



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería de Calidad

## Mejora en la Calidad del Proceso Productivo de la Empresa de Cantera "Jaramillo" en Huichapan, Hidalgo

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestra en Ingeniería de Calidad

**Presenta:**  
Ali Inés Gómez Acosta

**Dirigido por:**  
Dr. Miguel Galván Ruiz

### SINODALES

Dr. Miguel Galván Ruiz  
Presidente

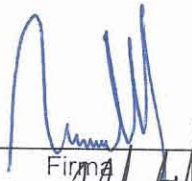
Dr. Roberto de la Llata Gómez  
Secretario

M. A. Sara Meza Maldonado  
Vocal

M. I. Raúl Arroyo Martínez Fabre  
Suplente

M. C. Patricia Magaña  
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad



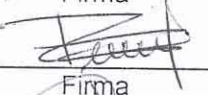
Firma



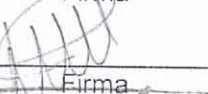
Firma




Firma



Firma



Firma



Dr. Inés Torres Pacheco  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Enero, 2014  
México

## RESUMEN

Este trabajo muestra como se mejoró la calidad del proceso productivo de la empresa de Cantera “Jaramillo” en Huichapan, Hidalgo. Utilizando una técnica de mejoramiento de calidad para encontrar y eliminar causas de errores o defectos en el proceso productivo de la cantera, mediante la estrategia Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC). La metodología propuesta mejoró sustancialmente la calidad de los productos y proceso de la cantera a través de un mapeo que permitió identificar los puntos críticos para la calidad (CTQ) y el alcance del mismo.

**Palabras clave:** Mejora de la calidad, Seis Sigma, DMAIC, proceso productivo, cantera.

## SUMMARY

This work shows how improved the quality of the production process of the company Cantera "Jaramillo" in Huichapan, Hidalgo. Using quality improvement techniques to find and eliminate causes of errors or defects in the production process of the quarry, through the strategy Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC). The proposed method substantially improved the quality of the products and process of the quarry through a mapping which identified the critical to quality (CTQ) and the scope thereof.

**Keywords:** quality improvement, Six Sigma, DMAIC, production process, quarry.

## **DEDICATORIA**

A todas aquellas personas que contribuyeron  
en la realización de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, a mis hijos y a todas aquellas personas que han sido un ejemplo, un motivo y un apoyo para poder alcanzar esta meta en mi vida profesional.

## ÍNDICE

1. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes.....	7
1.2. Justificación .....	10
1.3. Objetivo .....	12
1.4. Hipótesis.....	13
1.5. Descripción del Problema.....	13
2. Revisión de literatura.....	17
2.1. Calidad .....	19
2.2. Mejora de la Calidad.....	20
2.3. Proceso de Mejora Continua .....	21
2.4. Control Estadístico.....	22
2.5. Técnicas de Mejoramiento.....	23
2.6. Algoritmos de Optimización .....	25

3.	Metodología .....	29
3.1.	Definir .....	31
3.2.	Medir.....	34
3.3.	Analizar.....	34
3.4.	Mejorar .....	34
3.5.	Controlar.....	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
4.1.	Definir .....	36
4.2.	Medir.....	38
4.3.	Analizar.....	44
4.4.	Mejorar .....	46
4.5.	Controlar.....	47
4.5.1.	Mejoras del Proceso.....	47
4.5.2.	Medidas Preventivas.....	48
4.5.3.	Medidas Correctivas.....	52

5. Conclusión.....56

5.1. Sugerencias..... 59

Anexos ..... 61

Referencias ..... 77



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Valor de la Producción Minera 2006 - 2010. Pesos Corrientes.	5
Tabla 4-1 Comparación de resultados del empastillado.	53
Tabla 5-1 Cursos propuestos.	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Regiones Mineras Metálicas del Estado de Hidalgo.	3
Figura 1-2 Regiones Mineras no Metálicas del Estado del Hidalgo.	4
Figura 1-3 Participación del Estado de Hidalgo en la Producción Minera Nacional.	8
Figura 1-4 Bloque producido mediante la extracción con pólvora.	10
Figura 1-5 Bloque producido mediante la extracción con agente expansivo.	11
Figura 1-6 Proceso de extracción con pólvora y cuñas.	14
Figura 1-7 Mesa de corte.	15
Figura 1-8 Material obtenido en el Proceso de Calibrado.	15
Figura 1-9 Material obtenido en el Proceso de Escuadrado.	16
Figura 2-1 Yacimiento Minero.	27
Figura 3-1 Muestrario de Productos.	29
Figura 3-2 Desperdicio del banco de extracción.	30
Figura 3-3 Desperdicio de la laminadora.	30
Figura 3-4 Diagrama de flujo general.	32
Figura 3-5 Diagrama de flujo general visual.	33
Figura 4-1 Diagrama Causa – Efecto de la Etapa de Extracción del Proceso Productivo.	37
Figura 4-2 Máquinas de corte.	39
Figura 4-3 Formato COEDE.	41
Figura 4-4 Hoja de cálculo para determinar el número de piezas vendidas por m <sup>3</sup> .	43
Figura 4-5 Bloque de mineral para extraer.	44

Figura 4-6 Mineral listo para ser extraído.	45
Figura 4-7 Extracción con Agente Expansivo.	46
Figura 4-8 Grúa para carga de bloques de mineral.	48
Figura 4-9 Discos de corte.	49
Figura 4-10 Rieles de desplazamiento.	50
Figura 4-11 Chumaceras y baleros.	50
Figura 4-12 Cadena de desplazamiento.	51
Figura 4-13 Usillo.	51
Figura 4-14 Regaderas.	52
Figura 4-15 Etapas del proceso de empastillado de herramientas de corte.	54
Figura 4-16 Reemplazo de un variador de frecuencia.	55
Figura 5-1 Medidas del escantillón.	57
Figura 5-2 Maquinaria de corte automatizada.	58
Figura 5-3 Logotipo del ICATHI.	59

## 1. INTRODUCCIÓN

Seis Sigma se ha constituido en los últimos años como la punta de lanza de mejora para muchas organizaciones de clase mundial; si bien muchos de los conceptos y herramientas no son nuevos ya que tienen su fundamento en el movimiento de Calidad Total y de Reingeniería, Seis Sigma combina lo mejor de ambos movimientos, a la vez que trata de buscar soluciones a los problemas que dichos movimientos encontraron. Seis Sigma se basa principalmente en dos modelos de mejora conocidos como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) y DMEDI (Definir, Medir, Explorar, Desarrollar, Implementar); la primera se concentra en la mejora de procesos ya existentes, por lo que puede ser considerado el brazo de Calidad Total de Seis Sigma. Por su parte, el modelo DMEDI se concentra en la creación de procesos nuevos para el desarrollo de nuevos productos, incursión en nuevos mercados, reemplazo de procesos obsoletos, por lo tanto puede ser considerado como el brazo de Reingeniería de Seis Sigma.

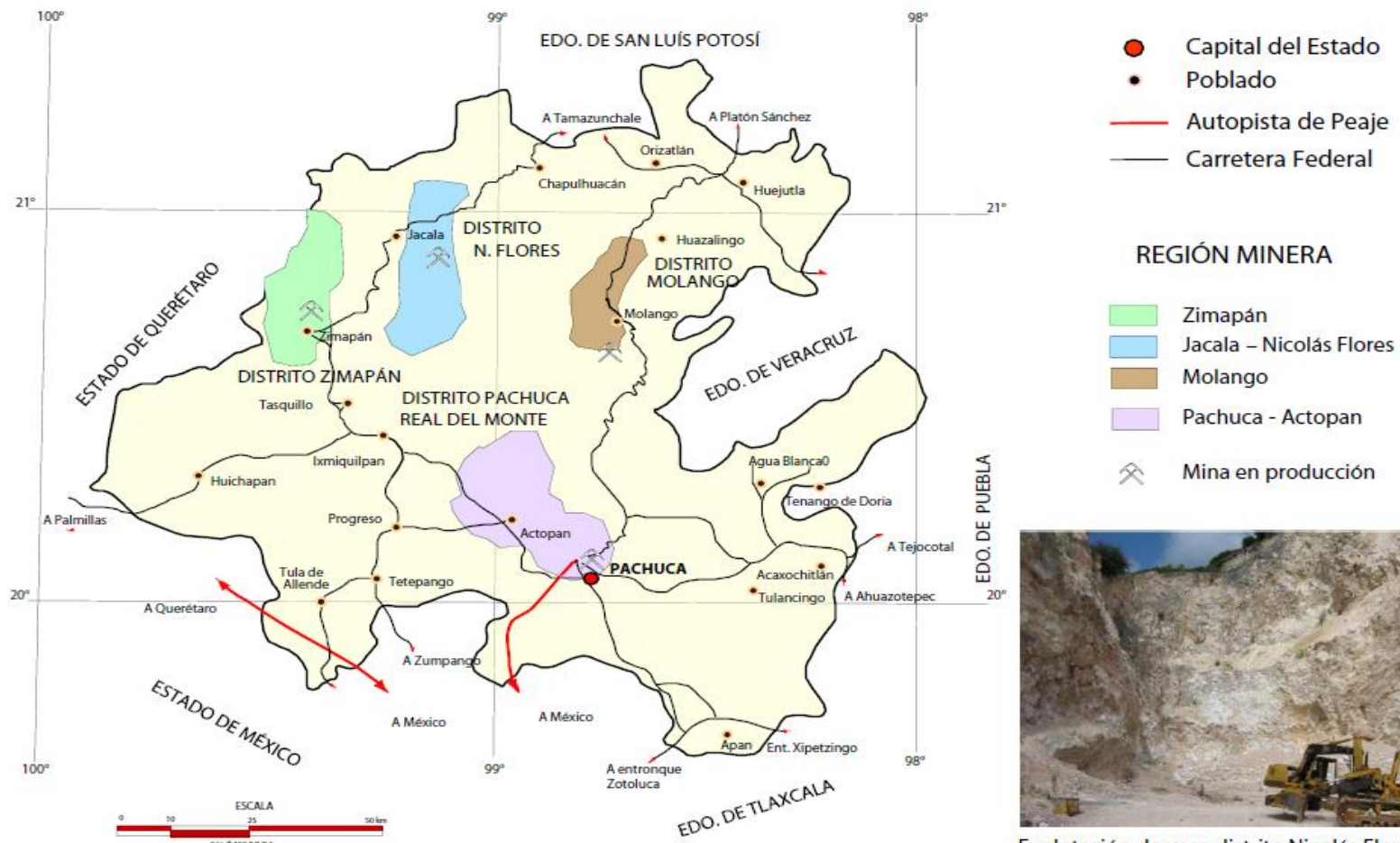
La metodología DMAIC de Seis Sigma fue utilizada en el presente trabajo para identificar las causas principales que afectan la calidad del proceso productivo de una empresa de cantera en la región de Huichapan, Hidalgo.

