivel sigma 4

Plancha Yeso Cartón 12,5 mm RH

$$\text{DPO} = \frac{4}{1100x5} = 0{,}000727$$

$$\text{yield\%} = (1 - 0{,}000727)x100$$

$$\text{yield\%} = 99{,}93\%$$

Nivel sigma 4,7

4.5 Comparativa de datos

Se procede a comparar los resultados de nivel de sigma, tanto para el modelo Nueva Brisa como Nueva Rocío. Aplicando una mayor inspección logra reducirse

bastante la variabilidad de los procesos por lo que el nivel de sigma aumenta, aunque no al ansiado Six Sigma.

Tabla 4.4 Comparativa cerámicas modelo Nueva Brisa.

Modelo Nueva Brisa	**Nivel sigma Inicio**	**Defectos por millón de oportunidades**	**Nivel sigma Final**	**Defectos por millón de oportunidades**
Porcelanato Luna 60x60 MK	3,0	66.800	4	6.210
Cerámica Desert White 45x45 MK	3,3	33.900	3,8	10.700
Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK	3,6	17.800	4,1	4.660

Elaboración propia.

Tabla 4.5 Comparativa cerámicas modelo Nueva Rocío

Modelo Nueva Rocío	**Nivel sigma Inicio**	**Defectos por millón de oportunidades**	**Nivel sigma Final**	**Defectos por millón de oportunidades**
Porcelanato Luna 60x60 MK	3,0	66.800	3,5	22.700
Cerámica Desert White 45x45 MK	3,5	22.700	4,5	1.350
Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK	4	17.800	5	230

Elaboración propia.

En el siguiente cuadro comparativo se encuentran ambos tipos de planchas de yeso cartón, tanto estándar como resistente a la humedad, con sus respectivos nivel sigma y la cantidad de defecto por millón de oportunidades que representan.

Tabla 4.6 Comparativa Planchas Yeso Cartón modelo Nueva Brisa.

Modelo Nueva Brisa	**Nivel sigma Inicio**	**Defectos por millón de oportunidades**	**Nivel sigma Final**	**Defectos por millón de oportunidades**
Plancha Yeso Cartón ST 10mm	3,1	54.800	4	6.210
Plancha Yeso Cartón RH 12,5mm	3,4	28.700	4,7	680

Elaboración propia.

4.6 Etapa de control

Se deben generar métodos para establecer si los cambios realizados generan resultados satisfactorios en la cadena de producción, alguno de estos será:

- Control de registros con la información relacionada a las partidas de cerámica y yeso cartón.
- Control estadístico de estos procesos.
- Inspección rigurosa a los trabajos realizados
- Dar capacitación a nuevos obreros de cómo se trabaja con el método

Se deberá monitorear y mantener el control de procesos necesarios para desarrollar planes de control.

Los elementos de producción son: método, materiales, mano de obra, maquinaria e información los cuales deberán ir con el factor control sumamente ligado para no llevarse sorpresas.

Tabla 4.7 Comparativa ahorro de Porcelanato modelo Nueva Brisa.

Porcelanato Luna 60x60 MK NB	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3	256	7.530	694.016
Nivel Sigma 4	21	7.530	56.931
Ahorro			637.085

Elaboración propia.

Tabla 4.8 Comparativa ahorro de Cerámica Desert White modelo Nueva Brisa.

Cerámica Desert White 45x45 MK NB	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3,3	907	1.012	917.884
Nivel Sigma 3,8	277	1.012	280.324
Ahorro			637.560

Elaboración propia.

Tabla 4.9 Comparativa ahorro de Cerámica Nevada Blanca modelo Nueva Brisa

Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK NB	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3,6	739	729	538.731
Nivel Sigma 4,1	180	729	131.220
Ahorro			407.511

Elaboración propia.

