



Ministerio de la Construcción  
OSDE de Construcción y Montaje  
Empresa Constructora de Obras de Ingeniería No. 12  
*Construyendo Carreteras hacia el Futuro*



*Título:* Aplicación de la metodología Seis Sigma para la mejora del proceso de Producción de la Mezcla de Hormigón Asfáltico en Caliente en la UEB Brigada No.13 “Pavimentación”

*Autor:* Mariam Rodríguez China

*Tutor:* Ing. Lisan García Pérez

Cienfuegos, 2023

RESUMEN



## **RESUMEN**

El presente trabajo se realiza en la UEB Brigada No.13 Pavimentación perteneciente a la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería (ECOING) No.12, con el objetivo de evaluar el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico en cuanto a estabilidad y cumplimiento de especificaciones de calidad.

Para la recopilación de información se utilizan técnicas tales como: entrevistas, tormenta de ideas, revisión de documentos, trabajo con expertos, trabajo en equipo y observación directa. Se hace uso además de las herramientas clásicas de la calidad (histograma, gráficos de control, índices de capacidad de procesos, diagrama Ishikawa) y de gestión de procesos (SIPOC, diagrama de flujo y ficha de proceso) así como la técnica 5Ws y 1H para la proyección de acciones de mejora. Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizan programas informáticos como el paquete estadístico Statgraphics Centurion y el SPSS.

Como resultados fundamentales de la investigación se documenta el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico y se verifica el cumplimiento de las principales características de calidad. Se determinan además las causas que inciden en la baja capacidad del proceso, así como la propuesta de acciones de mejora a partir de las deficiencias identificadas.

**Palabras claves:** control de calidad; gráficos de control; análisis de capacidad de procesos, asfalto.

# SUMMARY



## SUMMARY

The present work is carried out in the UEB Brigade No.13 "Paving" belonging to the Construction Company of Engineering Works (ECOING) No.12, with the objective of evaluating the production process of asphalt concrete mixture in terms of stability and compliance with quality specifications.

Techniques such as interviews, brainstorming, document review, and work with experts, teamwork and direct observation are used to collect information. In addition to the classic quality tools (histogram, control charts, process capability indices, Ishikawa diagram) and process management tools (SIPOC, flow chart and process sheet) are used, as well as the 5Ws and 1H techniques. For the projection of improvement actions. Computer programs such as the statistical package Statgraphics Centurion and SPSS are used to process the data obtained.

As fundamental results of the investigation, the asphalt concrete mix production process is documented and compliance with the main quality characteristics is verified. The causes that affect the low capacity of the process are also determined, as well as the proposal of improvement actions based on the deficiencies identified.

Keywords: quality control; control charts; process capability analysis.

# ÍNDICE



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>5</b>
1.1. Generalidades de la calidad. Relación calidad-productividad-competitividad.....	6
1.2. Gestión de la Calidad .....	9
1.2. Control estadístico en la gestión de la calidad .....	12
1.3.1. Herramientas para el control estadístico de procesos .....	16
1.4. Metodologías de mejoramiento de procesos .....	22
1.4.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos .....	24
1.5. Generalidades sobre el proceso de producción de hormigón asfáltico en caliente .....	28
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEJORA DE PROCESOS SEIS SIGMA.....</b>	<b>35</b>
2.1. Caracterización de la UEB Brigada No.13 “Pavimentación” .....	35
2.2. Descripción de la Metodología Seis Sigma.....	39
2.3. Descripción de las principales herramientas relacionadas con la investigación.....	47
<b>CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN ASFÁLTICO EN CALIENTE. ....</b>	<b>56</b>
3.1. Implementación de la metodología seis sigma en el proceso objeto de estudio .....	56
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>

# INTRODUCCIÓN



## INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la civilización el ser humano ha intentado corregir y mejorar las actividades que realiza, ya sean deportivas, económicas, sociales y otras. El espíritu de superación, unido a la satisfacción que reporta, conduce a comportamientos que tienden a evitar los errores y a perfeccionar lo que previamente se podía dar por bueno. Por tanto, resulta justo reconocer que la calidad ha sufrido una importante evolución en las últimas décadas, siendo un ejemplo de ello las diferentes variaciones que ha tenido en las organizaciones empresariales (García Guerra, 2014).

El enfoque integral de la calidad brinda un sistema de gestión que asegura que las organizaciones satisfagan los requerimientos de los clientes, y a su vez hagan uso racional de los recursos, asegurando su máxima productividad. Así mismo permite desarrollar en la organización una fuerte ventaja competitiva como es la cultura del "mejoramiento continuo" con un impacto positivo en la satisfacción del cliente, del personal y un incremento de la productividad. Autores como Xiaofen y Antony (2013); aseguran que los métodos de calidad están siendo el pilar sobre el que se apoya toda empresa para garantizar su futuro.

La calidad de productos y/o servicios constituye un elemento importante en la supervivencia y posicionamiento de las empresas en el mercado. El estudio de la calidad ha evolucionado, de un inicio, centrado en el control de la calidad a, finalmente, la implementación de la Calidad Total y a sistemas de gestión empresariales estrechamente relacionados con la mejora continua (Cabrera, 2018).

En la actualidad, las organizaciones eficientes se concentran en lo que es realmente importante: satisfacer las necesidades y expectativas razonables de sus clientes, tanto internos como externos; estimular el trabajo en equipo y la cooperación; llevar un control de indicadores clave de desempeño; mantener un enfoque de mejora continua a largo plazo; tomar decisiones con base en hechos, y encontrar soluciones, no fallas (Torres, 2017).

Autores como Idrissi y Benazzouz (2019) sugieren que con la utilización de Seis Sigma (SS), se ha fomentado el uso de datos y el pensamiento estadístico, metodología que se enfoca en mejorar el nivel de desempeño y la capacidad de los procesos organizacionales mediante la reducción de la variabilidad.

En el caso concreto de Cuba, la industria de materiales de construcción requiere poner el énfasis en la mejora de la calidad de sus productos y en el desempeño empresarial, que

les permita sobrevivir en un entorno cada vez más competitivo. En este sentido el cumplimiento de las normas establecidas y el control de los procesos para garantizar la calidad de las producciones constituyen problemáticas de actualidad e importancia estratégicas.

Este sector en los últimos años ha sido clave para el desarrollo de los programas que lleva a cabo el país como los de desarrollo económico y social, construcción de viales y terrazas, así como la conservación y remodelación de obras de interés social, histórico y cultural.

Específicamente en la provincia de Cienfuegos se encuentra la UEB Brigada No.13 Pavimentación perteneciente a la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería (ECOING) No.12, encargadas de contribuir al desarrollo sostenible de la infraestructura social, ejecutando actividades ingenieras de movimiento de tierras, obras de fábrica y pavimentos.

Dentro de los procesos claves de la empresa se tiene el de elaboración de la mezcla de hormigón asfáltico. La dirección de la UEB trabaja en la mejora de este proceso, a partir de la evaluación de las características de calidad del producto final. Es válido destacar que los estudios vinculados a la temática mencionada son escasos en la organización objeto de análisis, en la misma se tienen identificadas por parte de la UEB un grupo de deficiencias relacionadas con la temática, entre las que sobresalen:

- No se cuenta con toda la información documentada que requiere el proceso.
- Quejas relacionadas con insatisfacción por el contenido de asfalto de la mezcla de hormigón asfáltico.
- Errores en los controles de calidad.

En consecuencia, se detectan numerosas pérdidas por concepto de desperdicios las que se encuentran valoradas en alrededor de 2,4 millones de pesos. También se evidencia que el control de calidad se realiza mediante la inspección final por la vía de la recolección de muestras para su posterior análisis en el laboratorio. Se puede decir que este tipo de control en la institución no tiene un enfoque proactivo lo que se traduce en constantes pérdidas por baja calidad de la mezcla y fallas en el proceso debido a continuas roturas.

En la UEB no se constata la existencia de estudios relacionados con el control estadístico de las variables críticas de calidad que influyen en el proceso de producción de la mezcla de hormigón asfáltico en caliente, por lo que la dirección de la entidad tiene entre sus prioridades monitorear el comportamiento de dichas variables, así como predecir su tendencia en un futuro de manera tal que se puedan tomar acciones en la entidad en aras de corregir las deficiencias detectadas.

A partir de lo planteado se evidencia la necesidad de realizar estudios relacionados con el control estadístico de procesos, a partir de la utilización de técnicas y herramientas propias de la ingeniería de la calidad. Lo anterior constituye la **situación problemática** que identifica la presente investigación.

Basado en los aspectos abordados se plantea el problema de investigación de la misma.

## Problema de investigación

¿Cómo contribuir a la mejora de la calidad de la mezcla de hormigón asfáltico en la UEB Brigada No.13 Pavimentación?

El **Objetivo General** de la investigación es:

Evaluar el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico en cuanto a estabilidad y cumplimiento de especificaciones de calidad perteneciente a la UEB Brigada No.13 Pavimentación.

Para el cumplimiento de este objetivo es necesario llevar a cabo los siguientes **objetivos específicos**:

1. Documentar el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico.
2. Verificar el cumplimiento de las principales características de calidad de la mezcla de hormigón asfáltico.
3. Proponer acciones de mejora a partir de las deficiencias identificadas en el proceso de producción objeto de estudio.

## Justificación de la investigación

La justificación de la investigación está dada por los beneficios que aporta la aplicación de la metodología seis sigma, entre los que se encuentran: registrar los factores que influyen en la calidad de la mezcla de hormigón asfáltico en caliente, lo que permitiría aumentar la producción de las diferentes composiciones según la capa a aplicar en el pavimento y, en consecuencia, lograr la disminución de los desperdicios, logrando así mejor imagen de la UEB en la sociedad. Además de los beneficios económicos que aportaría para esta.

El trabajo queda estructurado de la siguiente forma:

En el **Capítulo I** se desarrolla el marco teórico que aborda aspectos relacionados con los sistemas de gestión normalizados, específicamente los sistemas de gestión de calidad y su estándar, teniendo como soporte la literatura científica que aborda la problemática desde el punto de vista teórico-práctico.

En el **Capítulo II** se realiza la caracterización de la UEB Brigada No.13 Pavimentación, así como de la metodología de mejora de procesos seis sigma, dado por Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2013, ajustada a las características de la organización.

En **Capítulo III** se presentan los resultados relacionados con la aplicación del procedimiento para la mejora de la calidad de la mezcla de hormigón asfáltico en la UEB Brigada No.13 Pavimentación, sobre la base de un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado, el conocimiento de los principales factores que influyen en la calidad de las producciones, los elementos a mejorar dentro del sistema, la propuesta de un programa de mejora, así como su implementación.

# Capítulo I



## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Para comenzar el capítulo se presenta el hilo conductor del mismo, el cual se muestra en la figura 1.1 donde se analizan aspectos relacionados con las diferentes concepciones de calidad, así como las principales herramientas que se utilizan en esta. Se abordan metodologías de mejoramiento de procesos, con énfasis en la metodología de seis-sigma. Por último, se describen los elementos generales sobre el proceso producción de mezcla de hormigón asfáltico en caliente, así como estudios similares en esta rama del sector de la construcción.

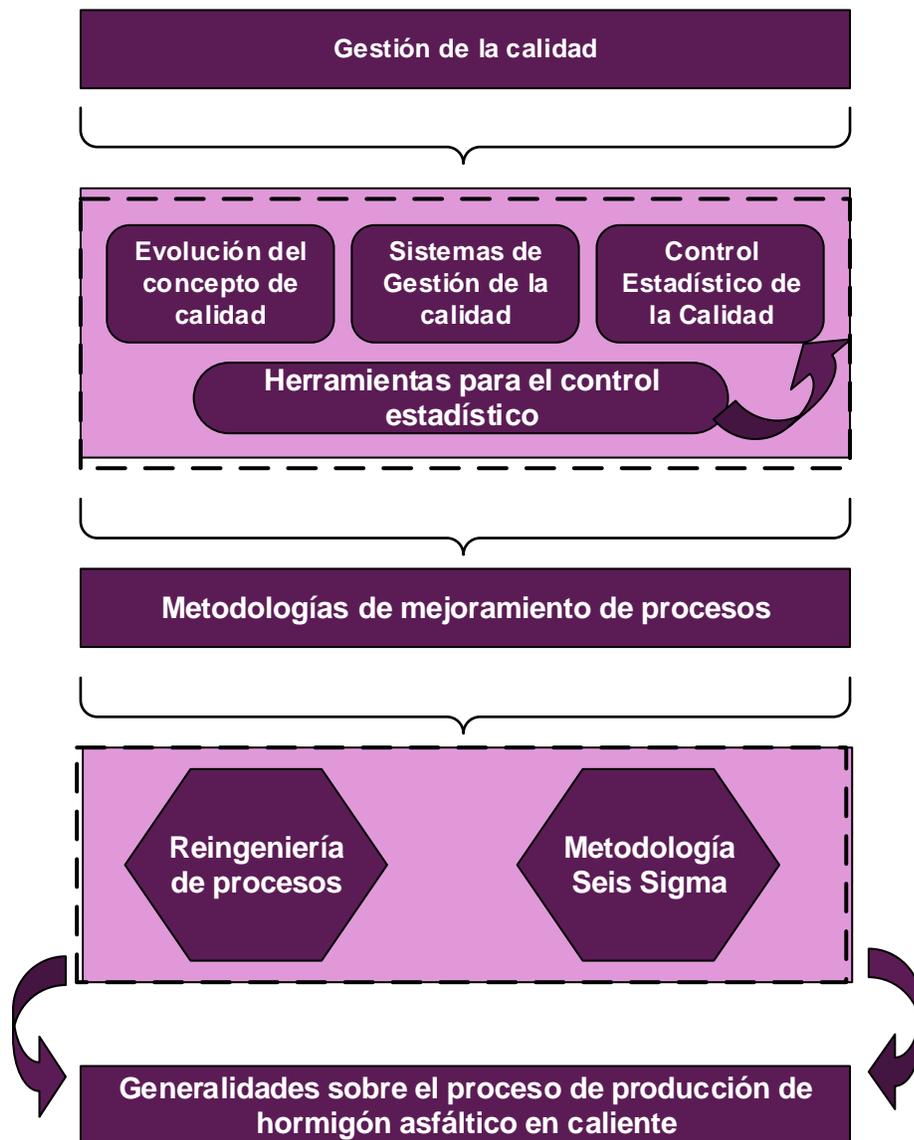


Figura 1.1: Hilo conductor. Fuente: Elaboración propia.

## 1.1. Generalidades de la calidad. Relación calidad-productividad-competitividad

El término calidad comienza a utilizarse sistemáticamente durante la segunda Guerra Mundial, como consecuencia de la necesidad de caracterizar y categorizar productos y maquinaria bélica en función de sus cualidades; su desarrollo posterior, se origina con las experiencias y concepciones de los considerados padres de la calidad: Joseph Juran, Edwards Deming, Kaoru Ishikawa, Phil Crosby; pero su gran evolución y afianzamiento se produce durante la década de los 80 a raíz de los requerimientos de uniformizar diferentes especificaciones de productos y/o servicios en distintos sectores y empresas. (Moscoso, 2022).

La concepción de calidad ha ido transformándose con el paso del tiempo, desde sus inicios hasta la concepción que se tiene actualmente, pues en un principio el aseguramiento de la calidad perseguía como fin detectar los productos defectuosos y separarlos de las líneas de producción antes de que estos lleguen a manos del consumidor final. Con el pasar de los años, las teorías y principios referentes a la calidad fueron evolucionando a fin de cuidar todo el proceso de manufactura del producto, lo cual permite en un sentido más amplio, gestionar toda la operación de una organización que apuesta por la diferenciación, mediante el desarrollo y la búsqueda de la mejora continua a largo plazo. (Zalasar, 2021).

El concepto de calidad puede tener varios significados dependiendo de la óptica que se analice de manera general, hace referencia a una filosofía de trabajo e incluso un estilo de vida a nivel empresarial que permite conducir a la organización por el camino hacia la excelencia. (Díaz, 2021).

La calidad debe ser entendida y más que ello, sentida o vivida como un compromiso, una forma de pensar y actuar, una cultura que produzca resultados en satisfacción no sólo para clientes internos y externos, sino para la sociedad; que genere cambios y mejoras continuamente, orientados a la excelencia (Navarrete, 2021). Se refiere a todas las propiedades y características de un servicio o producto que le confieren la capacidad de satisfacer necesidades expresas o implícitas (Villate, Vásquez, Paula y Chicaiza, 2022).

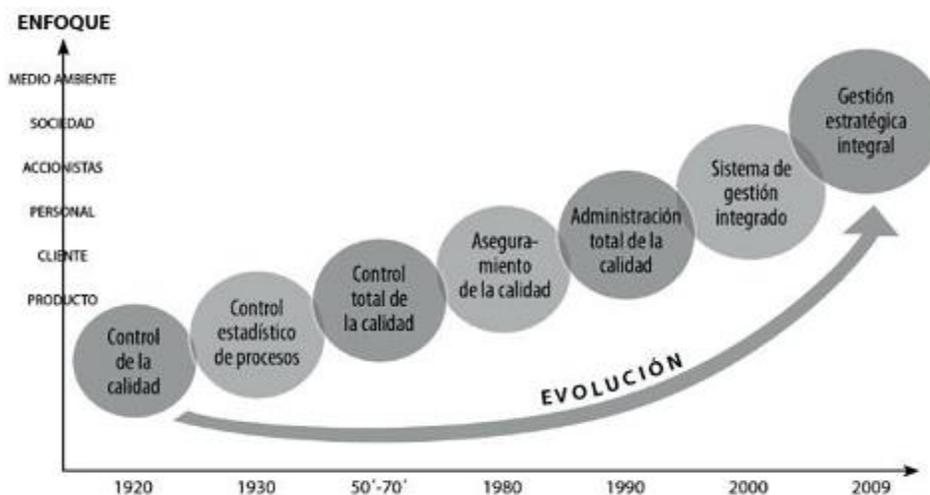
La calidad se refiere, no sólo a productos o servicios terminados, sino también, a la eficacia de los procesos que se relacionan con dichos productos o servicios, transita por todas las fases de la actividad de la empresa, es decir, por el desarrollo, diseño, producción, venta y mantenimiento de los servicios (Junco, 2022).

Las organizaciones que tienen una clara orientación hacia la calidad promueven una cultura que da como resultado comportamientos, actitudes, actividades y procesos para proporcionar

valor mediante el cumplimiento de las necesidades y expectativas de los clientes y otras partes interesadas pertinentes (NC ISO 9000: 2015).

Para Muñoz y Duque (2021) citando a Crosby (1980), Stewart (1997), Ishikawa (1972), Deming (1986), Taguchi (1986), Juran (1990) y Feigenbaum (1991), la calidad es el resultado de un proceso de evolución que se ha dado con el pasar de los años y se ha fortalecido gracias a las teorías de los autores mencionados, los que son considerados como los padres de la calidad. Por medio de sus contribuciones se ha podido hacer de la calidad un concepto que a nivel macro estudia y analiza de forma global a la organización, y a nivel micro relaciona y define todos los procesos y políticas institucionales que inciden en el resultado final de los bienes o servicios entregados al consumidor final. El concepto de calidad comprende varias teorías, principios y filosofías desarrollados por expertos en el tema, dichas consideraciones se detallan el cuadro comparativo que se muestra en el **Anexo No.1**.

A través del tiempo con los avances globales la calidad ha tomado mayor relevancia, hasta adquirir el potencial para aportar al desarrollo regenerativo con empresas más integrales y responsables con su entorno y las personas con las que tiene relación (De Oca, 2021). Dicho avance se muestra en la figura 1.2 donde se refleja la evolución del concepto de calidad en función del enfoque.



**Figura 1.2: Evolución de la calidad. Fuente: Muñoz y Duque (2021) citando a Marcelino y Ramírez (2014).**

Según Muñoz y Duque (2021) la calidad comprende un recurso estratégico sumamente valorado por la gerencia. Es claramente visible que el mercado tan competitivo y el entorno empresarial en el que se desenvuelven las organizaciones modernas, las obliga a asumir

mayores retos y sobresalir ante la competencia mediante la creación de imagen institucional, marcas, patentes y políticas direccionadas a la producción cero defectos, desarrollo estrategias que persiguen la creación de ventajas competitivas e implementación de procesos que, con base a la postura de Becerra, Andrade y Díaz (2019), deben ser sistémicos, con una perspectiva estratégica y cimentada en modelos y sistemas de gestión empresarial enfocados en la mejora continua.

La competitividad es un tópico que desde hace décadas despierta el interés y curiosidad en los líderes y gerentes de empresa puesto que su acertada gestión se mide, en gran parte, por la capacidad de administrar eficientemente los recursos disponibles en la organización y que esto a su vez, redunde en el incremento de la productividad. (Díaz 2021).

La competitividad a nivel de las empresas, exige de un trabajo riguroso de despliegue de recursos de diversa índole de manera que se puedan concretar desde los niveles organizacionales los objetivos establecidos, además de cumplir con estándares definidos a nivel de los productos o servicios ofrecidos por las empresas (Altamirano, Zamora, Masache y Lituma, 2021).

La competitividad se presenta como producto de la rivalidad constante entre las empresas del medio y se logra mediante un proceso de gestión dinámico entre la industria y sus grupos de interés clientes, proveedores, directivos, acreedores, competidores del mercado a fin de mostrarse ante la sociedad como un ente capaz de satisfacer las necesidades de sus consumidores mejor que la competencia. (Quintana y Lombeida, 2021).

La competitividad y la calidad van juntas de la mano en todo proceso empresarial, ya que una no existe sin la otra, una empresa no puede competir con otra si no tiene una calidad superior en lo que ofrece (Navarro y Ferrer, 2018) en todos los niveles, procurando contar con personal que vigile la eficacia en los procesos y en los productos, buscando mejoras que impacten la satisfacción del cliente. (Saavedra, Camarena y Tapia, 2017).

Los conceptos de calidad y productividad están estrechamente relacionados. La baja calidad de un producto, manifestada como defectos de fabricación y baja confiabilidad en su rendimiento, afecta la productividad global de la empresa y su rentabilidad final (Orlandoni, 2012).

Según Fontalvo, De la Hoz y Morelos (2020) los sistemas de gestión de calidad actualmente son un referente utilizado para generar competitividad en la empresa a través de sistemas productivos y la disminución de los costos, quizás es por esta razón que los términos calidad, productividad y costos siempre deben tratarse al mismo tiempo, pues estos se encuentran

íntimamente relacionados, algún cambio efectuado en cada uno de ellos afectará sin duda alguna a los demás. Precisamente en el siguiente epígrafe se abordan argumentos relacionados con los sistemas de gestión de la calidad.

## 1.2. Gestión de la Calidad

La gestión de la calidad tiene impacto estratégico en la empresa y representa una oportunidad competitiva, poniendo especial énfasis en el mercado y en las necesidades del cliente (Pingo, Poicon, Vargas y Tito, 2020 citando a Ruiz, 2012).

La gestión de la calidad es parte de la administración de una empresa como lo es la dirección financiera, de recursos humanos, manejo ambiental, entre otros, por lo cual no debe ser considerado como un sistema aislado; ya que su propósito es realizar acciones para aplicar las directrices establecida por la junta directiva y alcanzar los objetivos de la organización relacionados con la calidad, a través de una estrategia capaz de convertir la misión, la visión y los valores en políticas, así como lograr los objetivos y acciones eficaces para la mejora continua. (Carriel, 2018).

Autores como Palma, Merizalde y Flores (2021), Guzmán Coello y Stephania (2015), consideran que la gestión de calidad es el conjunto de normas interrelacionadas de una empresa u organización por las que se administra de forma ordenada la calidad de la misma, en la búsqueda de la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes. Para Acosta, Gutiérrez, Duque, Regnault y Tinoco (2018) es el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad.

Dentro de las prácticas de gestión contemporáneas la gestión de calidad tiene un papel muy importante, es un factor estratégico para lograr el éxito empresarial, y que con el fin de mejorar la posición competitiva y mejorar el rendimiento empresarial, las empresas de todo el mundo, grandes y pequeñas, tanto industriales como de servicios, han aplicado los principios de calidad total. (Cevallos y Guerrero, 2021).

El objetivo de la gestión de calidad es cubrir las expectativas y deseos de los clientes, consumidores y usuarios a través de la construcción de sistemas organizacionales para tal fin (Carhuancho y Mendoza, 2021).

La gestión de calidad implica la implementación de sistemas de gestión de procesos internos, posibilitando el crecimiento de la organización y la obtención de beneficios gracias a los resultados planificados y la capacidad para concentrar esfuerzos de eficacia, eficiencia y flexibilidad (Ormaza y Guerrero-Baena, 2021).

Para llevar a cabo una gestión de calidad, es necesario definir un modelo de calidad, es decir, los objetivos requeridos o las propiedades a alcanzar. La definición de objetivos o el estado a alcanzar no es una tarea fácil y algunas organizaciones no tienen una estrategia para definir el objetivo de gestión de calidad. Además, puede surgir un problema si el modelo de calidad no está claramente diseñado o definido, ya que no hay ningún objetivo que alcanzar. (Olano, 2019).

Un sistema de gestión de la calidad (SGC) comprende aquellas actividades mediante las que una organización identifica sus objetivos y determina los procesos y recursos requeridos para lograr los resultados deseados. Su adopción por parte de la organización, es una decisión estratégica que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible (Acosta, Gutiérrez, Duque, Renault y Tinoco, 2018).

La NC ISO 9001:2015 propone un sistema de gestión de la calidad bien definido, basado en un marco de referencia que integra conceptos, principios, procesos y recursos fundamentales establecidos relativos a la calidad, para ayudar a las organizaciones a hacer realidad sus objetivos. Su objetivo es incrementar la consciencia de la organización sobre sus tareas y su compromiso para satisfacer las necesidades y las expectativas de sus clientes y partes interesadas, así como lograr la satisfacción con sus productos y servicios (NC ISO 9001:2015).

Las ventajas más relevantes de estas normas son las siguientes:

### Ventajas comerciales

- Reconocimiento mundial del certificado ISO: Aumenta la posibilidad de acceder a nuevos clientes con una garantía de buen hacer.
- Aumenta la fidelización de los clientes existentes: crear circuitos de seguimiento de reclamaciones, seguimiento de la satisfacción de cliente, incluso la atención en temas como la confirmación de sus pedidos hace que la relación con los clientes/ usuarios del servicio mejore sustancialmente.
- Mejor definición de producto: Ayudará al departamento comercial en su trabajo de venta.
- Mejorar en el desarrollo de nuevos productos nos dará ventaja frente a la competencia.

### Ventajas competitivas

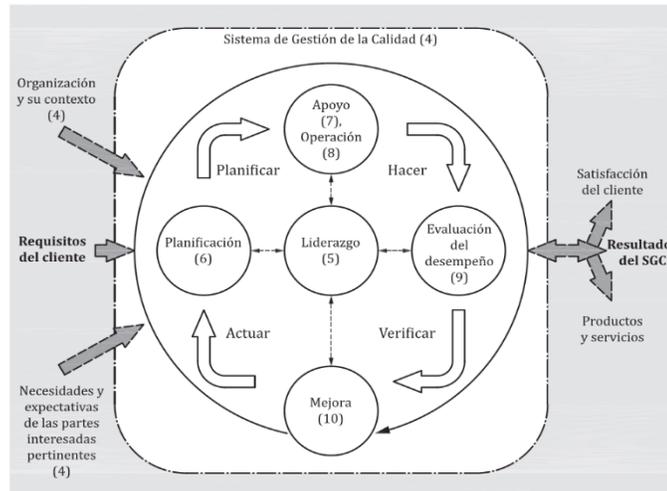
- Aumenta la diferenciación con un certificado de reconocimiento mundial.

- Disminución de los costos, no de la calidad.
- Aumentando la satisfacción del cliente.
- Buscando siempre la mejora continua.

Según la NC ISO 9001:2015 las organizaciones deben establecer, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de la calidad, incluidos los procesos necesarios y sus interrelaciones. Al aplicar los principios de gestión de calidad enunciados en la NC ISO 9000:2015 es posible dirigir una organización de forma exitosa. A continuación, se muestran los principios de la gestión de la calidad enunciados en el estándar mencionado:

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| • Enfoque al cliente         | • Mejora                                    |
| • Liderazgo                  | • Toma de decisiones basada en la evidencia |
| • Compromiso de las personas | • Gestión de relaciones                     |
| • Enfoque a procesos         |   |

El ciclo PHVA puede aplicarse a todos los procesos y al sistema de gestión de la calidad como un todo (NC ISO 9001:2015). Autores como Hurtado (2018) y Gutiérrez (2010) coinciden que este ciclo es de gran utilidad para estructurar y ejecutar proyectos de mejora de la calidad y la productividad en cualquier nivel jerárquico en una organización (ver figura 1.3).



**Figura 1.3: Representación de la estructura de la NC ISO 9001:2015 con el ciclo PHVA.**  
**Fuente: NC ISO 9001:2015**

El ciclo PHVA es una metodología que proporciona un enfoque simple pero eficaz para la resolución de problemas y la gestión del cambio, que garantiza que las ideas se prueben adecuadamente, antes de su plena aplicación. Se desarrolla en una serie de pasos sucesivos,

dirigidos a obtener aprendizaje y conocimiento valioso, para la mejora continua de un proceso o producto (Morales, 2019).

Se puede afianzar que un sistema de gestión ayuda a tener bajo control todos los procesos internos de una organización. Por ende, una buena educación en la calidad debe estar inclinada en específicos requisitos como la satisfacción de los clientes en toda su totalidad y la base de mejora continua de cada proceso interno para así llevar a al crecimiento de la entidad. Luego de realizar un análisis del concepto de calidad y su evolución, viendo también demás conceptos de importancia que involucran a este, es necesario adentrarse en el estudio del control estadístico y la capacidad de los procesos.

### **1.2. Control estadístico en la gestión de la calidad**

El control estadístico de calidad es la aplicación o adopción de métodos y técnicas que usan esquemas matemáticos de información y los aplican a los procesos de la organización, sean estos industriales o productivos, administrativos o contables o de servicios (Asana, 2022).

Según Zúñiga, Ledea, Ortiz y Fernández (2022) el control es la forma más tradicional de gestionar la calidad resultante de los procesos. Asegurar la calidad en los procesos supone una calidad elevada, a un costo admisible, siendo el control estadístico de procesos la principal herramienta de ayuda para su control.

Se puede definir el control de calidad como un conjunto de actividades y técnicas que, con las herramientas adecuadas, ayudan a verificar el cumplimiento de los diferentes requerimientos de calidad predefinidos para un producto (Cabello y Jonathan, 2019). La función del control de calidad existe primordialmente como una parte de la organización, para conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que este alcance dichas especificaciones (Hidalgo, 2022). Este abarca los procesos que se utilizan para garantizar que los productos y los servicios alcanzan o superan el nivel de calidad deseado (Hossain, Prybutok, Abdullah y Talukder, 2010).

Tech, Madke y Verma (2020), lo definen como esfuerzos para prevenir o corregir defectos en sus bienes o servicios o para mejorarlos de alguna manera. Algunas organizaciones lo utilizan para referirse únicamente a detección de errores, mientras que la garantía de calidad se refiere tanto a la prevención y la detección de problemas de calidad.

Para Rocha y Oliveira (2019) y Costa (2005) el control de calidad permite detectar cambios en el comportamiento del proceso en el que puede estar bajo la influencia de causas especiales. Una vez que se encuentran las causas responsables del evento inusual (conocido como causa

especial), se pueden sugerir mejoras en la calidad del proceso y del producto, evitando así una alta producción de artículos no conformes.

El objetivo del control de la calidad es tratar de proporcionar garantía de calidad para el producto final y asegurar costos óptimos de calidad. Para lograr este objetivo, el fabricante necesita un programa integrado para el control de calidad del producto, incluyendo elementos confiables (Ramírez, Rendon y Florez, 2020).

En la industria 4.0, la calidad de los productos y de los procesos es un factor decisivo que en gran medida define qué empresas compiten en el mercado y cuáles quedan afuera. Es debido a esto que las empresas abocan recursos para controlar y mejorar la calidad del producto final que ofrecen a los clientes, como también de todos sus procesos internos. En este sentido, el control estadístico de la calidad juega un rol fundamental para lograr este objetivo, ya que provee de estrategias para el análisis de datos atendiendo sus características (Catalano, Dillon y Re, 2021).