El estado de Hidalgo se localiza en la porción central de la República Mexicana, en las inmediaciones del Eje Volcánico Transmexicano, aproximadamente a 80 km. al norte de la capital del país, entre los paralelos 19° 36' y 21° 24' de latitud norte y en los meridianos 98°00' y 99° 45' de longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich. La superficie estatal es de 20,905 km<sup>2</sup>, representa el 1.1 % del territorio nacional. Limita al norte con los estados de San Luis Potosí, Veracruz y Querétaro, al este colinda con los estados de Puebla y Veracruz, al oeste con Querétaro y al sur con los estados de Tlaxcala y México. Hidalgo se ha caracterizado por ser una entidad minera con un historial de 500

años de minería, es una de las entidades federativas más importantes en el desarrollo minero de México. La ciudad de Pachuca, capital del estado, es una de las más antiguas del país y fue fundada a partir de la actividad minera que se desarrolló en sus cercanías. Actualmente el estado es un importante productor de manganeso en el país y ocupa el tercer lugar en la producción de cadmio y en menor proporción la extracción de oro, plata, plomo y zinc, estos últimos se han incrementado sus extracciones durante el 2010.

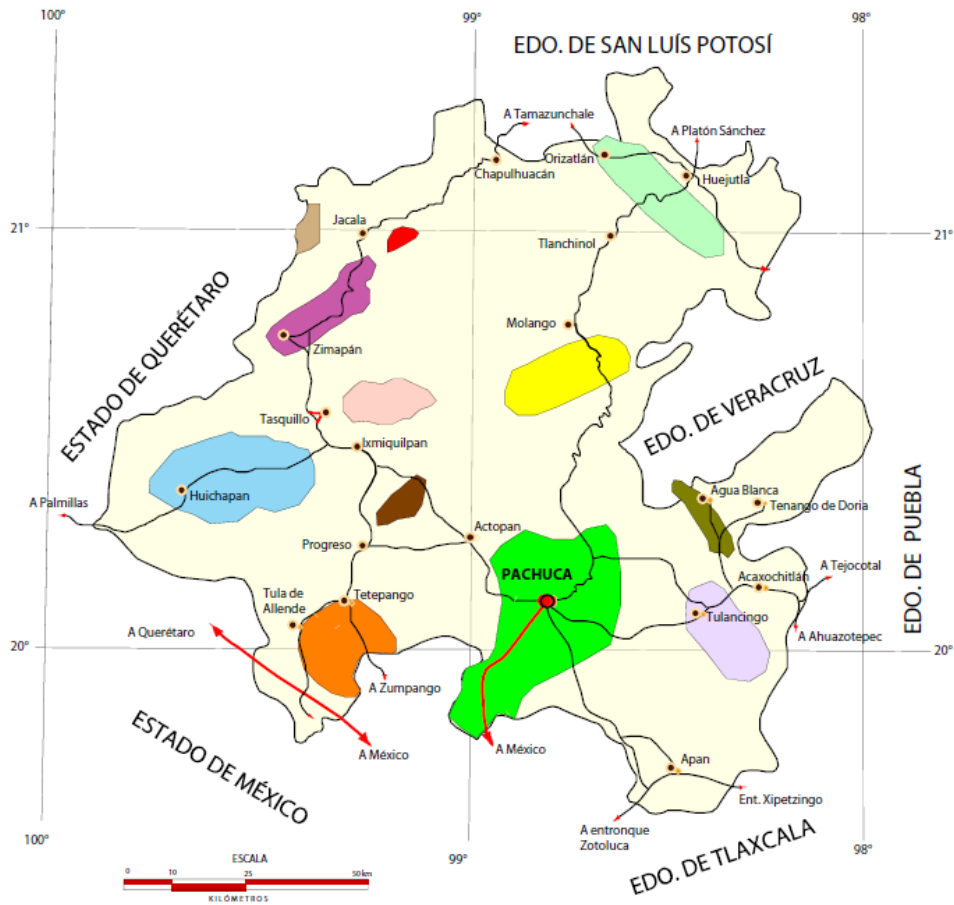
Referente a los minerales no metálicos es un importante productor de arcillas, grava, arena, carbonato de calcio, caolín y caliza a nivel nacional, se tiene también, a menor escala, la extracción de yeso, dolomita, piedra pómez y mármol. Además ocupa un importante lugar en la producción de cemento en el país.

Actualmente las empresas que se encargan de la extracción y el proceso productivo de la cantera de la región de Huichapan en el estado de Hidalgo tienen un grave problema (Figuras 1-1 y 1-2). Ya que se generan grandes cantidades de desperdicio de materia prima que no está definida, registrada ni cuantificada en función de las pérdidas, no obstante la estadística oficial registrada en el ramo minero (Tabla 1-1).



Explotación de yeso distrito Nicolás Flores

Figura 1-1 Regiones mineras metálicas del Estado de Hidalgo.



### REGIONES MINERAS



Figura 1-2 Regiones mineras no metálicas del Estado del Hidalgo.

**Tabla 1-1 Valor de la Producción Minera 2006 - 2010. Pesos corrientes.**

<b>Productos/Años</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010p/</b>
<b>Total:</b>	3,170,702,930.7 5	3,136,668,373.5 0	3,456,503,933.2 6	2,877,066,084.3 4	3,736,755,339.8 3
<b>Oro</b>	1.233.469.86	2.641.658.34	2.749.362.85	2.115.83057	1.199,167.64
<b>Plata</b>	140,273,79977	110.650,166.22	107,262.37310	9.621,667.36	163,747,20624
<b>Cadmio</b>	1.604,99907	5,146,57349	3,904,54915	2.260,20471	
<b>Cobre</b>	102,145,09304	101,411,64771	107.306.11669	137,66026	130,099,95311
<b>Manganeso</b>	174.333.70063	209.570,66563	644,440.45043	370,262,50000	661.936,71025
<b>Plomo</b>	51.972.746 30	70.325.573.76	30.701.82842	209,27446	37.927.492.66
<b>Zinc</b>	509.077.39876	452,301,70346	236,022.31789	1,288,662.74	162,612,52626
<b>No Metálicos</b>	2,189,861,723.3 1	2,184,420,342.8 7	2,124,116,932.7 4	2,490,950,044.2 5	2,559,032,261.6 5
<b>Agregados Pétreos</b>	2.733,420.29	2,268,95751	3,021.40055	3,056,081.99	3,043.44627
<b>Arcillas</b>	70.441,49054	74.794.556.97	61,736.533.51	85.629,903.85	87.001.02949
<b>Arena</b>	538,012.67338	566.216.635.25	536.231,49060	682.557.66323	696.509.14071
<b>Azufre</b>	23.013,39545	27.065,10569	167,660.50336	307258386	53.856.54092
<b>Calcita</b>	132.543.11816	110.021.39152	213,324,55951	290.525.41753	248.063.56235
<b>Caliza</b>	241.832.66609	254,510.24655	219,042,25559	302266,75116	339.105.67803



<b>Cantera</b>			2.193,14185	2.911,705.00	2.466.99426
<b>Caolín</b>	408.699.381.33	339.419.19845	72.962.33884	146.955.627.03	133.769.936.50
<b>Grava</b>	736.137.091.21	776.832.346.83	802.505.161.09	942.678,045.62	963.697,42042
<b>Rocas Dimensionables</b>	11,188.53571	9.287.379.72	4.946.92281		
<b>Tepetate</b>			103,01947	121,75025	69,323.32
<b>Tezontle</b>			697,35156	847,299.49	597,52110
<b>Yeso</b>	23.059.929.16	24,004,322.38	19.692.253.96	30.327.19520	26,629.66626

Fuente: Dirección General de Minas, Secretaría de Economía.

Por lo que es necesario realizar una investigación de campo que brinde la información necesaria que pueda ser utilizada por los administradores, ingenieros y dueños de las empresas dedicadas o vinculadas con la cantera y su utilización. Lo cual se pretende efectuar mediante el presente trabajo haciendo uso de técnicas de control estadístico de procesos y de mejoramiento de la calidad.

### **1.1. Antecedentes**

En la minería se presentan varias problemáticas relacionadas con el aprovechamiento, la utilización y la optimización del material extraído de las minas. Por eso es que en las últimas dos décadas se han desarrollado en algunos países nuevas tecnologías que permitan minimizar algunos de los factores que afectan la calidad, tanto de los procesos de extracción como en los productivos de las minas a cielo abierto.

Por su parte en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan se han realizado estudios acerca de la industria de la cantera, entre los cuales destacan el realizado por Sánchez (2005) quien comparo el método de extracción de la cantera con explosivos y con agente expansivo. De igual forma Monroy (2007) propuso implementar un sistema de costos para conocer exactamente cuánto invierten en cada producto fabricado.

La información acerca de la participación del Estado de Hidalgo en la producción minera nacional se muestra en la figura 1-3, y la cuantificación de la actividad minera en el Anexo 1 y 2.

Internacionalmente se destacan trabajos como el de Carvalho (2008) que realizo una investigación sobre las herramientas avanzadas de exploración geológica y metodologías que se necesitan para responder a desafíos como el descubrimiento de nuevos yacimientos cercanos a la superficie, la baja eficiencia de la explotación, las enormes cantidades de residuos producidos y las condiciones de accesibilidad a las minas. Mientras que Taboada (2005) proponen una metodología para estimar el porcentaje de recuperación de cada uno de los productos que se pueden obtener en la explotación de una cantera de granito ornamental.