Tabla 4.10 Comparativa ahorro de Porcelanato Luna modelo Nueva Rocío

Porcelanato Luna 60x60 MK NR	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3	89	7.530	670.170
Nivel Sigma 3,5	38	7.530	286.140
Ahorro			384.030

Elaboración propia.

Tabla 4.11 Comparativa ahorro de Cerámica Desert White modelo Nueva Rocío

Cerámica Desert White 45x45 MK NR	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3,5	228	1.012	230.736
Nivel Sigma 4,5	13	1.012	13.156
Ahorro			217.580

Elaboración propia.

Tabla 4.12 Comparativa ahorro de Cerámica Nevada Blanca modelo Nueva Rocío

Cerámica Nevada Blanca 31x45 MK NR	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 4	172	729	125.388
Nivel Sigma 5	6	729	4.374
Ahorro			121.014

Elaboración propia.

A continuación, se muestran las tablas comparativas de ahorro de Planchas Yeso Cartón ST (Tabla 4.13) y RH (Tabla 4.14) para las viviendas modelo Nueva Brisa.

Tabla 4.13 Comparativa ahorro de Plancha Yeso Cartón ST 10 mm modelo Nueva Brisa

Plancha Yeso Cartón ST 10 mm	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3,1	611	3.900	2.382.900
Nivel Sigma 4	60	3.900	234.000
Ahorro			2.148.900

Elaboración propia.

Tabla 4.14 Comparativa ahorro de Plancha Yeso Cartón Rh 12,5 mm modelo Nueva Brisa

Plancha Yeso Cartón Rh 12,5 mm	**Pérdidas por falla**	**Valor $**	**Total $**
Nivel Sigma 3,4	165	5.284	8.718.860
Nivel Sigma 4,7	4	5.284	21.136
Ahorro			8.697.724

Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las tablas anteriores subiendo, aunque sea un nivel sigma se encuentran notables mejoras en cuanto a ahorro del material, si el método se usara a mayor consciencia y en más etapas de una obra las mejoras serían sustanciales y las utilidades se verían reflejado en esto.

5. CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

En el presente proyecto de título se presentó, de manera práctica las técnicas principales tanto estadísticas como empresariales, específicamente en una obra de viviendas, para poder conocer, entender y aplicar la metodología Six Sigma en la obra.

El éxito de Six Sigma depende tanto como de la difusión de conocimientos en el método y del compromiso de todos los participantes de la obra, desde el administrador de obra, recursos humanos, oficina técnica, capataces hasta los obreros en adoptar la nueva metodología para mejorar la calidad que permitirá aumentar la competitividad de la empresa entregando viviendas con menor cantidad de defectos cumpliendo con los requisitos de los clientes más exigentes.

Si bien no se alcanza el nivel sigma deseado se aumenta de manera que se reduce considerablemente los recursos tanto de materiales como de mano de obra principalmente. Se comprueba que la metodología Six Sigma es un conjunto de herramientas aplicadas que, de manera correcta, llevan a la empresa a un nivel de calidad mundial, que no es fácil de aplicar por la falta de información y compromiso de los obreros ya que en muchos casos son subcontratos de la empresa y como tal no se consideran ellos mismos como partes de organización, siendo que son parte fundamental de esta.

Respondiendo a los objetivos específicos, los datos clave de la metodología son materiales, mano de obra, maquinaria, compromiso, y más que nada una visión de objetivo en común con todos los participantes involucrados con el proyecto, ya que sin una meta en común y la colaboración de todas las ramas de la empresa no se logrará un trabajo eficiente. Evitar el cambio de personal es otro factor ya que si entra personal nuevo y ajeno al proceso de Six Sigma se debe capacitar para que sea un aporte en el proceso de optimización a la causa común.

Mediante las tablas de comparación y de ahorro se verifica que, aunque no se alcance el objetivo de un Sigma de nivel seis, ya con un nivel sigma de cuatro (tabla 4.8) se aprecia un ahorro de más de 630.000$ chilenos sólo en el Porcelanato de Luna MK de modelo Nueva Brisa.