Entre las ventajas que aporta un adecuado control de la calidad en las organizaciones se pueden citar (Ramírez, Rendon y Florez, 2020):

- Incremento y racionalización de los mercados existentes, así como apertura de nuevos mercados.
- Mejor conocimiento de las necesidades del consumidor, las características de los productos y los servicios que espera el cliente.
- Incremento del nivel de satisfacción del consumidor.
- Aumento de la confiabilidad de los productos.
- Reducción de costos de producción, inspección y ensayo.
- Incremento de la producción y la racionalización de la programación y de las líneas de fabricación.

La estadística se ha utilizado ampliamente en los procesos industriales, desde las etapas del diseño de un producto hasta su fabricación; desde el estudio de las necesidades que tiene el mercado, como el diseño de instalaciones y procesos de fabricación, hasta los hábitos de compra del consumidor, estableciendo las características mínimas de sus productos y más allá de ello, para mantener y eventualmente aumentar la calidad y el valor que se percibe de ellos (Ortiz, Ortega, Valencia, González y Gamarra, 2021).

Autores como Córdova, (2020) y Abud, (2009) concuerdan que la estadística de control de calidad está basada en observaciones, de las que se puede calcular una función que describa

como ocurren los hechos. Hoy en día son herramientas eficaces para mejorar el proceso de producción y reducir sus defectos.

La estadística es un componente fundamental en el mejoramiento de la calidad, y sus técnicas pueden emplearse para describir, comprender y controlar la variabilidad que se presenta entre objetos, aún si se han producido presumiblemente bajo las mismas condiciones (Montgomery, 2020). Ramírez y Ramírez (2018) han indicado también que los métodos estadísticos son útiles en el seguimiento y mantenimiento de la calidad de productos y servicios.

Montgomery (2020) establece que el control estadístico de la calidad es una poderosa colección de herramientas útiles en la resolución de problemas para lograr la estabilidad del proceso y mejorar la capacidad mediante la disminución de la variabilidad. Su propósito principal es percibir y reducir las variaciones de causas especiales para la solidez del proceso.

Autores como Gutiérrez y de la Vara (2013) plantean que el control estadístico de la calidad ha demostrado su utilidad tanto para empresas de manufactura como de servicio, esto es debido a que las exigencias de mejora a la que se ven expuestas las organizaciones dado la alta competitividad de los mercados globalizados, ha hecho más evidente la necesidad de ampliar la comprensión y utilización del pensamiento estadístico, y de aplicar conceptos y técnicas estadísticas para una diversidad de tareas y propósitos.

El control estadístico de la calidad proporciona la base de acción más efectiva para determinar el grado de responsabilidad por la mala calidad de un bien o servicio, especialmente en lo relacionado con la variación en el proceso productivo, materias primas y recursos utilizados, que conduce a productos defectuosos, altos costos de calidad, baja productividad, quejas y reclamos y por consiguiente pérdida de confianza en el consumidor y competitividad en el mercado (Ramírez, Rendon y Flores, 2020).

El objetivo del control de calidad y la mejora continua es realizar actividades recurrentes para incrementar la habilidad para cumplir con requerimientos (necesidad o expectativa que es especificada por el cliente), o sea, implementar la mejora continua en las características de calidad. A continuación, se especifican algunos conceptos relativos al control de calidad (Gutiérrez y de la Vara, 2013):

- **Características de calidad:** Son las variables en las que se reflejan los resultados obtenidos por un proceso de transformación. A través de los valores que toman estas variables se evalúa la eficacia del proceso, por lo que generalmente son características de calidad del producto que se obtienen con el proceso. Estas se clasifican en variables continuas y de atributos según se muestra en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1: Clasificación de las características de calidad. Fuente: Elaborado a partir de Gutiérrez y De la Vara (2013).**

Tipo de Variable	Características
VARIABLES CONTINUAS	Son aquellas características que son medibles de un modo continuo. Son las que al medirse sus resultados se ubican en una escala continua que corresponde a un intervalo de los números reales.
VARIABLES DISCRETAS O DE ATRIBUTOS	Características resultado de procesos de conteo, que conllevan ya en sí una valoración cualitativa sobre la calidad de piezas, productos o servicios. Son elementos que pueden cuantificarse con la simple observación.

- **Especificaciones o valores para una variable:** Son el rango de valores que una variable de salida de un proceso puede tomar a fin de que el desempeño del mismo sea satisfactorio. Existen tres tipos de variables de salida de acuerdo al tipo de especificaciones que se debe cumplir, en la tabla 1.2 se muestran dichas variables.

**Tabla 1.2: Clasificación de las variables de salida según tipo de especificaciones. Fuente: Elaborado a partir de Gutiérrez y De la Vara (2013).**

Tipo de Variable	Características
Cuanto más pequeña mejor	Son características de calidad cuya única exigencia es que no excedan un cierto valor máximo tolerado o una especificación superior (ES), y cuanto más pequeño sea su valor, mejor.
Cuanto más grande mejor	Son características de calidad a las que se les exige que sean mayores que un valor mínimo o que cierta especificación inferior (EI), y cuanto más grande sea el valor de la variable mejor.
Valor nominal es el mejor	Son variables que deben tener un valor específico, y que por tanto no deben ser menores que una especificación inferior (EI), pero tampoco mayores que una superior (ES).

- **Variables de entrada del proceso:** Son las que definen las condiciones de operación de este, y por lo regular de su valor depende la eficacia del proceso. Pueden ser variables de control del proceso y/o características de algún insumo o material, entre otras. Se espera que los cambios en estas variables, también llamadas variables independientes, se reflejen en las variables de salida.
- **Límites reales o naturales de un proceso:** Indican la amplitud real de la variación de la salida del proceso. En un estudio de capacidad, estos límites reales se comparan contra las especificaciones para la característica de calidad.
- **Variabilidad:** Se refiere a la diversidad de resultados de una variable o de un proceso.

Según Acevedo (2011) el Método 6M o Análisis de Dispersión es el método de construcción más habitual que consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales como lo

es: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta una parte fundamental para la variabilidad.

Bajo condiciones normales o comunes de trabajo todas las M's aportan variación a las variables de salida del proceso, en forma natural o inherente (causas comunes), pero además pueden aportar variaciones especiales o fuera de lo común (causas especiales), ya que a través del tiempo las 6M's son susceptibles de cambios, desajustes, desgastes, errores descuidados, fallas, entre otras (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

De esta forma se identifican dos tipos de variabilidad: La variación por causas comunes (o por azar) es aquella que permanece día a día, lote a lote; y la aportan en forma natural las actuales condiciones de las 6M's. Esta variación es inherente a las actuales características del proceso y es una combinación de diferentes causas que son difíciles de identificar y eliminar, debido a que son inherentes al sistema y porque la contribución individual de cada causa es pequeña. La variación por causas especiales o atribuibles es causada por situaciones o circunstancias especiales que no son permanentes en el proceso (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

El control estadístico de calidad es un método que utiliza herramientas estadísticas que se utilizan para recopilar y analizar datos para determinar y supervisar la calidad de los resultados de producción de manera eficiente y para identificar o buscar para las causas raíz de problemas con fallas de producción / productos defectuosos. Este método es generalmente utilizado en la industria manufacturera para controlar el rendimiento del proceso de producción. El principio estadístico de calidad es la mejora del producto al realizar mejoras en el proceso para que el proceso pueda producir productos de calidad (Sulistiyowati, Handoko y Catur Wahyuni, 2020). En el siguiente epígrafe se abordan aspectos esenciales sobre el control estadístico de procesos.

### **1.3.1. Herramientas para el control estadístico de procesos**

Una manera de mejorar el producto es mediante el uso de las herramientas de la calidad; siendo un conjunto de técnicas gráficas, que permiten la identificación y solución de problemas relacionados con la calidad de los productos (Hernández, 2019).

Entre las herramientas más utilizadas se encuentran los gráficos de control, los que sirven para observar y analizar con datos estadísticos la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo, es decir para evaluar su estabilidad.

Esto permite distinguir entre variación por causas comunes y especiales, lo que ayuda a caracterizar el funcionamiento del proceso y así decidir las mejores acciones de control y de

mejora. Un gráfico de control es una herramienta empleada para controlar el comportamiento de una característica de calidad durante el proceso de fabricación. Cuando se habla de variabilidad se refiere principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero las cartas también pueden aplicarse para analizar la variabilidad de alguna variable de entrada o de control del proceso mismo (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

Los gráficos, diagramas o cartas de control ayudan a detectar la variación tanto en la producción como en un servicio, para poder identificar el problema y corregirlo. Existen diferentes graficas de control para variables y atributos (Clemente, 2022):

- **Control para Variables:** Representa de forma gráfica el desempeño del proceso, tomando medidas reales de un producto o servicio.
- **Control de atributos:** En estas gráficas sólo se analiza si los productos son defectuosos o no defectuosos.

Para Hidalgo (2022) estos gráficos ayudan a monitorear cada uno de los procesos en el tiempo real. Además de esto nos permite identificar las causas más exclusivas en cada uno de los procesos y a la vez determina si un proceso está operando en control estadístico, una de sus limitaciones es que con este no se puede contar para múltiples variaciones complejas. En la figura 1.4 se pueden observar los tipos de gráficos o cartas de control.

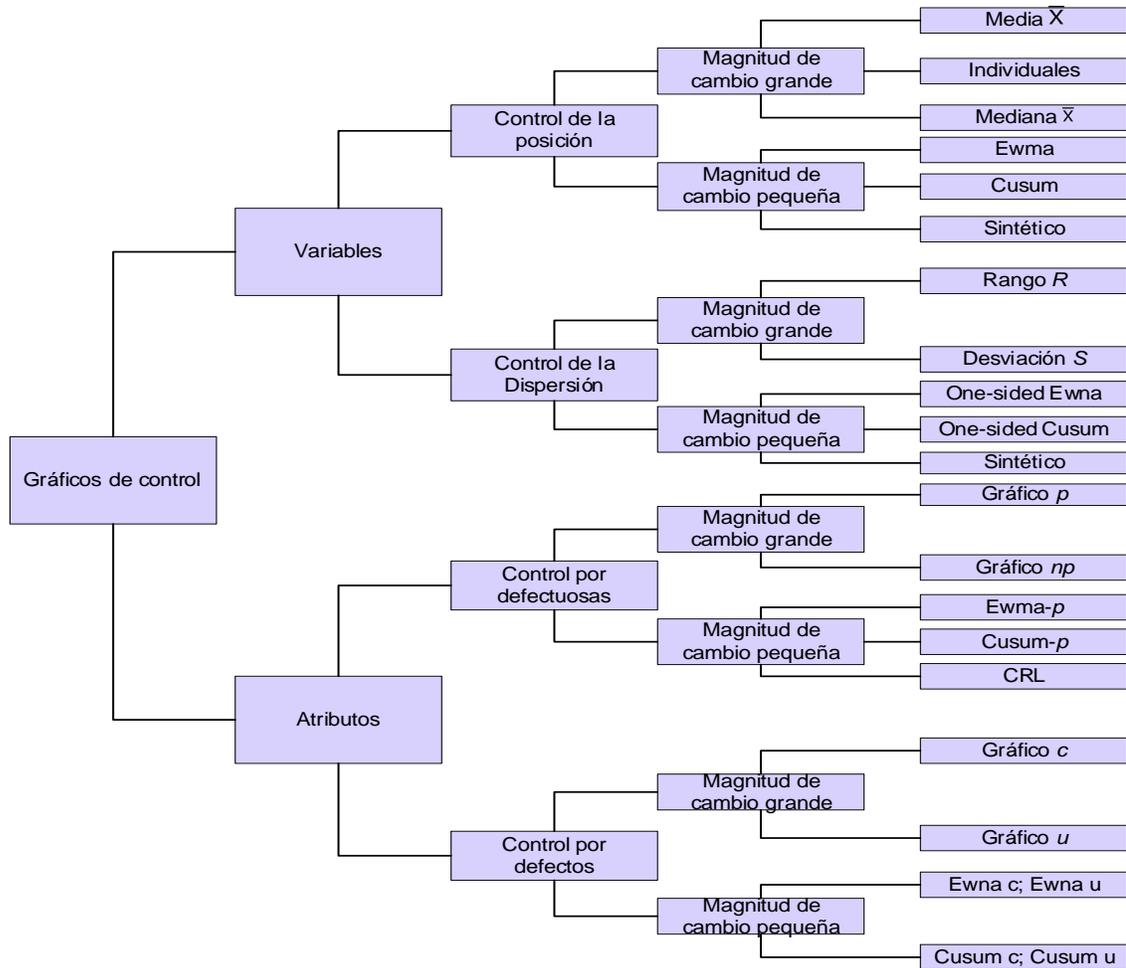
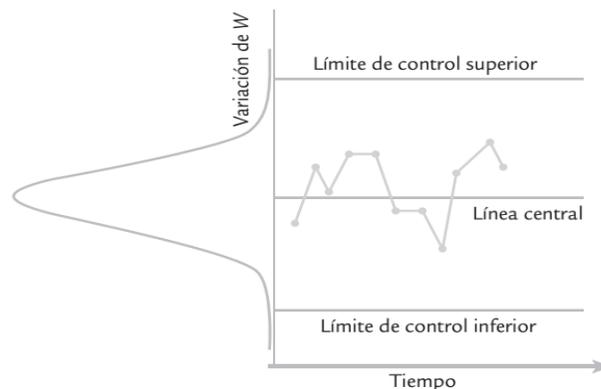


Figura 1.4: Tipos de gráficos de control. Fuente: Elaborado a partir de Campos (2017).

Los gráficos de control de calidad que son descriptivos con una línea límite superior y una línea límite inferior donde se representan los valores de alguna variable estadística para una serie de muestras sucesivas. El gráfico incluye también una línea central que corresponde al valor medio de las observaciones (Flores, 2013), como se puede apreciar en la figura 1.5.



**Figura 1.5: Elementos de un gráfico de control. Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2013).**

Según Gutiérrez y De la Vara (2013) los límites de control marcan el campo de variación de la característica controlada observado hasta el presente considerado normal, que no debe ser superado, mientras el proceso se mantenga estable.

Una vez realizada la carta, se observan los valores utilizados para determinar si el proceso se encuentra en control o fuera del él. Si los valores se encuentran dentro de los límites superior (LCS) e inferior (LCI), existe una alta probabilidad de que el proceso se encuentre en control, pero ocurre todo lo contrario si los puntos o valores se encuentran fuera, ya que esto significa que en el proceso se encuentra fuera de control o que han ocurrido sucesos poco comunes (Arias y Rojas, 2019)

A continuación, se muestran los patrones que indican que el proceso está funcionando con causas especiales de variación (Gutiérrez y De la Vara, 2013):

- **Desplazamiento o cambios de nivel en el proceso:** Cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central.
- **Tendencias en el nivel del proceso:** Este patrón consiste en una tendencia a incrementarse o disminuirse los valores de los puntos en la carta.
- **Ciclos recurrentes (periodicidad):** Desplazamientos cíclicos de un proceso que se detectan cuando se dan flujos de puntos consecutivos que tienden a crecer y luego se presenta un flujo similar, pero de manera descendente en ciclos.
- **Mucha variabilidad:** Se manifiesta mediante la alta proporción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central, y pocos o ningún punto en la parte central de la carta.
- **Falta de variabilidad:** Es cuando prácticamente todos los puntos se concentran en la parte central de la carta, es decir, que los puntos reflejen poca variabilidad o estatificación.

Cuando se evalúa el estado de un proceso en cuanto a estabilidad y capacidad permite caracterizarlo y mejorarlo. En función de ello se identifican cuatro categorías: Proceso tipo D (inestable e incapaz), proceso tipo C (estable e incapaz), proceso tipo B (inestable y capaz) y proceso tipo A (estable y capaz). En el **Anexo No.2** se muestran los posibles estados de un proceso y las estrategias de mejora a seguir.

De manera general puede decirse que, para mejorar los procesos se requieren tres actividades básicas (Gutiérrez y De la Vara, 2013):

- Estabilizar los procesos (lograr control estadístico), mediante la identificación y eliminación de causas especiales.
- Mejorar el proceso mismo, reduciendo la variación debida a causas comunes.
- Monitorear el proceso para asegurar que las mejoras se mantienen y para detectar oportunidades adicionales de mejora.

No tiene sentido la evaluación de un proceso inestable que presenta causas especiales, pues refleja apenas un determinado momento ya que el proceso no presenta comportamiento previsible. Después de la eliminación de todas las causas especiales, el proceso estará funcionando bajo control estadístico. Un proceso en control estadístico o estable es aquél que posee variabilidad asociada apenas a las causas comunes, o sea, sigue cierta calidad previsible a lo largo del tiempo. Sin embargo, esa calidad estable del proceso puede o no ser capaz de producir piezas que atiendan a las especificaciones de clientes o de proyecto. Una vez eliminadas las causas especiales, se puede entonces evaluar la real capacidad del proceso comparando su variabilidad asociada a las causas comunes con las especificaciones (Hernández y Da Silva, 2016).

Los procesos tienen variables de salida o de respuesta, las cuales deben cumplir con ciertas especificaciones a fin de considerar que el proceso está funcionando de manera satisfactoria. Evaluar la habilidad o capacidad de un proceso consiste en conocer la amplitud de la variación natural de éste para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones) (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

Dentro de los estudios de capacidad se utilizan indicadores que cuantifican la habilidad del proceso para cumplir con las especificaciones de clientes tanto internos como externos. Estos son los Índices de Capacidad de Proceso, que se constituyen en los indicadores más utilizados en las empresas para comunicar acerca de la calidad de productos o servicios (Ferreri y Quaglino, 2011).

Los estudios de los índices de capacidad de procesos (ICP son estimaciones numéricas de la capacidad del proceso, es decir, brindan una idea de cuán capaz es el proceso: a qué nivel cumple con las especificaciones. Estos estadísticos son muy útiles, ya que, además de ser fáciles de calcular, no tienen unidades de medida, por lo que permiten comparar distintos procesos. Básicamente son el cociente entre la amplitud tolerable del proceso (la distancia entre

los límites de tolerancia o límites de especificación) y la amplitud real o natural del proceso (Salazar y Simón-Fermín, 2016).

Algunos de estos estadísticos se definen a partir de la media del proceso o del objetivo. Los índices de capacidad asociados con la variación a corto plazo son:  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{PU}$  y  $C_{PL}$ . Por otro lado, los asociados con la variación a largo plazo son:  $P_p$ ,  $P_{pk}$ ,  $P_{PU}$ ,  $P_{PL}$  y  $C_{pm}$ . En la práctica, se suele considerar que 1,33 es el valor mínimo aceptable para un índice de capacidad, es decir, cualquier valor por debajo de esta cifra indicaría que, aunque esté bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones deseadas. Dichos índices se usan bajo el supuesto de que el valor de las mediciones de las variables de calidad representa valores de variables aleatorias independientes con distribución normal y que el proceso se encuentra en el control estadístico, como lo establece Montgomery (2009).

Según Gutiérrez y De la Vara (2013), el índice de capacidad potencial del proceso,  $C_p$ , se define de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

donde  $\sigma$  representa la desviación estándar del proceso, mientras que  $ES$  y  $EI$  son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad. Como se puede observar, el índice  $C_p$  compara el ancho de las especificaciones o la variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real de éste (Gutiérrez y De la Vara, 2013):

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{variación real}}$$

Se puede afirmar entonces que  $6\sigma$  (seis veces la desviación estándar) es la variación real, debido a las propiedades de la distribución normal (capítulo 3), en donde se afirma que entre  $\mu \pm 3\sigma$  se encuentra 99.73% de los valores de una variable con distribución normal. Incluso si no hay normalidad, en  $\mu \pm 3\sigma$  se encuentra un gran porcentaje de la distribución (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada. De aquí que lo deseable es que el índice  $C_p$  sea mayor que 1; y si el valor del índice  $C_p$  es menor que uno, es una evidencia de que el proceso no cumple con las especificaciones. Existen cinco categorías de procesos que dependen del valor del índice  $C_p$ , suponiendo que el proceso está centrado. El  $C_p$  debe ser mayor que 1.33, o que 1.50 si se quiere tener un proceso bueno; pero debe ser mayor o igual que dos si se quiere tener un proceso de clase mundial (calidad Seis

Sigma. Por ejemplo, si el índice  $C_p = 0.8$  y el proceso estuviera centrado, entonces el correspondiente proceso produciría 1.64% de piezas fuera de especificaciones (que corresponde a 16 395 partes malas por cada millón producido). Una observación que se deriva de la tabla referida es que el valor del índice  $C_p$  no es igual al porcentaje de piezas que cumplen con especificaciones (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

Conjuntamente con los gráficos de control y los índices de capacidad se identifican en la literatura analizada otros instrumentos que se pueden utilizar en el control estadístico de procesos, entre los que se pueden mencionar: histograma, diagrama de Pareto, hoja de verificación, diagrama de flujo del proceso, diagrama causa-efecto y pruebas de hipótesis, herramientas claves para el perfeccionamiento de procesos. Dichas herramientas conforman las metodologías para el mejoramiento de procesos, tema que se aborda en el siguiente apartado.

#### **1.4. Metodologías de mejoramiento de procesos**

Una de las razones para gestionar las organizaciones por procesos es precisamente la posibilidad de mejorarlos, esto se logra aportando más valor al cliente con el mínimo de costo. Este objetivo no debe convertirse en algo puntual, por el contrario, es tarea de cada día (Junco, 2022).

La estrategia de la mejora de los procesos desde el punto de vista global, integra una serie de conceptos y acciones que se inician con el establecimiento de metas y objetivos, así como la traducción de planes en programas y el monitoreo para asegurar el cumplimiento de los objetivos, además implica la tarea de comunicar y de mostrar una línea para el empleo general de los recursos. (Cedeño, 2019).

El mejoramiento de los procesos se ha creado bajo la necesidad de crear metodologías o herramientas que faciliten el desarrollo o el avance de los mismos a través de mejoras en los tiempos, ciclos, calidad, entre otros (Aguirre, Echavarría y Salazar, 2020). Según el mejoramiento de los procesos es una metodología que se ha desarrollado con el objetivo de que una organización realice avances significativos en la manera de coordinar sus procesos. Las actividades básicas para la mejora de los procesos son (Rivera Rodríguez, 2011):

- Compromiso con la alta dirección: El mejoramiento continuo inicia por los altos directivos y depende del grado de interés que estos impongan.

- Consejo directivo del mejoramiento: Es el grupo de directivos quienes estudian, estructuran y adaptan los procesos de mejoramiento acorde a las necesidades de la compañía.
- Participación total de la administración: Es el grupo de personas responsables de implantar los procesos de mejoramiento.
- Participación de los empleados: Es importante realizar la divulgación de los procesos de mejoramiento a todo el personal, para que se capaciten y toda la compañía ejecute sus labores en función del mismo.
- Participación individual: Se deben buscar planes o iniciativas donde los empleados por cuenta propia realicen sus aportes e ideas de mejoramiento.
- Equipos de control de los procesos: Son todos aquellos equipos con los que pueden realizar mediciones, controles, entre otros.
- Participación de los proveedores: Parte del mejoramiento se debe a los proveedores y las buenas relaciones con los mismos.
- Aseguramiento de calidad: Se debe mantener la calidad de los procesos, por ello esta área debe dedicarse al análisis y solución de problemas que puedan existir y se relacionen con los productos.
- Planes de calidad: Se deben desarrollar estrategias tanto a corto como largo plazo para mantener la calidad.
- Sistemas de reconocimiento: Son aquellas recompensas que se puedan obtener al alcanzar metas u objetivos.

Esta transformación en los procesos (mejora continua), actualmente, va de la mano de herramientas tecnológicas, pues estas ayudan a mejorar la eficiencia de los procesos. Desde los años noventa, ya es posible encontrar metodologías y modelos de gestión para el mejoramiento de procesos, algunos ejemplos son la reingeniería, el rediseño de procesos, mejoramiento continuo de procesos, seis sigmas, BPM, teoría de restricciones, entre otros (Guardamino, Barrera y Samaritan, 2021). En el **Anexo No.3** se muestra un cuadro comparativo con las metodologías antes mencionadas.

Una de las metas estratégicas de toda empresa debe ser aplicar técnicas de mejoramiento continuo a sus sistemas productivos e instalaciones, con la participación y el compromiso de todos los integrantes de la organización. Según estos autores, la mejora continua se asocia con una diversidad de desarrollos organizacionales incluyendo la adopción de enfoques modernos. Implica la transición por diferentes etapas, dígame: razón para la mejora, situación actual, análisis, identificación de soluciones posibles, evaluación de los efectos, implementación y

normalización de la nueva solución y evaluación de la eficacia y eficiencia del proceso al complementarse la acción de mejora (Alvarado y Pumisacho, 2017).

De todas las metodologías analizadas, se concluye a través de la comparación realizada en función de características principales, impacto y problemas, herramientas, beneficios, desventajas y enfoques, que la metodología Seis Sigma ofrece importantes superioridades como son: el uso de técnicas avanzadas y herramientas estadísticas (análisis de capacidad, gráficos de control, diseño de experimentos, entre otras), reducción de errores, promoción del trabajo en equipo, resolución de problemas con un nivel más acertado de las expectativas de los clientes, mejora de la calidad y capacidad del proceso, entre otras, lo que permite la obtención de resultados fiables y concretos sobre los problemas que atentan contra la organización, además, la metodología seis sigma posee un marcado enfoque al cliente. En el siguiente epígrafe se abordan generalidades sobre la metodología seis sigma, debido a que es la seleccionada por el autor de la presente investigación para el posterior desarrollo de la misma.

### **1.4.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos**

Seis Sigma, es una metodología de mejora de procesos centrada en la reducción de la variabilidad, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallos en un proceso. Entre sus principios destaca el apoyo en herramientas estadísticas y el manejo de datos que facilitan la identificación de áreas de oportunidad para la mejora (Vergara y López, 2019).

Socconini (2015) la define como una metodología específica en la gestión de calidad combinada con herramientas estadísticas, cuyo propósito es mejorar el nivel de desempeño de los procesos o productos de una empresa mediante decisiones acertadas para lograr la disminución del desperdicio a través de la reducción de la variación en ellos.

Su desarrollo se centra en el contexto industrial, donde ha demostrado su utilidad durante décadas (Shirazi, Ali y Pintelon, 2012). Se introdujo por primera vez en el año 1987 en la Empresa Motorola con el propósito de reducir los defectos de productos electrónicos (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

De las herramientas gerenciales, seis sigma es una de las más utilizadas principalmente en industrias de procesos continuos, pero ha ido trascendiendo al ámbito de organizaciones de productos y servicios, demostrando un importante nivel de efectividad (Leal y Charles, 2021).

Seis sigma comienza como un método estadístico de control de procesos, pero ha ido evolucionando hasta convertirse en una cultura de calidad y mejoramiento en todos los

procesos, promoviendo el pensamiento sistemático, la diferenciación de los eventos aislados de aquellos que pertenecen a un sistema y tienen múltiples causas, además de proporcionar orientación para priorizar las causas de las fallas para actuar sobre los principales sucesos (Leal y Charles, 2021).

De este modo, Chatterjee (2016), afirma que seis sigma se “enfoca en la variabilidad dentro del proceso, considerando todas las entradas tales como materias primas, equipos, personal y capacidad de medición, en un esfuerzo por dirigir y estabilizar el proceso”, lo que significa que la adaptación de este enfoque tiene una serie de requisitos, entre los que se destacan el compromiso de la gerencia, la sensibilización y formación de los ejecutivos líderes, la responsabilidad, dedicación y persistencia en los proyectos de mejora y la inversión económica de importancia. Con seis sigma se obtienen beneficios en el mejoramiento de la rentabilidad y productividad.

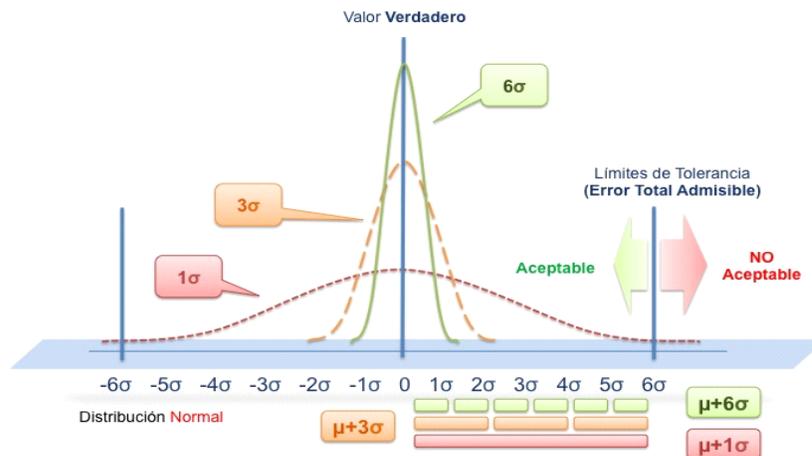
En la literatura consultadas se encuentran otras aplicaciones de seis sigma en los trabajos de Ocampo y Pavón (2012), Ocampo (2012), Pérez y García (2014), Díaz, Díaz, Barroso y Pico (2015), Saglimbeni (2015), Garza, González, Rodríguez y Hernández (2016), Sriram y Revathi (2016), Rubio (2016), Cardiel, Baeza y Lizarraga (2017), Sathe y Allampallewar (2017), Abdul, Antony, Arshed y Albliwi (2017), Barrera, Cambra y González (2017), Sangabriel, Temblador y De la Rosa (2017), Pérez y León (2018), Message, Godhino, Fredendall y Gómez (2018), Santillan (2019), Idrissi y Benazzouz (2019), Gómez (2019) y Kapre y Sekar (2020).

Los principales principios o características de seis sigma son (Padilla y Nathaly, 2021):

- Liderazgo comprometido, la toma de decisiones debe ser apoyada en todos los niveles comenzando por la alta dirección.
- Se apoya en un equipo altamente competente, donde están definidos roles y responsabilidades del proyecto.
- Enfoque de procesos orientados a la satisfacción del cliente.
- Pensamiento y uso de la estadística.
- Los proyectos se caracterizan por generar ahorros o incremento en el margen de utilidad.

Seis sigma es considerada, además de una metodología de mejora de procesos mediante la reducción de defectos, como una estrategia de negocio para mejorar el desempeño financiero y de las operaciones. Sigma ( $\sigma$ ) es utilizado en calidad para representar la variabilidad de una desviación estándar, si el resultado de un proceso tiene un comportamiento que sigue una distribución normal de probabilidad y un rango de tolerancia de  $12\sigma$ , significa que existen 6

desviaciones estándar a cada lado de la curva normal, la generación de defectos, en el caso de un proceso centrado, será de 0.002 ppm (partes por millón) que refiere al número de partes defectuosas de cada millón, en este caso, se dice que el proceso tiene un nivel de calidad de  $\sigma$  Sigma (Alvarado-Chávez, 2018). En la figura 1.6 se muestra la relación entre la variabilidad de un proceso y su valor seis sigma.



**Figura 1.6: Relación entre la variabilidad de un proceso y su valor Seis Sigma. Fuente: Pineda Tenor (2013).**

Para reducir la variabilidad, es clave identificar las fuentes de variación, aspecto en el que la utilización de datos y técnicas estadísticas es crucial para controlar las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema garantizando los requisitos de calidad, en cambio la estabilidad se logra mediante la implementación de las técnicas de control estadístico de procesos (Mayoral y Socuéllamos, 2021).

Seis Sigma tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos (Gutiérrez y De la Vara, 2013). Presenta una sistematicidad para la mejora continua de la calidad y para el logro de la excelencia operativa (Gutiérrez y De la Vara, 2013).

Un proyecto de mejora seis sigma sobre un producto o servicio existente se desarrolla en cinco etapas básicas, denominadas globalmente como DMAIC (*define – measure – analyze - improve - control*) por sus siglas en inglés (Mayoral y Socuéllamos, 2021). En la figura 1.7 se muestra dicha secuencia.