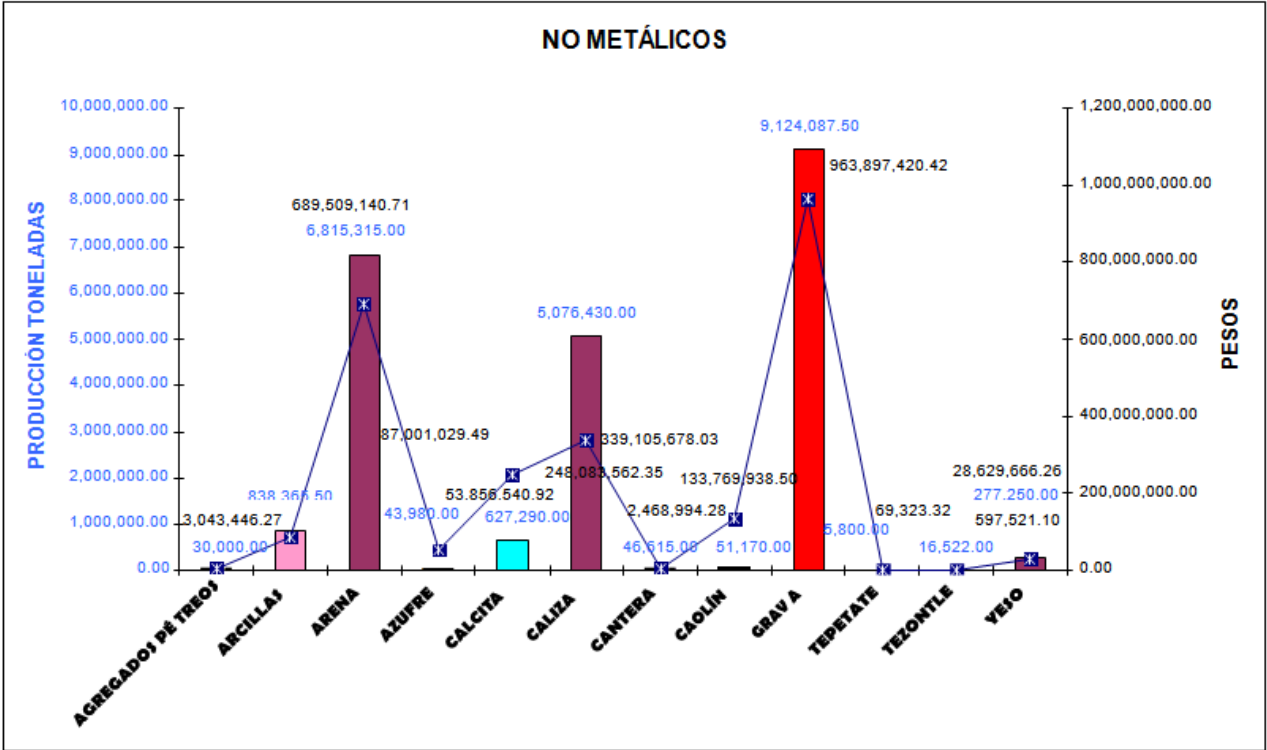


Figura 1-3 Participación del Estado de Hidalgo en la Producción Minera Nacional.

Trabajos como los de Porsani J. et al. (2006), presentan los resultados de una aplicación de Radar de Penetración Terrestre (GPR) como método para la localización de fracturas en el mineral, esto con la finalidad de optimizar los costos de extracción de grandes bloques de granito ornamental de una cantera en Capão Bonito región de São Paulo, sur de Brasil.

Por otra parte Taboada J. et al., 1999 determinaron la calidad de una masa de granito con vistas a su explotación con fines ornamentales, mediante la identificación de los factores geológicos, geotécnicos y estéticos que caracterizan el granito. Con el fin de elaborar un método de explotación óptima de cualquier depósito de granito dado, la metodología desarrollada puede ser considerada como un método de evaluación de la calidad objetiva aplicable a las canteras de roca ornamental.

Finalmente Bastante F. et al. 2004 describen la aplicación, por primera vez, de los algoritmos de diseño, planificación y programación para la extracción de rocas ornamentales.

Con base en los trabajos citados con anterioridad, se observa una tendencia al análisis de la problemática que se presenta en el proceso productivo de los minerales no metálicos, para poder establecer el uso y aplicación de herramientas estadísticas o de optimización de sistemas que ayude a disminuir la cantidad de desperdicio y por ende a incrementar el nivel de calidad de una o todas las etapas involucradas en dicho proceso. Por consiguiente se muestra un área de oportunidad para implementar un sistema de mejora de la calidad en el cual se analicen los efectos al disminuir los desechos producidos en las etapas del proceso de extracción y productivo de la industria de la cantera.

## 1.2. Justificación

Actualmente se busca lograr la optimización de los recursos utilizados en cualquier proceso productivo, con la finalidad de mejorar la calidad del producto o servicio que se brinde. Para poder con esto generar mayores ganancias y disminución de los costos de producción.

Para la extracción de la cantera en la región de Huichapan se utilizan principalmente métodos rudimentarios que generan grandes cantidades de desperdicio de materia prima, ya que los bloques que se obtienen generalmente son de formas irregulares o discontinuas como se aprecia en la figura 1-4.



**Figura 1-4 Bloque producido mediante la extracción con pólvora.**

En los últimos años se han desarrollado métodos novedosos de extracción que se basan en la utilización de hilo diamantado o agente expansivo, con lo que se ha logrado disminuir la cantidad de materia prima desperdiciada.

En la técnica de extracción con agente expansivo se utiliza un polvo químico que mezclado con agua origina una malta, la cual reacciona expandiéndose después de cierto tiempo, provocando con esto la fractura del material donde fue depositada (Martínez, 2007). Los bloques que se obtienen mediante el uso de estas técnicas generalmente son muy simétricos, como se aprecia en la figura 1-5.



**Figura 1-5 Bloque producido mediante la extracción con agente expansivo.**

Sin embargo para poder convencer a las personas que están relacionados con esta actividad de que es una buena inversión, es necesario presentarles información que corrobore con datos y evidencias en cuanto tiempo se recuperará la inversión hecha y cuánto dinero se ahorran con la disminución de la cantidad de desperdicio generado. Este último traerá como consecuencia una ganancia extra por el simple hecho de aumentar la cantidad de productos terminados y la disminución del tiempo de trabajo en su producción. Por tal motivo se tiene que

desarrollar una investigación que pueda generar los datos necesarios para demostrar la mejora del proceso productivo.

### **1.3. Objetivo**

La propuesta del presente trabajo es mejorar la Calidad del Proceso Productivo de la Empresa de Cantera “Jaramillo” en Huichapan, Hidalgo.

El objetivo es implementar un modelo de producción para reducir el desperdicio de materia prima en la Industria de la Cantera “Jaramillo”, usando técnicas de mejoramiento de la calidad.

El proyecto abarca como objetivos particulares:

- Obtener información mediante un muestreo estadístico sobre los tamaños, volumen y rendimientos productivos de los tres tipos de minerales utilizados en la empresa para poder hacer una clasificación en base a sus características físicas.
- Utilizar algunas de las siete herramientas estadísticas básicas que sirvan para poder identificar las variables críticas, las controlables y el ruido que afectan al proceso productivo de la cantera.
- Interpretar los datos obtenidos mediante algún gráfico, para poder determinar la cantidad de dinero que se pierde por cada etapa del proceso productivo de la cantera en la empresa.

#### **1.4. Hipótesis**

La técnica de extracción de cantera por medio de un agente expansivo reduce la cantidad de desperdicio de materia prima y con ello se mejoran las ganancias.

#### **1.5. Descripción del Problema**

Recientemente, la minería en el ámbito mundial pasó por una de sus peores crisis, no solamente por la recesión de la economía mundial, sino por la prolongada baja de las cotizaciones internacionales de los metales desde el inicio de los años noventa. Esta situación originó que algunas empresas locales tuvieron que reducir sus niveles de producción en forma paulatina hasta cerrar sus unidades productivas, unas de manera temporal y otras lamentablemente en forma definitiva.

En la región de Huichapan, el número de pequeñas empresas dedicadas a la extracción, labrado, laminado y transporte de cantera, recientemente se ha incrementado con la participación de ejidatarios y empresarios del sector privado cuyos productos en muchos de ellos se comercializan en el mercado exterior donde son bien aceptado por la amplia gama de productos y colores naturales que se destinan en la industria de la construcción para el recubrimiento de pisos y muros o como productos de ornato en casas residenciales.

Debido al atraso tecnológico en el ámbito nacional referente a la reducción del desperdicio en la industria de la cantera, la demanda de soluciones particulares ha ido en aumento. Ya que en la mayoría de las empresas vinculadas con minerales no metálicos, no cuentan con ingenieros mineros, metalúrgicos o



afines que analicen los factores que interfieren en el aprovechamiento de las minas a cielo abierto para poder minimizar los costos de extracción.

A nivel internacional se está utilizando el sistema de GPS para poder localizar grietas o discontinuidades en el material rocoso con la finalidad de evitar los factores que afectan el aprovechamiento del mineral, así como también, la utilización de algoritmos de optimización para diseñar y planificar la explotación de minas a cielo abierto. Sin embargo lo único que se puede hacer en las empresas de la región es tratar de obtener un catálogo gráfico que indique los posibles problemas con los que se puede encontrar el trabajador de las minas en función de las características cualitativas del mineral que se pretenda extraer o trabajar.

En la Empresa de Cantera Jaramillo se lleva a cabo el proceso de la extracción del mineral mediante pólvora y cuñas principalmente (Figura 1-6), lo que genera bloques de forma irregular que cuando se tienen que pasar al proceso de laminado ocasiona una serie de dificultades, ya que se necesita analizar cuál de las seis caras se tiene que poner sobre la mesa de corte y de qué forma se acomodará el mineral para obtener el mayor número de láminas posibles (Figura 1-7).



**Figura 1-6 Proceso de extracción con pólvora y cuñas.**



**Figura 1-7 Mesa de corte.**

Posteriormente las láminas obtenidas del paso anterior se pasan a la etapa de calibrado, en donde las esquinas o irregularidades que se tenían en el mineral extraído salen finalmente en forma de desperdicio de materia prima (Figura 1-8).



**Figura 1-8 Material obtenido en el proceso de calibrado.**

Finalmente el material que se obtuvo pasa al proceso de escuadrado (Figura 1-9). En esta etapa el desperdicio que se genera no tiene una relación directa con la extracción, sino más bien con sus características físicas.



**Figura 1-9 Material obtenido en el proceso de escuadrado.**

Por lo cual se justifica la investigación en la que se trate el estudio de la reducción de desperdicio mediante el uso de estrategias de calidad aplicado principalmente a la extracción, aunque adicionalmente es factible de aplicar para otras etapas del proceso productivo de la cantera.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Reducción de costos, mejora de productividad, retención de clientes son solo algunas de las promesas del sistema de manejo de calidad Seis Sigma. Existen varias perspectivas sobre lo que realmente es Seis Sigma, algunas empresas lo definen como “un método altamente técnico utilizado por ingenieros y estadísticos para afinar procesos y productos”. Es cierto que la medición y la estadística son un ingrediente clave en el proceso de mejora Seis Sigma, pero no son la historia completa.

Una segunda definición de Seis Sigma es que es un objetivo de “casi perfección” para cumplir los requerimientos de los clientes. Esto también es exacto; de hecho, el término “Seis Sigma” se refiere a un objetivo de desempeño, derivado estadísticamente, el cual significa 3.4 defectos por millón de actividades u “oportunidades”. Éste es un objetivo que pocas empresas o procesos pueden reclamar hoy día.

Otra manera de definir Seis Sigma es un esfuerzo de “cambio de cultura” para posicionar a una empresa para mayor satisfacción del cliente y competitividad.

Tomando en cuenta estas definiciones y algunas otras formales, los autores del libro “The Six Sigma Way” han llegado a la siguiente definición la cual es una de las más precisas que existe:

**SEIS SIGMA:** un sistema flexible y completo, para obtener, sostener y maximizar el éxito de nuestros negocios. Seis Sigma es únicamente impulsado por un cercano entendimiento de las necesidades de nuestros clientes, disciplina en el

uso de hechos, datos y análisis estadísticos, y una atención diligente para manejar, mejorar y reinventar nuestros procesos.

