

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

"INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE LIMPIEZA EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE MINERALES TALES COMO LA MAGNESITA Y DOLOMITA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA"

TESIS DE GRADO

EVA VIRGINIA RIVERA BARAHONA

CARNET 10265-10

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JUNIO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

"INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE LIMPIEZA EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE MINERALES TALES COMO LA MAGNESITA Y DOLOMITA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA"

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
EVA VIRGINIA RIVERA BARAHONA

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA INDUSTRIAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JUNIO DE 2017
CAMPUS CENTRAL



AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA
SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JORGE ALFREDO REDONDO CHACÓN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. JUAN FERNANDO CASTILLO GUTIERREZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSÉ ANTONIO ANDRINO FLORES
MGTR. JUAN LUIS GARCÍA CASTELLANOS
ING. RICARDO ANTONIO ALONZO QUIXCHAN

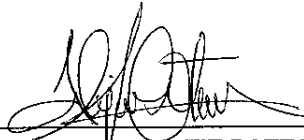
Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante EVA VIRGINIA RIVERA BARAHONA, Carnet 10265-10 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02354-2017 de fecha 24 de marzo de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE LIMPIEZA EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE MINERALES TALES COMO LA MAGNESITA Y DOLOMITA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA"

Previo a conferírsele el título de INGENIERA INDUSTRIAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 21 días del mes de junio del año 2017.



MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARÍA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar

Guatemala, 15 de Junio de 2017

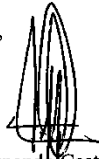
Ingeniera
Marya Alejandra Ortiz Patzán
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería

Estimada Inga. Ortiz:
Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: "INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA REDUCCION DE TIEMPOS DE LIMPIEZA EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE MINERALES TALES COMO LA MAGNESITA Y DOLOMITA, UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA". De la estudiante **Eva Virginia Rivera Barahona** quien se identifica con número de carnet **1026510**. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atentamente,



Ing. Juan Fernando Castillo Gutiérrez
Asesor

AGRADECIMIENTO

A mi madre:

Quien fue mi pilar y motivación para llevar a cabo con éxito mis estudios dándome la oportunidad de superarme y crecer como persona, acompañándome en los momentos tanto buenos como difíciles, y que a pesar que ahora ya no está a mi lado la siento junto a mí en todo instante; seguirá siendo mi ejemplo a seguir recordándome que siempre debo de luchar por mis objetivo y nunca me debo de dar por vencida viéndose reflejada en la siguiente frase, todo esfuerzo siempre tiene su recompensa. Este logro es tanto mío como de mi madre, ella lo deseaba tanto como yo, por eso estoy convencida que el cielo esta tan complacido como yo por esta meta que acabo de concluir.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo de tuvo como objetivo incrementar la productividad mediante la reducción de tiempo de limpieza en una empresa que se dedica a procesar minerales tales como la magnesita y dolomita, abarcando desde previsiones en la producción en un período de tiempo determinado, costos de inversión, entre otros.

Se aplicaron varias herramientas vistas a lo largo de la carrera de ingeniería industrial tales como: los diferentes tipos de previsión, lote óptimo, análisis económico, etc. Se obtuvo como resultado el método de previsión adecuado para cada mineral que fue objetivo de estudio (el método adecuado está basado en el que menor error presentaba), en donde se encontraron tanto los costos actuales como los costos propuestos para luego realizar el análisis económico y verificar que propuesta sería factible y se adecuaba a sus necesidades.

Como los resultados ya obtenidos se puede concluir que la empresa procesadora de minerales debe de realizar ciertas variantes como: implementar el sistema sandblast para la limpieza del sistema, realizar una adecuado sistema de pesaje para evita los desperdicios y reducir el tiempo actual de limpieza, e invertirlo para producción.