Otro ejercicio para poder apreciar la magnitud de la metodología en el área de construcción fue, en este caso, considerar qué hubiera pasado si para las etapas anteriores a la estudiada se ocupara Six Sigma, tomando en cuenta el mismo nivel de sigma logrado en estas partidas, pero teniendo en consideración para la etapa uno 38 casas Nueva Brisa y 35 casas Nueva Rocío y en la etapa dos 44 casas modelo Nueva Brisa y 22 del modelo Nueva Rocío.

Como se aprecia en la tabla 5.1 está la comparación de las distintas etapas del proyecto Aires de San Pedro en la cual se puede apreciar el ahorro si se hubiera usado en esas partidas el método Six Sigma, arrojando resultados de pérdidas de aproximadamente 31 millones de pesos en las partidas de cerámica Desert White, Nevada Blanca, Porcelanato Luna además de las planchas de Yeso Cartón ST y RH, sólo en el modelo Nueva Brisa por lo que este valor aumenta con la tabla 5.2 donde se muestran los valores de ahorro de cerámica para el modelo Nueva Rocío de las tres etapas anteriormente comentadas.

De esta misma manera de existir otras etapas posteriores y aplicarse el método a las demás partidas y porque no a la obra en si los valores de las utilidades generadas se verían aumentadas considerablemente, pero eso solo dependerá del objetivo y el apoyo de todo el grupo de trabajo para lograr el fin común.

Tabla 5.1 Comparativa de ahorro en las distintas etapas del modelo Nueva Brisa.

Modelo Nueva Brisa	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Total
Porcelanato Luna MK	455.235	519.106	637.085	1.611.426
Cerámica Desert White MK	448.653	519.493	637.560	1.605.706
Cerámica Nevada Blanca MK	166.016	332.046	407.511	905.573
Plancha Yeso Cartón ST 10 mm	1.512.188	1.750.955	2.148.900	5.412.043
Plancha Yeso Cartón RH 12,5 mm	6.120.620	7.087.034	8.697.724	21.905.378
Ahorro				31.440.126

Elaboración propia.

En anexo C se puede apreciar el plano de loteo y las etapas anteriores.

Tabla 5.2 Comparativa de ahorro distintas etapas modelo Nueva Rocío.

Modelo Nueva Rocío	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Total
Porcelanato Luna MK	707.423	444.666	384.030	1.536.119
Cerámica Desert White MK	400.804	251.934	217.580	870.318
Cerámica Nevada Blanca MK	222.920	140.121	121.014	484.055
Ahorro				2.890.492

Elaboración propia.

En Anexo D se encuentra esquema de etapas del Proyecto Aires de San Pedro.

5.2 Futuras líneas de investigación.

Se podría ahondar en la aplicación de la metodología en las distintas partidas de una obra, sobre todo en aquellas que implican un mayor costo para la empresa como lo pueden ser el hormigonado y obra gruesa en general.

De igual manera sería interesante aplicar el método con gente con capacitación en el tema, para que exista fluidez y no se produzcan estancamientos debido a la falta de conocimiento con respecto al método.

Las posibilidades de usar Six Sigma son prácticamente infinitas, sólo se debe tener claro cuáles son las necesidades del cliente y como satisfacerlas de manera que las variaciones queden al mínimo.