El tipo de “éxito de nuestros negocios” a los que se refiere la definición es diverso y puede incluir:

- a. Reducción de costos,
- b. Mejora de la productividad,
- c. Crecimiento de nuestra participación de mercado,
- d. Retención de clientes,
- e. Reducción de tiempos de ciclo,
- f. Reducción de defectos,
- g. Cambio de cultura,
- h. Desarrollo de productos/servicios,

Algunas de estas tendencias, que tienen aplicación directa o pueden complementar una iniciativa de Seis Sigma, pueden incluir:

- a. Manufactura esbelta,
- b. Sistemas de manejo de relación con clientes (CRM),
- c. Inventario justo a tiempo (JIT),
- d. Kaizen,
- e. Globalización,
- f. Poka-Yoke,
- g. Las 5 S,

El modelo de mejora DMAIC de Seis Sigma

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) se ha vuelto muy común en las organizaciones Seis Sigma; se utiliza en ambas situaciones, diseño/rediseño, y mejora de procesos. Entre las características de la metodología DMAIC se encuentran las siguientes:

- a. Se concentra en problemas reales, relacionados directamente con el resultado final;
- b. Produce resultados en un intervalo de tiempo de 4 a 6 meses;
- c. Utiliza herramientas y técnicas múltiples, incluidos métodos estadísticos rigurosos cuando sea necesario;
- d. Mantiene mejoras a largo plazo;
- e. Disemina las mejoras en toda la organización, y
- f. Actúa como un agente de cambio.

En la sección metodología se presenta un resumen de cada una de las etapas del ciclo DMAIC, resaltando para cada una de ellas su objetivo, actividades principales, herramientas que se pueden utilizar y las entregas clave.

## **2.1. CALIDAD**

La calidad se refiere al grado en el que un conjunto de características o rasgos diferenciadores inherentes cumple con las necesidades o expectativas establecidas, generalmente implícitas u obligatorias (Juran, 1988). Es inversamente proporcional a la variación de los productos y al re-trabajo. Por lo

tanto, el objetivo de una empresa debería ser: “Saber lo que el cliente quiere” y luego afinar el proceso para asegurar que lo consiguen.

El término cliente se refiere a la persona que recibe un producto, hay dos tipos:

- a) Clientes internos o aquellos que utilizan lo que otro grupo proporciona.
- b) Clientes externos o los que compran el producto o servicio.

La manera de mejorar la calidad consiste en averiguar quién es el cliente y lo que necesitan, y mejorar el proceso de cumplir plenamente esta necesidad. Existen varias técnicas para hacer esto, lo cual implica la creación de equipos para analizar los problemas con el proceso e implementar soluciones.

## **2.2. MEJORA DE LA CALIDAD**

La mejora de la calidad son conceptos que se han desarrollado durante varias décadas. Comenzaron simplemente como un método para clasificar los productos defectuosos a partir de buenos productos por la inspección al final de la línea de producción (Deming, 1989).

Antes de la Segunda Guerra Mundial, el trabajo pionero de una serie de estadísticos llevó al desarrollo de técnicas para mejorar el control de los procesos de producción para que el número de productos defectuosos disminuyera. Este cambio de énfasis, de la inspección a la prevención, era muy revolucionario. Se realizó utilizando métodos de muestreo para vigilar los procesos y mantenerlos bajo control. Inicialmente, se aplicaron de una manera muy limitada en los Estados Unidos, principalmente en las telecomunicaciones y las municiones.

Después de la guerra W. Edwards Deming introdujo estos conceptos de calidad en Japón. La idea central era mejorar el sistema de producción para prevenir defectos en lugar de la inspección y por ende la disminución de la cantidad de productos defectuosos.

Deming adoptó una serie de técnicas y metodologías para el control del proceso. También abrazó la filosofía de que la calidad debe ser responsabilidad de todos en la organización. Los japoneses adoptaron sus ideas, y con el tiempo se desarrollaron aún más, se extendió la aplicación de la mejora de procesos de fabricación para las funciones administrativas y de servicios, lo cual generó la reducción de costos y al mismo tiempo mejorar la calidad de sus productos.

Durante los años ochenta una serie de fabricantes norteamericanos comenzaron a aplicar conceptos de calidad y otras técnicas de gestión en el ámbito de la motivación del empleado, la medición y recompensas. Esta mezcla de técnicas de gestión de la calidad y las filosofías se refiere generalmente como Gestión de Calidad Total (James, 1997).

### **2.3. PROCESO DE MEJORA CONTINUA**

Mejora Continua es el término utilizado para describir el hecho de que la mejora de procesos se lleva a cabo en pasos incrementales. Nunca se detiene. Sin embargo las cosas que sean buenas, siempre puede ser mejor. La mejora continua es un esfuerzo implacable para agregar valor para el cliente (Prado, 2000).

La mayoría de la gente tiende a pensar en su propio trabajo en términos de una misión en el relativo aislamiento de otros trabajos en la organización. El primer



paso en la mejora de la calidad es que la gente visualice a su trabajo en términos de ser parte de un proceso continuo. Un proceso es simplemente una secuencia de tareas, que en conjunto producen un producto o servicio. La mejor manera de entender un proceso consiste en dibujar un diagrama de flujo.

Al hacer esto, es posible visualizar su propio trabajo en términos de ser un paso en un proceso. Un conjunto de nuevas ideas se abre. Por ejemplo, cada grupo de trabajo tiene un proveedor y un cliente. La gente toma la salida de otro grupo de trabajo, hacer el trabajo que añade valor, y luego pasarlo a otro grupo de trabajo.

El proceso de mejora continua debe ser impulsado desde la Dirección, pero de aplicación al trabajador. La selección de proyectos de mejora necesita un enfoque nítido. Las áreas de problema deben ser prioridad, los procesos críticos seleccionados para la mejora y establecer objetivos de mejora.

## **2.4. CONTROL ESTADÍSTICO**

Es un conjunto de técnicas utilizadas para monitorear procesos, cuyo propósito es indicar cuándo un proceso está trabajando de la mejor manera para lo que fue diseñado (sólo causas comunes de variación están presentes) o cuando es interrumpido y requiere de acciones correctivas de algún tipo (causas especiales de variación están presentes) (Montgomery, 2004).

En las Industrias se presentan variaciones generadas por los operarios, las máquinas y la materia prima. Por tal motivo es importante crear un formato de captura que identifique de manera rápida y eficiente estas variables, como por ejemplo una hoja de registro o un formato tabular. Para que con los datos

obtenidos se genere un Diagrama de Pareto que indique la frecuencia de ocurrencia o causa de un problema.

Posteriormente ya que se visualizaron las principales causas del problema se pueden clasificar en base a un Diagrama Causa-Efecto para verificar que hemos identificado el verdadero problema.

Finalmente se utilizan gráficos de control para monitorear variables de entrada y variables de salida de los procesos, para reconocer cuando se ha salido de control o para identificar la presencia de causas especiales de variación dentro de un proceso (Duncar, 2000).

## **2.5. TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO**

Sirven para conocer los fundamentos de la metodología de seis sigma y su utilización como una herramienta de mejora enfocada en la reducción de la variación en todo tipo de procesos, para de esa forma reducir costos de calidad e incrementar la satisfacción del cliente (Tennant, 2005).

Se utilizará esta metodología para encontrar y eliminar causas de errores o defectos en el proceso productivo de la cantera utilizando la estrategia denominada como DMAIC, que es un acrónimo por sus siglas en inglés: Define, Measure, Analyze, Improve and Control, de los pasos de la metodología de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

### Definición

En esta etapa se debe definir el problema para poder generar una función que satisfaga dicha situación. Posteriormente se realiza un mapeo del proceso para identificar los puntos críticos para la calidad (CTQs) y el alcance del mismo, para que así finalmente se actualice la asignación del proyecto.

### Medición

Para poder realizar la medición se debe de cumplir con los siguientes puntos:

- a) Identificar el método de medición y la variación generada.
- b) Determinar el tipo de información que se utilizara.
- c) Desarrollar un plan de recolección de información.
- d) Realizar el análisis del sistema de medición que se utilizara.
- e) Realizar la recolección de información.
- f) Realizar el análisis de la capacidad del método utilizado para la medición.

### Análisis

En esta parte es importante repasar las herramientas de análisis utilizadas para verificar que las herramientas gráficas sean las que generen el mayor número de información acerca de la problemática estudiada. Para que con ello se puedan identificar de manera más rápida y precisa las fuentes de variación.

### Mejoramiento

Esta etapa es quizás la más significativa ya que se es aquí cuando se generan las alternativas de mejora y un plan piloto. También es importante evaluar las mejoras para crear el mapa del proceso “Como debe ser/estudio a futuro” y con ello actualizar el análisis de modo y efecto de falla (AMEF). Y finalmente se debe hacer un Análisis de Costos/Beneficios.

### Control

Finalmente se puede desarrollar una estrategia y un plan de control. Así como realizar la actualización del Procedimiento Estándar de Operación y del Plan de entrenamiento.

## **2.6. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN**

Son muchos los factores que intervienen en el diseño y planificación de las explotaciones mineras, lo que hace de ésta, una formidable y complicada tarea, tal vez sólo superada, por la propia operación minera.

La geología, la extensión y morfología del yacimiento, la distribución espacial de la calidad y cantidad de los diferentes materiales, la climatología, la hidrogeología e hidrología, las características geo-mecánicas de los materiales, la topografía y su relación con el depósito, los taludes finales de la excavación, los límites de la concesión minera; las leyes de corte, las leyes medias y los ratios, los ritmos de producción en mina y en planta, las horas anuales de trabajo, las

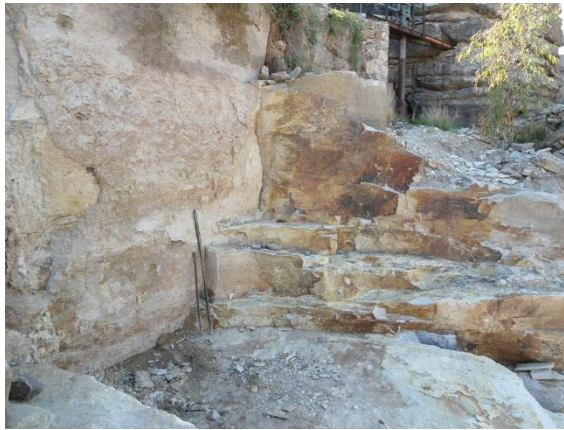
productividades, los factores de eficiencia, la flexibilidad de la operación, el número de frentes de trabajo, su longitud, la separación entre ellos, el grado de selectividad requerida, la dilución, las necesidades de mezclado; los posibles métodos y sistemas, el tipo, el tamaño y el número de equipos a emplear, sus necesidades operativas: altura de los bancos, necesidades de espacio en los frentes de trabajo, pendientes y dimensiones de las pistas; la infraestructura necesaria, las inversiones y los costos, las recuperaciones, las limitaciones económicas y financieras de la empresa, los mercados, los precios, las incertidumbres; y por si esto fuera poco, debemos tener en cuenta las diferentes técnicas con las que modelamos estos factores y sus interrelaciones y, cómo no, el criterio que prevalecerá a la hora de realizar el diseño y tomar la decisión final: maximizar el beneficio global, o el valor actualizado neto, o las reservas, o la vida de la explotación, o minimizar el riesgo de la inversión, etc.