Índice

I. Introducción	11
II. Marco teórico	12
2.1. Empresa trituradora de minerales.....	12
2.2. Previsión.....	12
2.3. Serie de tiempo:.....	25
2.4. Selección de método de pronóstico.....	31
2.5. Capacidad.....	32
2.6. DOP	32
2.7 Sandblast	33
2.4 EPAM.....	33
III. Planteamiento del problema	34
3.1 Objetivos	34
• Objetivo general	34
• Objetivos específicos	34
3.2 Alcance y limitaciones.....	35
3.3 Aportes	36
IV. Método	37
4.1 Sujeto.....	37
4.2 Instrumento.....	38
V. Procedimiento	39
5.2 Procedimiento de limpieza de la línea de producción de triturado y cribado de minerales:	41
VI. Situación Actual	42
Situación Actual:	42
VII. Propuestas de Mejora	44
Propuesta de mejora No.1:.....	44
- Diagrama flujo de procesos, propuesta de mejora No. 1:	44
Propuesta de mejora No.2:	45
- Diagrama flujo de procesos, propuesta de mejora #2:	46
Propuesta de mejora No.3 planificación:	47
Comparativo	51

VIII. Pesaje del material triturado	52
Opción A mecanismo de pesaje final de la línea de producción	53
Opción B mecanismo de pesaje inicio de la línea de producción.....	55
Opción C mecanismo de celdas de pesaje en la tolva.....	55
Prueba de pesaje	57
IX. Proceso de sandblast	59
X. Previsión	61
10.1 Cálculos de mineral magnesita	62
• Cálculo de previsión media móvil ponderada 2 períodos:	63
• Cálculo de previsión media móvil ponderada 3 períodos	64
• Cálculo de previsión alisado exponencial.....	65
• Cálculo de previsión alisado exponencial con ajuste de tendencia	67
10.2 Calculo de mineral dolomita.....	69
• Cálculo de previsión media móvil ponderada 2 períodos	71
• Cálculo de previsiones media móvil ponderada 3 períodos	72
• Cálculo de previsiones alisado exponencial.....	73
• Media móvil ponderada de alisado exponencial con ajuste de tendencia	74
10.3 Descomposición de la previsión en estaciones	77
• Magnesita	77
• Dolomita.....	83
XI. Costos de desperdicio	89
11.1 Situación actual:.....	92
11.2 Propuesta No. 1	94
11.3 Propuesta No.2:	95
11.4 Propuesta No.3 Planificación.....	97
XII. Costo de mano de obra	99
12.1 Costo propuesta No. 1	105
12.2 Costo Propuesta No. 2.....	108
XIII. Costo de energía eléctrica	111
13.1 Costo actual energía eléctrica:	111
13.2 Propuesta No. 1:.....	114

13.3 Propuesta No. 2:.....	116
XIV. Costo de sandblast.....	118
XV. Comparativo	123
XVI. Costo de mantenimiento y costos de calibración	127
XVII. Planeación de la capacidad	128
17.1 Situación actual:.....	128
• Capacidad diseñada	128
• Capacidad efectiva:.....	128
• Capacidad real:.....	130
• Ejemplificación Año 2017:.....	131
• Resultados.....	131
17.2 Propuestas de mejora:.....	132
• Propuesta No. 1	132
• Propuesta No. 2.....	135
XVIII. Análisis económico	139
18.1 Cálculo TMAR	139
18.2 Cálculo TIR.....	142
18.3 Propuesta No. 1:.....	144
18.4 Propuesta No. 2.....	144
XIX. Conclusiones.....	145
19.1 Planeación de la capacidad	145
19.2 Costos:	146
• Mano de obra	146
• Energía eléctrica.....	146
• Desperdicios.....	146
19.3 Análisis económico.....	146
XX Referencias.....	148

I. Introducción

En el ambiente altamente competitivo que viven las empresas hoy en día, es necesario implementar procesos de mejora continua, para lograr que estas sean sostenibles y competitivas. Parte fundamental de dicho proceso de mejora continua son las previsiones, a través de las cuales una compañía puede anticiparse a las necesidades de recursos, capacidad, diseño, etc. lo cual se traduce en un aumento de la rentabilidad.

En el presente trabajo de investigación se darán a conocer las propuestas de mejora en la productividad del proceso de triturado y cribado del óxido de magnesio y piedrín dolomita de una empresa procesadora de minerales. La finalidad es dar propuestas de mejora enfocadas en optimizar los tiempos del proceso para aumentar la capacidad de producción y de esta manera postergar la inversión en la adquisición de maquinaria (tolva, trituradora, criba).