BIBLIOGRAFÍA

- D. Lambert. (2008). Supply chain management. The United States
- E. Frazelle. (2009). World-class warehousing and material handling. The United States.
- Evans James R. Lindsay William (2004), Administración y Control de la Calidad.
- Harry, M (1998) “Six Sigma: A breaktrough Strategy for Profitability”, Quality Progress.
- Humberto Gutiérrez., Román de la Vara (2009). Control estadístico de calidad y Seis Sigma. México.
- José Herrera., Fontalvo Herrera (2011). Seis Sigma y métodos estadísticos y sus aplicaciones. Colombia.
- José María Mendoza (2005). Hacia la cumbre de la calidad. Colombia
- Kumar Dhiraj & Kaushish Deepak (2014). “A Review of Six Sigma Approach: Methodology, Obstacles and Benefits”.
- M. Kumar, J. Antony., M.K. Tiwari. (2011). Six Sigma implementation framework for SMEs
- P. G. Chaundhary, N.R. Grupta, A. D. Lade. (2015) “Implementing Six Sigma Approach for Quality Evaluation of a RMC plant at Mumbai, India”.
- Pande, Peter S, Holpp, Larry (2002) ¿Qué es Seis Sigma? España
- R.A. Gómez., P. D. Medina, A. A. Correa (2012). El Seis Sigma en La Cadena de Suministro. Colombia.
- S.Sriram, A. Revathi. (2016). “Implementation of Six Sigma Concepts in Construction Project for Ensuring Quality Improvements”.
- Thong Ngee 2010 “Six Triumphs and Six Tragedies of Six Sigma”

Anexos

Anexo A: Registro fotográfico de los distintos tipos de pérdidas e irregularidades.

Cerámica quebrada

Cerámica mal acopiada

Cerámica desnivelada

Cerámica mal cortada

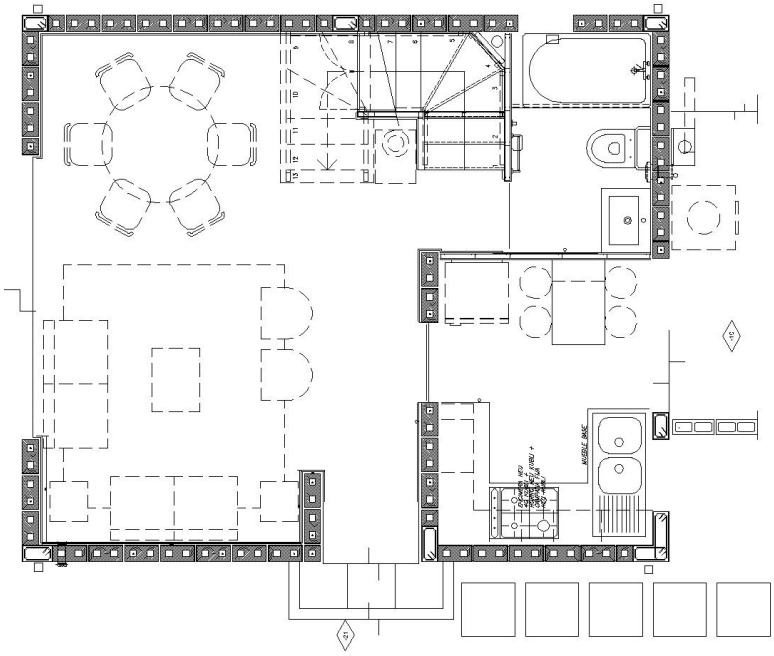
Reparación de cerámica Desert White

Plancha yeso cartón quebrado

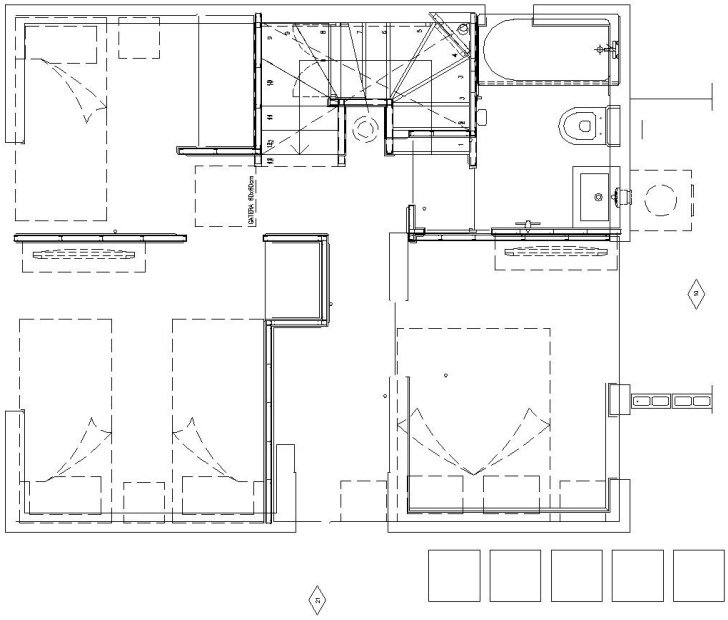
Cerámica Nevada blanca reemplazada por trizaduras