No es de extrañar pues, que no exista ningún algoritmo matemático que sea capaz de encontrar una solución óptima, al menos, si hablamos de este término en un sentido totalmente estricto y riguroso. Lo que sí que existen, son algoritmos que, una vez fijados implícita o explícitamente son un conjunto amplio de parámetros, y bajo la supervisión del diseñador o planificador minero, ofrecen distintas alternativas, que resultarán más o menos operativas o factibles, en función de la cantidad y calidad de los parámetros de entrada que el modelo pueda aceptar. La rapidez de respuesta de los ordenadores es un importante estimulante del uso de estos algoritmos, debido al carácter ciertamente dinámico de los parámetros de entrada del modelo.

En definitiva, es el técnico el que deberá tomar las decisiones más idóneas, y el responsable último del diseño y planificación de la explotación, mientras que

los algoritmos son solamente herramientas potentes de trabajo, que ni deciden ni aceptan responsabilidades, sólo calculan.

El empleo de algoritmos necesita de un modelo del yacimiento (Figura 2-1), en forma de bloques rectangulares tridimensionales, que a su vez pueden estar formados por varios bloques menores, y que pueden tener en su interior información muy variada concerniente a sus dimensiones y coordenadas, al tipo y densidad del material al que representa, leyes o cantidades de metal(es), taludes de la excavación, costes, recuperaciones, precios, etc.



**Figura 2-1 Yacimiento minero.**

Para cada bloque, toda esta información se condensa finalmente en:

1) El valor neto del mismo (VN) o suma de los ingresos menos la suma de los costes imputables a la extracción de ese único bloque, supuesto que este valor es independiente de la secuencia de extracción.

2) Un fichero de arcos (S), que representa el conjunto de bloques que hay que extraer, de acuerdo con los taludes de la excavación, para posibilitar la salida del bloque considerado.

El problema de determinación del hueco óptimo (aquél cuyo VAN es máximo), es en realidad un problema de determinación de la secuencia óptima de explotación, que como ya hemos mencionado, no somos capaces de resolver actualmente (Bastante, Taboada, & Ordoñez, 2004).

### 3. METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo en la Empresa de Cantera “Jaramillo” ubicada en Rancho San José Dandhó s/n, Maney, Huichapan, Hidalgo, México. Esta empresa se dedica a la extracción, corte y labrado de la piedra. Se esfuerzan por brindar productos de calidad y al mejor precio, contando con los colores característicos de la zona, como son:

- Blanco Huichapan.
- Bronce.
- Canela.
- Negro.
- Naranja.
- Galindo.
- Café 3.
- Rosa.
- Gris Querétaro.



**Figura 3-1 Muestrario de productos.**



En las empresas dedicadas a la extracción y al proceso productivo de la cantera se genera una gran cantidad de desperdicio de materia prima (Figura 3-2 y 3-3), lo cual se ve reflejado en la pedacería de cantera que se puede encontrar tirada o acumulada en montones a los lados de las carreteras, en los terrenos cercanos a dichas empresas e inclusive en las calles de las comunidades aledañas.



**Figura 3-2 Desperdicio del banco de extracción.**



**Figura 3-3 Desperdicio de la laminadora.**

Pero como finalmente esto genera pérdidas económicas, se tomó la decisión de llevar a cabo una investigación para poder determinar los factores que originan dicha situación y tratar de disminuirlos e inclusive eliminarlos. Para esto será necesario utilizar alguna técnica de mejoramiento de la calidad que nos de esta información de manera más precisa y medible, como por ejemplo la técnica de DMAIC.

Aplicación del DMAIC en la empresa de cantera “Jaramillo”.

### **3.1. DEFINIR**

- Caso del negocio.

En las empresas cantereras se genera una cantidad considerable de desperdicio de materia prima en cada una de las etapas del proceso productivo. Esta situación conlleva a pérdidas materiales y económicas.

- Definición de oportunidad.

Disminuir la cantidad de desperdicio generado en el proceso productivo de la cantera para poder así aumentar las utilidades de la empresa.

- Definición de la meta.

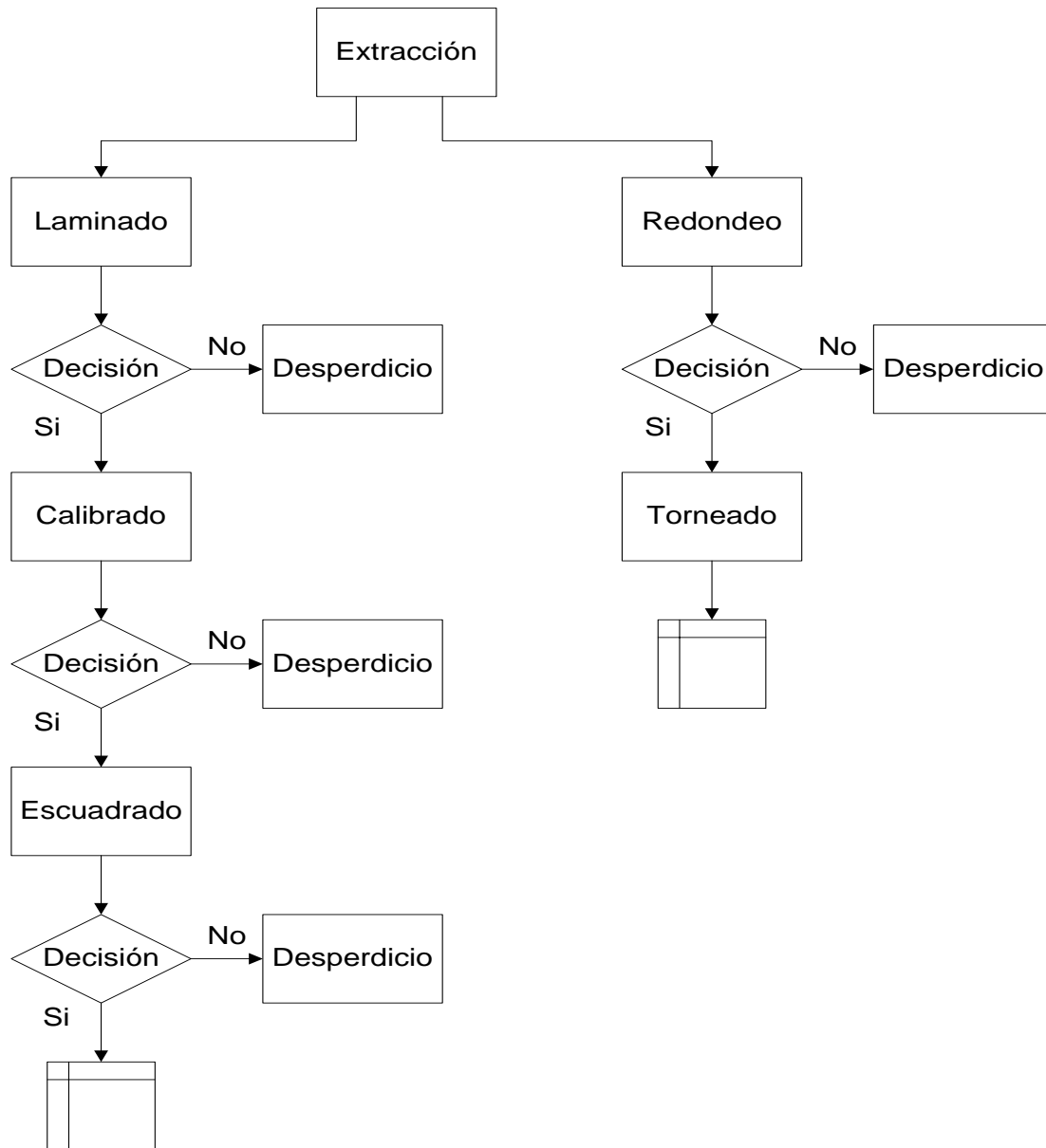
Disminuir el desperdicio de materia prima por el proceso de extracción utilizado.

- Alcance del proyecto.

La investigación abarco desde el proceso de la extracción hasta la utilización de las máquinas de calibrado.

- Mapeo del proceso.

Primer Nivel.



**Figura 3-4 Diagrama de flujo general.**



**Figura 3-5 Diagrama de flujo general visual.**

- Variables del mapeo de procesos.

Críticas.

Controlables.

Ruido.

### **3.2. MEDIR**

En esta etapa se identificó las mediciones que se tenían que realizar y se desarrolló un plan de recolección de datos para poder obtener información precisa y veraz de la situación de la empresa.

### **3.3. ANALIZAR**

Se generaron ideas de la forma en como se podría mejorar el proceso utilizando las herramientas de análisis grafico para poder identificar las fuentes de variación del Proceso Productivo de la Cantera.

### **3.4. MEJORAR**

Se generaron alternativas de mejora en el Proceso Productivo de la Empresa mediante la utilización de la Técnica de Extracción de Cantera con

agente expansivo y pólvora, para poder así evaluar las mejoras del mismo mediante un análisis de Cotos/Beneficio.

### **3.5. CONTROLAR**

Se desarrolló un Plan de control en la empresa para implementar las mejoras del proceso y para poder monitorear el desempeño en marcha; así como, para asegurar que se implementaran medidas preventivas y correctivas cuando el proceso ya no esté bajo control.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

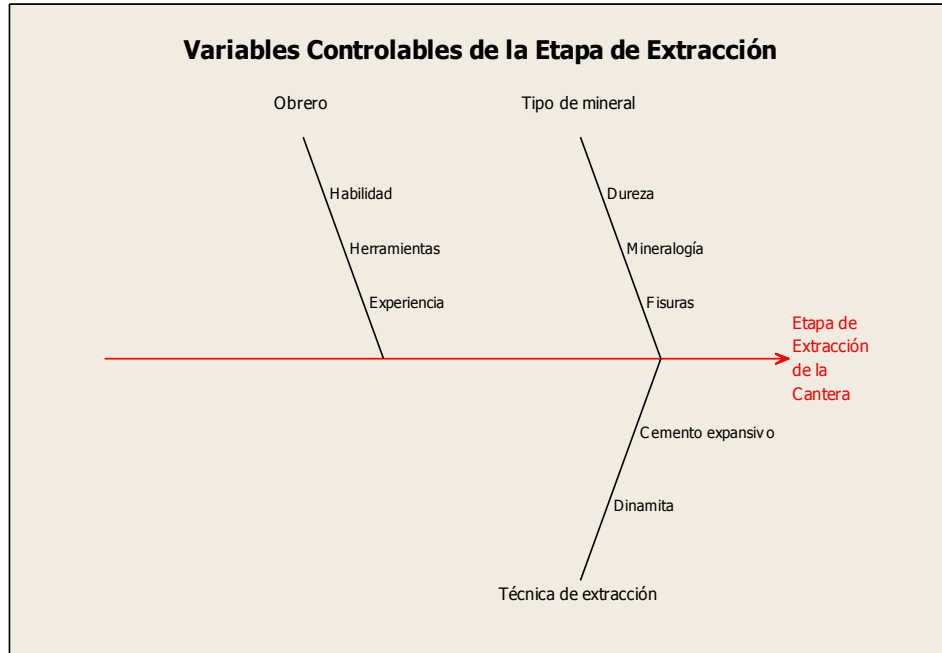
A lo largo de este Capítulo se mencionaran algunas observaciones especiales que se deben de considerar a lo largo del Proceso Productivo de la Cantera, así como los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación en función de la Mejora del Proceso de la Empresa.