Existen dos factores relevantes que impactan en la productividad del proceso de triturado y cribado las cuales son: la planificación de la producción y realizar las tareas de forma simultánea, debido a ellos se aplicarán las herramientas de ingeniería para contribuir a las mejoras del proceso.

Es importante el buen funcionamiento de cada una de las partes del proceso de triturado y cribado por ello se analizará la producción, cambio de material (con su respectiva limpieza) para optimizar los recursos financieros, de mano de obra, materia prima y tiempos de ejecución de cada una de las tareas.

Durante la elaboración de la investigación se establecieron los objetivos a alcanzar, así como se justificó el planteamiento del problema, con la finalidad de poder brindar soluciones que ayuden a que el proceso sea más efectivo.

II. Marco teórico

2.1. Empresa trituradora de minerales

Es una organización o industria dedicada a la trituración de minerales tanto para uso interno como externo, dichos materiales son utilizados esencialmente para la elaboración de cerámicos, fertilizantes, nutrientes para suelos, papel, detergente o plantaciones.

2.2. Previsión

Previsión es el arte y la ciencia de predecir acontecimientos futuros, partiendo del análisis de los datos históricos en donde se proyectará hacia el futuro, esto irá de la mano de un modelo matemático. Por lo que una previsión es la acción de prever de forma anticipada lo que ocurrirá en un determinado periodo de tiempo. Por lo que la palabra previsión significa pre-ver, tratar de ver en forma anticipada lo que va a ocurrir.

- Horizontes temporales de la previsión
 - a. Previsiones a corto plazo: dicha previsión tiene un lapso de tiempo hasta un año, sin embargo el tiempo llega a ser inferior aproximadamente hasta tres meses. Dicha previsión es muy utilizada para planificación de compras, es muy útil para la programación en el trabajo, así bien en la asignación de tareas y para la planificación en los niveles de producción.
 - b. Previsiones a medio plazo: el tiempo estipulado para dicha previsión entra en un intervalo de tiempo entre tres meses a tres años. Usualmente es implementada para la planificación de las ventas, planificación de la producción incluyendo presupuestos y para análisis de diferentes planes operativos.
 - c. Previsiones a largo plazo: abarca períodos de tres años o más, por lo que se implementa en planificación de nuevos productos, localización o expansión de instalaciones y su desarrollo.

- Tipos de previsiones
 - a. Previsión económica: son los ciclos económicos provenientes de inflación, masa monetaria, construcción de primeras viviendas y otros indicadores con relación económica.
 - b. Previsión sobre la tecnología: dichas previsiones ayudan al nacimiento de interesante productos, donde surgen nuevas fábricas y equipos.
 - c. Previsión de la demanda: estas previsiones son también denominadas previsiones de ventas, que dan a conocer las demandas de los productos o servicios de una empresa. En donde conducen un sistema de producción de las empresas, asimismo su capacidad y su planificación, incluyendo planificación financiera, de marketing.

Revisión de métodos cuantitativos:

- Método de serie temporal:

Los modelos de serie temporal se definen como un conjunto de observaciones recopiladas secuencialmente de una variable específica con el objetivo de realizar previsiones. Para ello se observa lo que ha ocurrido a lo largo de un periodo de tiempo determinado incluyendo una serie de datos pasados. Generalmente dichas observaciones suelen recogerse en periodos con igual tiempo de espera. (Series temporales, s.f.)

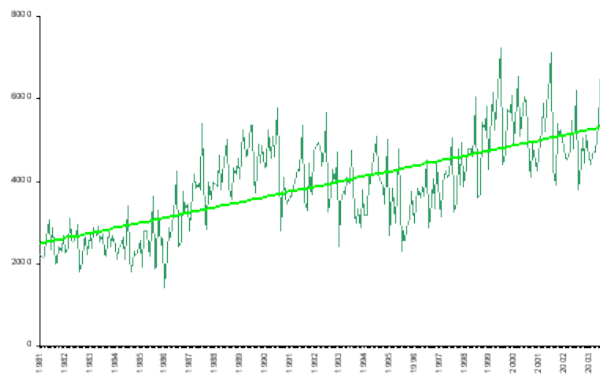
A partir de las mismas, las series temporales pueden clasificarse en discretas o continuas. Serán también consideradas determinísticas si se logra predecir totalmente valores exactos. De lo contrario si los resultados son parcialmente exactos serán series temporales estocásticas. (Series temporales, s.f.)