### Figura 1.7: Secuencia seis sigma DMAIC. Fuente: ISO 13053: 2011.

A continuación, se explican cada una de las etapas de seis sigma a partir de lo expuesto por García (2014) coincidiendo con este criterio Gutiérrez y de la Vara (2013) y Navarro, Gisbert y Pérez (2017):

- **Definir:** Consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa identificando cuáles son los elementos seleccionados para aplicar la metodología. Ello puede partir de sus objetivos estratégicos, desempeño de los procesos y los aspectos deficientes del servicio al cliente que dan respuesta a los requisitos del producto y/o servicio.
- **Medir:** Se deben determinar cuáles son las características críticas que influyen sobre las variables resultantes del proceso y medirlas. Se debe preparar un plan de recolección de datos, para lo que es importante asegurarse de la confiabilidad de los dispositivos de medición que pueden ser instrumentos de medición o cuestionarios de evaluación para el servicio.
- **Analizar:** Consiste en analizar los datos obtenidos de la etapa de medición, identificando las fuentes de variabilidad. En la misma se deducen las relaciones existentes entre las variables de entrada y salida del proceso. Esta etapa es la de mayor contenido técnico ya que se comprueban las teorías o hipótesis sobre el funcionamiento del proceso, para lo que es necesario acudir a herramientas estadísticas avanzadas. Como salidas de esta etapa se tiene el análisis de la influencia de estas variables, capacidad de procesos, identificación de las fuentes de variabilidad y preparación de la etapa de mejora a partir de las causas raíces.
- **Mejorar:** Comienza una vez que se han identificado las citadas causas vitales. Se desarrolla un plan de implantación de mejoras que aporte soluciones sólidas para eliminar los defectos en los que incurre el proceso y se realiza un análisis costo - beneficio de las soluciones, de forma que puedan ser una ayuda a la toma de decisiones de la dirección de la empresa. Generalmente, antes de ser implantadas las mejoras, es recomendable hacer una prueba piloto de las mismas para determinar su alcance.
- **Controlar:** Se comprueban la validez de las soluciones propuestas y probadas en escala piloto. Se deben establecer controles, no sólo sobre las salidas del proceso sino también sobre las causas vitales que inciden en su consecución. En ocasiones los procesos, pasado un tiempo, pierden regularidad en su comportamiento, por lo que, para evitarlo, la metodología seis sigma impone controles que monitorizan de forma permanente los procesos con el fin de mantener las ganancias conseguidas.

Con la revisión de la literatura se puede afirmar que el éxito en la implementación del seis sigma depende no solo de la difusión de conocimientos en métodos estadísticos, sino también del compromiso y la disposición de los gerentes encargados de liderar este cambio de cultura dentro de la organización. Además, comprende los recursos humanos y materiales destinados a este programa, y finalmente la motivación y propiciación de este cambio en cada uno de los empleados en todos los niveles. Con esta herramienta se adopta una nueva metodología de mejora de la calidad y se puede generar competitividad para la organización al ofrecer productos o servicios mejorados y libres de defectos que cumplan con los requisitos de calidad exigidos por los clientes.

En el siguiente epígrafe se detallan generalidades sobre el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico, así como su composición y las normativas para su producción y aplicación en Cuba, objeto de estudio de la presente investigación.

## **1.5. Generalidades sobre el proceso de producción de hormigón asfáltico en caliente**

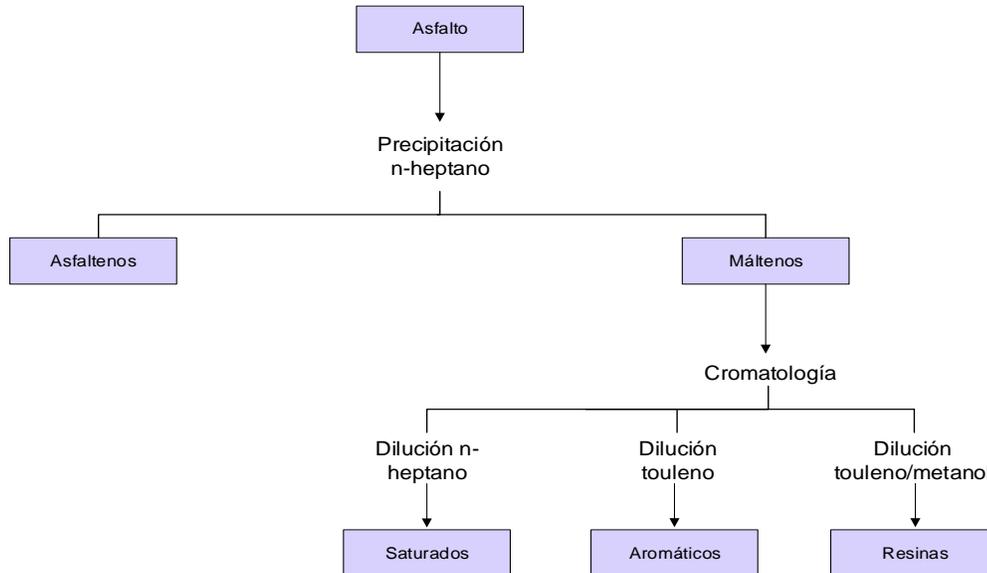
El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos (Flores, Montero y Mendoza, 2018). Es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente (Lecca, 2019).

El asfalto se encuentra disuelto en el petróleo. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones, denominando a los compuestos más pesados residuales de vacío, residual asfálticos, cemento asfáltico de petróleo, o de manera más comercial asfalto (Flores, Montero y Mendoza, 2018).

Para Díaz y Castro (2017) es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por la aplicación al calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

La composición química de un asfalto es muy compleja, al igual que el petróleo crudo, es una mezcla de numerosos hidrocarburos, parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos. Los hidrocarburos que hacen parte del asfalto, forman una solución líquida en la que un grupo de moléculas de hidrocarburos pesados (asfaltenos) se encuentran dispersas en un medio

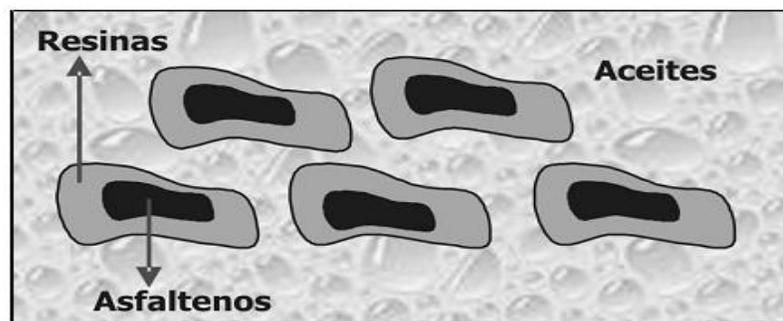
aceitoso más ligero (máltenos) compuesto por hidrocarburos saturados, resinas y aromáticos, sin que exista una separación entre estas dos fases sino una transición (Díaz y Castro, 2017). En la figura 1.8 se muestra la composición química del asfalto.



**Figura 1.8: Composición química del asfalto. Fuente: Elaborado a partir de: Suárez (2019).**

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y el desempeño de la misma como pavimento terminado. El diseño de las mezclas asfálticas se caracteriza por la composición en volumen de sus componentes (concreto asfáltico, agregados y vacíos) (Frangie, 2018).

Los asfaltos están combinados fundamentalmente por asfaltenos que proporcionan las características estructurales y dureza del asfalto, por resinas que asumen las propiedades cementantes o aglutinantes, y por aceites que aportan la consistencia para mejor trabajabilidad (ver figura 1.9) (Figuroa, Reyes Lizcano, Hernández Barrera, Jiménez y Bohórquez, 2007).



**Figura 1.9: Composición del asfalto. Fuente: (Figuroa, Reyes Lizcano, Hernández Barrera, Jiménez y Bohórquez, 2007).**

Los materiales asfálticos tienen diversas aplicaciones en las vías terrestres, entre ellas: elaboración de carpetas; morteros; riegos y estabilizantes, ya sea para aglutinar los materiales pétreos, ligar o unir diferentes capas de pavimento, o bien, para estabilizar bases o subbases. Estos materiales se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación (Limeta, 2021).

Los asfaltos en pavimentación se pueden clasificar en (Díaz y Castro, 2017):

- **Asfaltos líquidos:** compuestos de una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil, en el que es agregado el solvente para disminuir la viscosidad del asfalto y de esta manera poderlo mezclar con los agregados.
- **Cemento asfáltico:** es el más común y utilizado. Es un material visco-elástico rígido a bajas temperaturas (bajo cero) y fluído a altas temperaturas, es obtenido mediante la refinación del petróleo, en las etapas de destilación.
- **Emulsiones asfálticas:** es un sistema heterogéneo de dos fases inmiscibles, como el asfalto y el agua, a la que se le incorpora un activador de superficie.
- **Naturaleza reológica del asfalto:** la reología es una ciencia que estudia las deformaciones y el flujo de la materia. Es importante conocer los estudios reológicos del asfalto ya que estos correlacionan la estructura física de sus componentes con su composición química para lograr un flujo característico.

Los componentes que intervienen en el diseño de la mezcla de hormigón asfáltico varían según el requerimiento del proyecto a ejecutar, los más empleados son: agregados pétreos, filler, cemento asfáltico y aditivos, y son los que le dan a la mezcla asfáltica las propiedades físicas y el comportamiento funcional de la carpeta asfáltica durante su vida útil. Son los que controlan las variaciones volumétricas de la mezcla debido a la compactación, cambios climáticos y las cargas de tránsito que circulan sobre la carpeta asfáltica (Céspedes, 2019).

El diseño de mezclas puede elaborarse empleando el método Marshall, el método Hveen, Hubbard fiel o Superpave. En la presente investigación se utilizará el método Marshall, del que se obtienen mezclas asfálticas densas (cerradas), es decir impermeables. Este método se basa en el análisis de cuatro características de la mezcla asfáltica como son: estabilidad, fluencia, densidad y vacíos (Céspedes, 2019).

A continuación, se exponen las características de calidad estudiadas por Marshall (Céspedes, 2019):

- La densidad del pavimento es un porcentaje de la densidad de laboratorio, debido a que rara vez la compactación en campo logra ser igual a la compactación de laboratorio.
- El porcentaje de vacíos permitido en la muestra de laboratorio fluctúa de 3 a 5%.
- Para los ensayos en laboratorio se emplea los agregados y cementos asfálticos con las mismas características que son empleados en la mezcla de pavimentación.
- Valores de estabilidad alto no aseguran una alta resistencia de la mezcla, dado que el alto contenido de cemento asfáltico genera deformaciones plásticas.
- En las mezclas asfálticas en caliente debe existir al menos un mínimo porcentaje de finos (filler), el que se mezcla con el cemento asfáltico para formar el mástico asfáltico, el que tiene como función envolver a los agregados para obtener una mezcla bien compacta, homogénea y con bastante adherencia.

En la revisión de la literatura se muestran otros estudios que muestran lo planteado anteriormente: entre ellos se tienen: López Caiza y Alvarez Sánchez (2017), Sánchez (2017), Ochoa Díaz, Grimaldo León, Orjuela Fajardo y Muñoz León (2018), López Días, Grimaldo León y Ochoa Días (2018), Nasimba Chanataxi (2017), Ruge Cárdenas, Bastidas Martínez y Rondón Quintana (2019), Marcote Católico (2019) y Rooholamini, Motevalizadeh, y Sedghi (2019).

En Cuba la producción de mezclas de hormigón asfáltico en caliente se realiza mediante la norma NC 253:2005 la que está basada en los principios del Instituto del Asfalto y se han tomado los aspectos de la NC 54-223:1985 que mantienen su vigencia. Además, se han incluido conceptos contemporáneos que se utilizan en la práctica mundial, haciendo especial énfasis en los factores que mayor influencia tienen en los países de clima tropical y que pueden ser aplicados en las condiciones del clima de Cuba, con el equipamiento existente en las plantas productoras cubanas de Hormigones Asfálticos en Caliente y con los medios que disponen sus laboratorios (NC 253:2005).

La norma cubana mencionada establece las especificaciones para las mezclas de hormigón asfáltico elaborado en caliente, utilizado bajo diversas variantes en la ejecución de los pavimentos flexibles, tanto en obras de nueva construcción como en aquellas de conservación y reparación que se realizan en vías urbanas y rurales, pistas aéreas, áreas de estacionamiento y otras soluciones de características similares (NC 253:2005).

En Cuba, aunque el procedimiento para el diseño de mezclas asfálticas que se emplea es el tradicional método Marshall, se reconoce el nivel de análisis que introduce el Superpave y lo

que representa considerar variables como el clima, que incide considerablemente en el comportamiento y estado de los pavimentos del país. Máxime cuando los principales deterioros que se observan en las vías están relacionados con deformaciones provocadas por las altas temperaturas. Por esto, se han realizado investigaciones que han analizado y valorado la adaptación e introducción de las especificaciones del método Superpave para el diseño de las mezclas asfálticas, tanto las relativas a la granulometría de las mezclas [13] como a la clasificación de los asfaltos. También se ha estudiado la temperatura de cálculo de los pavimentos en atención a la influencia del cambio climático a partir de consideraciones realizadas en el Superpave (Alonso Aenlle, Morales Fournier, Garrido Acosta, Abreu Hernández y Martínez Rojo, 2020).

El método Superpave consiste en clasificación y evaluación de los asfaltos para mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos asfálticos en Cuba, mediante la determinación de las temperaturas a las cuales estará sometido el pavimento de acuerdo con su ubicación geográfica. Además, según las especificaciones establecidas por la metodología de diseño Superpave, proponer un sistema de clasificación para todos los asfaltos utilizados en Cuba. Así es como obtener un mapa de zonificación térmica de los asfaltos para el territorio de Cuba, en consideración a su situación climática, según el grado de desempeño (PG, por sus siglas en inglés) establecido por el método (Alonso Aenlle, Morales Fournier, Garrido Acosta, Abreu Hernández y Martínez Rojo, 2020).

Es importante señalar que en nuestro país la tecnología para la producción de la mezcla de hormigón asfáltico es atrasada y se presentan problemas en la modernización de la maquinaria, lo que constituye uno de los principales factores que influyen en la calidad del producto. Situación que puede ser atenuada con la realización de estudios de estabilidad y capacidad en los procesos.

Durante la revisión bibliográfica realizada en la investigación se constata que existen carencias en la práctica empresarial en este sector en Cuba, en cuanto al uso de técnicas y herramientas estadísticas y la aplicación de metodologías de mejora de procesos como es seis sigma, que permitan controlar y mejorar continuamente los procesos de producción, lo que afecta la calidad del producto final.

### Conclusiones parciales del capítulo

1. Existe una base conceptual acerca de la calidad y del control estadístico de procesos, tanto en la literatura nacional como extranjera, donde se evidencian coincidencias de opiniones en cuanto a la necesidad de estos conceptos y su aplicación en el ámbito empresarial, tomándose estos criterios como sustento para la investigación. El control estadístico de procesos concibe herramientas que permiten medir la calidad de la producción en tiempo real, determinando así si se mantienen los ajustes y parámetros del proceso-producto.
2. La metodología seis sigma constituye un proceso de mejora continua basado en herramientas estadísticas y de gestión de la calidad, al permitir identificar y eliminar las causas de variación, controlar el desempeño de los resultados y mejorar la capacidad de los procesos, aun cuando se plantea por los autores que puede ser empleada en cualquier tipo de entorno, es en la actividad productiva en la que se reportan la mayor cantidad de aplicaciones.
3. Durante el proceso de revisión bibliográfica se evidenció la carencia de aplicaciones de metodologías de mejora como es seis sigma en la industria de producción de mezclas de hormigón asfáltico en Cuba, razón por la que se considera un aporte práctico su implementación en este tipo de organizaciones.

# CAPÍTULO II



## **CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEJORA DE PROCESOS SEIS SIGMA.**

En el presente capítulo se realiza la caracterización de la UEB Brigada No.13 “Pavimentación” perteneciente a la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería (ECOING) No.12. Se expone una síntesis de la metodología de mejora de procesos seis sigma, que se encuentra estructurada por un conjunto de etapas, así como las técnicas y herramientas empleadas en la investigación.

### **2.1. Caracterización de la UEB Brigada No.13 “Pavimentación”**

La planta de asfalto objeto de estudio de la presente investigación es montada en la Habana, municipio Guanabacoa, en la década del 50 y posteriormente se traslada para Cienfuegos en la zona de Cuatro Caminos, donde radica hoy la ECOING No.12. En 1989 se traslada para el lugar que actualmente ocupa en el asentamiento de Cartagena, perteneciente al municipio de Rodas. Colinda en sus alrededores con terrenos yermos, aunque es importante destacar como construcciones cercanas importantes, que al Norte de la misma se encuentra la Autopista Nacional, al Sur el Río Damují el taller de la UEB y el asentamiento de Cartagena. La parcela donde se encuentra enmarcada el taller de la Brigada No.13 posee un área de 67065 m<sup>2</sup>, mientras que el asentamiento de la planta posee un área de 23 800 m<sup>2</sup> abarcando en total 90865 m<sup>2</sup>.

El montaje de la misma dura hasta 1990, en ese mismo año comienza la elaboración de mezcla asfáltica. Cuenta con un parque de equipos con 33 años de explotación, a los que se le han efectuado innumerables innovaciones para garantizar el cumplimiento de los planes de producción.

La misión, visión y la política se definen de la forma siguiente:

#### **Misión**

Contribuir al desarrollo sostenible de la infraestructura social, ejecutando actividades ingenieras de movimiento de tierras, obras de fábrica y pavimentos, apoyados en un sistema integrado de gestión que promueve la innovación, el compromiso y competencia de su capital humano desarrollando la calidad de manera sistemática.

#### **Visión**

Ser una organización distinguida por las partes interesadas, sobre la base del compromiso y liderazgo de la alta dirección y el elevado perfil de competencia de sus trabajadores.

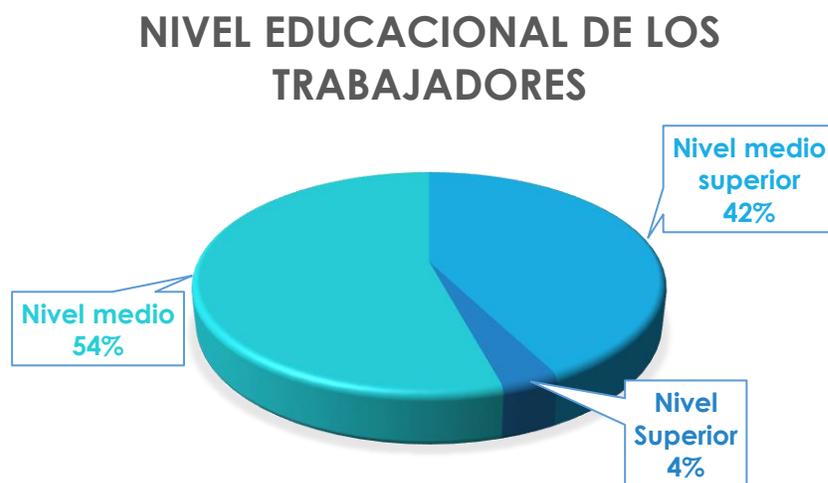
## Política

La política de la UEB Brigada No.13 “Pavimentación” dedicada al servicio de colocación y elaboración del Hormigón Asfáltico Caliente, se propone en el contexto actual, continuar mejorando el Sistema Integrado de Gestión al amparo de las NC ISO 9001, NC ISO 14001, NC ISO 45001 y las normas de control interno vigentes, cumpliendo los requisitos legales y reglamentarios y asegurando la satisfacción de las partes interesadas incluyendo a los clientes.

Es su propósito minimizar los riesgos, reducir la contaminación ambiental y proporcionar lugares de trabajo seguros y saludables. Para ello cuenta con un capital humano que contribuye al logro y cumplimiento de los objetivos, basado en sus competencias, la consulta y participación en la gestión empresarial.

La UEB Brigada No.13 Pavimentación al cierre del mes de mayo de 2023 cuenta con una plantilla aprobada de 53 trabajadores, de ellos 2 adiestrados y 51 con plazas fijas. Por categoría ocupacional se cuenta con 2 cuadros ejecutivos, 2 trabajadores de servicios, 13 técnicos, 37 obreros y 1 Recién Graduado. Del total de trabajadores, 14 son mujeres, que representa un 26 %. La edad promedio es de 40 años.

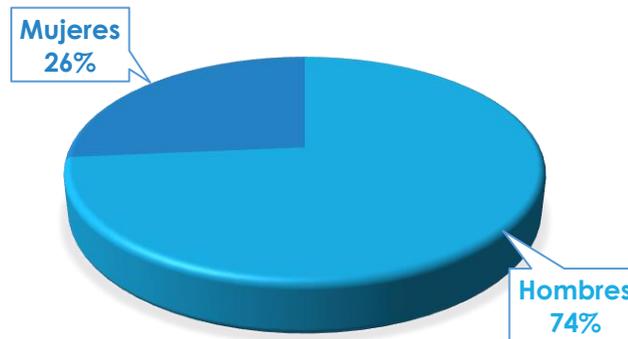
En la figura 2.1 se expone el nivel educacional de los trabajadores, donde el 46% de los mismos poseen nivel medio superior y nivel superior.



**Figura 2.1: Nivel educacional de los trabajadores en La UEB Brigada No.13 “Pavimentación”. Fuente: Elaboración propia.**

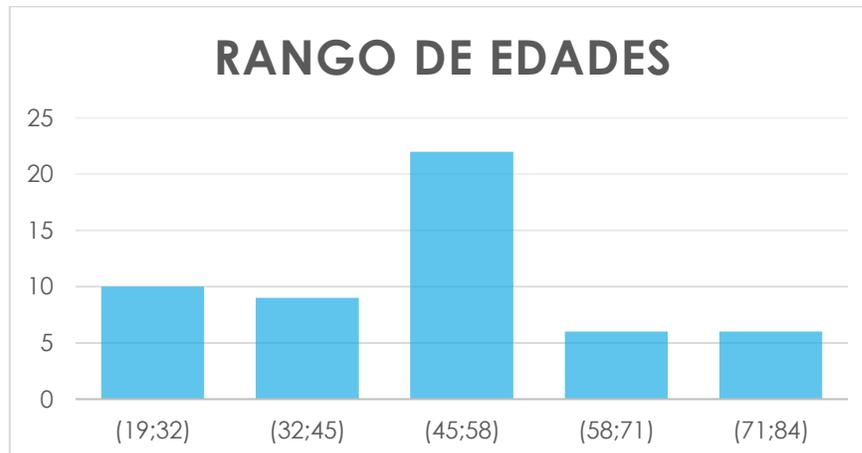
Del total de trabajadores 39 son hombres y 14 mujeres, cuyo porcentaje queda distribuido como se muestra en el Figura 2.2.

## DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE SEGÚN EL SEXO



**Figura 2.2:** Representación del porcentaje por sexo de los trabajadores en la UEB Brigada No.13 “Pavimentación”. Fuente: Elaboración propia.

En el histograma de frecuencias que se muestra en la Figura 2.3 se evidencia que la mayor parte de los trabajadores posee una edad comprendida en el rango de 45 a 58 años por lo que se puede decir que la fuerza laboral de la UEB se encuentra envejecida.



**Figura 2.3:** Representación del porcentaje por rango de edades de la UEB Brigada No.13 Pavimentación. Fuente: Elaboración propia.

La UEB Brigada No.13 Pavimentación cuenta con disímiles proveedores y clientes entre los principales se encuentran:

**Proveedores:**

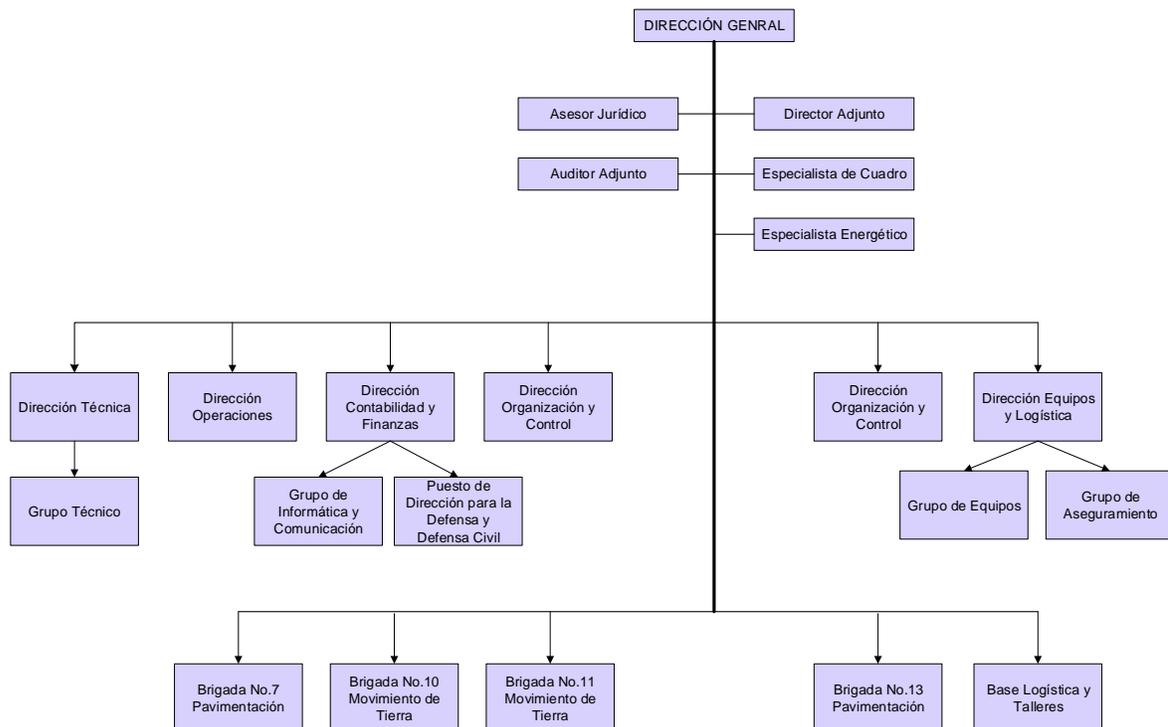
- Industria de Materiales de la Construcción
- Refinería de Petróleo Níco López (Habana)

- Refinería de Petróleo Sergio Soto (Sancti Spiritus)
- Empresa Eléctrica
- Acueducto y Alcantarillado

**Cientes:**

- Empresa de Servicios Comunes de Lajas
- Empresa de Servicios Comunes de Palmira
- Empresa de Servicios Comunes de Cruces
- Empresa de Servicios Comunes de Cumanayagua
- Empresa de Servicios Comunes de Rodas
- Empresa de Servicios Comunes de Aguada
- Centro Provincial de Vialidad en el municipio de Cienfuegos

En la Figura 2.4 se muestra la estructura organizativa de la empresa donde se evidencia que la misma cuenta con cuatro brigadas, siendo la Brigada No.13 una de las más importantes para la organización debido a que en ella se encuentra la planta con mayor capacidad de producción.



**Figura 2.4: Estructura organizativa de la ECOING No.12. Fuente: ECOING No.12**

En el mapa general de la organización se tienen identificados 10 procesos (ver Anexo No.4) se observa cómo se relacionan los diferentes procesos.

Dentro de los procesos claves se tiene el de Elaboración de Hormigón Asfáltico Caliente. La dirección de la UEB trabaja en la mejora de este proceso, a partir de la evaluación de las características de calidad del producto final. Es válido destacar que los estudios vinculados a la temática mencionada son escasos en la organización objeto de análisis, en la misma se tienen identificadas por parte de la UEB un grupo de deficiencias relacionadas con la temática, entre las que sobresalen:

- No se cuenta con toda la información documentada que requiere el proceso.
- Quejas relacionadas con insatisfacción por la densidad de la mezcla de Hormigón Asfáltico.
- Errores en los controles de calidad.

A partir de lo planteado se evidencia la necesidad de realizar estudios relacionados con el control estadístico de procesos, a partir de la utilización de técnicas y herramientas propias de la ingeniería de la calidad. Para ello se utiliza la metodología seis sigma, puesto que se basa en herramientas estadísticas y de gestión de la calidad que permiten identificar y eliminar las causas de variación, controlar el desempeño de los resultados y mejorar la capacidad de los procesos. Además, es una metodología fácil de aplicar que está en concordancia con varios de los principios de la NC ISO 9001: 2015. En el siguiente apartado se describan aspectos generales de dicha metodología.

### **2.2. Descripción de la Metodología Seis Sigma**

El procedimiento para la mejora de procesos seleccionado en la presente investigación es el de García (2022). Dicho procedimiento se encuentra fundamentado en la metodología seis sigma para el mejoramiento continuo de procesos, la que se basa en el ciclo gerencial básico de Deming. Para su elaboración el autor utiliza criterios de diferentes metodologías, dadas por investigadores como: Gutiérrez y de la Vara (2013); ISO 13053: 2011; Gibbons, Kennedy, Burgess y Godfrey (2012) y Luis, García y Guerra (2014).

El procedimiento se organiza en cinco etapas básicas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (ver Figura 2.4), cada una de ellas con su correspondiente sistema de actividades y posibles herramientas a emplear (ver Tabla 2.1). Gómez (2017) plantea que antes de comenzar la investigación se debe conformar un grupo de trabajo, el que debe ser capacitado en el tema de ser necesario.

A continuación, se describen cada una de las etapas y pasos de la metodología seis sigma.

## Etapa I: Definir

Consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa identificando cuáles son los elementos seleccionados para aplicar la metodología. Ello puede partir de los objetivos estratégicos, desempeño de los procesos y los aspectos deficientes del servicio al cliente que dan respuesta a los requisitos del producto y/o servicio.

Luego es fundamental identificar las variables críticas para la calidad, establecer metas, definir el alcance del proyecto, precisar el impacto que sobre el cliente tiene el problema y los beneficios potenciales que se esperan del proyecto. Todo lo anterior se debe hacer con base en el conocimiento que el equipo tiene sobre las prioridades del negocio, de las necesidades del cliente y del proceso que necesita ser mejorado (Gutiérrez y de la Vara, 2013 y García, 2014). La Etapa I está compuesta por cuatro pasos.

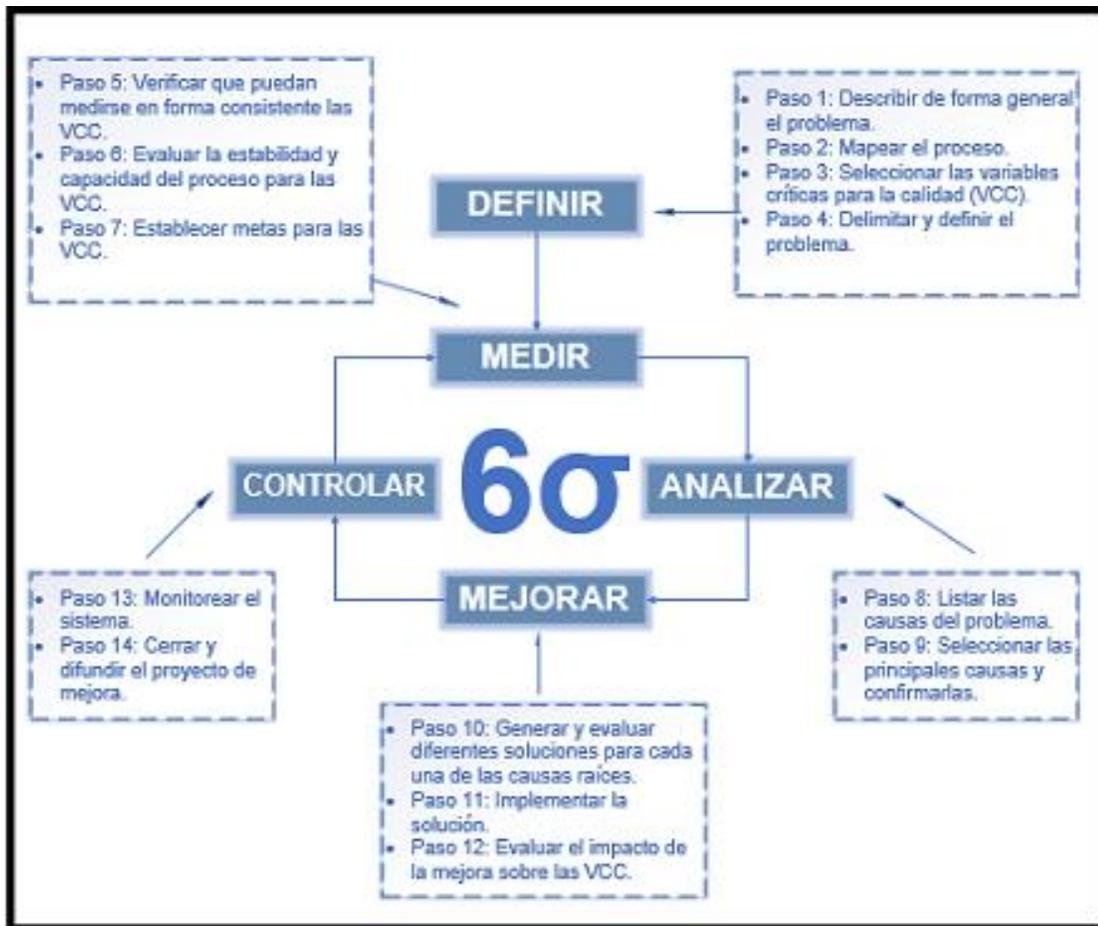


Figura 2.4: Procedimiento para la mejora de procesos a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Fuente: Gómez (2017).