Anexo B Modelos de viviendas

Modelo Nueva Brisa

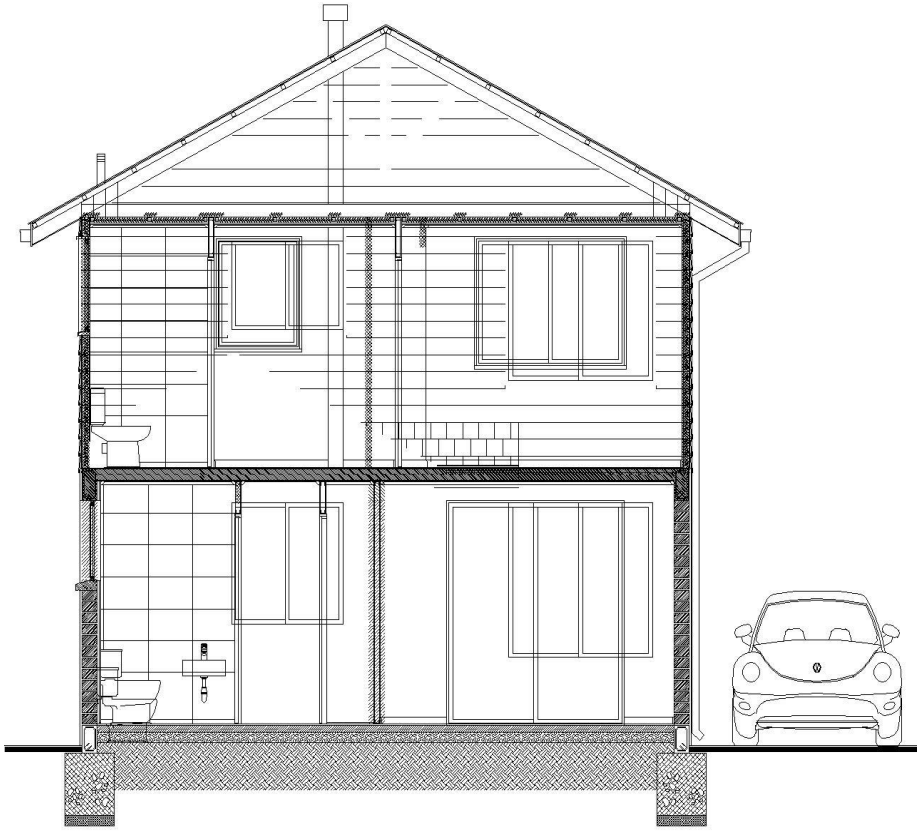


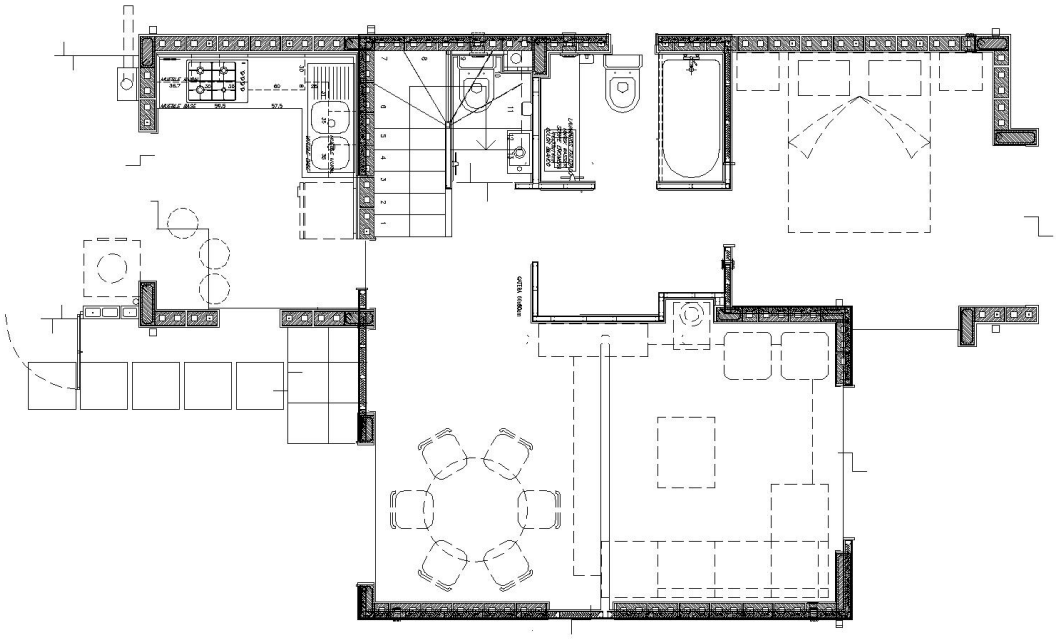
Primer piso modelo Nueva Brisa