Los objetivos principales de dichas series se enfocan en considerar medidas descriptivas básicas a base de su estudio y a partir de sus valores poder explicar el pasado y predecir el futuro. (Series temporales, s.f.)

Su estudio descriptivo descompone la variación de una serie en distintas componentes básicas, habitualmente siendo las siguientes:

Tendencia: esta componente indica el movimiento y comportamiento de valores de una serie temporal a lo largo del tiempo identificándose con movimientos suaves de la serie a largo plazo. Dicho comportamiento se puede ver afectado por cambios en la población, cambios tecnológicos, incremento en la productividad o inflación. (Componentes de una serie temporal, s.f.)

El siguiente ejemplo es una serie de ventas de turismos en Castilla y León a partir de enero de 1980. La tendencia es creciente y se representa por medio



*Tendencia de la serie de ventas de turismos en Castilla y León
(Componentes de una serie temporal, s.f.)*

de la línea recta que se observa. Al calcular la pendiente de la misma se obtiene un valor de 10.4, indicando que tendencialmente, cada mes se venden 10.4 turismos más que en el mes anterior. (Componentes de una serie temporal, s.f.)

La línea recta es la regresión de los puntos de la serie, siendo esta una de las formas de calcular la tendencia. (Componentes de una serie temporal, s.f.)

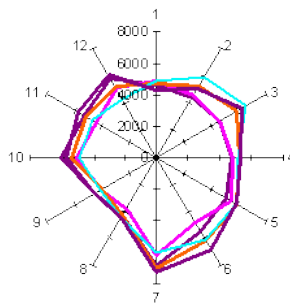
Estacionalidad: es un patrón de variación de datos que se repiten cada cierto número de días, semanas, meses o trimestres es decir que en

ocasiones se puede presentar cierta periodicidad de los periodos en las series temporales.

Un ejemplo claro es el paro laboral ya que generalmente aumenta en invierno y disminuye en verano.

Para abordar más este comportamiento se explicará la estacionalidad con el siguiente ejemplo:

El gráfico de telaraña a continuación, presenta las matriculaciones de turismo en Castilla y León durante los años 1999 a 2003. Cada uno de los



Estacionalidad en las matriculaciones de turismo en Castilla y León. (Componentes de una serie temporal, s.f.)

radios representa un mes (1 para enero, 2 para febrero y así sucesivamente) y se perciben ciertas pausas en la gráfica. En los meses de enero, agosto y septiembre se observan pocas matriculaciones relativas, mientras que en julio y junio los valores son elevados, en contraste con la tendencia.

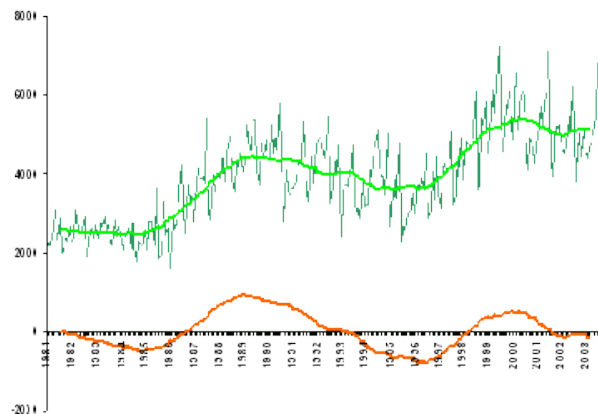
Un factor importante a conocer es que las estacionalidades no deben de tener un periodo superior al anual, para no entrar en confusión con las componentes cíclicas. (Componentes de una serie temporal, s.f.)

Ciclos: son patrones en los datos que ocurren cada cierto número de años; por lo regular tienen relación con los ciclos económicos, y son muy importantes para analizar y planificar negocios a corto plazo. Esta

componente refleja comportamientos no necesariamente periódicos, con un periodo superior a un año.

Con frecuencia los ciclos económicos resultan de superponer o yuxtaponer los distintos efectos con periodos distintos ya sea cortos o más largos. Por esa misma razón muchas veces no se logra separar de la tendencia, especialmente para series no muy largas.