**Tabla 2.1: Aspectos básicos del procedimiento para la mejora de procesos.**  
Fuente: Gómez (2017).

Etapa	Actividad	Herramientas
<b>Definir</b>	Describir de forma general el problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentación descriptiva del proceso objeto de análisis</li> <li>• Reuniones participativas</li> <li>• Trabajo de grupo</li> <li>• Diagrama de Pareto</li> </ul>
	Mapear el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuniones participativas</li> <li>• Revisión de documentos</li> <li>• Observación directa</li> <li>• Diagrama SIPOC</li> <li>• Diagrama de flujo</li> <li>• Ficha de proceso</li> </ul>
	Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección ponderada</li> <li>• Voz del cliente</li> </ul>
	Delimitar y definir el problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en grupo</li> </ul>
<b>Medir</b>	Verificar que puedan medirse en forma consistente las VCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en grupo</li> </ul>
	Evaluar la estabilidad y capacidad del proceso para las VCC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en grupos</li> <li>• Estudio de estabilidad (Gráficos de control)</li> <li>• Estudio de la capacidad del proceso (Índices de capacidad y métricas Seis Sigma)</li> </ul>
	Establecer metas para las VCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en grupo</li> <li>• Tormenta de ideas</li> </ul>
<b>Analizar</b>	Listar las causas del problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama causa – efecto</li> <li>• Matriz de relación</li> </ul>
	Seleccionar las principales causas y confirmarlas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en equipo</li> <li>• Votación</li> <li>• FMEA</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>Método Delphi</li> </ul>
<b>Mejorar</b>	Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo en grupos</li> <li>Tormenta de ideas 5W y 2H</li> </ul>
	Implementar la solución	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulación de procesos</li> <li>Diseño de experimentos</li> <li>Pruebas piloto</li> </ul>
	Evaluar el impacto de la mejora sobre las VCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Técnicas estadísticas</li> <li>Análisis costo - beneficio</li> </ul>
<b>Controlar</b>	Monitorear el sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planes de control</li> <li>Gráficos de control y capacidad de procesos</li> </ul>
	Cerrar y difundir el proyecto de mejora	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reuniones participativas</li> </ul>

### *Paso 1: Describir de forma general el problema*

Se hace necesario responder la pregunta, ¿Cuál es el actual funcionamiento del proceso? Para realizar un examen profundo del trabajo es necesario: conversar con los clientes (fundamentalmente los trabajadores), recopilar datos y obtener información relevante sobre el comportamiento del proceso y lograr una visión global de la actividad. De forma general se debe explicar en qué consiste el problema y por qué es importante resolverlo.

### *Paso 2: Mapear el proceso*

Este paso incluye la descripción de las actividades y de las características del proceso. El mapeo del proceso permite visualizar cada una de las operaciones (subprocesos) involucradas, de manera aislada o interrelacionadas, debido a que este flujo detallado deja clara la trayectoria de la actividad desde su inicio hasta su conclusión. Este paso tiene por objetivo mostrar los subprocesos u operaciones principales del proceso completo donde se presenta el problema, para lo que es necesario:

- ✓ Descripción de las actividades del proceso: Para ello debe dársele respuesta a las siguientes preguntas:
  - ¿Cuál es la naturaleza del proceso?
  - ¿Para qué sirve?

- ¿Qué actividades se realizan?
  - ¿Quién realiza las actividades?
  - ¿Cómo se realizan las actividades?
- ✓ Descripción de las características del proceso.
- ¿Cómo es el proceso?
  - ¿Cuál es su propósito?
  - ¿Cómo se relaciona con el resto?
  - ¿Cuáles son sus entradas y salidas?
  - ¿Cuáles son sus proveedores y clientes?
  - ¿Cuáles son los requisitos de los clientes y proveedores?

Sin duda alguna, es fundamental que se establezca una comunicación directa, positiva y efectiva entre los responsables de la actividad, los clientes y los proveedores. Se debe además describir con claridad el proceso para tener una visión amplia sobre él. El producto final esperado de esta etapa de caracterización del proceso, es un documento que permita entender y visualizar de manera global en qué consiste el mismo. El diagrama de procesos contribuye al esclarecimiento y visualización de todas las actividades que se ejecutan para obtener el producto final.

### *Paso 3: Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC)*

En este paso se deben especificar las variables críticas para la calidad mediante las que se evaluará qué tan bien se cumplen los objetivos del proyecto, ejemplo de esto: tiempo de ciclo, costos, calidad de alguna variable de salida, quejas, productividad, entre otras. Estas variables deben estar ligadas a la satisfacción del cliente o en general al desempeño del proceso. La clave aquí es preguntarse: ¿qué aspectos del producto final son importantes para dicho cliente y por qué?, además de los resultados del diagnóstico realizado en el paso anterior. Luego es necesario actuar sobre aquellas variables que más repercuten en el deterioro del desempeño.

### *Paso 4: Delimitar y definir el problema*

En este paso se hace necesario delimitar el problema, para decidir qué parte de este o del proceso será abordado en la investigación en función de su magnitud. Para la definición final del problema deben utilizarse los datos de las variables críticas para la calidad (ya sea que se refieren al cliente o al desempeño del proceso), es decir, expresar el problema en términos cuantitativos, de conjunto con los resultados del proceso.

### **Etapa II: Medir**

Una vez definido el problema sobre el que se va a incidir, se hace necesaria su medición, con ello se conoce la capacidad del proceso analizado. Medir es una etapa clave en el camino de seis sigma. El propósito de esta etapa es verificar que la información que se utiliza para tomar decisiones es realmente correcta. Esta segunda etapa está compuesta por la siguiente secuencia de pasos.

#### *Paso 5: Verificar que puedan medirse en forma consistente las VCC*

En la aplicación de la metodología seis sigma, es necesario contar con datos confiables que realmente permitan tomar decisiones acertadas. Lo primero que se debe hacer dentro de la fase de medición, es verificar que las VCC que se han elegido en la etapa anterior (definir) pueden medirse en forma consistente. Con independencia del tipo de variable, el equipo de mejora debe revisar con detalle la forma en que se miden sus VCC y asegurar que estas mediciones se hacen en forma consistente, ya que a través de estas variables se medirá el impacto del proyecto de mejora.

#### *Paso 6: Evaluar la estabilidad y capacidad del proceso para las VCC*

A las VCC especificadas en la etapa anterior se les debe hacer un estudio detallado para determinar su estado en cuanto a estabilidad y capacidad para saber con mayor precisión la magnitud del problema actual y generar bases para encontrar la solución. Si las VCC no se han venido analizando mediante una carta de control, entonces se debe hacer un esfuerzo por establecer una perspectiva clara sobre su magnitud y como han variado a través del tiempo. Para ello se emplean herramientas del control estadístico de la calidad, en específico los gráficos de control y los índices de capacidad. Se verifica el estado de control estadístico de los datos analizados, sobre la base del tipo de gráfico de control correspondiente.

El estudio de la capacidad del proceso es una herramienta fundamental en la aplicación de la metodología seis sigma. Al evaluar la capacidad del proceso se comprueba qué tan bien cumplen sus variables de salida con las especificaciones, sea una variable de tipo valor nominal o de atributos. Estos análisis se pueden realizar utilizando software como: Statgraphics, Minitab, SPSS, entre otros.

#### *Paso 7: Establecer las metas para las variables críticas de calidad*

Tomando en cuenta la situación para las variables críticas de calidad, se deben establecer metas para éstas. Dichas metas deben balancear el que sean ambiciosas pero alcanzables.

### **Etapa III: Analizar**

La meta de esta fase es identificar la(s) causa(s) raíz del problema, entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos. Por tanto, en esta fase se deben desarrollar teorías que explican cómo es que las causas raíces generan el problema, confirmar estas teorías con datos, para después de ello tener las pocas causas vitales que están generando el problema. Las herramientas que son de utilidad en esta fase son muy variadas, algunas de ellas son: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, cartas de control, entre otras.

#### *Paso 8: Listar las causas del problema*

En la etapa anterior queda definido el estado del proceso en cuanto a la variable crítica de calidad definida, por tanto, en función de estos resultados se deben generar las causas que pueden estar incidiendo en el estado del proceso mediante una lluvia de ideas, y organizarlas mediante un diagrama de Ishikawa.

#### *Paso 9: Seleccionar las principales causas y confirmarlas*

En este paso se deben seleccionar las que se crean que son las causas principales, explicar cuál es la razón y confirmar con datos la situación existente.

### **Etapa IV: Mejorar**

En esta etapa se está listo para que se propongan, implementen y evalúen las soluciones que atiendan las causas raíces detectadas. El objetivo es demostrar con datos que las soluciones propuestas resuelven el problema y conllevan a las mejoras buscadas.

#### *Paso 10: Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíz*

Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas. Luego es importante evaluarlas a partir de diferentes criterios o prioridades sobre las que se debe tomar la solución.

#### *Paso 11: Implementar la solución*

Para implementar la solución es importante elaborar un plan en el que se especifiquen las diferentes tareas, su descripción (en qué consiste, cómo se va a hacer, dónde se va a implementar), las fechas para cada una, los recursos monetarios que se requieren, las personas responsables y participantes. Para este fin se recomienda utilizar la técnica de las 5W2H. En el caso que sea conveniente, inicialmente, puede adoptarse un procedimiento de carácter experimental, que consista en:

- Realizar un proyecto piloto.
- Observar, controlar y evaluar la experiencia implantada.
- Realizar la implantación definitiva como consecuencia de los resultados positivos obtenidos.

### *Paso 12: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad*

Para la evaluación de la solución se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas. Este tipo de estudio obedece a una búsqueda permanente del mejoramiento continuo de un proceso. Si los resultados no son satisfactorios, entonces se debe revisar por qué se obtiene lo esperado y con esa base revisar lo hecho nuevamente.

### **Etapa V: Controlar**

Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas. En otras palabras, el objetivo de esta etapa es que el equipo de trabajo desarrolle un conjunto de actividades con el propósito de mantener el estado y desempeño del proceso a un nivel que satisfaga las necesidades del cliente y esto sirva de base para buscar la mejora continua. En este sentido, es necesario establecer un sistema de control para:

- Prevenir que los problemas que tenía el proceso no se vuelvan a repetir (mantener las ganancias).
- Impedir que las mejoras y conocimientos obtenidos se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Alentar la mejora continua.

### *Paso 13: Monitorear el sistema*

Para el monitoreo de los resultados, se dirige a responder la pregunta; ¿Funciona el proceso de acuerdo con los patrones?, lo que consiste en verificar si el mismo está funcionando de acuerdo con los patrones establecidos, así como la ejecución de las acciones correctivas. Este monitoreo del proceso es permanente y forma parte de la rutina diaria de trabajo de todas las personas que participan en el proceso, siempre sobre la base del ciclo gerencial básico de Deming (PHVA).

### *Paso 14: Cerrar y difundir el proyecto de mejora*

El objetivo de este último paso es asegurarse que el proyecto de mejora sea fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión. Por ello el equipo de trabajo debe desarrollar los siguientes aspectos:

- Documentar el proyecto: Integrar todos los documentos que reflejen el trabajo realizado en las cinco etapas.
- Principales logros alcanzados: Elaborar un resumen de los cambios y soluciones dadas para el problema, así como el impacto de las mejoras.
- Difundir lo hecho y logros alcanzados: Presentación ante colegas y directivos, difusión interna por los canales adecuados.

### **2.3. Descripción de las principales herramientas relacionadas con la investigación**

Existen un gran número de herramientas que pueden ser empleadas en la metodología seis sigma. A continuación, se describen aquellas que son utilizadas en la presente investigación.

#### **Revisión y análisis de documentos**

Consiste en revisar documentos existentes en las organizaciones y analizarlos para obtener información necesaria para la investigación que se realice, cuyo sustento teórico nace de la revisión de la literatura. En cuanto a la información existente en documentos y en la literatura, son útiles (Hernández, Fernández y Baptista, 1998):

- Revisión de fuentes primarias de información: libros, antologías, artículos de publicaciones periódicas, monografías, tesis y disertaciones, documentos oficiales, trabajos presentados en conferencias o seminarios, artículos periodísticos, revistas científicas, que proporcionen datos de primera mano.
- Revisión de fuentes secundarias y terciarias de información: Consisten en compilaciones, listados de referencias publicadas en un área del conocimiento en particular, bases de datos, son publicaciones que se refieren a las fuentes primarias y secundarias.

Particularmente la revisión de la literatura puede iniciarse con el apoyo de medios de búsqueda como los que se encuentran en Internet, mediante el acercamiento a especialistas en el tema, o acudiendo a bibliotecas, tres de las variantes más empleadas en la actualidad.

#### **Tormenta de ideas**

La tormenta o lluvia de ideas es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre un tema (Gutiérrez y De la Vara, 2013). Los métodos para su realización aparecen en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Métodos para la realización de la tormenta de ideas. Fuente: Curbelo (2013).**

Variantes	¿Cómo se utiliza?
Rueda libre (No estructurado o flujo libre)	1. Escoger a alguien para que sea el facilitador y apunte las ideas. 2. Escribir en la pizarra una frase que represente el problema y el asunto de discusión. 3. Escribir cada idea en el menor número de palabras posible. 4. Verificar con la persona que hizo la contribución cuando se está repitiendo la idea. No interpretar o cambiar las ideas. 5. Llegar a conclusiones.
Round-Robin (Estructurada o en círculo)	La diferencia consiste en que cada miembro del equipo presenta sus ideas en un formato ordenado. Por ejemplo: de izquierda a derecha. No hay problema si un miembro del equipo cede su turno si no tiene una idea en ese instante.
Tira de papel (Lluvia de ideas escrita o silenciosa)	Los participantes piensan las ideas pero registran en un papel sus ideas en silencio.

### Observación directa

La observación consiste, según plantean Cortés e Iglesias (2005) referenciando a Olabuénaga e Ispízu (1989), en contemplar sistemática y detenidamente cómo se desarrolla la vida social, sin manipularla ni modificarla, tal cual ella discurre por sí misma. La observación, por principio, es susceptible de ser aplicada a cualquier conducta o situación (Cortés e Iglesias, 2005).

La observación se ha clasificado, entre otros criterios, en:

- Directa o indirecta: Dado el conocimiento del objeto de investigación.
- Participante o no participante: Considerando el nivel de participación del sujeto que se observa.

El modo de efectuarla lo define el investigador en función de las características del estudio que realice.

### Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC es una de las herramientas fundamentales que posibilita el comienzo de una gestión por procesos. Se utiliza para identificar todos los elementos relevantes de un determinado proceso y posibilita el establecimiento de los límites y actividades del mismo. Al construir este diagrama deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Proveedores del proceso (Suppliers):** Suministran al proceso las entradas necesarias para el desarrollo y ejecución de las actividades que constituyen el mismo.
- **Entradas (Inputs):** Materiales, informaciones, productos, documentos, energía requeridos por el proceso para poder realizar alguna o algunas de sus actividades. Se generan fuera del propio proceso y son requeridos por éste para funcionar.
- **Proceso (Process):** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto. El “resultado previsto” de un proceso puede ser una salida, producto o servicio (NC ISO 9000: 2015).
- **Salidas (Outputs):** Son los resultados del proceso, los que deben ser coherentes con el objetivo del sistema. Son el producto o servicio creado por el proceso que el cliente o los clientes del mismo reciben.
- **Requerimientos de las salidas:** No es más que lo que el cliente del proceso desea, quiere y espera obtener de la salida de un proceso en concreto. Es la definición de las necesidades y/o expectativas del cliente del proceso. Estos requerimientos pueden estar establecidos por la propia organización, el cliente y/o la legislación vigente.
- **Clientes (Customer):** Se puede considerar como cliente cualquier persona institución u órgano que recibe el producto o servicio que el proceso genera. El cliente valora la calidad del proceso que pretende servirlo, determinando la medida en que éste con sus salidas ha logrado satisfacer sus necesidades y expectativas. Se identifican dos tipos de clientes:
  - ✓ Clientes internos: Individuos o servicios dentro de la propia organización que reciben los productos o servicios para utilizarlos en su trabajo.
  - ✓ Clientes externos: Son los clientes finales, los que disfrutan de los productos o servicios de la organización.

Esta herramienta posibilita:

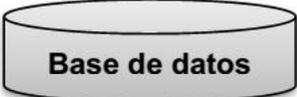
- Definir y mostrar visualmente un proceso.
- La identificación de las variables de salida claves del proceso.
- La identificación de los pasos claves del proceso.

- La identificación de las variables de entrada claves del proceso.

## Diagrama de Flujo

Los diagramas de flujo representan la descripción de las actividades de un proceso y sus interrelaciones, es decir, son la representación gráfica de los pasos de un proceso, que se realiza para entenderlo mejor. Facilitan la interpretación de las actividades en su conjunto, pues permiten una percepción visual del flujo y la secuencia de las mismas, incluyendo las entradas y salidas necesarias para el proceso y los límites del mismo. Se les denominan diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan mediante flechas para indicar la secuencia de las operaciones. En la Tabla 2.4 se muestran algunos de los símbolos más habituales para su utilización.

**Tabla 2.3: Símbolos más habituales para la representación de diagramas de flujo. Fuente: Beltrán et al. (2002).**

Símbolo	Descripción
	Se suele utilizar este símbolo para representar el origen de una entrada o el destino de una salida. Se emplea para expresar el comienzo o el fin de un conjunto de actividades.
	Dentro del diagrama de proceso, se emplea para representar una actividad.
	Representa una decisión. Las salidas suelen tener al menos dos flechas (opciones).
	Representan el flujo de productos, información, etc. y la secuencia en que se ejecutan las actividades.
	Representan un documento. Se suelen utilizar para indicar expresamente la existencia de un documento relevante
	Representan una base de datos y se suele utilizar para indicar la introducción o registro de datos en una base de datos (habitualmente informática).

La representación de las actividades a través de este esquema facilita el entendimiento de la secuencia e interrelación de las mismas y de cómo estas aportan valor y contribuyen a los resultados.

La utilización del diagrama de flujo es muy útil cuando:

- Se quiere conocer o mostrar de forma global un proceso.
- Es necesario tener un conocimiento básico, común a un grupo de personas, sobre el mismo.
- Se deben comparar dos procesos o alternativas.
- Se necesita una guía que permita un análisis sistemático del proceso.

### **Ficha de proceso**

Una ficha de proceso se puede considerar como un soporte de información que pretende recabar todas aquellas características relevantes para el control de las actividades definidas en el diagrama, así como para la gestión del proceso (Beltrán et al., 2002). La información a incluir en una ficha de proceso puede ser diversa y debe ser decidida por la propia organización. En el **Anexo No.3** se definen aquellos conceptos que se han considerado relevantes para la gestión de un proceso.

### **Gráficos de control (Estabilidad)**

En el Capítulo I en el epígrafe 1.3.1. se abordan los gráficos de control, tipos y utilidad práctica de estos.

### **Análisis de capacidad del proceso (Índices de capacidad y métricas seis sigma)**

La capacidad de un proceso se define como la manera en que las variables de salida de un proceso cumplen con sus especificaciones (Gutiérrez y De la Vara, 2013). Para este análisis es necesario tener en cuenta el tipo de característica de calidad a estudiar de acuerdo al tipo de especificación. En dependencia del tipo de característica de calidad se calculan diferentes índices de capacidad y métricas seis sigma, que permiten evaluar el proceso en cuanto a capacidad.

La capacidad de un proceso queda determinada por:

- Los límites de especificación.
- La variabilidad del proceso y su comportamiento en el tiempo.
- El centrado del proceso.

La interpretación de estos índices se fundamenta en tres supuestos:

- Que la característica de calidad siga distribución normal.
- Que el proceso sea estable o esté en control estadístico.
- Que la desviación estándar del proceso sea conocida.

### Método Delphi

La metodología Delphi consiste en la utilización sistemática del juicio intuitivo de un grupo de expertos para obtener un consenso de opinión. Los pasos que se siguen para ello son (Cortés e Iglesias, 2005):

- Concepción inicial del problema: Esclarecer qué objetivo se persigue en el intercambio con los expertos.
- Selección de los expertos: En cuanto a la selección de los expertos debe calcularse el tamaño de muestra y demostrar, a partir del cálculo del coeficiente de competencia, que poseen conocimientos y argumentación suficiente en el tema que se analiza.
- Preparación de los cuestionarios o encuestas: Se preparan las encuestas para hacerlas llegar a los expertos y someterlas a su criterio.
- Procesamiento y análisis de la información: En este paso se define si existe concordancia entre los expertos o no mediante una prueba de hipótesis donde:
  - ✓ Ho: El juicio de los expertos no es consistente. (No comunidad de preferencia)
  - ✓ H1: El juicio de los expertos es consistente. (Comunidad de preferencia)

Para esta prueba se debe calcular el coeficiente de Kendall (W) que no es más que un coeficiente de regresión lineal que da el grado de correlación entre los expertos o la llamada concordancia. Este es un índice, entre 0 y 1, que indica que no existe concordancia entre los expertos, o que los expertos concuerdan totalmente con los criterios planteados y el orden de los mismos, respectivamente.

Las hipótesis planteadas pueden probarse si  $k \geq 7$  (Cantidad de criterios para la evaluación de los expertos) utilizando el estadígrafo Chi- Cuadrado que se calcula:

$$X_{calculada}^2 = n(k - 1)W X_{tabulada}^2 = X^2(a, k - 1)$$

Región crítica:  $X_{calculado}^2 > X_{tabulado}^2$

Chi – Cuadrado tabulado se localiza en la tabla estadística que se corresponde con tal distribución para  $k - 1$  grados de libertad y un nivel de significación prefijada. Si se procesa la información en el paquete de programas SPSS se considera como región crítica:  $P\text{-Value} < \alpha$ . De

no existir concordancia entre los expertos se sigue a otra ronda de análisis hasta lograrla realizando los cambios pertinentes en función de lo que evalúan.

En caso de que el número de características sea menor que siete ( $k < 7$ ) se tiene:

$$\text{Región crítica: } S_{\text{calculada}} = \sum (R_i - \frac{\sum R_i}{k})^2 > S_{\text{tabulada}}$$

Donde:

$S_{\text{tabulada}}$ : Se encuentra en la Tabla de Friedman (Friedman, 1940).

$R_i$ : Sumatoria de las evaluaciones dadas por los expertos para cada una de los criterios.

### Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)

El diagrama de causa-efecto es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis y de esta forma se evita el error de buscar directamente las soluciones sin cuestionar a fondo cuáles son las verdaderas causas.

El diagrama de causa-efecto se debe utilizar cuando pueda contestarse “sí” a una o las dos preguntas siguientes:

- ¿Es necesario identificar las causas principales de un problema?
- ¿Existen ideas y/u opiniones sobre las causas de un problema?

Existen tres tipos básicos de diagramas de Ishikawa, las cuales dependen de cómo se buscan y se organizan las causas en la gráfica. Estos son (Gutiérrez y De la Vara, 2013):

- **Método de las 6M's:** Consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final.
- **Método de flujo del proceso:** Consiste en construir la línea principal del diagrama de Ishikawa siguiendo el flujo del proceso y en ese orden se agregan las causas.
- **Método de estratificación o enumeración de causas:** Implica construir el diagrama de Ishikawa yendo directamente a las causas potenciales del problema sin agrupar de acuerdo con las 6M's.

## Estadística descriptiva

La estadística descriptiva se refiere a procedimientos para resumir y presentar datos cuantitativos de manera que revele las características de la distribución de los datos. Entre los análisis de la estadística descriptiva que tienden a ser reiteradamente realizados en la literatura revisada se encuentran la determinación de: moda, mediana, media, rangos, la desviación estándar y la varianza, además de las frecuencias. Los resultados que se obtienen permiten caracterizar a las muestras o poblaciones a partir de datos que guardan relación con el objetivo del estudio que se realice. Dichos resultados se pueden obtener haciendo uso de paquetes de programas como el SPSS, el Statgraphics y/o Microsoft Excel.

## 5Ws y 2H

Se emplea como guía para elaborar los planes de mejoramiento de la calidad (Pons, Murquía y Villa, 2013) a partir de la respuesta a 7 interrogantes. En la Tabla 2.4 se presentan dichas interrogantes.

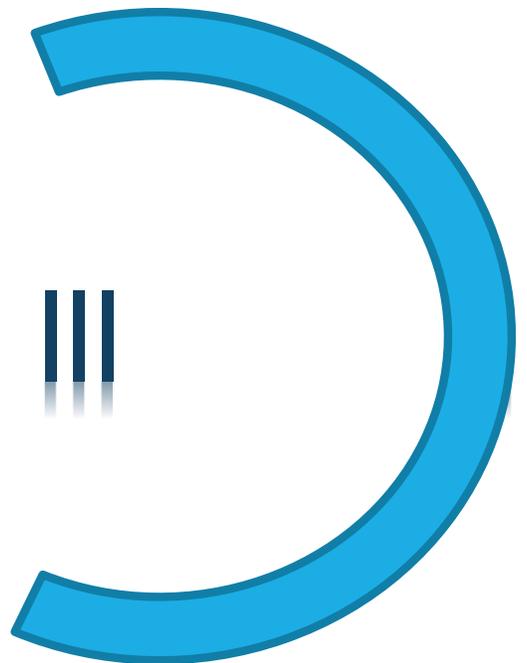
**Tabla 2.3: Representación de la técnica de 5Ws y 2h. Fuente: Pons y Villa, 2006.**

Criterio		Pregunta	Acción
<b>Asunto</b>	¿Qué?	¿Qué se hace?	
<b>Propósito</b>	¿Por qué?	¿Por qué esta actividad es necesaria?	Eliminar tareas innecesarias
<b>Lugar</b>	¿Dónde?	¿Dónde se hace?	Cambiar la secuencia o combinación
<b>Persona</b>	¿Quién?	¿Quién la realiza?	
<b>Secuencia</b>	¿Cuándo?	¿Cuándo es el mejor momento de hacerlo? ¿Cómo se hace?	
<b>Método</b>	¿Cómo?	¿Es este el mejor método? ¿Hay otro método de hacerlo? ¿Cuánto cuesta ahora?	Simplificar la tarea
<b>Costo</b>	¿Cuánto?	¿Cuánto será el costo después de la mejora?	Seleccionar un método mejorado

### Conclusiones del capítulo II

1. El procedimiento seleccionado es el propuesto por Gómez (2017), el mismo está fundamentado en la metodología seis sigma para el mejoramiento continuo de procesos, basado en el ciclo gerencial básico de Deming. En este se incluye el diagnóstico inicial, así como un grupo de criterios planteados por diferentes autores, tales como: (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, (2013); ISO 13053: 2011; Gibbons, Kennedy, Burgess y Godfrey, (2012) y García y Guerra (2014), llegándose a especificar en cada una de sus etapas las técnicas y herramientas que deben ser aplicadas.
2. La aplicación de la metodología seis sigma en el mejoramiento de la calidad del producto incluye etapas que pueden ser realizadas por un solo investigador como es el caso de Definir, Medir y Controlar, mientras que otras como las de Analizar y Mejorar deben ser realizadas por un grupo de expertos

# CAPÍTULO III



### CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN ASFÁLTICO EN CALIENTE.

En el presente capítulo se implementa la metodología seis sigma en el proceso de producción de hormigón asfáltico en caliente perteneciente a la UEB Brigada No.13 “Pavimentación” de la ECOING No.12. El capítulo se estructura considerando cada una de las etapas del procedimiento trayendo como resultado el conocimiento de las principales debilidades en el proceso de producción y los aspectos a mejorar.

#### 3.1. Implementación de la metodología seis sigma en el proceso objeto de estudio

La aplicación del procedimiento se realiza siguiendo el orden de los pasos que se describen en el capítulo anterior y tomando como objeto de estudio la UEB Brigada No.13 “Pavimentación”, específicamente el proceso de producción de hormigón asfáltico en caliente.

En el comienzo de la investigación se crea un equipo de trabajo compuesto por directores, especialistas y trabajadores de experiencia. Los integrantes del mismo se mencionan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Composición del equipo de trabajo. Fuente: Elaboración propia**

Nombre y Apellidos	Cargo	Años de Experiencia
Rafael Leyva Pérez	Director de Brigada	5
Jorge Antonio Fernández Fernández	Jefe de Planta	8
Jorge Luis Lliraldi Navarro	Técnico en Obra Ingeniería, Especialista Principal	17
Yanet Álvarez Monzón	Especialista B en Obras de Ingeniería	10
Ángel Luis Cortina Morfa	Especialista en ensayos Físico-Químicos	6
Yanislet del Sol Geroy	Especialista C en seguridad y Salud del Trabajo	5
Arelis Cardoso Monzón	Técnico A en Gestión de los Recursos Humanos	4

#### **Etapas I: Definir**

Para la aplicación de esta etapa de la metodología seis sigma, se tiene en cuenta la caracterización de la organización y los métodos y herramientas propuestos en el capítulo II. Es válido destacar que en la visión de la entidad se declara la calidad como un aspecto a desarrollar de manera sistemática. En la propia política de calidad se expresa como objetivo permanente la elevación de la calidad del producto mediante el desarrollo de programas de mejoramiento continuo que contribuyan a la satisfacción de las necesidades de los clientes.

*Paso 1: Describir de manera general el problema*

La UEB Brigada No.13 “Pavimentación” se dedica a la producción y aplicación de la mezcla de hormigón asfáltico en caliente para suplir la demanda de la provincia de Cienfuegos en materia de pavimentación y reparación de viales. Es una entidad industrial importante en el sector de la construcción debido a la gran importancia del estado óptimo de las vías y por su función imprescindible y su papel en el desarrollo de la economía nacional. La organización tiene entre sus prioridades, fomentar el uso de herramientas y técnicas estadísticas que permitan el control de la calidad de sus producciones con un enfoque de mejora continua.

Dentro de los procesos claves de la empresa (ver **Anexo No.4**) se encuentra el de producción de mezcla de hormigón asfáltico en caliente y el de pavimentación, siendo estos los de mayor importancia dentro de la UEB.

En la organización se cumplen los planes de producción, así como con los parámetros de calidad establecidos en la norma NC 253:2005 la que establece las especificaciones para las mezclas de hormigón asfáltico elaborado en caliente, utilizado bajo diversas variantes en la ejecución de los pavimentos flexibles, tanto en obras de nueva construcción como en aquellas de conservación y reparación que se realizan en vías urbanas y rurales, pistas aéreas, áreas de estacionamiento y otras soluciones de características similares. Entre los principales resultados relacionados con la producción de mezcla de hormigón asfáltico obtenidos al cierre del año 2022 se encuentran:

**Tabla 3.2: Resultados productivos de la UEB Brigada No.13 “Pavimentación”. Fuente: UEB Brigada No.13 “Pavimentación”.**

Brigada No.13	Plan (millones de pesos)	Real (millones de pesos)	% de cumplimiento
<b>Enero</b>	530,1	540,7	102,0
<b>Febrero</b>	530,1	561,8	106,0
<b>Marzo</b>	530,1	543,2	102,5
<b>Abril</b>	530,1	569,3	107,4
<b>Mayo</b>	530,1	540,9	102,0
<b>Junio</b>	530,1	539,2	101,7
<b>Julio</b>	530,1	550,8	103,9
<b>Agosto</b>	530,1	510,5	96,3
<b>Septiembre</b>	530,1	490,2	92,5
<b>Octubre</b>	337,2	530,9	157,4
<b>Noviembre</b>	530,1	540,2	101,9
<b>Diciembre</b>	480,0	410,7	85,6

Total	6118,20	6328,4	103,4
-------	---------	--------	-------

Como se puede apreciar al cierre del año 2022 se cumple el plan al 103,4 %, lo que supone un hecho significativo dadas las condiciones especiales impuestas por el recrudescimiento del bloqueo y la crisis energética que enfrenta el país. Debido a estas condiciones se adoptan medidas en la entidad como: trabajo a distancia y presencialidad en la entidad de solo el personal imprescindible para el desarrollo de las actividades principales.

En cambio, se detectan numerosas pérdidas por concepto de desperdicios las cuales se encuentran valoradas en alrededor de 1,4 millones de pesos por concepto de gastos en piezas de repuesto para solucionar las constantes averías. También se evidencia que a las materias primas no se les realiza ningún muestreo de aceptación y el control de calidad se realiza mediante la inspección final por la vía de la recolección de muestras para su posterior análisis en el laboratorio. Se puede decir que el control de la calidad en la institución no tiene un enfoque proactivo lo que se traduce en constantes pérdidas por baja calidad de la mezcla y fallas en el proceso debido a constantes roturas.

En la UEB no se constata la existencia de un control estadístico de las variables críticas de calidad que influyen en el proceso de producción de la mezcla de hormigón asfáltico en caliente, por lo que la dirección de la entidad tiene entre sus prioridades monitorear el comportamiento de dichas variables, así como predecir su tendencia en un futuro de manera tal que se puedan tomar acciones en la entidad en aras de corregir las deficiencias detectadas.