### **4.1. DEFINIR**

Como se indicó en el Capítulo tres, en esta etapa se identificaron los diferentes tipos de variables dependiendo de las Etapas del Proceso Productivo de la Cantera, dicha información se muestra en el Anexo 3.

Con base en el Anexo observamos que la cantidad de variables presentes en este proceso es considerablemente alta; sin embargo, las variables que nos interesó trabajar a lo largo de esta investigación fueron únicamente las controlables. Con esta información se generó otra tabla que indico en qué etapa del proceso se producen dichas variables (Anexo 4).

En función de esta información y con la ayuda de las personas encargadas de extraer el mineral de la cantera se determinó que el proceso que genera más variables controlables es el de la extracción (Figura 4-1). Motivo por el cual los formatos utilizados para la obtención de información se hicieron en función de los dos procesos de extracción y del tipo de material con el que se trabaja.



**Figura 4-1 Diagrama Causa – Efecto de la Etapa de Extracción del Proceso Productivo.**



## 4.2. MEDIR

Para esta etapa fue necesario identificar un gráfico para monitorear las variables de entrada y las de salida del proceso productivo de la cantera; así mismo, se decidió que se tendrían dos situaciones importantes para evaluar, las cuales se mencionan a continuación.

Lo primero que se decidió que se tenía que medir fueron las tres dimensiones de los bloques que se tienen en los terrenos de la empresa, para con esto determinar el volumen promedio de los dos tamaños de roca que se manejan en la empresa.

El gráfico que se decidió usar fue el formato tabular, ya que era el más adecuado para identificar las variables especiales producidas por la materia prima. En el Anexo 5 y 6 se presenta la información obtenida.

Posteriormente ya con esta información se realizaron los cálculos necesarios para determinar en qué máquina laminadora sería más conveniente que se cortaran los bloques en función del diámetro del disco y del tamaño de las placas que se querían hacer (Anexo 7).





**Figura 4-2 Máquinas de corte.**

Ya después de esta etapa del proceso el material se pasa al proceso de laminado o al proceso de redondeo según las necesidades de los clientes. Cuando se pasó el material al proceso de laminado se contabilizó para poder determinar la cantidad de desperdicio generada por mes; así como, el uso y aplicación del mismo (Anexo 8). En función a lo establecido por el Consejo Estatal de Ecología para la Secretaría de Obras Públicas, Comunicaciones, Transporte y Asentamientos. Se debe de tener una Bitácora de Control de Residuos Industriales No Peligrosos en la que se muestre el Reporte Semestral de

Generación de Residuos Industriales No Peligrosos en base al Formato COEDE RINP-03 (Figura 4-3).



Posterior al proceso de laminado se vuelve a contabilizar la cantidad de desperdicio que se genera en las etapas de calibrado y escuadrado (Anexo 9), para que nuevamente se llene el formato COEDE (Figura 4-3).

La empresa cuenta con una hoja de cálculo que sirve para determinar el número de metros cuadrados que se obtienen por metro cubico, en función del espesor y las medidas del material laminado (Figura 4-4). La cual se usa para poder determinar el tonelaje o inclusive el número de piezas que los clientes necesitan; así como, la cantidad de desperdicio teórico generado. De igual forma se puede observar la cantidad de metros lineales que se desperdician (Anexo 10).

MEDIDAS							
m <sup>2</sup>	Color	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	m <sup>3</sup>	Toneladas	Piezas
1	Blanco	0.6	0.4	0.02	0.02	0.036	4.166667
2	Blanco	0.6	0.4	0.05	0.1	0.18	8.333333
3	Blanco	0.6	0.4	0.075	0.225	0.405	12.5
4	Blanco	0.6	0.4	0.1	0.4	0.72	16.66667
5	Blanco	0.6	0.4	0.12	0.6	1.08	20.83333
6	Blanco	0.6	0.4	0.15	0.9	1.62	25

**Figura 4-4 Hoja de cálculo para determinar el número de piezas vendidas por m<sup>3</sup>.**

La otra fundamental en el Proceso Productivo de la cantera es el uso del Cemento Expansivo como Técnica de extracción

### 4.3. ANALIZAR

Esta etapa fue la más complicada de toda esta investigación, ya que las personas que se encargan de extraer el material del banco de cantera tienen que analizar las características de la zona o porción que se quiere trabajar. Para que en función de esto se pueda decidir que técnica es la más factible aplicar para dicho fin. Ya que por ejemplo si se necesitaba un volumen pequeño, los extractores opinan que es más factible utilizar la extracción con pólvora en lugar de agente expansivo por que a simple vista hay una porción que cumple con las características requeridas (Figura 4-5).



**Figura 4-5 Bloque de mineral para extraer.**

Y ya finalmente cuando se explota el banco se observa que el trozo queda cortado prácticamente por la línea trazada en la figura anterior (Figura 4-6).



**Figura 4-6 Mineral listo para ser extraído.**

Con lo cual pudieron los empleados y dueños decir que no siempre es necesario emplear la extracción con el agente expansivo. Sino que más bien depende del tipo de material y del tipo de que corte que se quiera trabajar.

En la figura 4-7 se puede comprobar que no siempre las Técnicas de Extracción más modernas dan los resultados esperados, sino que más bien depende del mineral en donde se apliquen. En el caso de este bloque se usó la Técnica de Extracción con Agente Expansivo porque era de color Blanco Huichapan y de un tamaño considerable, sin embargo, como el mineral tenía una grieta natural que generaba un cambio en la presión interna del mineral. Cuando esta se fracturo no quedo completamente plana la cara.

Generalmente la extracción con agente expansivo se hace en el mineral de color Blanco Huichapan debido a que se tiene en menor cantidad en el yacimiento y por lo tanto es el que se vende a un precio más alto. Y también



cuando se quieren hacer cortes principales o iniciales independientemente del color de mineral.



**Figura 4-7 Extracción con Agente Expansivo.**

#### **4.4. MEJORAR**

Después de observar que la extracción de mineral de los Bancos de Cantera de la Empresa de Cantera “Jaramillo” no se puede llevar a cabo utilizando únicamente una Técnica de Extracción, ya que por las condiciones del mismo y el tipo de mineral que se trabaja, se decidió que la alternativa más viable era la de poner un “Taller de Estandarización de Bloques”. Este taller tendrá la responsabilidad de generar bloques de tamaño específico, pero sobre todo verificando que sean bloques completamente rectangulares, para que al momento en que pasan al proceso de laminado o de redondeado generen la menor cantidad de desperdicio posible.

Del mismo modo es importante mantener en óptimas condiciones la maquinaria y el herramental que se usa para el Proceso Productivo de la Cantera, ya sea con verificaciones o certificaciones periódicas que avalen que se encuentra operando bajo estándares de calidad.

## **4.5. CONTROLAR**

En esta etapa fue necesario un análisis de todos los aspectos directos e indirectos que intervienen en el Proceso Productivo de la Cantera ya sea para la laminación o para el redondeo de las piezas solicitadas por los diferentes clientes con los que cuenta la Empresa. Esto con la finalidad de detectar las situaciones o las acciones que lograrían mejorar la Calidad del Proceso de la Empresa. Dichas acciones se mencionan a continuación.

### **4.5.1. MEJORAS DEL PROCESO.**

Las mejoras del proceso abarcan las que tienen que ver con las máquinas y herramientas utilizadas para trabajar la cantera. Por ejemplo las grúas que se utilizan son de los años 70's, lo que implican que son todas manuales (Figura 4-8). Cabe mencionar que se les han hecho algunas modificaciones, como son:

- a) Cambio de motor.
- b) Cambio de diferenciales.
- c) Cambio de caja mono.

- d) Cambio de dirección.
- e) Cambio de eje delantero.
- f) Cambio de winch.

En relación con las máquinas que se usan para las actividades de corte y redondeado, lo que se hace hecho es el de conseguir máquinas hechas o empíricas; es decir, que no son de marcas internacionales. Pero que sin embargo se consiguen con proveedores mexicanos, y que pueden tener la ventaja de que cuando se requieren reparar o rehabilitar, los técnicos especializados en ello son mexicanos.



**Figura 4-8 Grúa para carga de bloques de mineral.**

#### **4.5.2. MEDIDAS PREVENTIVAS.**

Estas se relacionan con las acciones de inspección del instrumental que se usa para cortar la cantera y las máquinas. Por ejemplo los discos de corte se

tienen que tensionar para que cuando estén colocados en las máquinas no vibren exageradamente y que por consecuencia las láminas de mineral que se obtienen salgan irregulares (Figura 4-9).

En relación al mantenimiento de las máquinas cada ocho días se engrasan los rieles de desplazamiento (Figura 4-10), chumaceras y baleros (Figura 4-11), cadena de desplazamiento (Figura 4-12) y el usillo (Figura 4-13). Y diariamente se revisa que las regaderas (Figura 4-14) no estén obstruidas y por otro lado los trabajadores después de su turno de trabajo deben dejar limpia su área de trabajo.



**Figura 4-9 Discos de corte.**



**Figura 4-10 Rieles de desplazamiento.**



**Figura 4-11 Chumaceras y baleros.**



**Figura 4-12 Cadena de desplazamiento.**



**Figura 4-13 Usillo.**



**Figura 4-14 Regaderas.**

### **4.5.3. MEDIDAS CORRECTIVAS.**

Se utilizan principalmente en los herramientales de corte como son los discos y las brocas cilíndricas. Por ejemplo cuando estas herramientas pierden

sus segmentos o pastillas de corte se vuelven a colocar o pegar. Dicho proceso se lleva a cabo dentro de las instalaciones de la misma empresa, ya que después de un análisis monetario y de horas – máquina trabajadas, se pudo verificar que los herramientas de corte brindaban mejores resultados de trabajo cuando se arreglan en la empresa que con los proveedores (Tabla 4-1).