Con la misma representación de ventas de turismos, a continuación, se presenta gráficamente la componente cíclica (de color naranja). En este caso como se había mencionado antes, no se separa de la tendencia. Por lo que se le denomina entonces la ciclo-tendencia.



Componente cíclica de la venta de turismos en Castilla y León. (Componentes de una serie temporal, s.f.)

Variaciones irregulares o aleatorias: son irregularidades en los datos causados por el azar y situaciones inusuales. Son ocasionadas por múltiples factores, de pequeño valor y distintos ritmos temporales. La componente irregular recogería, la incapacidad del modelo para explicar a la perfección el comportamiento de la serie temporal. (Componentes de una serie temporal, s.f.) Esta no sigue ningún modelo predecible.

- *Enfoque simple:*

En este método se da una relación eficacia-coste el cual consiste en suponer que en el siguiente periodo se venderá lo mismo que en el precedente.

Un ejemplo se puede dar en una panadería el cual se necesita abastecer diariamente de una cifra similar a la que se utilizó el día anterior; y en el mes de agosto podrá hacer la previsión de enfoque simple sobre las ventas diarias del agosto anterior. Probablemente sea más conveniente para el panadero llevar la administración y recolección de datos para prever variaciones poco significativas.

- *Medias móviles:*

La media móvil es la suma de la demanda de ciertos meses y dividido la cantidad de dichos meses.

$$Media\ móvil = \frac{\sum Demanda\ en\ los\ n\ periodos\ previos}{n}$$

Este es un método conservador de previsión que establece que la demanda del mercado es estable. Se utiliza al momento de querer dar más importancia a datos más recientes para poder establecer una previsión. Cada punto va a representar la media aritmética de puntos consecutivos en la serie, el cual se eligen de modo que los efectos estacionales y / o irregulares se eliminen. (Promedio móvil , s.f.)

Este método es óptimo para patrones de demandas aleatorias o niveladas donde se tiene el objetivo de eliminar el efecto de los elementos irregulares históricos por medio de un enfoque en períodos de demanda reciente. (Promedio móvil , s.f.)

Un ejemplo de aplicación de este método es el siguiente:

Una compañía presenta en el siguiente tabulado el reporte de ventas correspondiente al año 2009. (Promedio móvil , s.f.)

Tabla. Reporte de ventas correspondiente al año 2009

Mes	Ventas Reales (2009)
Enero	80
Febrero	90

Marzo	85
Abril	70
Mayo	80
Junio	105
Julio	100
Agosto	105
Septiembre	100
Octubre	105
Noviembre	100
Diciembre	150

Con los datos de la tabla anterior se necesita calcular un pronóstico con la técnica de promedio móvil utilizando:

- Un período de 3 meses (a partir de abril de 2009)
- Un período de 6 meses (a partir de julio de 2009)

Se quiere identificar cuál de los dos períodos del pronóstico es más preciso al compararse con las ventas reales del reporte.

Solución:

Este deberá efectuarse a partir del mes de abril al ser un pronóstico con un período móvil de 3 meses. Esto quiere decir que para su cálculo tendrá en cuenta tres períodos, enero, febrero y marzo. (Promedio móvil , s.f.)

$$\hat{X}_{4(abril)} = \frac{80 + 90 + 85}{3} = 85$$

Para la previsión de mayo, se deben tomar en cuenta los últimos tres períodos que anteceden al mes de mayo, es decir febrero, marzo y abril. (Promedio móvil , s.f.)

$$\hat{X}_{4(mayo)} = \frac{90 + 85 + 70}{3} = 82$$

De la misma manera se calculan las previsiones restantes, con lo que se obtendrá lo siguiente:

Tabla. Pronóstico 3 meses. (Promedio móvil , s.f.)

Mes	Ventas Reales (2009)	Pronóstico 3 meses
Enero	80	
Febrero	90	
Marzo	85	
Abril	70	85
Mayo	80	82
Junio	105	78
Julio	100	85
Agosto	105	95
Septiembre	100	103
Octubre	105	102
Noviembre	100	103
Diciembre	150	102

Al ser un período móvil de 6 meses, se debe partir desde el mes de julio y se tomará en cuenta seis períodos, es decir, enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio. (Promedio móvil , s.f.)

$$\hat{X}_{7(julio)} = \frac{80 + 90 + 85 + 70 + 80 + 105}{6} = 85$$

Efectuando las previsiones restantes se obtiene lo siguiente:

Tabla. Pronóstico 6 meses. (Promedio móvil , s.f.)