### *Paso 2: Mapear el proceso*

Para la descripción del proceso se realiza el diagrama de flujo, inexistente en la UEB. En este se muestra la descripción de la secuencia de actividades en el proceso, así como la documentación generada durante el transcurso del mismo. Dicho diagrama se encuentra en el **Anexo No.5**.

Se confecciona el diagrama SIPOC (**Anexo No.6**) donde se identifican los principales proveedores, entradas, operaciones del proceso, salidas y clientes finales. La ficha del proceso se muestra en el **Anexo No.7**.

### *Paso 3: Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC)*

Los parámetros de calidad de la mezcla de hormigón asfáltico y sus especificaciones se encuentran establecidas en la NC 253:2005. En la tabla 3.3 se muestran estos parámetros.

**Tabla 3.3: Especificaciones de calidad de la mezcla de hormigón asfáltico. Fuente: NC 253:2005.**

Características de calidad	Especificaciones
Estabilidad (kN)	8.00 - 13.0
Deformación (mm)	2.0 - 3.5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	>2,60 en capas de rodadura y >2,50 en el resto de las capas
Contenido de asfalto (%)	±0,3 según la especificación de diseño
Temperatura de la mezcla	±7°C
Temperatura árido/asfalto	±10°C

Para definir las variables críticas de calidad de la mezcla de hormigón asfáltico que más impactan en la eficacia de la pavimentación, se realiza una reunión con el equipo de expertos, donde se analizan y definen las variables de salida del proceso productivo de la planta y la forma en que degradan la calidad de los pavimentos. Se realiza además una valoración general de la situación de dichas variables.

El equipo de trabajo define el orden de prioridad de cada variable, lo que se realiza mediante una valoración entre 1 y 6, siendo 6 la más alta prioridad. En la Tabla 3.4 se exponen los resultados.

**Tabla 3.4:** Variables de la mezcla de hormigón asfáltica y su prioridad. Fuente: Elaboración propia.

Características de calidad	Situación actual	Prioridad
Estabilidad (kN)	Buena	6
Deformación (mm)	Buena	5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Regular	6
Contenido de asfalto (%)	Regular	3
Temperatura de la mezcla	Buena	2
Temperatura árido/asfalto	Buena	3

En la tabla anterior se evidencia que las variables de salida que más influyen en la calidad de los pavimentos son: Estabilidad, Deformación y la Densidad, definiéndose como variables críticas para la calidad a desarrollar durante la investigación.

#### *Paso 4: Delimitar y definir el problema*

A partir de la información mostrada se define como problema a resolver: *Verificar el cumplimiento de las especificaciones de calidad para las características: Estabilidad, Deformación y Densidad, dado que son las que tienen mayor incidencia en la calidad de la pavimentación, según el criterio del equipo de trabajo.* Lo anterior permitirá conocer el estado de dichas variables en cuanto a estabilidad y cumplimiento de especificaciones.

### Etapa II: Medir

En esta etapa se realiza la medición de las variables críticas de calidad definidas, con el objetivo de evaluar las mismas.

*Pasos 5 y 6: Verificar que puedan medirse en forma consistente las VCC y evaluar la estabilidad y capacidad del proceso para las VCC*

La recogida de datos se realiza siguiendo lo indicado en el Procedimiento ITG-08 “Elaboración de hormigón asfáltico caliente” y los datos se recopilan en los registros ITG-08B “Control de calidad diario” e ITG-08C “Control de calidad mensual”.

Para analizar el comportamiento estadístico del proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico se toman observaciones diarias cada 100 toneladas de producción de mezcla durante 30 días del mes de agosto de 2023. Los datos obtenidos se muestran en el **Anexo No.8**. Para el procesamiento se utiliza el software Statgraphics Centurion.

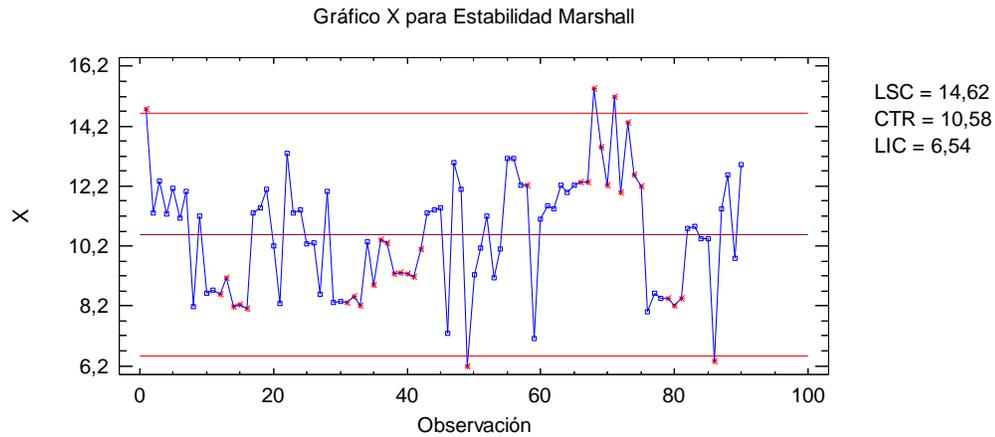
### Evaluación de la estabilidad del proceso

Para evaluar la estabilidad se utilizan los gráficos de control para variables, debido que se aplican a características de calidad de tipo continuo. En este caso en particular se selecciona la carta de individuales, se considera cada una de las observaciones individualmente siendo un total de 90. Este tipo de análisis permite identificar si el proceso está trabajando con causas comunes o especiales de variación.

Antes de realizar el estudio de estabilidad se verifica si los datos registrados provienen de una distribución normal, para lo que se utiliza la prueba de Anderson-Darling. Para el caso de las tres variables no se puede rechazar la idea de que provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

### Característica de calidad Estabilidad Marshall

En la figura siguiente se expone la carta de individuales para la deformación de Marshall correspondiente a los datos registrados durante el mes de agosto del 2023.

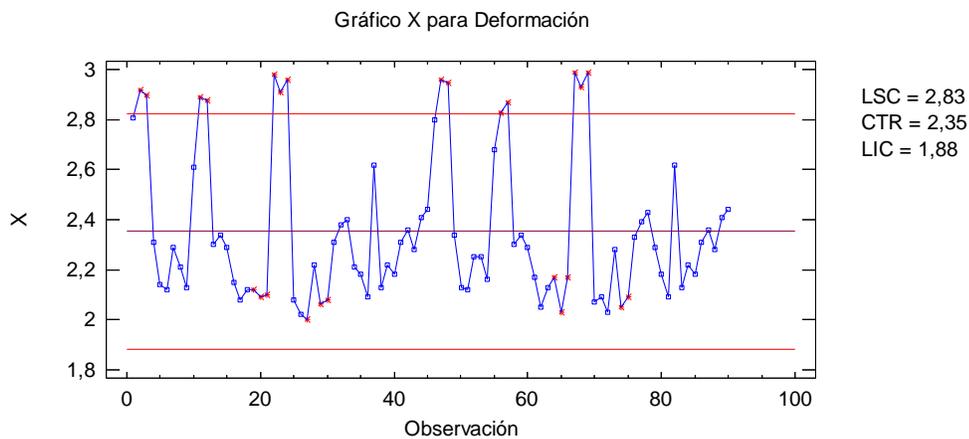


**Figura 3.1: Carta de control de individuales para la característica de calidad Estabilidad Marshall. Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede apreciar, el proceso presenta inestabilidad, además existen 5 puntos fuera de los límites de control y se evidencian también tendencias cíclicas siendo el índice de inestabilidad de un 5%, lo que se considera malo; así como cambios de nivel. Dicha fluctuación puede deberse causas especiales de variación, como las diferencias sistemáticas de calidad del material o de los métodos de prueba.

Característica de calidad Deformación:

En la figura siguiente se expone la carta de individuales para la Deformación correspondiente a los datos registrados durante el mes de agosto del 2023.

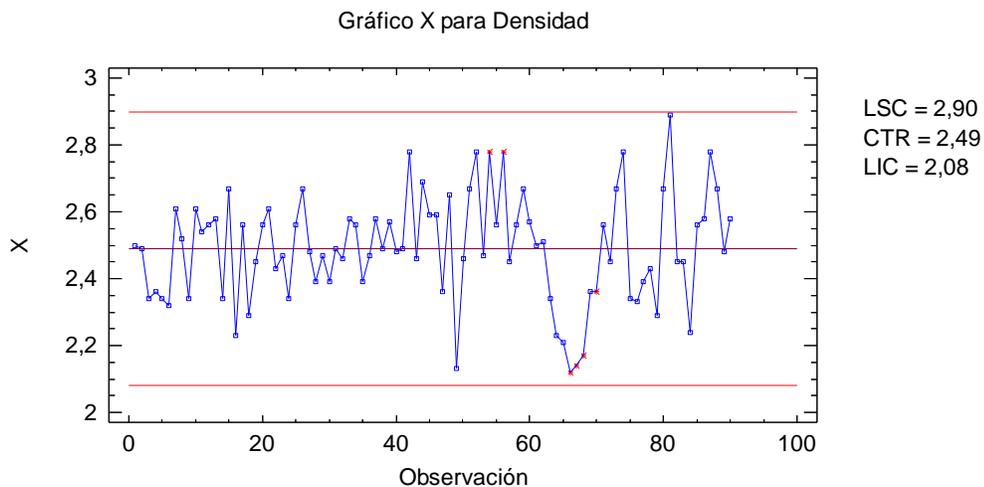


**Figura 3.2: Carta de control de individuales para la característica de calidad Deformación.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

En el gráfico anterior se puede observar que la característica de calidad Deformación no está bajo control estadístico, al tener 14 puntos fuera de los límites de control, siendo el índice de inestabilidad de 14%. Existen otras tendencias marcadas en el gráfico, pero no influyen en el comportamiento de la variable.

Característica de calidad Densidad:

En la figura siguiente se expone la carta de individuales para el Contenido de asfalto correspondiente a los datos registrados durante el mes de agosto del 2023.



**Figura 3.3: Carta de control de individuales para la característica de calidad Densidad.** Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la característica de calidad Densidad el proceso trabaja con causas comunes de variación, pues los puntos varían de forma aleatoria a lo ancho de la carta, sin seguir ningún patrón, es decir, se encuentra en control estadístico, siendo estable dicho proceso. Por tanto, se puede afirmar que su comportamiento es predecible en un futuro inmediato.

A continuación, se procede a la evaluación de la capacidad del proceso:

### Evaluación de la capacidad del proceso

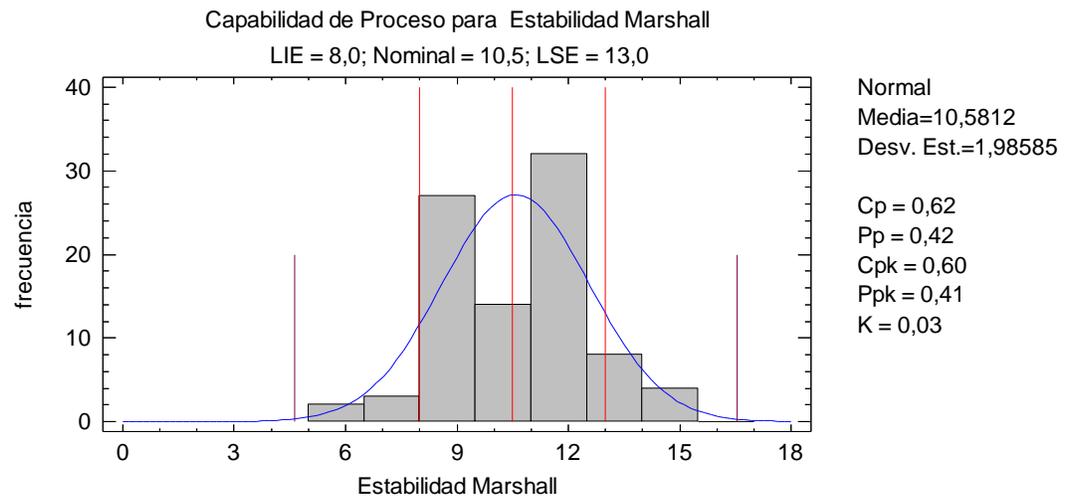
La evaluación de la capacidad del proceso, es decir, la habilidad para cumplir con las especificaciones de calidad, se realiza a partir de los índices de capacidad para variables continuas.

#### Característica de calidad: Estabilidad Marshall

En este caso se tiene una variable con doble especificación la cual indica como influye el contenido de asfalto en el comportamiento mecánico de las muestras, por tanto, los valores medidos a partir de las muestras tomadas durante el proceso de producción de la mezcla de hormigón asfáltico se encuentren en el rango de 8 a 13 kN. Lo que se busca es ver si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones dadas anteriormente.

En la figura 3.4 se muestra el histograma de frecuencias para la Estabilidad Marshall y en la tabla 3.4 los índices de capacidad estimados a corto y a largo plazos. El índice de capacidad real del proceso ( $C_{pk}$ ) posee un valor de 0,59855 lo que indica que el proceso es incapaz de cumplir con las especificaciones, lo que se considera un proceso clase 4, no adecuado para el trabajo, requiere modificaciones serias para su óptimo desempeño. Según el análisis anterior y de acuerdo a los valores obtenidos, el 6,39415% de las muestras de hormigón asfáltico no cumplen con las especificaciones, equivalente a 63941,5 por cada millón de muestras tomadas.

En cuanto al  $P_{pk}$  se puede afirmar que con el desempeño del proceso a largo se tendrá un índice de desempeño real de 0,406001, inferior al 0,59855 actual por lo que se prevé que el proceso disminuya su capacidad de cumplir con las especificaciones de calidad. El nivel sigma de calidad, métrica utilizada para cuantificar el nivel de calidad de los procesos, permite ultimar que para la Estabilidad Marshall en el corto plazo es de 3,02251 lo que se considera aceptable teniendo en cuenta la baja capacidad de la variable crítica de calidad para cumplir con especificaciones. Un resumen de los valores obtenidos para cada índice se muestra en la tabla 3.5.



**Figura 3.4: Análisis de capacidad para Estabilidad Marshall en el mes de agosto de 2023. Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 3.5: Índices de capacidad para Estabilidad Marshall en el mes de agosto de 2023. Fuente: Elaboración propia.**

Especificaciones LIE=8 LSE=13		
Índices	Capacidad a corto plazo	Desempeño a largo plazo
Sigma	1,34702	1,98585
Cp/Pp	0,61865	0,419635
Cpk/Ppk	0,59855	0,406001
Cpk/Ppk (superior)	0,59855	0,406001
Cpk/Ppk (inferior)	0,638749	0,433268
K		0,0324889
% fuera de specs.	6,39415	20,8445
DPM	63941,5	208445,
Nivel de Calidad Sigma	3,02251	2,31183

#### Característica de calidad Deformación

En el caso de la deformación, la variable presenta doble especificación, por lo que los valores medidos deben de estar dentro de dicho intervalo. En la figura 3.5 se muestra que el proceso es incapaz de cumplir con una de las especificaciones, lo que se comprueba con el valor del índice de capacidad del proceso siendo superior que 1,33 que es el que se considera un proceso clase 1: adecuado para el trabajo, no requiere un análisis detallado

ni modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria. En el caso del índice de desempeño real  $Ppk = 0,39$  por lo que se considera un proceso con un mal desempeño a largo plazo.

Las muestras que no cumplen con especificaciones se encuentran en el orden de 12519,5 por cada millón de muestras tomadas y el nivel de sigma a corto plazo es de 3,74081 y a largo plazo de 2,69503. Un resumen de los valores obtenidos para cada índice se muestra en la tabla 3.6.

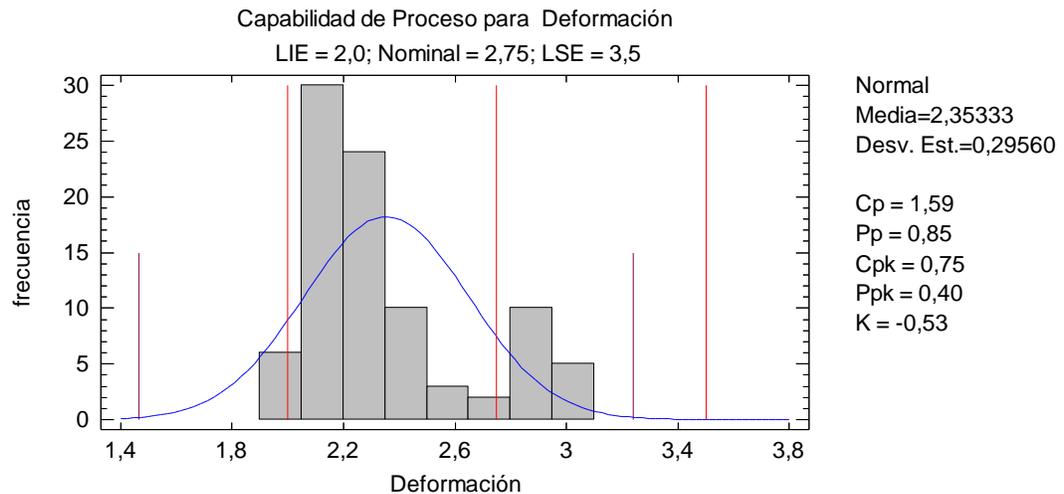


Figura 3.5: Análisis de capacidad para Deformación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6: Índices de capacidad para Deformación en el mes de agosto de 2023.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones LIE=2 LSE=3,5		
Índices	Capacidad a corto plazo	Desempeño a largo plazo
Sigma	0,157682	0,295605
Cp/Pp	1,56547	0,845725
Cpk/Ppk	0,746933	0,39843
Cpk/Ppk (superior)	2,42401	1,29302
Cpk/Ppk (inferior)	0,746933	0,39843
K		-0,528889
% fuera de specs.	1,25195	11,6039
DPM	12519,5	116039,

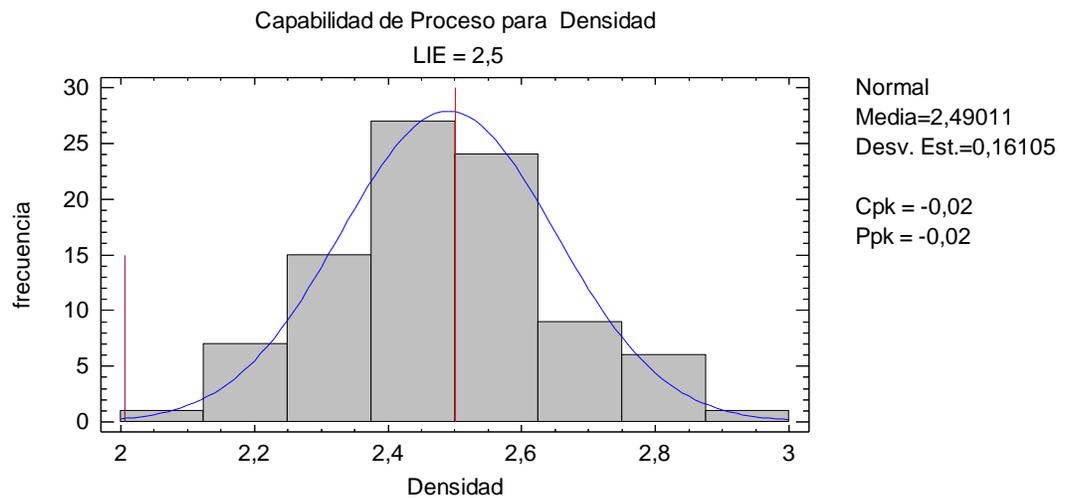
Nivel de Calidad Sigma	3,74081	2,69503
------------------------	---------	---------

Característica de calidad Densidad:

Para la Densidad se está ante una variable que presenta solo una especificación por lo que los valores obtenidos deben de ser mayores a los  $2,5\text{g/cm}^3$  en cada muestra tomada para su posterior análisis en el laboratorio.

En la figura 3.6 se puede apreciar que el proceso posee baja capacidad por lo que se considera un proceso de categoría 4: no adecuado para el trabajo, requiere modificaciones serias. Se puede afirmar que para la característica de calidad Densidad el proceso es incapaz de cumplir con las especificaciones de diseño. En cuanto al Ppk este revela un desempeño malo a largo plazo.

Las muestras que no poseen el % de asfalto adecuado se encuentran en el orden de las 528929 por cada millón producido. Un resumen de los valores obtenidos para cada índice se muestra en la tabla 3.7.



**Figura 3.6: Análisis de capacidad para Densidad. Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 3.7: Índices de capacidad para el Densidad en el mes agosto de 2023. Fuente: Elaboración propia.**

Especificaciones LIE=2,5		
Índices	Capacidad a corto plazo	Desempeño a largo plazo

Cpk/Ppk	-0,0241902	-0,0204671
Cpk/Ppk (inferior)	-0,0241902	-0,0204671
% fuera de specs.	52,8929	147,552
DPM	528929,	1,47552E6
Nivel de Calidad Sigma	1,44	1,5

La Tabla 3.8 muestra un resumen de los análisis realizados. Se evidencia que el proceso de producción de hormigón asfáltico para la característica de calidad Estabilidad Marshall es inestable y capaz de cumplir con las especificaciones de diseño, para la Deformación se considera inestable e incapaz y en el caso del Contenido de asfalto, estable pero incapaz y se encuentra bajo control estadístico.

**Tabla 3.8: Resumen del estado del proceso. Fuente: Elaboración propia.**

VCC	Estabilidad	Capacidad	Nivel de calidad sigma	% fuera de especificaciones
Estabilidad Marshall	Inestable (fuera de control estadístico)	Proceso incapaz de cumplir con especificaciones	3,02	6,39415
	Proceso tipo D: Incapaz e inestable			
Deformación	Inestable	Proceso capaz de cumplir con especificaciones	3,74	1,25195
	Proceso tipo B: Capaz pero inestable			
Densidad	Estable	Proceso incapaz de cumplir con especificaciones	1,44	52,8929
	Proceso tipo C: Estable pero incapaz			

### *Paso 7: Establecer las metas para las variables críticas de calidad*

Teniendo en cuenta la situación de las variables críticas de calidad (Estabilidad Marshall, Deformación y Densidad) el equipo de trabajo decide trabajar en la mejora de la capacidad y estabilidad del proceso de producción de la mezcla de hormigón asfáltico teniendo en cuenta los siguientes propósitos:

- Aumentar el índice de capacidad de la Estabilidad Marshall de forma tal que sea apta para cumplir con las especificaciones establecidas en la norma NC 253:2005 así como su control estadístico.
- Lograr el control estadístico de la variable Deformación
- Mejorar el índice de capacidad para la variable Densidad.

### Etapa III: Analizar

*Pasos 8 y 9: Listar las causas del problema, seleccionar las principales y confirmarlas*

Para investigar las posibles causas que inciden en la baja capacidad del proceso en cuanto a Estabilidad Marshall, Deformación y Densidad se utiliza el diagrama causa-efecto. El mismo se construye en una sesión de tormenta de ideas a partir de la experiencia acumulada de los trabajadores que laboran en el proceso de conjunto con el equipo de trabajo. Las causas quedan agrupadas en cinco categorías: materiales, maquinaria, mano de obra, medición y métodos de trabajo (ver **Anexo No.9**).

Para identificar las causas más probables se realiza una tormenta de ideas para seleccionar aquellas que eliminándolas solucionarían el problema. Estas causas se enumeran en el *Anexo No.10 para su posterior análisis por el equipo de trabajo*.

### Etapa IV: Mejorar

En esta etapa se proponen, implementan y evalúan las soluciones a las causas raíces detectadas, demostrando con datos, que las soluciones propuestas resuelven el problema y llevan a las mejoras buscadas.

*Pasos 10: Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíz.*

*La etapa de mejora se enfoca en darle solución a las causas que inciden en la baja capacidad del proceso para las características de calidad definidas, así como en la inestabilidad, para las que se diseñan los planes de mejora correspondientes haciendo uso de la técnica 5W1H. Los mismos se muestran en el Anexo No.11.*

Con el fin de priorizar las oportunidades de mejora definidas en el paso anterior, se emplea el método Delphi (ver *Anexo No.12*), donde se ordenan descendientemente, es decir, valor 10 máxima prioridad. Este resultado se muestra en el siguiente gráfico de barras.

Se recomienda utilizar la metodología de Cruz Ramírez (2009) para el cálculo del coeficiente de competencia, tiene como objetivo asegurar que los expertos que se consulten puedan aportar criterios significativos. Se seleccionan aquellos que tengan un coeficiente de competencia entre medio y alto. Dicho método se muestra en el **Anexo No.13**.

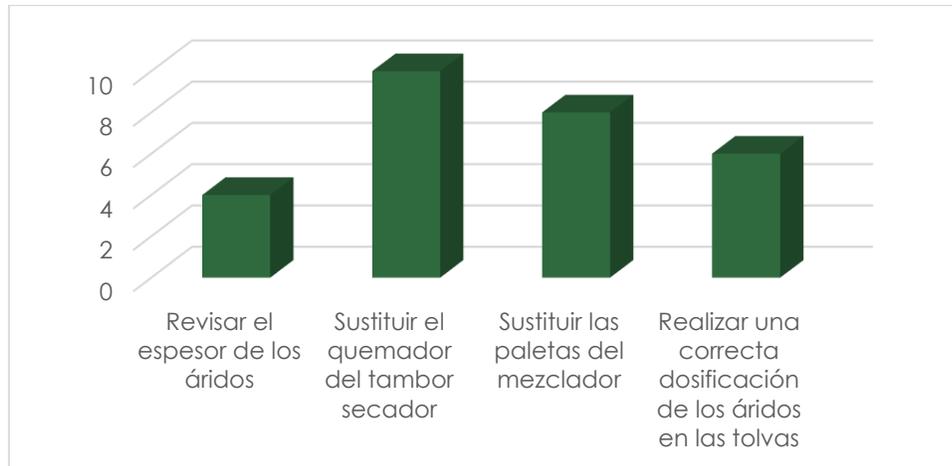


Figura 3.7: Rangos promedios para las oportunidades de mejora. Fuente: Elaboración propia.

Por consenso del equipo de trabajo se arriba a la conclusión de priorizar las dos primeras oportunidades de mejora, las que se definen de la forma siguiente:

- Sustituir el quemador del tambor secador
- Sustituir las paletas del mezclador

#### Paso 11: Implementar la solución

Para realizar la implementación de las soluciones se diseñan los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W1H (qué, quién, cómo, por qué, dónde y cuándo). Dicho plan se encuentra en el **Anexo No.11**, donde se refleja en qué consiste la propuesta, dónde se implementan, la forma en qué se va a realizar, las fechas, personas responsables, entre otros.

La implementación de las mejoras se realiza durante el periodo previsto por el equipo de trabajo en el mes de septiembre de 2023, extendiéndose hasta el mes de marzo, por la envergadura de las obras ejecutadas. Estas son detalladas a continuación.

#### Sustituir el quemador del tambor secador

Las plantas asfálticas en caliente disponen de un tambor secador (ver **Anexo No.14**) que seca los áridos y eleva su temperatura, hasta los 150 a 200°C, para que en el mezclador queden perfectamente envueltos en el ligante. La elevación de la temperatura permite el secado (humedad < 1% en peso) y la eliminación del polvo de los áridos. El secador debe regularse para que la combustión sea completa y garantice la ausencia de humo negro en la chimenea. La eficacia de un secador depende del tipo de quemador, del sistema de alimentación, de la circulación y evacuación de áridos, del grado de humedad de los áridos, del diámetro y longitud

del tambor, entre otros factores. Los rendimientos dependen en gran medida de la humedad de los áridos, donde el árido fino es el que más humedad retiene.

En las plantas discontinuas y en las continuas convencionales, el tambor secador consiste habitualmente en un cilindro metálico de gran diámetro y una longitud de 3 o 4 diámetros (hasta 2 m de diámetro y 15 m de longitud). Este tubo gira sobre su eje a una velocidad de 5 a 15 revoluciones por minuto. Los áridos entran a contracorriente: unas paletas arrastran los áridos hacia la llama y los gases calientes del quemador de fuel, que se encuentra en el extremo opuesto del cilindro. Un sistema de ciclones fuerza el aire para permitir la salida de vapor de agua. En las plantas de tambor secador-mezclador, el secado de los áridos se realiza junto con la mezcla. El diseño de tambores secadores mezcladores largos, con longitudes mayores a 5 diámetros, permite la extracción del calor de los gases de combustión hasta temperaturas de 12°C por encima de la temperatura de la mezcla, evitando el deterioro del ligante.

Se aconseja que la temperatura de los áridos a la llegada del quemador no supere en más de 10°C a la del ligante, y que el conjunto no sobrepase 15°C de la máxima de envuelta del ligante, calculada de la viscosidad óptima de fabricación de la mezcla. Si no fuera así, existirá un deterioro en las características del betún debido a una brusca oxidación por choque térmico y una merma de las prestaciones de la mezcla.

En la UEB Brigada No.13 "Pavimentación" el quemador no logra elevar a 150°C la temperatura de los áridos por lo que se requiere de su sustitución inmediata.

### Sustituir las paletas del mezclador

Las paletas del mezclador (ver **Anexo No.15**) de la UEB Brigada No.13 "Pavimentación" al realizarse la presente investigación presentan un marcado desgaste por la constante fricción con los áridos en la realización de la función de mezclarlos con el ligante asfáltico. Dichas paletas deben de ser sustituidas por otras que tengan una mejor aleación metálica para asegurar su resistencia a las condiciones hostiles a las cuales son sometidas.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de las paletas del mezclador para asegurar su durabilidad en el tiempo:

Dureza	52-62HRC
Duración	Más de 200000m <sup>3</sup> de concreto o 300000 toneladas de asfalto
Materiales	Acero/hierro fundido alto en cromo
Estándares	CN:KM TB Cr 15-25-GTUS: ASTM A532 Class Two Type D
Resistencia a la extensión	380N/mm <sup>2</sup>
Elongación de ruptura	1%

Valor de (resistencia) de impacto a descargas	>5 ak N.M/CM2
Resistencia a la flexión	> 600 ak N.M/CM2
Certificados	NC ISO 9001: 2015
Organización metalográfica	M+M7C3+M23C6
Proceso	Moldeado en espuma perdida

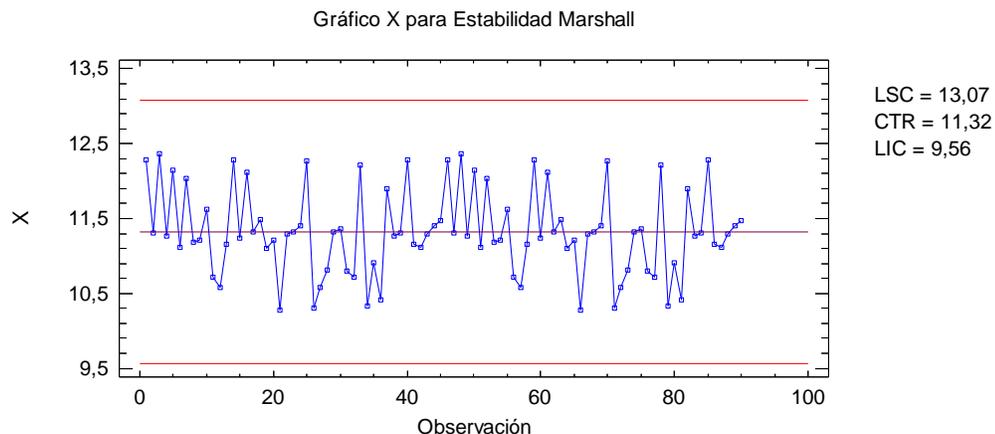
Para corroborar la garantía de las mejoras propuestas se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas, es decir, volver a realizar el estudio de capacidad y estabilidad para las variables críticas de calidad.