**Tabla 4-1 Comparación de resultados del Empastillado.**

Lugar	Rendimiento (m <sup>2</sup> corte)
Proveedor	800 – 1000
Empresa	700 – 1200

Los pasos para el empastillado son los siguientes:

- 1.- Determinar la cantidad de segmentos que se pegaran en el herramental de corte.
- 2.- Colocar los segmentos en una base o charola de forma ordenada.
- 3.- Se unta el fundente con un pincel a cada uno de los segmentos.
- 4.- Se coloca en la parte media del segmento un pedazo de plata.
- 5.- Nuevamente se unta el fundente sobre el trozo de plata.
- 6.- Previamente se colocó el herramental de corte sobre una mesa de trabajo; así como, un recipiente con agua y un trapo o esponja.



7.- Se un soporte para segmento y unas pinzas de presión, para poder unir el segmento al herramental de corte.

8.- Se solda la unión del segmento con el herramental de corte mediante soldadura de plata autógena.

9.- Se enfría la unión con agua.

10.- Se repiten nuevamente los pasos 7, 8 y 9.

Por otra parte cuando las máquinas que están trabajando no pueden avanzar o regresar en el corte de las piezas que se tienen en las mesas de corte, es cuando se paran aproximadamente desde una media hora hasta una semana para poder arreglarlas o darles mantenimiento (Figura 4-16).



**Figura 4-15 Etapas del Proceso de Empastillado de Herramentales de Corte.**



**Figura 4-16 Reemplazo de un variador de frecuencia.**

## 5. CONCLUSIÓN

Se determinó que la extracción con agente expansivo si genera bloques de una forma más regular que se ven traducidos en ganancias, pero sin embargo, por la naturaleza del mineral y por la forma de los yacimientos, no es factible que se aplique como una técnica exclusiva dentro de la empresa.

Por otra parte con este trabajo se determinó que las diferentes estrategias que se usan en la empresa para disminuir costos de producción pueden ser mejoradas o estandarizadas. Como en el caso del proceso de Empastillado se podría cuidar que las medidas del escantillón que es el elemento que se usa para colocar las pastillas de los herramientas de corte (Figura 5-1) se mantengan.





**Figura 5-1 Medidas del escantillón.**

Por otra parte se pueden mejorar o inclusive cambiar las máquinas de corte que se tienen actualmente por otras más recientes e industriales, o en su caso digitalizar o mejorar la automatización de las mismas (Figura 5-2).

Del mismo modo se pueden implementar una serie de cursos de capacitación de algunas cuestiones propias de los procesos industriales (Tabla 5-1), específicamente con el apoyo de Instituto de Capacitación para el Trabajo del Estado de Hidalgo "ICATHI" (Figura 5-3).



**Figura 5-2 Maquinaria de corte automatizada.**

**Tabla 5-1 Cursos propuestos.**

Área	Especialidad	Nombre del Curso
Electricidad y electrónica	Electricidad	Reparación de motores y bombas. Bobinado de motores.
	Electrónica	Comprobación de circuitos electrónicos fundamentales.
Instrumentación	Sistemas de Control Industrial	Mantenimiento de circuitos de control y sistemas electromecánicos.
Salud	Salud y seguridad en el trabajo	Seguridad e higiene en el trabajo.



**Figura 5-3 Logotipo del ICATHI.**

Por tal motivo se determinó que la hipótesis es verdadera. Además de que se logró cumplir con los objetivos particulares que se plantearon al inicio de la investigación; sin embargo, para cumplir el objetivo general será necesario llevar a cabo algunas otras investigaciones de carreras afines que brinden la información necesaria para llevar a cabo la Implementación del Modelo de Producción para reducir el desperdicio de materia prima en la Empresa, usando Técnicas de Mejoramiento de la Calidad.

### **5.1. SUGERENCIAS**

En general con este trabajo se pudieron vislumbrar diferentes oportunidades de mejora para el Proceso Productivo de la Empresa, las cuales son:

- Implementación de Algoritmos de corte que ayuden a optimizar el uso de los yacimientos que están dentro de las instalaciones de la Empresa.
- Aplicación de la Técnica de Extracción de Corte con Hilo Diamantado.

- Estudio de factibilidad del uso de la Extracción con Hilo Diamantado.
- Creación de software de distribución de corte de los bloques de mineral que se obtienen del banco.
- Generación de prototipos de máquinas digitalizadas e inclusive computarizadas para su uso en el Proceso Productivo de la Empresa.

Lo que implica que se generaran más temas de investigación para los próximos años dentro de las instalaciones de la empresa, y que se verá reflejado en sus ganancias económicas; así como, en su renombre y reconocimiento municipal, estatal e inclusive nacional. Ya que serían la primera Empresa Canterera de la región que cuente con personal especializado en las ramas de Mecatrónica, Electromecánica y Sistemas Computacionales para mejorar su Proceso Productivo.

Así mismo es importante mencionar que el enfoque que se cubre con esta investigación es el del Proceso Productivo, por lo que es necesario contar con enfoques administrativos, mercadológicos y de recursos humanos.

## ANEXOS

Anexo 1. Cuantificación de la Actividad Minera en el Estado de Hidalgo.

<b>NOMETÁLICOS</b>	<b>PRODUCCIÓN (t)</b>	<b>VALOR DE LA PRODUCCIÓN (\$)</b>	<b>PARTICIPACIÓN NACIONAL (%)</b>
AGREGADOS PÉTREOS	30,000.00	3,043,446.27	0
ARCILLAS	838,365.50	87,001,029.49	8
ARENA	6,815,315.00	689,509,140.71	7
AZUFRE	43,980.00	53,856,540.92	3
CALCITA	627,290.00	248,083,562.35	17
CALIZA	5,076,430.00	339,105,678.03	7
CANTERA	46,615.00	2,468,994.28	0
CAOLÍN	51,170.00	133,769,938.50	15
GRAVA	9,124,087.50	963,897,420.42	11
TEPETATE	5,800.00	69,323.32	0
TEZONTLE	16,522.00	597,521.10	0
YESO	277,250.00	28,629,666.26	3



Anexo 2. Principales Productores de Minerales No Metálicos del Estado de Hidalgo.

	<b>Nombre</b>	<b>Empresa</b>	<b>Municipio</b>	<b>t/día</b>	<b>Sustancia</b>
<b>1</b>	Huichapan	Cementos Mexicanos (Cemex), S.A. de C.V.	Huichapan	8800	Caliza
<b>2</b>	Atotonilco	Cementos Tolteca, S.A. de C.V.	Atotonilco de Tula	7000	Caliza
<b>3</b>	Tula	Sociedad Cooperativa La Cruz Azul, S.A. de C.V.	Tula	5500	Caliza
<b>4</b>	Atotonilco	Caleras Beltrán, S.A. de C.V.	Atotonilco de Tula	1000	Caliza
<b>5</b>	Tepejí	Productora de Cal, S.A. de C.V.	Tepejí del Río de O.	500	Caliza
<b>6</b>	Rosario	Carbonatos Industriales, S.A. de C.V.	Zimapán	270	Ca CO3
<b>7</b>	Zimapán	Derivados Químicos Naturales, S.A. de C.V.	Zimapán	275	Caliza
<b>8</b>	Atotonilco	Cal El Tigre, S.A. de C.V.	Atotonilco de Tula	150	Caliza
<b>9</b>	Zimapán	Carbonatos El Álamo, S.A. de C.V.	Zimapán	130	Caliza
<b>10</b>	Conejos	Unión de Producción Ejidal Conejos	Tepejí del Río de O.	100	Caliza
<b>11</b>	El Refugio	Calera El Refugio, S.A. de C.V.	Atotonilco de Tula	50	Caliza
<b>12</b>	Dios Padre	Mármoles del Valles del Mezquital, S.A. de C.V.	Ixmiquilpan	15	Mármol
<b>13</b>	La Encarnación	Alberto Parra Meza	Zimapán	100	Ca CO3
<b>14</b>	Tizayuca	Moliendas Tizayuca, S.A. de C.V.	Tizayuca	100	Ca CO3
<b>15</b>	Pachuca	Impalpables y Carbonatos de Zimapán, S.A.	Zimapán	30	Ca CO3
<b>16</b>	Tula	Arcillas y Caolines de Apulco, S.A. de C.V.	Tulancingo de Bravo	5	Arcillas
<b>17</b>	Tula	Barros Coloniales,	Tulancingo de Bravo	1	Arcillas
<b>18</b>	Flojonales	Enrique Ortiz Rodríguez	Zimapán	30	Ca CO3
<b>19</b>	Tepejí	Cal de Apasco, S.A.	Tepejí del Río de O.	7000	Caliza
<b>20</b>		Calizas y Carbonatos Rossin, S.A.	Zimapán	35	Caliza

21		Cribazim, S.A. de C.V.	Zimapán	130	Caliza
22		Comercializadora de Canteras, S.A. de C.V.	Huichapan	2	Cantera
23		Industrias Dayi, S.A. de C.V.	Progreso de Obregón	300	Caliza
24		Moliendas y Mezclas Minerales PEGAZU	Zimapán	100	Ca CO3
25		Química Atsa, S.A. de C.V.	Mixquiahuala	85	Ca CO3
26		Ranve, S.A. de R.L. de C.V. (Rangel-Vega)	Zimapán	20	Ca CO3
27		Secadora Industrial, S.A. de C.V. (SECASA)	Zimapán	32	Arcillas
28		Canteras Arquitectónicas de Hidalgo, S. de R.L. de C.V.	Huichapan	1	Cantera
29		Canteras Gorman, S.A.	Huichapan	1	Cantera
30		Canteras Hidalgo, S.A.	Pachuca	1	Cantera
31	San José	Canteras Jaramillo, S.A.	Huichapan	1	Cantera
32		Canteras La Fuente, S.A.	Huichapan	1	Cantera
33	Cerro Blanco	Explotadora y Comercializadora de Piedra Caliza y sus Derivados	Atotonilco de Tula	50	Caliza
34		Extracción de Caolín y Bentonita, S.A.	Tulancingo de Bravo	15	Caolín-Bentonita
35		General de Minerales, S.A.	Tizayuca	15	Caolín
36		Grupo Ala Materiales, S.A. de C.V.	Tizayuca	5	Piedra Pómez
37		Grupo J. Noriega y Asociados, S.A. de C.V.	Zempoala	25	Agregados Pétreos
38		Industrias Lazca, S.A.	Tulancingo de Bravo	10	Piedra Pómez
39		Lafarge Cementos, S.A. de C.V.	Atotonilco de Tula	50	Caliza
40		Mármol Creto, S.A. de C.V.	Huichapan	20	Cantera

Anexo 3. Variables del Proceso Productivo.