Mes	Ventas Reales (2009)	Pronóstico 3 meses	Pronóstico 6 meses
Enero	80		
Febrero	90		
Marzo	85		
Abril	70	85	
Mayo	80	82	
Junio	105	78	
Julio	100	85	85
Agosto	105	95	88
Septiembre	100	103	91
Octubre	105	102	93
Noviembre	100	103	99
Diciembre	150	102	103

En este resultado se puede observar que un período móvil de 3 meses se aproxima más a las ventas reales del año 2009 en comparación con las previsiones obtenidas mediante el pronóstico con un período móvil de 6 meses. (Promedio móvil , s.f.)

- *Media móvil ponderada:*

En este método no todos los periodos tienen el mismo peso en la media con tal de evitar las fluctuaciones súbitas en la demanda ya que sensibilizan ante los cambios reales e impiden la detección de tendencia. Este método es una variación del **promedio móvil con la diferencia que** se puede asignar cualquier peso o importancia a cualquier dato del promedio, siempre y cuando las sumas de las ponderaciones sean equivalentes al 100%. Por lo regular se le aplica el porcentaje mayor al dato más reciente. (Promedio móvil ponderado, s.f.)

Este pronóstico es extraordinario para patrones de demanda aleatoria o nivelada donde se quiere eliminar el efecto de los elementos irregulares históricos por medio de un enfoque en períodos de demanda reciente el cual es mayor al del promedio móvil simple. (Promedio móvil ponderado, s.f.)

La fórmula para calcular el promedio móvil ponderado está dada por:

$$\hat{X}_t = \sum_{t=1}^{\overbrace{n}} C_i * X_{t-1}$$

Donde:

\hat{X}_t = Promedio de ventas en unidades en el periodo t

C_i = Factor de ponderación

X_{t-1} = Ventas o demandas reales en unidades de los períodos anteriores a t

n = número de datos

Ejemplo de aplicación:

Un almacén ha determinado que el mejor pronóstico se encuentra determinado con 4 datos y utilizando los siguientes factores de ponderación (40%, 30%, 20% y 10%). Determinar el pronóstico para el período 5. (Promedio móvil ponderado, s.f.)

Tabla. Datos del almacén y factores de ponderación. (Promedio móvil ponderado, s.f.)

Periodo	Ventas (unidades)	Ponderación
Mes 1	100000	10%
Mes 2	90000	20%
Mes 3	105000	30%
Mes 4	95000	40%

Para resolver este problema primero se debe multiplicar cada período por su factor de ponderación respectivo y luego calcular la suma de dichos productos. (Promedio móvil ponderado, s.f.)

$$\begin{aligned}\hat{X}_t &= (100000 * 0.1) + (90000 * 0.2) + (105000 * 0.3) + (95000 * 0.4) \\ &= 97500 \text{ unidades}\end{aligned}$$

De esta manera se determina que el pronóstico de ventas para el período 5 son 97500 unidades. (Promedio móvil ponderado, s.f.)

- *Alisado exponencial:*

Este método es una evolución del método de promedio móvil ponderado ya que se calcula el promedio de una serie temporal ajustando los pronósticos en dirección contraria a las desviaciones pasadas por medio de una corrección que se ve afectada por un coeficiente de suavización. (Suavización exponencial simple, s.f.)

Este método determina únicamente la demanda del último período, el coeficiente de suavización y el pronóstico del último período. (Suavización exponencial simple, s.f.)

Si se trabajan patrones de demanda aleatorios o nivelados, es óptimo utilizar este pronóstico ya que se busca eliminar el efecto de los elementos irregulares históricos por medio de un enfoque de períodos de demanda reciente. Dicho pronóstico no

utiliza gran cantidad de períodos y de ponderaciones para alcanzar extraordinarios resultados. (Suavización exponencial simple, s.f.)