### *Paso 12: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad*

*Una vez propuestas las acciones de mejora se procede a su implantación para luego verificar la efectividad de las mismas. Para ello se evalúa la estabilidad y capacidad del proceso en cuanto a Estabilidad Marshall, Deformación y Densidad a través del tiempo. En función de los resultados de la comprobación anterior se realizan las correcciones necesarias (ajuste) o se convierten las mejoras alcanzadas en una forma estabilizada de ejecutar el proceso (actualización).*

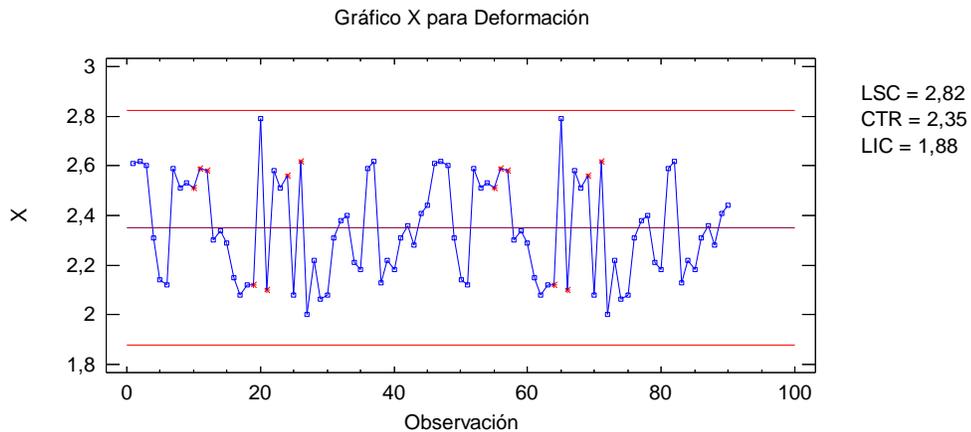
*A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la implantación de las mejoras propuestas en el Anexo No.11. Para ello se toman observaciones diarias cada 100 toneladas de producción de mezcla durante 30 días del mes de octubre de 2023. Los datos obtenidos se muestran en el **Anexo No.16**. Para el procesamiento se utiliza el software Statgraphics Centurion.*

### *Análisis de estabilidad con las mejoras implementadas*



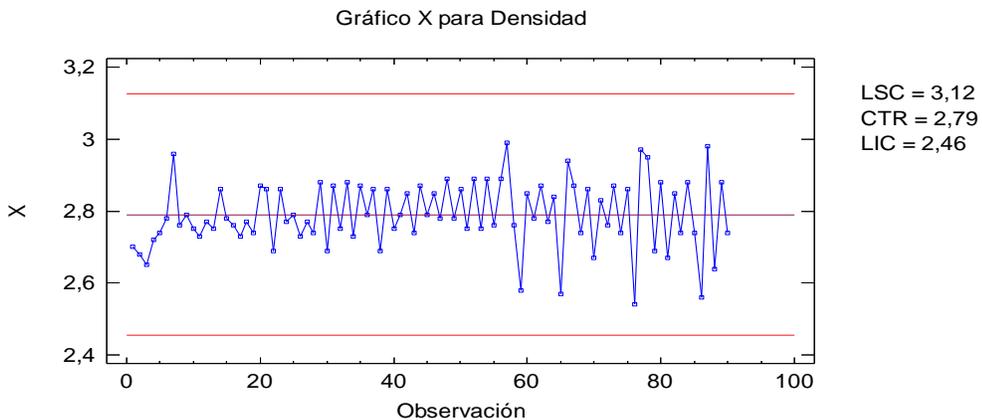
**Figura 3.8: Carta de control de individuales para la característica de calidad Estabilidad Marshall. Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede apreciar, posterior a la implementación de las mejoras en la entidad, el proceso presenta alta estabilidad, además no existen puntos fuera de los límites de control, en comparación con los 9 puntos en el análisis inicial, se puede comprobar una mejora palpable en el proceso para la variable Estabilidad Marshall.



**Figura 3.9: Carta de control de individuales para la característica de calidad Deformación. Fuente: Elaboración propia.**

En el gráfico anterior se puede observar que la característica de calidad Deformación se encuentra bajo control estadístico, al contener todas las observaciones dentro de los límites de control, mejorando considerablemente el índice de inestabilidad registrado inicialmente.



**Figura 3.10: Carta de control de individuales para la característica de calidad Deformación. Fuente: Elaboración propia.**

Para el caso de la característica de calidad Contenido de asfalto el proceso trabaja con causas comunes de variación, pues los puntos varían de forma aleatoria a lo ancho de la carta, sin seguir ningún patrón, es decir, se encuentra en control estadístico como mismo sucedió en el análisis inicial, siendo estable dicho proceso. Por tanto, se puede afirmar que su comportamiento es predecible en un futuro inmediato.

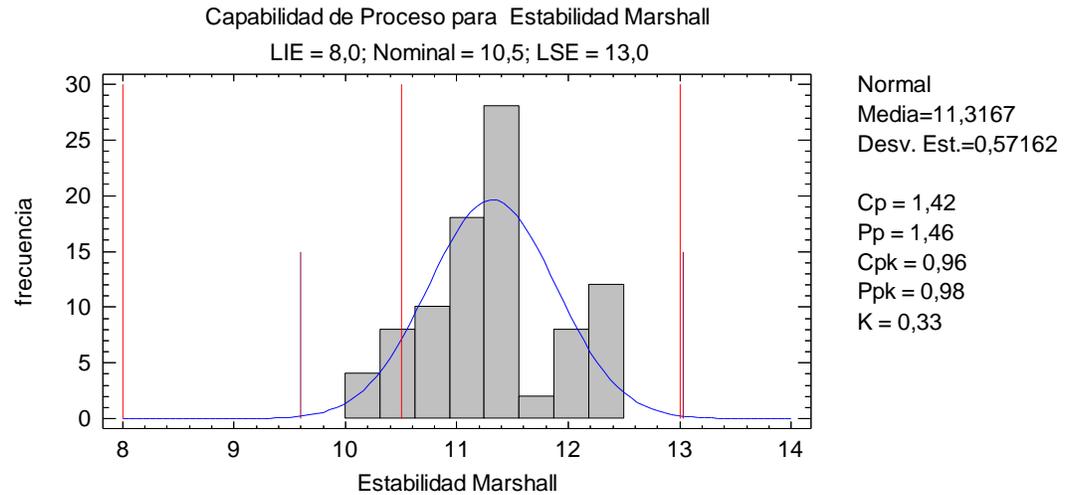
**Análisis de capacidad con las mejoras implementadas**

Característica de calidad: Estabilidad Marshall

En este caso se tiene una variable con doble especificación, por tanto, los valores medidos a partir de las muestras tomadas durante el proceso de producción de la mezcla de hormigón asfáltico se encuentren en el rango de 8 a 13 kN. Lo que se busca es ver si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones dadas anteriormente a partir de la implementación de las mejoras.

En la figura 3.10 se muestra el histograma de frecuencias para la Estabilidad Marshall y en la tabla 3.9 los índices de capacidad estimados a corto y a largo plazos. El índice de capacidad real del proceso (Cpk) posee un valor de 1,43 lo que indica que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones, lo que se considera un proceso clase 1, adecuado para el trabajo. Según el análisis anterior y de acuerdo a los valores obtenidos, el 0,18% de las muestras de hormigón asfáltico no cumplen con las especificaciones, equivalente a 1844 por cada millón de muestras tomadas.

En cuanto al Ppk se puede afirmar que con el desempeño del proceso a largo se tendrá un índice de desempeño real de 0,99 por lo que se prevé que el proceso aumente su capacidad de cumplir con las especificaciones de calidad. El nivel sigma de calidad, métrica utilizada para cuantificar el nivel de calidad de los procesos, permite ultimar que para la Estabilidad Marshall en el corto plazo es de 4,40376. Un resumen de los valores obtenidos para cada índice se muestra en la tabla 3.9.



**Figura 3.11: Análisis de capacidad para Estabilidad Marshall en el mes de octubre de 2023. Fuente: Elaboración propia.**

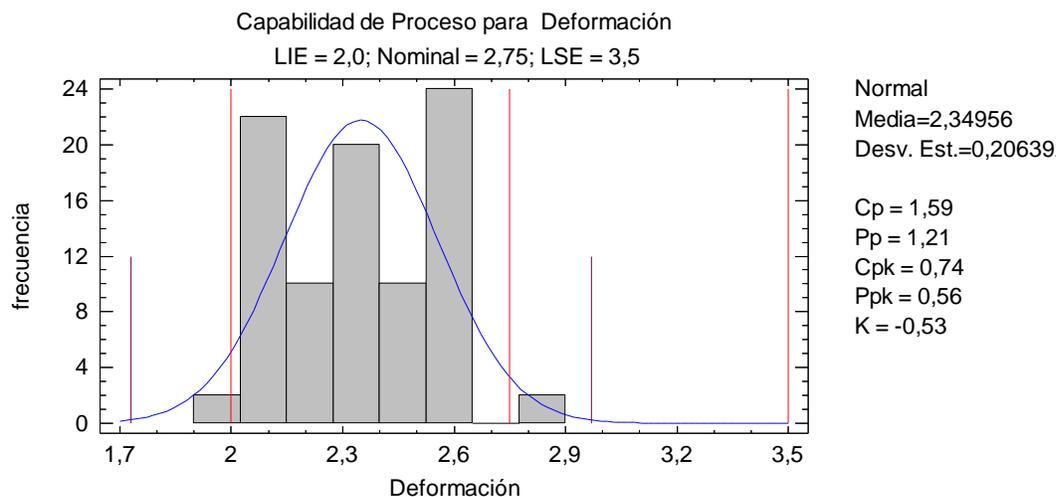
**Tabla 3.9: Índices de capacidad para Estabilidad Marshall en el mes de octubre de 2023. Fuente: Elaboración propia.**

Especificaciones LIE=8 LSE=13		
Índices	Capacidad a corto plazo	Desempeño a largo plazo
Sigma	0,586003	0,571621
Cp/Pp	1,42206	1,45784
Cpk/Ppk	0,957523	0,981614
Cpk/Ppk (superior)	0,957523	0,981614
Cpk/Ppk (inferior)	1,8866	1,93407
K		0,326667
% fuera de specs.	0,203582	0,161567
DPM	2035,82	1615,67
Nivel de Calidad Sigma	4,37256	4,44483

## Característica de calidad Deformación

En el caso de la deformación, la variable presenta doble especificación, por lo que los valores medidos deben de estar dentro de dicho intervalo. En la figura 3.11 se muestra que el proceso es capaz de cumplir con especificaciones, lo que se comprueba con el valor del índice de capacidad del proceso siendo igual a 1,58 por lo que se considera un proceso clase 1: adecuado para el trabajo, por lo cual se puede afirmar que posterior a la implementación de las mejoras no requiere modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria. En el caso del índice de desempeño real  $Ppk = 0,56$  por lo que se prevé que el proceso disminuya su capacidad de cumplir con especificaciones a largo plazo.

Las muestras que no cumplen con especificaciones se encuentran en el orden de 13355,0 por cada millón de muestras tomadas y el nivel de sigma a corto plazo es de 3,71573 y a largo plazo de 3,18411. Un resumen de los valores obtenidos para cada índice se muestra en la tabla 3.10.



**Figura 3.12: Análisis de capacidad para Deformación. Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 3.10: Índices de capacidad para Deformación en el mes de octubre de 2023.**  
Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones LIE=2,0 LSE=3,5		
Índices	Capacidad a corto plazo	Desempeño a largo plazo
Sigma	0,157682	0,206392
Cp/Pp	1,58547	1,21129
Cpk/Ppk	0,738947	0,56455
Cpk/Ppk (superior)	2,43199	1,85803
Cpk/Ppk (inferior)	0,738947	0,56455
K		-0,533926
% fuera de specs.	1,33169	4,51657
DPM	13316,9	45165,7
Nivel de Calidad Sigma	3,71685	3,19366

Característica de calidad Deformación:

Para el contenido de asfalto se está ante una variable que presenta doble especificación por lo que los valores obtenidos deben de estar entre un 5,3 y un 6% de asfalto por cada muestra tomada el proceso por el laboratorista.

En la figura 3.12 se puede apreciar que el proceso posee capacidad para cumplir con las dos especificaciones lo que se considera un proceso de categoría 1: adecuado para el trabajo, y no requiere modificaciones serias para lograr su óptimo desempeño. Se puede afirmar que para la característica de calidad Contenido de asfalto el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones de diseño. En cuanto al Ppk este revela un desempeño aceptable a largo plazo.

Las muestras que no poseen el % de contenido de asfalto fuera de especificaciones es de 0,0470789 mientras que las muestras desechadas se encuentran en el orden de las 470,789 por cada millón tomadas. Con respecto al nivel de calidad sigma se puede afirmar que es muy superior al que se obtuvo antes de la implementación de las mejoras siendo este de 4,80743. Un resumen de los valores obtenidos para cada índice se muestra en la tabla 3.11.

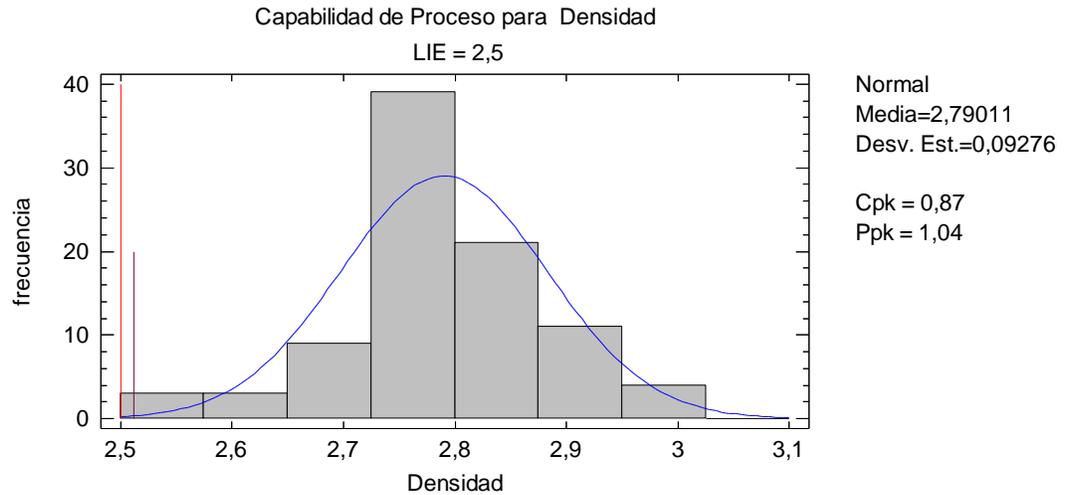


Figura 3.13: Análisis de capacidad para Densidad. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11: Índices de capacidad para el Densidad en el mes de octubre de 2023.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones LIE=2,0 LSE=3,5		
Índices	Capacidad a corto plazo	Desempeño a largo plazo
Sigma	0,111563	0,0927664
Cpk/Ppk	0,866811	1,04244
Cpk/Ppk (inferior)	0,866811	1,04244
% fuera de specs.	0,465535	0,0882076
DPM	4655,35	882,076
Nivel de Calidad Sigma	4,1	4,63

*Evaluación del impacto de la mejora*

En la tabla 3.12 se aprecia una comparación entre los resultados preliminares a la implementación de las mejoras a las variables críticas de calidad registradas en el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico obtenidos durante el mes de agosto de 2023 con los del mes de octubre del mismo año.

**Tabla 3.12. Evaluación del impacto de las mejoras en la UEB Brigada No.13 “Pavimentación”. Fuente: Elaboración propia.**

<b>Variable Estabilidad Marshall</b>		
<b>Aspectos</b>	<b>Agosto</b>	<b>Octubre</b>
Índice inestabilidad (%)	5,5	0
Sigma	1,34702	0,586003
Cp/Pp	0,61865	1,42206
% fuera de especificaciones	6,39415	0,203582
DPM	63941,5	1843,59
Nivel de calidad sigma	3,02251	2035,82
<b>Variable Deformación</b>		
<b>Aspectos</b>	<b>Agosto</b>	<b>Octubre</b>
Índice inestabilidad (%)	15,5	0
Sigma	0,157682	0,111563
Cp/Pp	1,56547	1,58547
% fuera de especificaciones	1,25195	1,33169
DPM	12519,5	13316,9
Nivel de calidad sigma	3,74081	3,71685
<b>Variable Densidad</b>		
<b>Aspectos</b>	<b>Agosto</b>	<b>Octubre</b>
Índice inestabilidad (%)	0	0
Cpk/Ppk (inferior)	-0,0241902	0,866811
% fuera de especificaciones	52,8929	0,465535
DPM	528929	4655,35
Nivel de calidad sigma	1,44	4,1

Como se puede apreciar, en la tabla anterior, para el caso de la característica de calidad Estabilidad Marshall, se observa una disminución considerable del índice de inestabilidad nulo por lo que se puede indicar que la variable muestra una notable mejoría en este aspecto. En cuanto al porcentaje fuera de especificaciones se ve una disminución de 2,2 a 0,18% lo que se considera bueno. Con respecto al nivel de calidad sigma se ve un aumento lo que indica que los valores obtenidos presentan una menor variabilidad.

En el caso de la variable deformación el proceso pasa a ser estable con la aclaración de que los puntos por causas comunes de comportamientos cíclicos en el proceso obtenidos posteriores a la implementación de las mejoras no influyen en la variable por tanto el índice de inestabilidad es de 0% mejorando en un 17%. En cuanto a la capacidad se observa una ligera disminución,

pero esta no influye en la habilidad de la variable de cumplir con especificaciones debido a que es superior a 1,33.

El Densidad se comporta estable en ambas etapas de medición, no sucede lo mismo con su capacidad llegando a ser muy inferior a los valores aceptables en una primera instancia y posterior a la implementación de las mejoras se comprueba un aumento tomando un valor cercano a 1,33 por lo que se considera regularmente aceptable estando en el límite de la clase 2. Con respecto al nivel de calidad sigma la variable expone un valor muy superior al que presentó en el análisis preliminar.

### **Etapa V: Controlar**

El objetivo de esta etapa es desarrollar un conjunto de actividades, con el propósito de mantener el estado y desempeño del proceso a un nivel aceptable.

#### *Paso 13: Monitorear el sistema*

Para el monitoreo de los resultados, se dirige a responder la pregunta: ¿Funciona el proceso de acuerdo con los patrones?, lo que consiste en verificar si el mismo está funcionando de acuerdo con los patrones establecidos, así como la ejecución de las acciones correctivas. Este monitoreo del proceso es permanente y forma parte de la rutina diaria de trabajo de todas las personas que participan en el proceso, siempre sobre la base del ciclo gerencial básico de Deming (PHVA).

Para este estudio se acuerda por el equipo de trabajo realizar un plan de control estadístico del proceso mensualmente con el objetivo de comprobar si se mantiene o no la mejora en el comportamiento del proceso.

#### *Paso 14: Cerrar y difundir el proyecto de mejora*

El objetivo de este último paso es asegurarse de que el proyecto de mejora es fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión. Finalmente se realiza una recopilación de todos los documentos utilizados en la investigación, donde se refleja el trabajo realizado, quedando redactado un documento final, el cual es depositado en la dirección técnica de la ECOING No.12 para ser consultado por el personal interesado.

Se refleja en el mismo los principales logros alcanzados luego de poner en práctica las propuestas de mejora, así como los principales impactos, entre los que sobresalen:

- Identificación de las variables críticas que influyen en la calidad final del producto.

- Estudios de estabilidad y capacidad aplicados al proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico.
- Disminución del % de desperdicio en la Brigada No.13 “Pavimentación”.

### **Cálculo del efecto económico estimado**

Como efecto económico del trabajo, se demuestra que el porcentaje de desperdicio por efecto de baja calidad en la producción se redujo en un 14,5% con respecto al mes de agosto, lo que muestra un mejoramiento que equivale a un incremento en la comercialización de 3228 toneladas más de asfalto, teniendo en cuenta la producción obtenida en la UEB durante el período analizado, lo que genera un beneficio económico de 0,7 millones de pesos.

### Conclusiones parciales del capítulo

1. El estudio de estabilidad y capacidad realizado evidencia que el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico es inestable y capaz de cumplir con especificaciones para para la característica Estabilidad Marshall (Proceso tipo B) mientras que, para la Deformación, se puede afirmar que es inestable e incapaz (Proceso tipo D) de cumplir con los parámetros. Para el Contenido de Asfalto el proceso se encuentra bajo control estadístico, pero posee baja capacidad (Proceso tipo C).
2. El análisis de las causas raíces se enfocó en la inestabilidad del proceso para la Deformación y la Estabilidad Marshall y la baja capacidad para el Contenido de Asfalto y la Deformación identificándose como más críticas escasez de asfalto, errores en el ajuste de la bomba del asfalto y la reducción drástica del combustible asignado para las operaciones de la empresa.
3. Los planes de mejora propuestos resultan pertinentes para el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico, pues se proponen acciones encaminadas a la mejora en función de las principales causas que inciden en su baja capacidad para las características Deformación y Densidad.

CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES GENERALES

Al término de la presente investigación se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Los planes de mejora propuestos resultan pertinentes para el proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico perteneciente a la UEB Brigada No.13 Pavimentación, pues se proponen acciones encaminadas a la mejora en función de las principales causas que inciden en su baja capacidad para la característica Contenido de Asfalto.
2. A partir de la utilización de técnicas de mapeo de procesos como los diagramas de flujo básico y el SIPOC se documentó la secuencia de operaciones que conforman la producción de mezcla de hormigón asfáltico.
3. Se realizó un análisis general de las tecnologías de pavimentación de carreteras empleadas en Cuba, haciendo énfasis en la calidad de ejecución de estos trabajos en la actualidad, denotándose la existencia de problemas tales como: indisciplina tecnológica e insuficiente calidad de algunos materiales utilizados.
4. El análisis de las causas se enfocó en la inestabilidad del proceso para la Deformación y la Estabilidad Marshall y la baja capacidad para la Densidad identificándose como más críticas el bajo nivel de calentamiento de los áridos por una avería en el quemador y el desgaste en las paletas del mezclador.

# RECOMENDACIONES



### RECOMENDACIONES

- Adoptar como política de trabajo el empleo de la metodología Seis Sigma en la organización, dado su impacto favorable sobre la calidad del producto.
- Continuar con la aplicación de la metodología Seis Sigma en la UEB Brigada No.13 Pavimentación para mejorar la capacidad del proceso.
- Divulgar los resultados en los diferentes eventos científicos convocados dentro del sector de la construcción como FECONS, con el objetivo de lograr su generalización.
- Verificar la efectividad de las acciones propuestas a partir de la evaluación de la implementación de la metodología Seis Sigma para la Producción de la Mezcla de Hormigón Asfáltico en Caliente.

# BIBLIOGRAFÍA



## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J. C. (2011, agosto 24). CONTROL ESTADISTICO: METODO 6M. *CONTROL ESTADISTICO*. <http://jairocaballero.blogspot.com/2011/08/metodo-6m-o-analisis-de-dispersion.html>
- Acosta, A., Gutiérrez Pulido, H., Duque, D., Regnault, M., & Tinoco, M. (2018). *Gestión de la Calidad; Una herramienta para la sostenibilidad organizacional*.
- Aguirre Rodríguez, Y. R., Echavarría Rodríguez, A. M., & Salazar Maldonado, G. F. (2020). *Diseño de un plan de mejoramiento para los procesos claves de la cadena logística de la empresa MARCA FRUTA RR*. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/4413>
- Aguirre Rodríguez Yeison Rene, Echavarría Rodríguez Ana María, & Salazar Maldonado Giovanni Francisco. (2020). *Diseño de un plan de mejoramiento para los procesos claves de la cadena logística de la empresa MARCA FRUTA RR*. [Universidad el Bosque]. [https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/4413/Aguirre.Rodriguez\\_Yeison\\_Rene\\_2020.pdf?sequence=5](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/4413/Aguirre.Rodriguez_Yeison_Rene_2020.pdf?sequence=5)
- Alonso Aenlle, A., Morales Fournier, J., Garrido Acosta, C., Abreu Hernández, D. O., Martínez Rojo, T. E., Alonso Aenlle, A., Morales Fournier, J., Garrido Acosta, C., Abreu Hernández, D. O., & Martínez Rojo, T. E. (2020). Determinación y zonificación del grado de desempeño de los asfaltos para Cuba según la metodología Superpave. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(2), 400-419. <https://doi.org/10.14482/inde.38.2.620.19>
- Altamirano, K. A. L., Zamora, E. G. Z., Masache, O. R. C., & Lituma, M. (2021). Modelo de competitividad a través de la calidad e innovación como factores de rentabilidad empresarial. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 990-1005.
- Alvarado, K., & Pumisacho, V. (2017). Prácticas de mejora continua, con enfoque Kaizen, en empresas del distrito metropolitano de Quito: Un estudio exploratorio. *Intangible Capital*, 13, 479. <https://doi.org/10.3926/ic.901>
- Alvarado-Chávez. (2018). *Mejora de Procesos ERP's (Enterprise Resource Planning) con Lean Six Sigma*. 55.

- Amélica Isabel Céspedes Ojeda. (2019). *Proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente empleando una planta de asfalto móvil*. [Universidad de Piura]. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4265/TSP\\_ICI\\_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4265/TSP_ICI_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Antony, J. (2013). What does the future hold for quality professionals in organisations of the twenty-first century? *The TQM Journal*, 25(6), 677-685. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2013-0079>
- Arias, G. M., & Rojas, A. (2019). *Propuesta de planificación de frecuencias y cantidades para el abasto de mercadería a lo largo del territorio nacional mediante el análisis de clúster de la empresa Gollo del Grupo Unicomer Costa Rica*. [https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/957/1/TFG\\_Ulatina\\_Gabriela\\_Arias\\_Rojas.pdf](https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/957/1/TFG_Ulatina_Gabriela_Arias_Rojas.pdf)
- Barbosa, S. (2021). Conceptos de calidad: Todo lo que usted necesita saber. *paripassu*. <https://www.paripassu.com.br/es/blog/conceptos-de-calidad>
- Becerra Lois, F. Á., Andrade Orbe, A. M., & Díaz Gispert, L. I. (2019). Sistema de gestión de la calidad para el proceso de investigación: Universidad de Otavalo, Ecuador. *Actualidades Investigativas en Educación*, 19(1), 571-604. <https://doi.org/10.15517/aie.v19i1.35235>
- Beltrán Sanz, J., Carmona Calvo, M. A., Carrasco Pérez, R., Rivas Zapata, M. A. ., & Tejedor, F. (2002). *Guía para una gestión basada en procesos*.
- Cabello, S., & Jhonatan, M. (2019). *Gráficos de control para el coeficiente de variación multivariante: Estado actual y análisis comparativo*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/129499>
- Campos Avendaño, G. A. (2017). El control de los procesos en la manufactura: Alternativas a los gráficos de control sintéticos y su optimización. <https://editorial.konradlorenz.edu.co/2018/03/el-control-de-los-procesos-en-la-manufactura.html>. <https://doi.org/10.14349/9789585804715>
- Cardiel Ortega, J. J., Baeza Serrato, R., & Lizárraga Morales, R. A. (2017). Development of a system dynamics model based on Six Sigma methodology. *Ingeniería e Investigación*, 37(1), 80. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n1.62270>
- Carhuancho-Mendoza, I., Nolazco-Labajos, F., Guerrero Bejarano, M., & Siu, D. (2021). Calidad de servicio en hospitales de nivel III de la ciudad de Lima, Perú. *Revista Venezolana de*

- Gerencia, 26, 693-707. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e5.44>
- Catalano, Dillon, & Re. (2021). *Estrategia para el control estadístico de calidad de un proceso multivariado*. <https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2021/05/Articulo2-RADI17.pdf>
- Chatterjee. (2016). *Applying Lean Six Sigma in the Pharmaceutical Industry*.
- Clemente Domínguez, W. J. (2022). *Propuesta de mejora de la calidad de los procesos de la Empresa Reacenvsp S.A.* [Thesis, Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60348>
- Córdova Diaz, F. M. (2020). *Diseño de un sistema de control estadístico de la calidad para el área de producción en la Fábrica de Medias Gardenia*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10511>
- Costa, L. B. M., Godinho Filho, M., Fredendall, L. D., & Gómez Paredes, F. J. (2018). Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: A systematic literature review. *Trends in Food Science & Technology*, 82, 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.002>
- Curbelo, D. (2013). *Procedimiento para la evaluación de la calidad percibida de servicios de asistencia de salud. Caso de estudio: Hospital Provincial de Cienfuegos* [Tesis de maestría]. Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Díaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2633>
- Díaz-Castellanos, E. E., Díaz- Ramos, C., Barroso-Moreno, L. A., & Pico-González, B. (2015). Desarrollo de un modelo matemático para procesos multivariados mediante Balanced Six Sigma. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(3), 419-430.
- Esfandabad, A. S., Motevalizadeh, S. M., Sedghi, R., Ayar, P., & Asgharzadeh, S. M. (2020). Fracture and mechanical properties of asphalt mixtures containing granular polyethylene terephthalate (PET). *Construction and Building Materials*, 259, 120410. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120410>
- Ferreri, Noemí & Quagliano, Marta. (2020) (s. f.). *PROPIEDADES DISTRIBUCIONALES DE INDICES DE CAPACIDAD DE PROCESOS BAJO DISTRIBUCIONES NO NORMALES*.
- Figueroa Infante, A. S., Reyes Lizcano, F. A., Hernández Barrera, D., Jiménez, C., & Bohórquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 5-15.

- Flores, M., Montero, M., & Mendoza, E. (2018). "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL ASFALTO MODIFICADO DE LA EMPRESA C.A.H BAJO LA NORMA OHSAS 18001" [Universidad Nacional del Callao].  
[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4159/MARCELO%2C%20MEGO%20Y%20MEJIA\\_PREGRADO\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4159/MARCELO%2C%20MEGO%20Y%20MEJIA_PREGRADO_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fontalvo-Herrera, T. J., De la Hoz-Granadillo, E., & Morelos-Gomez, J. (2017). Productivity and its Factors: Impact on Organizational Improvement. *Dimensión Empresarial*, 16(1).  
<https://doi.org/10.15665/rde.v15i2.1375>
- García Guerra, Y. (2014). *Aplicación de la Metodología Seis Sigma para el mejoramiento de la calidad de las reparaciones, en la Agencia SASA Villa Clara* [Tesis para optar por el Título de académico de Master en Ingeniería Industrial]. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- García, Ms. A. B., Díaz, I. A. C., & González, J. A. G. (2017). Implementación de la metodología seis sigma en la gestión de las mediciones. *Universidad y Sociedad*, 9(2), Art. 2.
- Garza Ríos, R. C., González Sánchez, C. N., Rodríguez González, E. L., & Hernández Asco, C. M. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 19-35.
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S., & Godfrey, P. (2012). The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM): Combining Lean, Six Sigma and systems thinking. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(4), 315-338.  
<https://doi.org/10.1108/20401461211284770>
- Gijo, E. V., & Scaria, J. (2014). Process improvement through Six Sigma with Beta correction: A case study of manufacturing company. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1-4), 717-730. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5483-y>
- Gómez Bolívar, C. D. (2019). *Guía metodológica para la aplicación del lean six sigma en procesos de fabricación de plásticos en multinacionales colombianas* [Bachelor Thesis, Fundación Universidad de América].  
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7502>
- Gómez Gómez, J. (2017). *Mejora en la calidad del huevo de ponedora en el proceso de producción en la UEB Yaguaramas de la Empresa Avícola Cienfuegos*. Universidad de

Cienfuegos.