Proceso	Variables	Variables			Total
		Críticas	Controlables	Ruido	
Extracción	Habilidad del operador	X			7
	Dureza	X			
	Defectos o grietas	X			
	Ubicación	X			
	Técnica de extracción		X		
	Diseño de extracción		X		
	Maquinaria o herramientas	X			
Laminado	Criterio del operador	X			6
	Forma del material	X			
	Calidad del material	X			
	Tipo de corte		X		
	Calidad del disco de corte	X			
	Condiciones de la maquina			X	
Calibrado	Criterio del operador	X			6
	Aspecto del material	X			
	Calidad del material	X			
	Espesor		X		
	Calidad del disco de pulido	X			
	Condiciones de la maquina			X	
Escuadrado	Habilidad del operador	X			6
	Forma del material	X			
	Calidad del material	X			
	Tamaño de corte		X		

	Calidad del disco de corte	X			
	Condiciones de la maquina			X	
Redondeado	Habilidad del operador	X			6
	Tipo del material	X			
	Forma de torneado		X		
	Dimensiones		X		
	Calidad del buril	X			
	Condiciones de la maquina			X	
Torneado	Habilidad del operador	X			6
	Tipo del material	X			
	Forma de torneado		X		
	Dimensiones		X		
	Calidad del buril	X			
	Condiciones de la maquina			X	
Telar	Criterio del operador	X			6
	Forma del material	X			
	Calidad del material	X			
	Tamaño de corte		X		
	Calidad de las lamas	X			
	Condiciones de la maquina			X	
TOTAL DE VARIABLES		27	10	6	43

Anexo 4. Variables controlables del proceso.

Etapa	Variables controlables	
	Cantidad	Tipo
Extracción	2	Técnicas de extracción. Diseño de extracción.
Laminado	1	Tipo de corte.
Calibrado	1	Espesor.
Escuadrado	1	Tamaño de corte.
Redondeado	2	Forma de torneado. Dimensiones.
Torneado	2	Forma de torneado. Dimensiones.
Telar	1	Tamaño de corte.
TOTAL	10	

Anexo 5. Caracterización dimensional de la cantera producida.

Color	Tamaño	Dimensiones (m)			Volumen (m <sup>3</sup> )	Promedio (m <sup>3</sup> )
		Lado 1	Lado 2	Lado 3		
Capuchino o chicle	Grande	1.26	1.34	1.00	1.69	1.98
	Grande	1.30	1.48	1.21	2.33	
	Grande	1.32	1.37	1.43	2.59	
	Grande	1.17	1.40	1.30	2.13	
	Grande	1.0	0.90	1.00	0.86	
	Grande	1.41	1.17	1.38	2.28	
	Chico	0.42	0.71	0.36	0.11	0.08
	Chico	0.40	0.27	0.31	0.03	
	Chico	0.36	0.64	0.34	0.08	
	Chico	0.43	0.70	0.38	0.11	
	Chico	0.40	0.26	0.41	0.04	
	Chico	0.44	0.70	0.45	0.14	
Blanco Huichapan	Grande	1.45	1.40	1.30	2.64	1.80
	Grande	1.50	1.32	0.58	1.15	
	Grande	1.32	1.76	0.70	1.63	
	Grande	1.35	1.15	1.21	1.88	
	Grande	1.40	1.70	1.00	2.38	

	Grande	1.15	1.00	1.00	1.15	
	Chico	0.37	0.70	0.72	0.19	0.13
	Chico	0.40	0.70	0.37	0.10	
	Chico	0.38	0.45	0.73	0.12	
	Chico	0.45	0.48	0.50	0.11	
	Chico	0.43	0.44	0.66	0.12	
	Chico	0.38	0.45	0.69	0.12	
	Chico	0.44	0.68	0.48	0.14	
Canela	Chico	0.48	0.72	0.46	0.16	
	Chico	0.46	0.71	0.48	0.16	
	Chico	0.45	0.67	0.47	0.14	
	Chico	0.71	0.82	0.43	0.25	
	Chico	0.46	0.62	0.46	0.13	
	Chico					

Anexo 6. Volumen promedio en función del tamaño del mineral.

Tamaño	$V_{\text{promedio}} \text{ (m}^3\text{)}$
Grande	1.89
Chico	0.12

Anexo 7. Medidas características de trabajo de las máquinas de corte.

Medidas (m)	Máquina 1 (Máq. no industrial)	Máquina 2 (Máq. Industrial)	Máquina 3 (Máq. no industrial)
Alto	1.80	1.80	2.00
Ancho	1.5	1.80	1.40
Largo	1.80	3.00	2.40



Anexo 8. Residuos generados en el banco.

**Año 2008**

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	24	Escombros	Mamposteo
Febrero	24	Escombros	Mamposteo
Marzo	20	Escombros	Mamposteo
Abril	18	Escombros	Construcción de cercas
Mayo	18	Escombros	Rehabilitación de caminos
Junio	20	Escombros	Rehabilitación de caminos
Julio	24	Escombros	Construcción de cercas
Agosto	18	Escombros	Mamposteo
Septiembre	20	Escombros	Mamposteo
Octubre	16	Escombros	Construcción de cercas
Noviembre	18	Escombros	Rehabilitación de caminos
Diciembre	16	Escombros	Mamposteo

**Año 2009**

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	24	Escombros	Mamposteo
Febrero	18	Escombros	Mamposteo
Marzo	16	Escombros	Construcción de cercas
Abril	18	Escombros	Construcción de cercas
Mayo	18	Escombros	Construcción de cercas
Junio	24	Escombros	Construcción de cercas
Julio	16	Escombros	Mamposteo
Agosto	18	Escombros	Mamposteo
Septiembre	16	Escombros	Construcción de cercas
Octubre	24	Escombros	Rehabilitación de caminos
Noviembre	20	Escombros	Rehabilitación de caminos
Diciembre	16	Escombros	Rehabilitación de caminos

### Año 2010

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	18	Escombros	Rehabilitación de caminos
Febrero	18	Escombros	Mamposteo
Marzo	16	Escombros	Rehabilitación de caminos
Abril	18	Escombros	Deposito temporal
Mayo	20	Escombros	Construcción de cercas
Junio	16	Escombros	Construcción de barda
Julio	20	Escombros	Deposito temporal
Agosto	16	Escombros	Construcción
Septiembre	18	Escombros	Deposito temporal
Octubre	20	Escombros	Deposito temporal
Noviembre	20	Escombros	Construcción de cercas
Diciembre	18	Escombros	Deposito temporal

### Año 2011

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	18	Escombros	Mamposteo
Febrero	18	Escombros	Mamposteo
Marzo	20	Escombros	Rehabilitación de caminos
Abril	18	Escombros	Deposito temporal
Mayo	16	Escombros	Deposito temporal
Junio	18	Escombros	Rehabilitación de caminos
Julio	24	Escombros	Deposito temporal
Agosto	30	Escombros	Mamposteo
Septiembre	42	Escombros	Mamposteo
Octubre	30	Escombros	Mamposteo
Noviembre	48	Escombros	Rehabilitación de caminos
Diciembre	36	Escombros	Rehabilitación de caminos

## Año 2012

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	36	Escombros	Mamposteo
Febrero	36	Escombros	Mamposteo
Marzo	42	Escombros	Mamposteo
Abril	60	Escombros	Reh. de caminos y mamposteo
Mayo	60	Escombros	Mamposteo
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			

Anexo 9. Residuos generados en la laminadora.

**Año 2008**

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Febrero	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Marzo	16	Escombros	Rehabilitación de caminos
Abril	21	Escombros	Rehabilitación de caminos
Mayo	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Junio	18	Escombros	Rehabilitación de caminos
Julio	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Agosto	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Septiembre	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Octubre	14	Escombros	Nivelación de predios part.
Noviembre	18	Escombros	Nivelación de predios part.
Diciembre	16	Escombros	Rehabilitación de caminos

**Año 2009**

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	16	Escombros	Rehabilitación de caminos
Febrero	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Marzo	16	Escombros	Rehabilitación de caminos
Abril	16	Escombros	Rehabilitación de caminos
Mayo	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Junio	16	Escombros	Rehabilitación de caminos
Julio	14	Escombros	
Agosto	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Septiembre	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Octubre	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Noviembre	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Diciembre	12	Escombros	Rehabilitación de caminos

### Año 2010

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	14	Escombros	Relleno ampliación
Febrero	12	Escombros	Relleno ampliación
Marzo	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Abril	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Mayo	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Junio	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Julio	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Agosto	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Septiembre	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Octubre	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Noviembre	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Diciembre	12	Escombros	Rehabilitación de caminos

### Año 2011

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Febrero	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Marzo	14	Escombros	Relleno ampliación
Abril	12	Escombros	Rehabilitación de caminos
Mayo	14	Escombros	Rehabilitación de caminos
Junio	18	Escombros	Rehabilitación de caminos
Julio	24	Escombros	Rehabilitación de caminos
Agosto	30	Escombros	Rehabilitación de caminos
Septiembre	42	Escombros	Rehabilitación de caminos
Octubre	36	Escombros	Rehabilitación de caminos
Noviembre	54	Escombros	Rehabilitación de caminos
Diciembre	30	Escombros	Rehabilitación de caminos

### Año 2012

Mes	m <sup>3</sup>	Residuo	Destino final
Enero	30	Escombros	Rehabilitación de caminos
Febrero	36	Escombros	Rehabilitación de caminos
Marzo	42	Escombros	Rehabilitación de caminos
Abril	60	Escombros	Rehabilitación de caminos
Mayo	60	Escombros	Rehabilitación de caminos
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			

Anexo 10. Metros cuadrados obtenidos por m<sup>3</sup> trabajado.

Espesor (cm)	m <sup>2</sup> obtenidos
1	100
2	50
3	34
4	25
5	20
6	16
7	14
7.5	13
8	12
9	11
10	10
11	9
12	8
13	7
14	7
15	6

## REFERENCIAS

Bastante, F., Taboada, J., & Ordoñez, C. (2004). Design and planning for slate mining using optimisation algorithms. *Engineering Geology*, 73, 1-2, 93-103.

Besterfield. (s.f.).

Deming, W. (1989). *Calidad, Productividad y Competitividad*.

Gutierrez. (s.f.).

James, P. (1997). *La Gestión de la Calidad Total un Texto Introductorio*. España: Prentice Hall.

Juran, J. (1988). *Juranis Quality Control Handbook*. New York.

Martínez, E. (2007). *CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA EL REAPROVECHAMIENTO DE LA CANTERA DE TEZOANTLA, ESTADO DE HIDALGO*. Pachuca de Soto, Hidalgo.

Prado, J. (2000). *El proceso de mejora continua en la empresa*. España: Ediciones Pirámide.

Sánchez, P. (Diciembre de 2005). Propuesta de implementación de un sistema de adquisiciones para la industria canterera de la región de huichapan. Huichapan, Hidalgo, México.

Taboada J., V. A. (1999). Evaluation of the quality of a granite quarry. *Engineering Geology*, v. 43 1 1-11.

Taboada, J. A. (2005). Aprovechamiento integral de una cantera de granito ornamental. *Materiales de Construcción*, v. 5 279.



Tennant, G. (2005). Six Sigma, Control estadístico del proceso y administración total de la calidad en manufactura y servicios. PANORAMA.