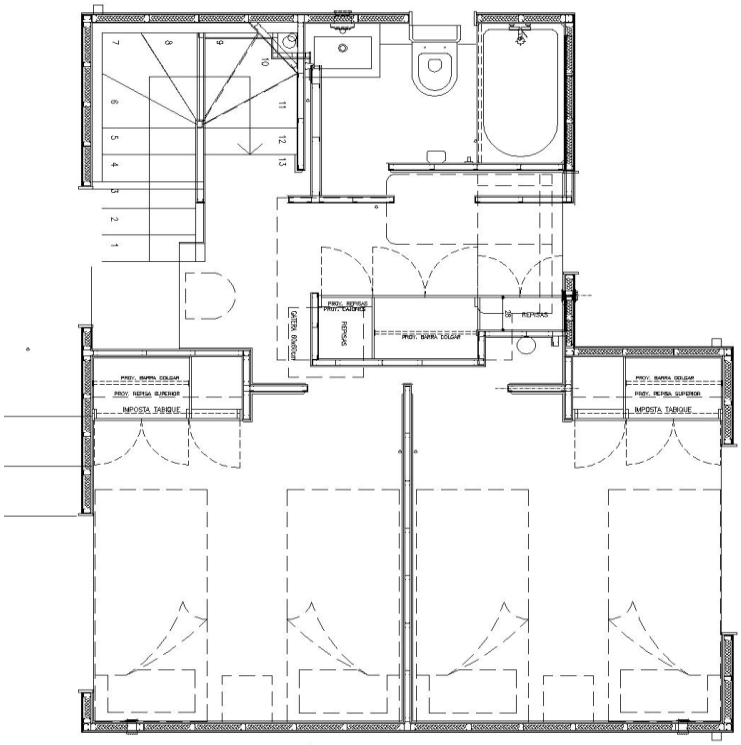
Segundo piso modelo Nueva Brisa

Modelo Nueva Rocío



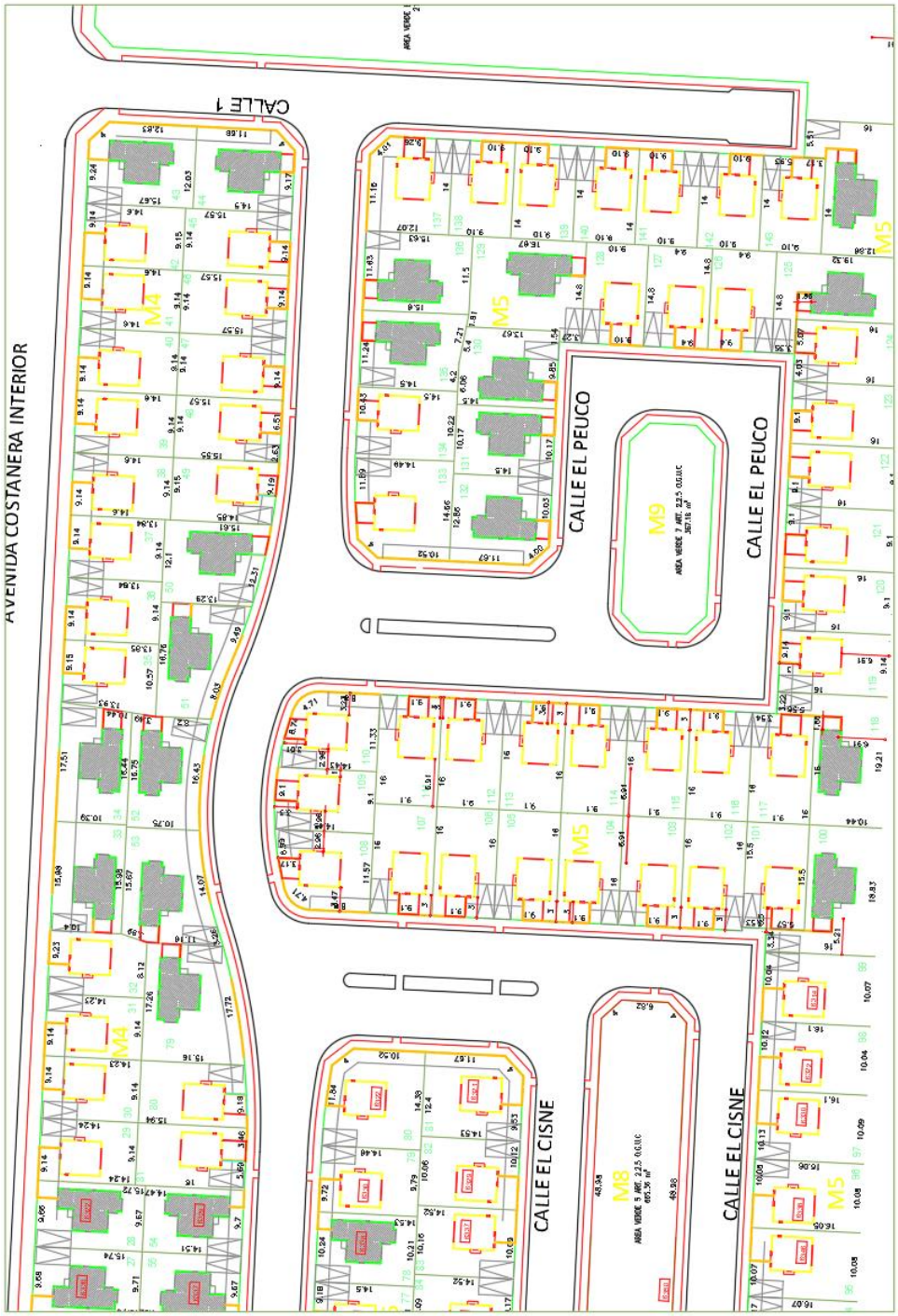


Primer piso modelo Nueva Rocío



Segundo piso modelo Nueva Rocío

Anexo C Plano de loteo Aires de San Pedro III



Anexo D Etapas de Construcción de Proyecto Aires de San Pedro