Guardamino, F. Y., Barrera Huamán, C. E., & Samaritano Ayala, E. J. (2021). *Propuesta de mejora del proceso de venta y despacho de comida a estudiantes universitarios en un concesionario de alimentos dentro del comedor central de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Caso: "Lucet S.A.C." en el 2019.* <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18098>

Gutiérrez & de la Vara. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.* <https://docer.com.ar/doc/n55x1vs>

Gutiérrez, P. (2010). *EL CICLO PHVA.*

Halim Lim, S. A., Antony, J., Arshed, N., & Albliwi, S. (2017). A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(1-2), 176-189. <https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1050181>

Hernández Carreón, M. I. (2019). *Propuesta de mejora de la línea de producción de harina de pulpa de café Pulphari, mediante la aplicación del control estadístico de proceso de la Empresa Techver S.A. DE C.V. de Xico, Ver.* [Thesis, Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Región Xalapa.]. <https://cdigital.uv.mx/>

Hernández Pedrera, C., & Da Silva Portofilipe, F. (2016). Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad. *Tecnología Química*, 36(1), 104-116.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1998). *Metodología de la investigación* - (Edición Segunda). [https://www.academia.edu/25455344/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_Hernandez\\_Fernandez\\_y\\_Baptista\\_2010\\_](https://www.academia.edu/25455344/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_Hernandez_Fernandez_y_Baptista_2010_)

Hidalgo Santana, B. A. (2022). *Propuesta de implementación de un sistema de control estadístico de procesos en la Empresa Casa Comercial Don Pancho.* [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60650>

Hossain, M., Prybutok, V. R., Abdullah, A., & Talukder, M. (2010). The development and research tradition of statistical quality control. *International Journal of Productivity and Quality Management - Int J Prod Qual Manag*, 5. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2010.029505>

- Idrissi, I., & Benazzouz, B. (2019). *LEAN O SIX SIGMA FOR INDUSTRIA ALIMENTARIA? PERSPECTIVAS DESDE PREVIOUS INVESTIGACIONES Y CASO ESTUDIOS EN INDUSTRIA*. 10(4), 1732-1739.
- ISO 13053: 2022. (s. f.). *Métodos cuantitativos en la mejora de procesos—Six Sigma—Parte 1: Metodología DMAIC*.  
<https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/29/52901.html>
- Janet, L. D. E. (2021). *Evaluación del asfalto recuperado por los métodos de destilación y rotavapor e impacto en el Grado de Desempeño*. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3160>
- Jared Roberto Ocampo. (2012). *APLICANDO LA METODOLOGIA DMAIC-SIM A LA MEJORA DEL TIEMPO DE ATENCIÓN EN MIGRACION EN EL AEROPUERTO DE SAN PEDRO SULA*. <https://www.unitec.edu/innovare/published/volume-1/number-1/113-aplicando-la-metodologia-dmaic-sim-a-la-mejora-del-tiempo-de-atencion-en-migracion-en-el-aeropuerto-de-san-pedro-sula.pdf>
- Junco Villacres, G. A. (2022). *Propuesta de mejora al proceso de fabricación de embutidos en la Empresa La Verónica*. [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.].  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60571>
- Kapre Varad, B., & Sekar, J. (2020). Quality analysis and quality control in building construction with sig sigma. *Journal of Critical Reviews*, 7(11), 412-418.
- Leal, E. B. A., & R, M. J. C. (2021). Metodología Seis Sigma para la Calidad de Instalación de Servicios y Reclamos en el Sector de Telecomunicaciones. *RECITIUTM*, 8(1), Art. 1.
- López Caiza, D. R., & Álvarez Sánchez, N. E. (2017). *Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles (mezcla asfáltica)* [Bachelor Thesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14565>
- López-Díaz, A., Ochoa-Díaz, R., & Grimaldo-León, G. E. (2018). Use of BOF slag and blast furnace dust in asphalt concrete: An alternative for the construction of pavements. *DYNA*, 85(206), 24-30.
- Martínez, J. G. B., Joaquín, N. I. R., Daza, H. D. T., Quintana, H. A. R., & Cárdenas, J. C. R. (2020). Behavior of a draining mixture composed by recycled concrete aggregates and

- rubberized asphalt concrete. *Respuestas*, 25(1), 11.
- Mayoral, M. A. M., & Socuéllamos, J. M. (2022). *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos*. Universidad Miguel Hernández.
- Medina, S., & Jair, B. (2019). Mejora del proceso de envasado de galoneras de yogurt en planta industrial de ATE para optimización de rendimientos. *Universidad San Ignacio de Loyola*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2804157>
- Montgomery, D. C. (2009). *Control estadístico de la calidad / Douglas C. Montgomery; traducción: Rodolfo Piña García* (3a. edición).
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.
- Morales Zuñiga, V. P. (2019). Mejora continua de procesos para optimizar la gestión de compras de la unidad ejecutora 020 de la dirección de sanidad policial del Perú, 2019. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10742>
- Morcote Católico, C. A. (2019). *Evaluación del desempeño mecánico de mezclas asfálticas modificadas con escorias de acero*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76481>
- Muñoz, G. A. D., & Duque, D. A. S. (2021). La calidad como herramienta estratégica para la gestión empresarial. *PODIUM*, 39, Art. 39. <https://doi.org/10.31095/podium.2021.39.2>
- Nasimba Chanataxi, D. A. (2017). *Aplicación de la escoria de fundición de hierro como agregado en las mezclas de hormigón para pavimentos rígidos* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14900>
- Navarrete, F. J. B. (2021). CALIDAD: UN NUEVO ENFOQUE CONCEPTUAL Y DEFINICIONES. *Revista Ingeniería Industrial*, 20. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/5131>
- Navarro Silva, O., Ferrer Reyes, W., Burgos Bencomo, O., Navarro Silva, O., Ferrer Reyes, W., & Burgos Bencomo, O. (2018). La calidad como factor estratégico en el desarrollo competitivo de las pequeñas y medianas empresas. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 171-174.
- NC 253: (2005). *CARRETERAS—MATERIALES BITUMINOSOS—HORMIGÓN ASFÁLTICO CALIENTE—ESPECIFICACIONES*. <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2005/NC%20253%20%20a2>

005%2027p%20gkv.pdf

- NC ISO 9000. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad—Fundamentos y vocabulario*.
- NC ISO 9001. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. La Habana. Oficina Nacional de Normalización*.
- Ñaña Hurtado, H. N. (2018). Metodología PHVA para Mejorar la Productividad en una Empresa Maderera. *Repositorio Institucional - UPLA*.  
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1072>
- Ocampo, J. R., & Pavón, A. E. (2012). *Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim (Integrating Six Sigma DMAIC methodology with discrete event simulation in Flexsim)*. <http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RP147.html>
- Ochoa Díaz, R., Grialdo León, G. E., Orjuela Fajardo, M., & Muñoz León, C. (2018). Análisis del uso de escoria granulada en la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos. *Espacios*, 39(37), 2.
- Olano Garces, L. V. (2019). Modelos y normas para la evaluación de la gestión de calidad de los procesos: Una revisión sistemática de la literatura. *Universidad Peruana Unión*.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2514>
- Orlandoni, G. (2012a). Gestión de la Calidad: Control Estadístico y Seis Sigma. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14.
- Orlandoni, G. (2012b). Gestión de la Calidad: Control Estadístico y Seis Sigma. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14.
- Ormaza Cevallos, M. G., & Guerrero-Baena, M. D. (2021). Gestión de calidad y crecimiento empresarial: Análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 318-333.  
<https://doi.org/10.52080/rvg93.22>
- Ortiz Aguilar, W., Ortega Chávez, W., Valencia Cruzaty, L. E., González Vásquez, Á. E., Gamarra Mendoza, S., Ortiz Aguilar, W., Ortega Chávez, W., Valencia Cruzaty, L. E., González Vásquez, Á. E., & Gamarra Mendoza, S. (2021). La educación estadística del ingeniero: Reto de la educación superior. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 307-318.
- Padilla, O., & Nathaly, E. (2021). *Optimización del proceso de soporte técnico de fibra óptica basado en la metodología Seis Sigma. Caso: Empresa de servicios de*

- telecomunicaciones. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/19260>
- Palma, R. J. C., Merizalde, C. K. B., & Flores, F. M. F. (2018). Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001:2015. *RECIMUNDO*, 2(1), Art. 1. <https://doi.org/10.26820/recimundo/2.1.2018.625-644>
- Pérez, M., & León, P. (2018). *DMAIC as a strategy for hardness control in the manufacture of cookies*. 2.
- Pérez-López, E., & García-Cerdas, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Revista Tecnología en Marcha;Vol(27)* <https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2070>
- Pineda Tenor, D. (2013). Aplicación del Modelo Seis Sigma en el Laboratorio Clínico. *Asociación Española de Biotecnología médica*, 3, 755-774.
- Pingo, P. M. A., Poicon, E. C. L. F., Vargas, S. R., & Tito, L. P. D. (2020). Gestión de la calidad: Un estudio desde sus principios. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), Art. 90. <https://doi.org/10.37960/rvg.v25i90.32406>
- Pino, E. V. G. D., Murguía, R. P., & Villa, Y. B. (2013). Metodología para la gestión del proceso de investigación de un programa universitario. *INGE CUC*, 9(1), Art. 1.
- Ramirez, N. F., Rendon, A. L. F., & Florez, J. M. C. (2020). *Notas de control estadístico de la calidad*. Editorial Universitaria (Cuba).
- Ramírez, R., & Yurani, D. (2019) (s. f.). *Herramientas y técnicas de mejora de la calidad en la industria de alimentos latinoamericana y su aporte a la competitividad organizacional*. (26).
- Ricardo-Cabrera, H., Medina-León, A., Abreu-Ledón, R., Gómez-Dorta, R. L., & Nogueira-Rivera, D. (2018). Modelo para la mejora de procesos en contribución a la integración de sistemas. *Ingeniería Industrial*, 39(1), 15-23.
- Rocha, A. L. S. da, & Oliveira, M. B. de. (2019). STATISTICAL QUALITY CONTROL IN A SUPERMARKET CHAIN OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 5. <https://doi.org/10.32358/rpd.2019.v5.381>
- Rubio, R. (2016). *Aplicación de la metodología Lean Seis Sigma en la industria de alimentos: Caso de estudio del proceso de llenado de cubos*. <https://ri.iberomx.com/handle/iberomx/935>
- Saavedra García, M. L., Camarena Adame, M. E., & Tapia Sánchez, B. (2018). Calidad para la

- competitividad en las micro, pequeñas y medianas empresas, de la Ciudad de México. *Revista Venezolana de Gerencia*, 22(80), 551. <https://doi.org/10.31876/revista.v22i80.23174>
- Saglimbeni Jarrín, E. V. (2017). *Aplicación de metodología dmaic (six sigma) para la reducción de reproceso de información estadística de control nutricional* [MasterThesis, Espol]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/37706>
- Salazar, E. R., & Simón-Fermín, J. (2016). Un índice de capacidad de procesos para distribuciones multivariadas normales de variables correlacionadas y no correlacionadas. *Ingeniería Industrial*, 034, Art. 034. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2016.n034.1337>
- Sánchez Fernández, M. Y. (2017). Diseño y comparación del pavimento flexible mejorado por el método del reciclaje en la carretera Lima-Canta (km 78+000 al km 79+000), Lima 2017. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19623>
- Sánchez Flores. (2013). *Desarrollo de una aplicación para gráficos de control de procesos industriales*. [http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/proyectosfinmaster/proyecto\\_417.pdf](http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/proyectosfinmaster/proyecto_417.pdf)
- Sangabriel-Guillen, O., Temblador-Pérez, M. del C., & Rosa-Hernández, R. M. D. la. (2017). Use of Value Driver Maps for Six Sigma Project Selection: A Case Study on Sales and Marketing for Soft Drinks Bottling Industry. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XVIII(1), 55-65.
- Sathe Shantanu & Allampallewar. Satish B. (2017). *Application of Six Sigma in Construction*. 6(11), 21839-21845. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0611131>
- Shahin, A. (2006). SERVQUAL and model of service quality gaps: A framework for determining and prioritizing critical factors in delivering quality services. *Service quality—An introduction*. [https://www.academia.edu/1370711/SERVQUAL\\_and\\_model\\_of\\_service\\_quality\\_gaps\\_A\\_framework\\_for\\_determining\\_and\\_prioritizing\\_critical\\_factors\\_in\\_delivering\\_quality\\_services](https://www.academia.edu/1370711/SERVQUAL_and_model_of_service_quality_gaps_A_framework_for_determining_and_prioritizing_critical_factors_in_delivering_quality_services)
- Shirazi, S., & Pintelon, L. (2012). Lean Thinking and Six Sigma: Proven techniques in industry. Can they help health care? *International Journal of Care Pathways*,. <https://doi.org/10.1258/jicp.2012.012016>
- Socconini Pérez Gómez Luis Vicente. (2015). *CERTIFICACIÓN LEAN SIX SIGMA YELLOW BELT. Para la excelencia en los negocios*. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A DE C.V.

[http://www.sancristoballibros.com/libro/certificacion-lean-six-sigma-yellow-belt\\_59477](http://www.sancristoballibros.com/libro/certificacion-lean-six-sigma-yellow-belt_59477)

- Sriram & Revathi. (16d. C.). *Implementation of Six Sigma Concepts in Construction Project for Ensuring Quality Improvements*. 5(4), 4913-4921.
- Sulistiyowati, W., Handoko, D. T., & Catur Wahyuni, H. (2020). Implementation of Statistical Process Control Method and Root Cause Analysis on Quality of Bitter Tannin Tea Tin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 519, 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/519/1/012041>
- Tech, Madke, & Verma. (2020). *A Review on Application of Statistical Quality Control Tools in the Manufacturing Industry*. 6(4). [https://ijsret.com/wp-content/uploads/2020/07/IJSRET\\_V6\\_issue4\\_599.pdf](https://ijsret.com/wp-content/uploads/2020/07/IJSRET_V6_issue4_599.pdf)
- Tong, J. P. C., Tsung, F., & Yen, B. P. C. (2004). A DMAIC approach to printed circuit board quality improvement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23(7), 523-531. <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1721-z>
- Van Dyk, D. J., & Pretorius, L. (2014). A Systems Thinking Approach To The Sustainability Of Quality Improvement Programmes. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 25(1), 71. <https://doi.org/10.7166/25-1-696>
- Villate, M. A., Vásquez, E. J., Paula, J. R., & Chicaiza, N. F. (2022). Implicaciones de la gestión de calidad en la sostenibilidad de empresas ecuatorianas. *Revista Colombiana de Ciencias Administrativas*, 4(1), Art. 1. <https://doi.org/10.52948/rcca.v4i1.553>
- Xiaofen, T. (2013). Investigation on quality management maturity of Shanghai enterprises. *The TQM Journal*, 25(4), 417-430. <https://doi.org/10.1108/17542731311314890>
- Zúñiga, W. R., Ledea-Lozano, O. E., Ortiz-Bode, T. T., Fernández-Ruiz, R., & Fernández-Cervera, M. (2022). Aplicación del control estadístico de procesos en la fabricación del OLEOZON® tópico. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 53(2), Art. 2.

ANEXOS



ANEXOS

Anexo No.1

Cuadro comparativo de los precursores de calidad. Fuente: Contreras (2018)

Maestros	Deming	Ishikawa	Juran	Crosby	Taguchi
<b>Enfoque general</b>	Reducir la variabilidad mediante una mejora continua.	Control de calidad en toda la organización y se enfoca al servicio continuo al cliente.	Enfoque en la administración general en la calidad, en especial en los elementos humanos.	Prevención, no inspección	Función de Pérdida y diseños experimentales
<b>Ideas</b>	Mejorar el sistema de producción y el servicio de forma continua y permanente	El primer paso en la calidad es conocer las necesidades de los clientes.	Conceptualiza el principio de Pareto	La vacuna que se divide en integridad, sistemas, operaciones y políticas	Diseño robusto. Elevar precios. Disminuir pérdidas
<b>Definición de calidad</b>	Un grado predecible de uniformidad y confiabilidad a un costo bajo y adecuado para el mercado	Practicar el control de calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor.	Conveniencia para su utilización (satisfacer las necesidades del cliente)	Apego a los requerimientos	Define la calidad en términos de la pérdida generada por el producto a la sociedad.
<b>Filosofías</b>	Los 14 principios para transformar la gestión en la organización	El control total de la calidad es una filosofía que se debe convertir en uno de los principales objetivos de la compañía	Trilogía de Juran (planeación, control y mejoramiento de la calidad)	Creó el concepto de "Cero Defectos"	No se puede reducir el costo sin afectar la calidad. Se puede mejorar la calidad sin afectar el costo. Se puede disminuir los costos si se mejora la calidad
<b>Objetivo de las filosofías</b>	Mejorar la posición competitiva	Mejoramiento continuo	Disminuir el costo de la calidad	Disminuir costos	Búsqueda de deficiencias en el sistema tradicional para identificar problemas de diseño.
<b>Aportes</b>	Propone que la producción de bienes y servicios requiere de un sistema basado en el control estadístico.	Propone que la producción de bienes y servicios competitivos requiere de un sistema basado en el control estadístico.	Su plan fue hacerlo todo: filosofía, escritura, lectura y consultar.	Realizar el trabajo libre de defectos para los clientes y asociados.	Función de pérdida, mejora continua, variabilidad, diseño del producto, optimización del diseño del proceso. Ingeniería de calidad.



<b>Objetivo de calidad</b>	Cero imperfecciones	Cero imperfecciones		Minimizar el costo de la calidad	Minimizar el costo de la calidad	Minimizar el costo de la calidad
----------------------------	---------------------	---------------------	--	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

**Anexo No.2**

**Posibles estados de un proceso y estrategias de mejora. Fuente: elaborado a partir de: Gutiérrez y De la Vara (2013)**

Estado del proceso	Estrategias de mejora
<p><u>Proceso tipo A: Estable y capaz</u></p> <p>Proceso sin problemas serios de calidad.</p>	<p>Las estrategias de mejora se enfocan en mantener en tal estado el proceso, así como buscar alternativas para mejorar su productividad y operabilidad.</p> <p>Actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y mejorar en su caso, la aplicación de las cartas de control.</li> <li>• Explorar alternativas para mejorar la confiabilidad e incrementar la productividad y operabilidad del proceso.</li> </ul>
<p><u>Proceso tipo B: Capaz e inestable</u></p> <p>Es un proceso que funciona bajo causas especiales de variación, pero estas son tales que se está relativamente satisfecho con el desempeño del proceso en términos de especificaciones (su índice de defectivo es bajo, por tanto, su capacidad es buena). En este tipo de procesos, su distribución se desplaza o tiene cambios significativos; pero siempre está dentro de especificaciones. Ante esto, se tiene cierta vulnerabilidad porque en un momento dado esa inestabilidad puede ocasionar problemas en términos de especificaciones.</p>	<p>Si se quiere conocer y mejorar tal proceso, habría que empezar por identificar y eliminar las causas de la inestabilidad; por ello, es necesario aplicar las mismas actividades sugeridas para el proceso tipo D.</p>
<p><u>Proceso tipo C: Estable e incapaz</u></p> <p>Procesos catalogados como estables, pero con baja capacidad de cumplir con especificaciones. Se está ante un proceso establemente malo que genera piezas fuera de especificaciones o piezas que no cumplen con ciertos atributos de calidad.</p>	<p>La estrategia se orienta a mejorar la capacidad del proceso.</p> <p>Actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y mejorar la aplicación de las cartas de control.</li> <li>• Investigar las causas de la baja capacidad mediante un proyecto de mejora.</li> <li>• Volver a evaluar el estado del proceso.</li> </ul>
<p><u>Proceso tipo D: Inestable e incapaz</u></p> <p>Procesos que tienen baja capacidad para cumplir con especificaciones y que, además, son altamente inestables debido a que las causas de variación son muy frecuentes. Un proceso muy inestable se caracteriza por estar pobremente estandarizado, en donde es posible que haya mucha variación debido a materiales, métodos, mediciones, diferencias en las condiciones de operación de la maquinaria y desajustes, entre otros.</p>	<p>Orientar esfuerzos de mejora a detectar y eliminar las causas de inestabilidad. Más que tratar e identificar que sucedió en cada punto especial, es mejor orientar se a identificar los patrones que sigue tal inestabilidad, para de esa manera generar conjeturas sobre esa inestabilidad.</p> <p>Actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar la aplicación y uso de las cartas de control.</li> <li>• Buscar y eliminar las causas de la inestabilidad.</li> <li>• Volver a evaluar el estado del proceso.</li> </ul>

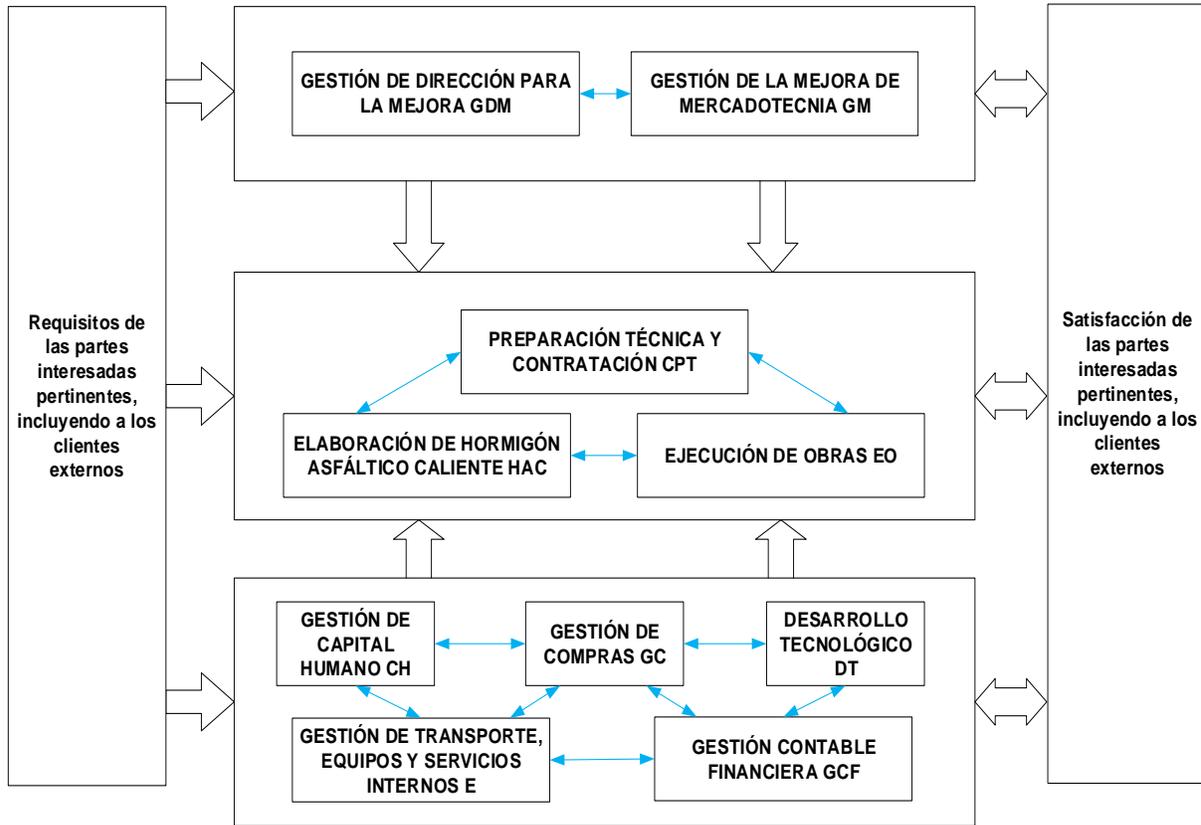
Anexo No.3

Cuadro comparativo de las metodologías de mejoramiento de procesos. Fuente: Guardamino, Barrera y Samaritano (2021)

	<b>Reingeniería</b>	<b>Rediseño de procesos</b>	<b>Mejoramiento continuo de procesos</b>	<b>Seis Sigma</b>	<b>BPM</b>
Características principales	Implica cambio radical en los procesos y/o en el modelo de negocio. Se realizan cambios mayores o se introduce nueva tecnología.	Se realizan cambios importantes en procesos críticos. Se diseñan nuevos procesos para soportar nuevos servicios o líneas de productos.	Implica cambios graduales y continuos en los procesos de negocio	Usado principalmente en procesos de manufactura. Requiere el uso de herramientas estadísticas derivadas del control estadístico de procesos.	Se introducen herramientas tecnológicas para la automatización y control de los procesos. Implantado principalmente en procesos de servicios.
Impacto y problemas	Se pueden tener impactos considerables en el desempeño organizacional. Ha caído en desuso por su asociación con procesos de reestructuración.	Es la metodología más usada debido a su amplio rango de aplicación como por ejemplo el rediseño de procesos previo a la implantación de sistemas ERP, introducción de nuevos productos, innovación en el servicio, entre otros	Puede tener impactos limitados pero continuos en el tiempo. No requiere de grandes cambios organizacionales.	Todo proyecto de seis sigma debe producir un retorno a la inversión para que sea reconocido como tal. Requiere un gran esfuerzo para obtener y analizar los datos con herramientas estadísticas.	Muchas compañías han reportado importantes beneficios en su implantación en términos de mejoramiento de términos de respuesta. Requiere una inversión importante en tecnología informática.
Pasos de la metodología	a) Identificación de los procesos estratégicos. b) Desarrollo de la visión de los nuevos procesos mejorados. c) Creación y rediseño de procesos. d) Preparación y prueba de los nuevos procesos.	a) Planear el proyecto. b) Analizar los procesos. c) Diseñar o rediseñar el proceso. d) Desarrollar los recursos para el proceso mejorado. e) Gestionar la transición hacia el nuevo proceso.	a) Organizar el mejoramiento. b) Entender los procesos. c) Mejorar los procesos. d) Medición, control y retroalimentación. e) Mejoramiento continuo.	a) Definir b) Medir c) Analizar d) Mejorar e) Controlar	a) Diseñar y modelar el proceso. b) Definir las reglas del negocio. c) Asignar recursos. d) Probar el proceso. e) Analizar indicadores.

Anexo No.4

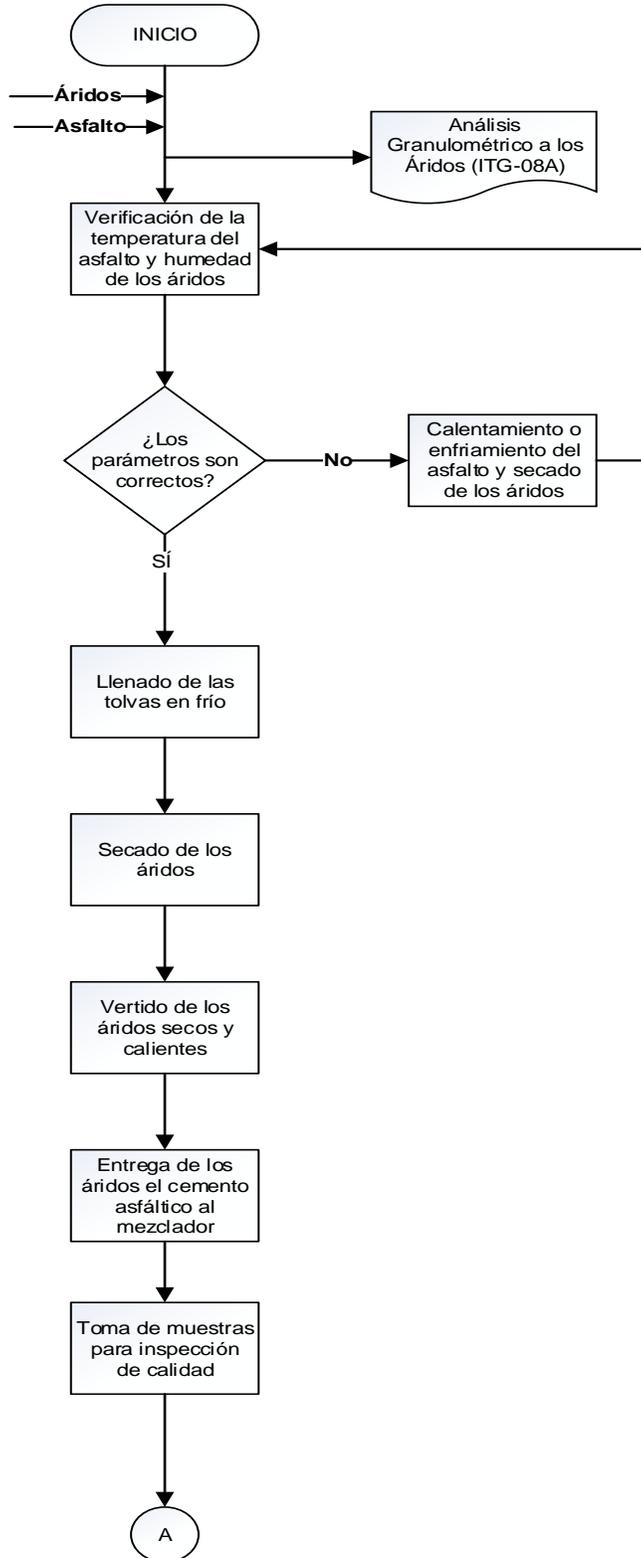
Mapa de procesos de la ECOING NO.12. Fuente: ECOING NO.12.

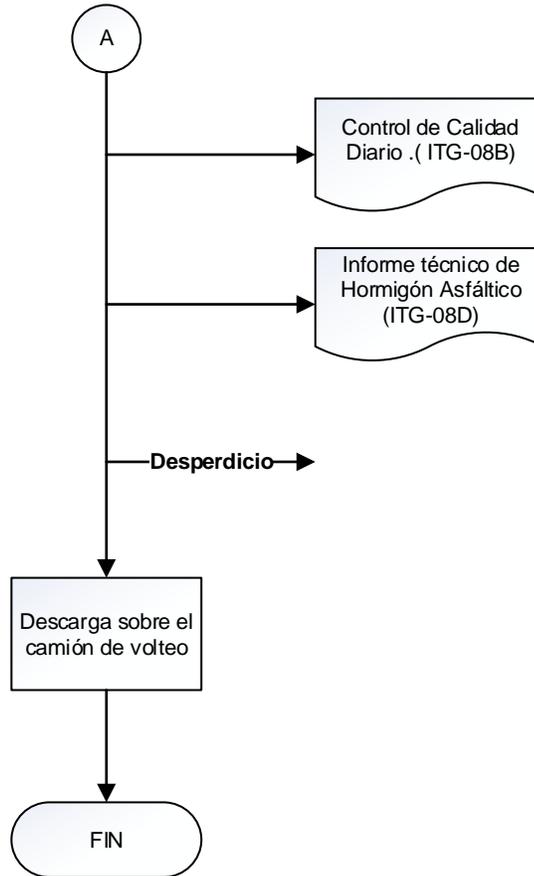


Anexo No.5

Diagrama de flujo del proceso producción de mezcla de hormigón asfáltico. Fuente:

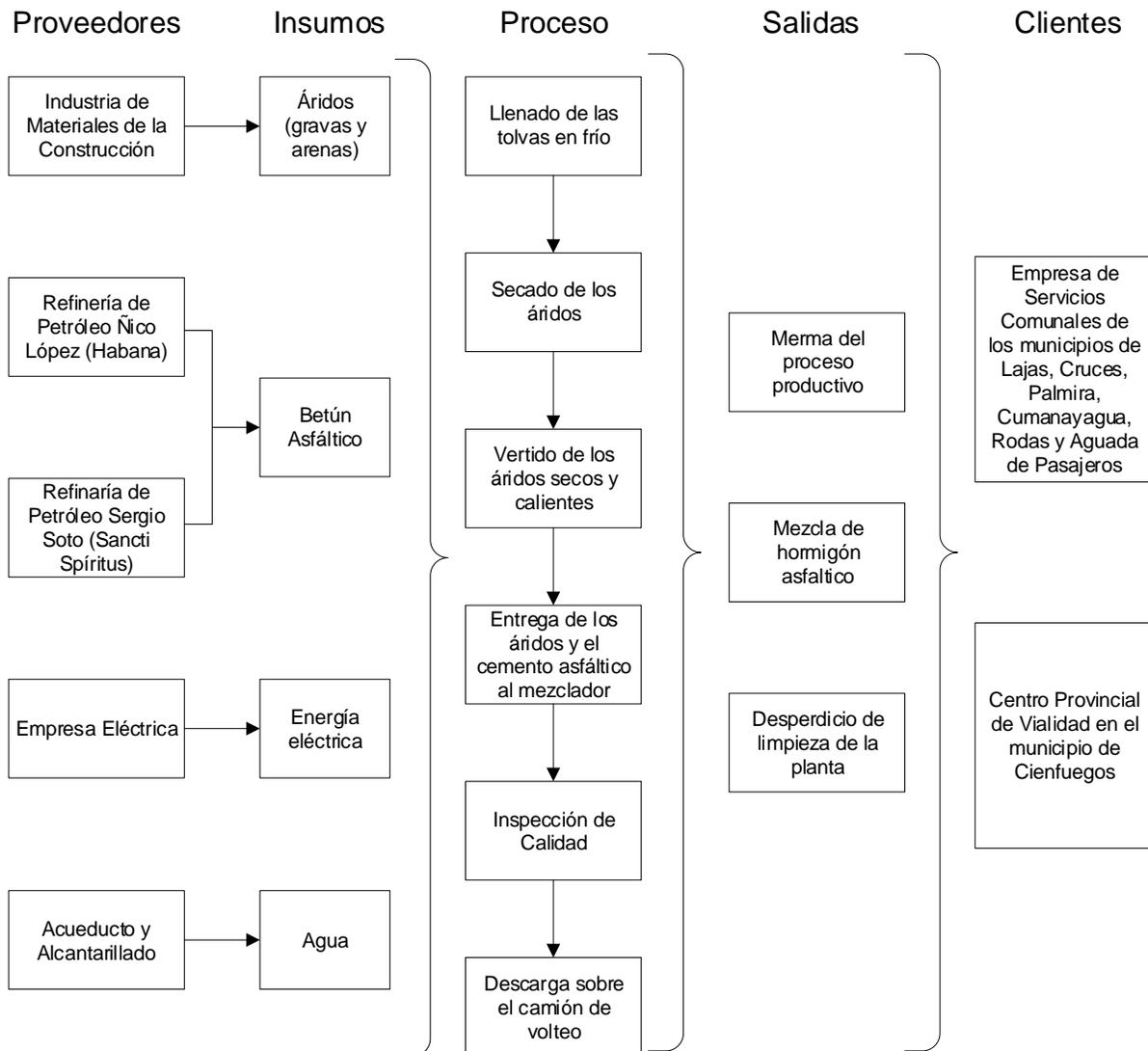
Elaboración propia.





Anexo No.6

Diagrama SIPOC del proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico. Fuente: Elaboración propia.



**Anexo No.7**

**Ficha del proceso de producción de mezcla de hormigón asfáltico. Fuente: UEB  
 Brigada No.13 "Pavimentación".**

OBJETIVOS DEL PROCESO		REQUISITOS QUE SE APLICAN		
Elaborar un Hormigón Asfáltico Caliente reconocido por sus estándares de calidad, utilizado no solo por nuestra empresa sino que sea comercializable.		9001	14001	45001
		7.1.4 8.1 8.2.1 8.2.3	6.1.2 9.1 4.4	4.4.6
RESPONSABLE DEL PROCESO	ÁREAS INVOLUCRADAS EN EL PROCESO			
<b>Director de Operaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Dirección técnica</li> <li>❖ Dirección de Equipos , transporte y servicios internos</li> <li>❖ Plantas de asfalto</li> </ul>			
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de Asfalto para el año</li> <li>• Planes de asfalto mensuales</li> <li>• Aseguramiento material</li> <li>• Diseños de mezclas</li> <li>• Demanda de Áridos y Cemento Asfáltico anuales y mensuales</li> <li>• Solicitud de Áridos y Cemento Asfáltico mensual</li> <li>• Calibración de la planta</li> <li>• Tolveo de áridos</li> <li>• Inyección asfáltica</li> <li>• Mezclado</li> <li>• Vaciado y muestreo</li> <li>• Secado</li> <li>• Pesaje</li> <li>• Materiales utilizados(Asfalto 50-70,imprimante MC-0 y RC-0,polvo de piedra hasta 5mm,granito de 5mm a 13mm,gravilla de 13mm a 25mm)</li> </ul>				
RECURSOS NECESARIOS				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humanos</li> <li>• Financieros</li> <li>• Materias Primas y materiales</li> <li>• Equipos de laboratorio e industriales</li> <li>• Medios de información y comunicación.</li> <li>• Transporte.</li> </ul>				

<b>PROCESOS RELACIONADOS</b>			
<b>DEL PROCESO</b>	<b>ENTRADAS / RECURSOS</b>	<b>RESULTADOS / IMPACTOS / RIEGOS</b>	<b>AL PROCESO</b>
Preparación Técnica	Requerimientos por proyectos	Mezclas Conformes	Ejecución de obras
Gestión de equipos, transporte y servicios internos	Fuell oil, áridos finos y gruesos, cementos asfálticos, imprimantes, piezas, lubricantes, accesorios tecnológicos.	Fiabilidad, mantenimiento industrial, continuidad del proceso productivo.	Ejecución de obras. (Colocación de HAC.)
Gestión de Capital Humano	Personal capacitado Medios de Protección	Mejoras de las competencias Minimizar los incidentes y accidentes de trabajo	Gestión de RRHH
Desarrollo Tecnológico	Innovaciones Proyectos de desarrollo Documentos técnicos Normalizativos Calibración y/o verificación de instrumentos de medición	Incremento de la fiabilidad, eficiencia y competitividad de las Plantas Disminución de los impactos ambientales	Desarrollo Tecnológico Ejecución de obras
Gestión Contable Financiera	Salario Disponibilidad financiera Gestión de cobros y pagos	Disminución de los ciclos de cobro y pago Liquidez Solvencia	Gestión Contable Financiera
Medición Análisis y Mejora	Interpretación de los ensayos de laboratorio	Evaluación de los resultados de ensayos de laboratorio	Medición Análisis y Mejora Ejecución de obras

<b>DOCUMENTACION DEL PROCESO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificaciones y Diseños de mezclas</li> <li>• Certificado de calidad de las materias primas</li> <li>• Proyectos de pavimentación o Tarea Técnica.</li> <li>• Plan de asfalto del mes</li> </ul>

- Documentos legales y regulatorios (NC, RC, Resoluciones, Leyes, etc.)
- ITG-08 Elaboración de Hormigón Asfáltico Caliente
- Plan de muestreo de Hormigón

**INFORMACIÓN DOCUMENTADA**

IDENTIFICACION	TIEMPO RETENCION	RESPONSABLE
<b>ITG-08A</b> Análisis Granulométrico a los Áridos	2 Años	Laboratorista
<b>ITG-08B</b> Control de Calidad Hormigón Asfáltico Caliente Diario	2 Años	Laboratorista
<b>ITG-08C</b> Control de Calidad Mensual	2 Años	Laboratorista
<b>ITG-08D</b> Informe Técnico de HAC	2 Años	Laboratorista

METODOS DE CONTROL	DESEMPEÑO DEL PROCESO		
	INDICADOR	METAS	ACEPTACIÓN
Ensayos de laboratorio Comprobación de temperatura Verificación de las compuertas Índices de consumo Autocontrol	Requerimientos respecto a la estabilidad de la mezcla	≥ 98%	Entre 95,9-97%

**Anexo No.8**

**Datos obtenidos de las muestras tomadas para medir las características de calidad Estabilidad Marshall, Deformación y Contenido de asfalto. Fuente: ITG-08 "Control de calidad hormigón asfáltico caliente diario"**

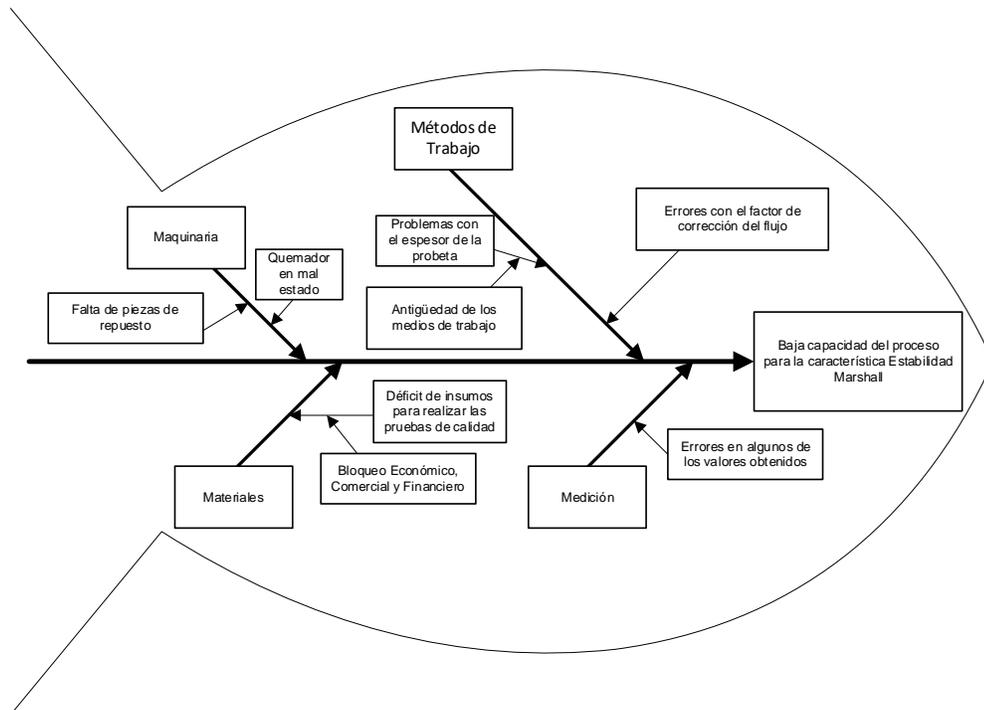
<b>Días</b>	<b>Estabilidad Marchall</b>	<b>Deformación</b>	<b>Densidad</b>
1	14,78	2,81	2,50
1	11,31	2,92	2,49
1	12,36	2,90	2,34
2	11,27	2,31	2,36
2	12,14	2,14	2,34
2	11,12	2,12	2,32
3	12,03	2,29	2,61
3	8,18	2,21	2,52
3	11,21	2,13	2,34
4	8,62	2,61	2,61
4	8,71	2,89	2,54
4	8,58	2,88	2,56
5	9,15	2,30	2,58
5	8,18	2,34	2,34
5	8,24	2,29	2,67
6	8,12	2,15	2,23
6	11,32	2,08	2,56
6	11,48	2,12	2,29
7	12,1	2,12	2,45
7	10,21	2,09	2,56
7	8,28	2,10	2,61
8	13,3	2,98	2,43
8	11,32	2,91	2,47
8	11,41	2,96	2,34
9	10,27	2,08	2,56
9	10,31	2,02	2,67
9	8,58	2,00	2,48
10	12,01	2,22	2,39
10	8,32	2,06	2,47
10	8,36	2,08	2,39
11	8,32	2,31	2,49
11	8,51	2,38	2,46
11	8,21	2,40	2,58
12	10,33	2,21	2,56
12	8,91	2,18	2,39
12	10,41	2,09	2,47
13	10,32	2,62	2,58
13	9,27	2,13	2,49
13	9,31	2,22	2,57
14	9,28	2,18	2,48
14	9,16	2,31	2,49

14	10,11	2,36	2,78
15	11,3	2,28	2,46
15	11,41	2,41	2,69
15	11,47	2,44	2,59
16	7,29	2,80	2,59
16	13,00	2,96	2,36
16	12,11	2,95	2,65
17	6,20	2,34	2,13
17	9,23	2,13	2,46
17	10,14	2,12	2,67
18	11,20	2,25	2,78
18	9,13	2,25	2,47
18	10,11	2,16	2,78
19	13,11	2,68	2,56
19	13,11	2,83	2,78
19	12,22	2,87	2,45
20	12,23	2,30	2,56
20	7,11	2,34	2,67
20	11,11	2,29	2,57
21	11,56	2,17	2,50
21	11,45	2,05	2,51
21	12,23	2,13	2,34
22	12,00	2,17	2,23
22	12,23	2,03	2,21
22	12,32	2,17	2,12
23	12,34	2,99	2,14
23	15,45	2,93	2,17
23	13,50	2,99	2,36
24	12,23	2,07	2,36
24	15,20	2,09	2,56
24	12,00	2,03	2,45
25	14,34	2,28	2,67
25	12,56	2,05	2,78
25	12,20	2,09	2,34
26	8,00	2,33	2,33
26	8,64	2,39	2,39
26	8,46	2,43	2,43
27	8,45	2,29	2,29
27	8,22	2,18	2,67
27	8,45	2,09	2,89
28	10,78	2,62	2,45
28	10,87	2,13	2,45
28	10,45	2,22	2,24
29	10,43	2,18	2,56
29	6,34	2,31	2,58
29	11,45	2,36	2,78
30	12,56	2,28	2,67
30	9,78	2,41	2,48
30	12,93	2,44	2,58

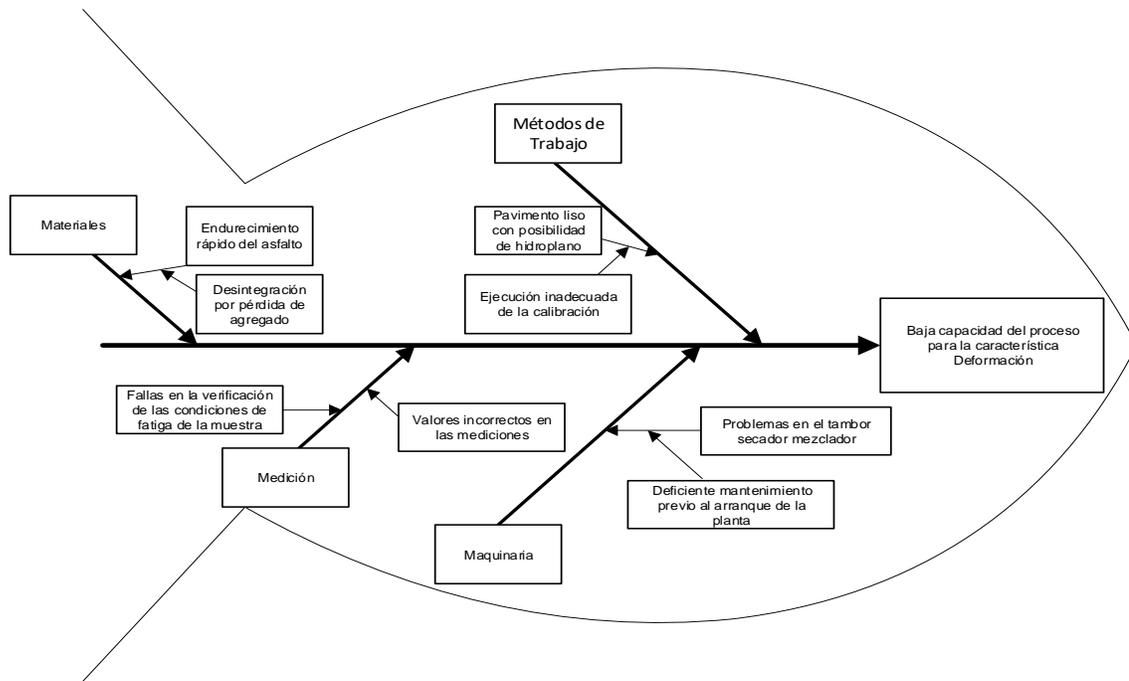
Anexo No.9

Diagramas Causa-Efecto para las características críticas de calidad. Fuente:  
 Elaboración propia.

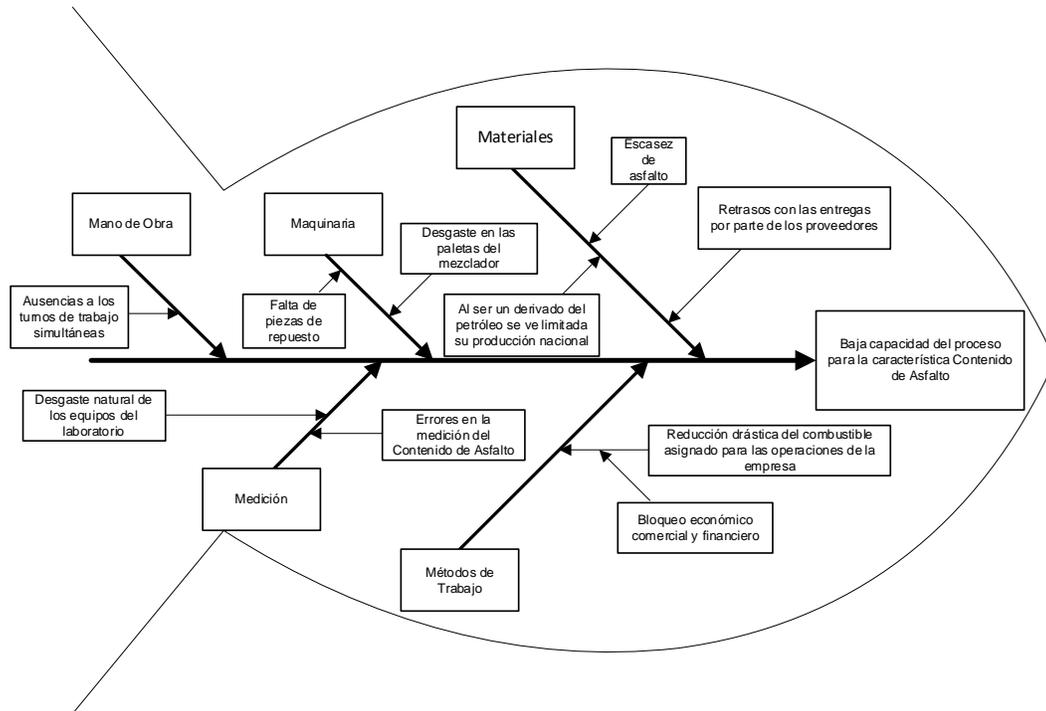
Estabilidad Marshall



Deformación



Densidad



**Anexo No. 10**

**Verificación de las causas más probables. Fuente: Elaboración propia.**

<b>Causas probables</b>	<b>Verificación de las causas</b>	<b>Oportunidades de mejora</b>
Falta de piezas de repuesto	Mediante la observación directa en la UEB	Contactar con nuevos proveedores
Problemas con el espesor de la probeta	Mediante informe de calidad del técnico del laboratorio	Buscar una probeta con el espesor adecuado
Déficit de insumos para realizar las pruebas de calidad	Mediante informe de calidad del técnico del laboratorio	No se puede realizar mejoras, porque el producto se compra a un tercero
Endurecimiento rápido del asfalto	Mediante informe de calidad del técnico del laboratorio	Realizar un correcto ajuste de la bomba de asfalto
Ejecución inadecuada de la calibración	Mediante la observación directa en la UEB	Calibrar correctamente la planta
Pavimento con posibilidad de hidropelano	Mediante evaluaciones efectuadas por especialistas	Realizar un correcto ajuste de la bomba de asfalto
Problemas en el tambor secador mezclador	Mediante evaluaciones efectuadas por especialistas	Exigir que se cumpla el procedimiento establecido para el mantenimiento antes de arrancar
Errores en el ajuste de la bomba de asfalto	Operador de la planta	Realizar un correcto ajuste de la bomba de asfalto
Reducción drástica del combustible asignado para las operaciones de la empresa	Jefe de la planta de asfalto	Realizar un plan de ahorro de los portadores energéticos

### Anexo No.11

#### Plan de mejora del proceso. Fuente: Elaboración propia.

<b>Oportunidad de mejora:</b> Errores en la calibración de la bomba de asfalto						
<b>Meta:</b> Realizar un adecuado ajuste de la bomba de asfalto						
<b>Responsable general:</b> Operador de la Planta						
No	Qué	Quién	Cómo	Por qué	Dónde	Cuándo
1	Revisar el espesor de los áridos	Operador de la Planta	Mediante la fórmula de trabajo para la Mezcla Intermedia	Para evitar el exceso o el defecto de asfalto en la mezcla	UEB Brigada No.13 "Pavimentación"	2023
2	Sustituir el quemador dañado	Mecánico Industrial	Mediante la operación de mantenimiento o establecida	Para aumentar la temperatura de los áridos a 150 grados	UEB Brigada No.13 "Pavimentación"	2023

<b>Oportunidad de mejora:</b> Reducción drástica del combustible asignado para las operaciones de la empresa						
<b>Meta:</b> Minimizar las paradas producto a la falta de combustible						
<b>Responsable general:</b> Director General						
No	Qué	Quién	Cómo	Por qué	Dónde	Cuándo
1	Cambiar las paletas del mezclador	Mecánico o Industrial	Mediante la operación de mantenimiento o establecida	Para aumentar la calidad de la mezcla	UEB Brigada No.13 "Pavimentación"	2023
2	Dosificar el combustible según la importancia y la ganancia del trabajo a realizar	Jefe de Planta	Plan de ahorro de los portadores energéticos	Para lograr una correcta administración y racionalización del combustible	UEB Brigada No.13 "Pavimentación"	2023

## Anexo No.12

### Método Delphy para las causas más probables. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el grupo de trabajo reúne a los principales expertos en el tema en la UEB Brigada No.13 "Pavimentación", se les aplica una lista con el objetivo de dar un orden de prioridad a las causas probables.

Para el caso en análisis se presenta más de siete características (K), por lo que la prueba de hipótesis que debe realizarse es  $\lambda^2$  la cual establece:

*Hipótesis:*

*H<sub>0</sub>: no hay comunidad de preferencia entre los expertos.*

*H<sub>1</sub>: existe comunidad de preferencia entre los expertos.*

*Región Crítica:  $\lambda^2_{calculada} \geq \lambda^2_{tabulada}$*

Si se cumple la región crítica se rechaza H<sub>0</sub>, existiendo comunidad de preferencia entre los expertos, con lo cual se cumple en la presente investigación. En este caso  $\lambda^2_{calculada}=80,333$  y  $\lambda^2_{tabulada}= 12,067$ . El procesamiento de los resultados se efectúa mediante el paquete de programa SPSS versión 22.0. Los resultados muestran que la región crítica se cumple con lo cual se llega a la conclusión que los resultados obtenidos en este procesamiento son confiables y existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Para la selección de los expertos se debe determinar la cantidad y luego la relación de los candidatos de acuerdo a los criterios de competencia, creatividad, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis, pensamiento lógico y espíritu de trabajo en equipo.

Se calcula el número de expertos para llevar a cabo el desarrollo de este método:

$$n = \frac{p(1-p)k}{i}$$

$$n = \frac{0.01(1-0.01) \times 6,6564}{0.1^2}$$

$$n = 12.6719$$

$$n \approx 7 \text{ expertos}$$

Donde:

**k:** Cte. que depende del nivel de significación estadística.

**p:** Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con  $n$  expertos. (0.01)

**i:** Precisión del experimento. (0.1)

<b>1-<math>\alpha</math></b>	<b>k</b>
<b>99%</b>	<b>6,6564</b>
<b>95%</b>	<b>3,8416</b>
<b>90%</b>	<b>2,6896</b>

La determinación del coeficiente es acorde al nivel de confianza escogido para el trabajo ( $\alpha=0.01$ ).

### Anexo No.13

#### Método para el cálculo del coeficiente de competencia de los expertos. Fuente: (Cruz Ramírez, 2009)

Para seleccionar los expertos de acuerdo al criterio de (Cruz Ramírez, 2009), se debe:

- 1- Elaborar una lista de candidatos que cumplan con los requisitos predeterminados de experiencia, años de servicio, conocimientos sobre el tema.
- 2- Determinar el coeficiente de competencia de cada experto.

Este último paso permite asegurar que los expertos que se consultan verdaderamente pueden aportar criterios significativos respecto al tema objeto de estudio.

El coeficiente de competencia de los expertos, según exponen (Cruz Ramírez, 2009), se calcula a partir de la aplicación del cuestionario general que se muestra a continuación:

Cuestionario para la determinación del coeficiente de competencia de cada experto. Fuente: (Cruz Ramírez, 2009)

Nombre y Apellidos:

1. Marque con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponda con el grado de conocimiento o información que tenga sobre la temática en función de la gestión de calidad.

Escala	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Experto											

- 2- Realice una autovaloración, según la tabla siguiente, de sus niveles de conocimiento sobre el control estadístico de procesos.

Argumentación	A( Alto)	M (Medio)	B (Bajo)
Análisis teóricos realizados por usted en la temática tratada			
Experiencia obtenida			
Trabajo de autores nacionales			
Trabajo de autores extranjeros			
Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Para determinar el nivel de competencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$K_{comp} = 1/2 (K_c + K_a)$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de Conocimiento: Se obtiene multiplicando la autovaloración del propio experto sobre sus conocimientos del tema en una escala del 0 al 10, por 0,1.

Ka: Coeficiente de Argumentación: Es la suma de los valores del grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación con respecto a una tabla patrón, se emplea en esta investigación la siguiente tabla:

<b>Fuentes de argumentación</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Análisis Teóricos realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Experiencia obtenida	0,5	0,4	0,2
Trabajos de autores relacionados que conoce	0,05	0,04	0,03
Trabajos de autores extranjeros que conoce	0,05	0,04	0,03
Conocimientos propios sobre el estado del tema	0,05	0,04	0,03
Su intuición	0,05	0,04	0,03

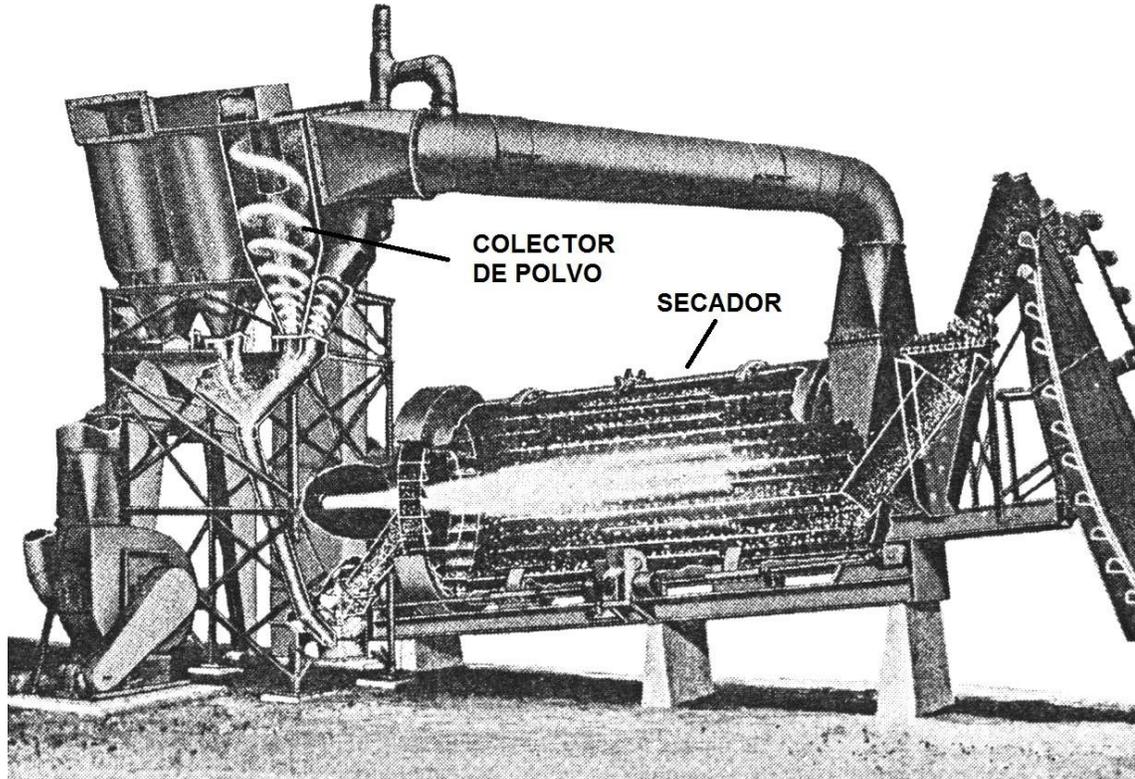
Dados los coeficientes Kc y Ka se calcula para cada experto el valor del coeficiente de competencia Kcomp siguiendo los criterios siguientes:

- La competencia del experto es ALTA si  $K_{comp} > 0.8$
- La competencia del experto es MEDIA si  $0.5 < K_{comp} \leq 0.8$
- La competencia del experto es BAJA si  $K_{comp} \leq 0.5$

**Anexo No.14**

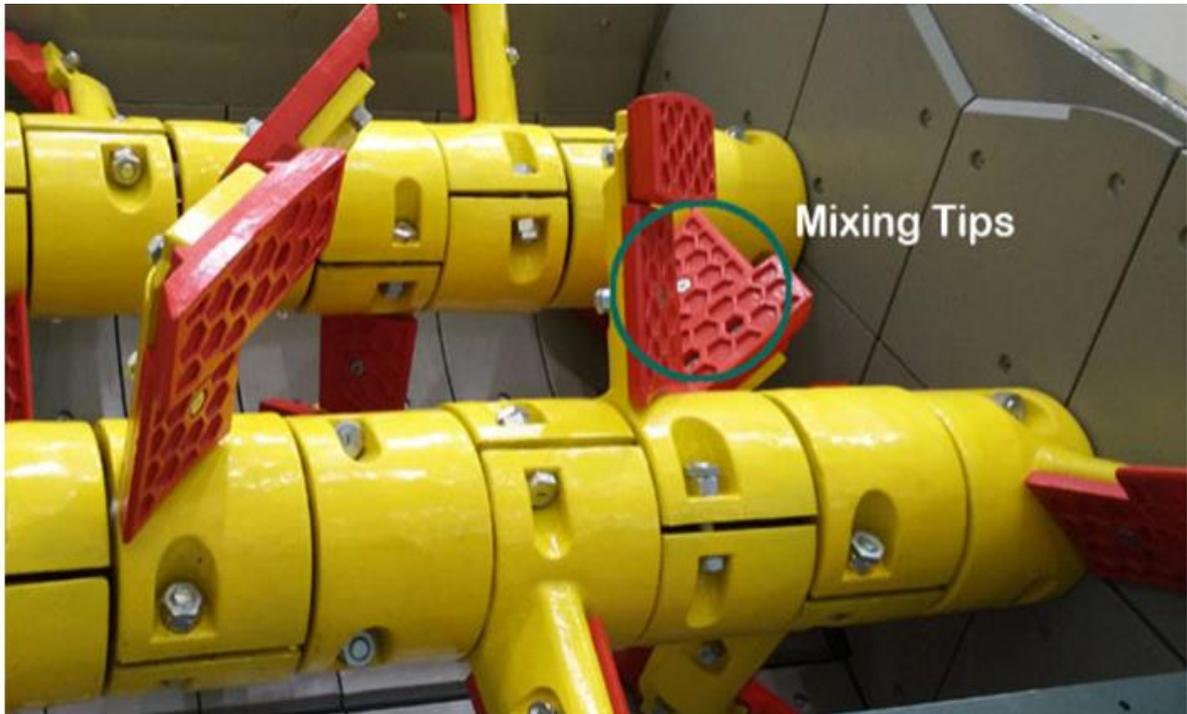
**Secador y ciclón extractor de una instalación de fabricación de mezclas bituminosas.**

**Fuente: ECOING No.12**



### Anexo No.15

Estructura de las paletas de mezcla. Fuente: ECOING No.12



**Anexo No.16**

**Datos obtenidos de las muestras tomadas para medir las características de calidad Estabilidad Marshall, Deformación y Contenido de asfalto. Fuente: ITG-08 "Control de calidad hormigón asfáltico caliente diario"**

Días	Estabilidad Marshall	Deformación	Densidad
1	12,28	2,61	2,80
1	11,31	2,62	2,78
1	12,36	2,6	2,75
2	11,27	2,31	2,82
2	12,14	2,14	2,84
2	11,12	2,12	2,78
3	12,03	2,59	2,76
3	11,18	2,51	2,76
3	11,21	2,53	2,79
4	11,62	2,51	2,85
4	10,71	2,59	2,83
4	10,58	2,58	2,77
5	11,15	2,3	2,75
5	12,28	2,34	2,86
5	11,24	2,29	2,78
6	12,12	2,15	2,76
6	11,32	2,08	2,73
6	11,48	2,12	2,77
7	11,1	2,12	2,74
7	11,21	2,79	2,87
7	10,28	2,1	2,86
8	11,3	2,58	2,69
8	11,32	2,51	2,86
8	11,41	2,56	2,77
9	12,27	2,08	2,79
9	10,31	2,62	2,73
9	10,58	2	2,77
10	10,81	2,22	2,74
10	11,32	2,06	2,88
10	11,36	2,08	2,79
11	10,8	2,31	2,87
11	10,71	2,38	2,75
11	12,21	2,4	2,88
12	10,33	2,21	2,83
12	10,91	2,18	2,87
12	10,41	2,59	2,79
13	11,9	2,62	2,86
13	11,27	2,13	2,79
13	11,31	2,22	2,86
14	12,28	2,18	2,75
14	11,16	2,31	2,79
14	11,11	2,36	2,85

15	11,3	2,28	2,84
15	11,41	2,41	2,87
15	11,47	2,44	2,79
16	12,28	2,61	2,85
16	11,31	2,62	2,78
16	12,36	2,6	2,89
17	11,27	2,31	2,78
17	12,14	2,14	2,86
17	11,12	2,12	2,75
18	12,03	2,59	2,89
18	11,18	2,51	2,75
18	11,21	2,53	2,89
19	11,62	2,51	2,76
19	10,71	2,59	2,89
19	10,58	2,58	2,89
20	11,15	2,3	2,86
20	12,28	2,34	2,78
20	11,24	2,29	2,85
21	12,12	2,15	2,78
21	11,32	2,08	2,87
21	11,48	2,12	2,77
22	11,1	2,12	2,84
22	11,21	2,79	2,77
22	10,28	2,1	2,84
23	11,3	2,58	2,87
23	11,32	2,51	2,84
23	11,41	2,56	2,86
24	12,27	2,08	2,77
24	10,31	2,62	2,83
24	10,58	2	2,76
25	10,81	2,22	2,87
25	11,32	2,06	2,74
25	11,36	2,08	2,86
26	10,8	2,31	2,74
26	10,71	2,38	2,97
26	12,21	2,4	2,95
27	10,33	2,21	2,69
27	10,91	2,18	2,88
27	10,41	2,59	2,87
28	11,9	2,62	2,85
28	11,27	2,13	2,74
28	11,31	2,22	2,88
29	12,28	2,18	2,74
29	11,16	2,31	2,76
29	11,11	2,36	2,88
30	11,3	2,28	2,74
30	11,41	2,41	2,88
30	11,47	2,44	2,74