El modelo de alisado exponencial se representa con la siguiente fórmula:

$$\hat{X}_t = \hat{X}_{t-1} + (\alpha * (X_{t-1} - \hat{X}_{t-1}))$$
$$\alpha = \frac{2}{n + 1}$$

En donde:

$$\hat{X}_t = \text{Promedio de ventas en unidades en el período } t$$
$$\hat{X}_{t-1} = \text{pronóstico de ventas en unidades del periodo } t - 1$$
$$X_{t-1} = \text{Ventas reales en unidades del periodo } t - 1$$
$$\alpha = \text{Coeficiente de suavización (entre 0 y 1)}$$

Ejercicio de aplicación:

En enero un vendedor de vehículos estimó unas ventas de 142 automóviles para el mes siguiente. En febrero las ventas reales fueron de 153 automóviles. Utilizando una constante de suavización exponencial de 0.20 presupueste las ventas del mes de marzo. (Suavización exponencial simple, s.f.)

$$\hat{X}_3 = 142 + (0.2 * (153 - 142)) = 144$$

El pronóstico indica que las ventas para el período 3 correspondiente a marzo son 144 automóviles. (Suavización exponencial simple, s.f.)

- *Alisado exponencial con ajuste de tendencia:*

En las series temporales el comportamiento de un grupo de datos podría tener una tendencia que permita establecer previsiones o movimientos futuros. (Suavización exponencial doble: Método de Holt, s.f.)

Al estimar la tendencia se pueden obtener las actualizaciones de nivel que modera los cambios ocasionales de una serie de tiempo. Este modelo de tendencias lineales fue desarrollado por Charles Holt en 1957 y al igual que los otros explicados

anteriormente, es utilizado para crear pronósticos. (Suavización exponencial doble: Método de Holt, s.f.)

Este método es especial para patrones de demanda que presentan una tendencia parcialmente y un patrón estacional constante y utiliza tres ecuaciones fundamentales:

1. Pronóstico del período t

$$\hat{X}_t = \hat{X}'_t + T_t$$

2. La serie suavizada exponencialmente

$$\hat{X}'_t = \alpha(\hat{X}'_{t-1}) + [(1 - \alpha)(\hat{X}'_{t-1} + T_{t-1})]$$

3. Estimar la tendencia

$$T_t = \beta(\hat{X}'_t - \hat{X}'_{t-1}) + [(1 - \beta)(T_{t-1})]$$

En donde:

- \hat{X}_t es el pronóstico del período t
- \hat{X}_{t-1} es el pronóstico del periodo t - 1
- \hat{X}'_t es la suavización del periodo t
- \hat{X}'_{t-1} es la suavización del periodo t - 1
- T_t es la tendencia del período t
- T_{t-1} es la tendencia del período t - 1
- α es el coeficiente de suavización (entre 0,0 y 1,0)
- β es el coeficiente de suavización para la tendencia (entre 0,0 y 1,0)

Un ejemplo del alisado exponencial con ajuste de tendencia presentado en el sitio web de Ingeniería Industrial (Suavización exponencial doble: Método de Holt, s.f.), puede ser el siguiente:

La firma de control ambiental Mauricio Galindez usa suavización exponencial doble para pronosticar la demanda de un equipo para el control de contaminación, demanda que aparentemente presenta una tendencia creciente.

Mes	Demanda
1	12
2	17
3	¿?

Con base a los siguientes datos, determinar el pronóstico del mes 3. Se sugiere utilizar coeficientes de alfa = 0,2 y beta 0,4 y se supone que el pronóstico de la demanda para el mes 1 fue de 11 unidades con una tendencia de 2 unidades. (Suavización exponencial doble: Método de Holt, s.f.)

Solución:

Como se había explicado anteriormente, el primer paso consiste en calcular el alisado exponencial del período 2 de la siguiente manera:

$$\widehat{X}'_t = 0.2(12) + [(1 - 0.2)(11 + 2)] = 12.8$$

Luego se debe calcular la tendencia:

$$T_t = 0.4(12.8 - 11) + [(1 - 0.4)(2)] = 1.92$$

Como tercer paso se debe hallar el pronóstico del período 2:

$$\widehat{X}_t = 12.8 + 1.92 = 14.72$$

De la misma manera se calcula el pronóstico para el siguiente período, obteniendo lo siguiente:

$$\widehat{X}'_t = 0.2(17) + [(1 - 0.2)(12.8 + 1.92)] = 15.18$$

$$T_t = 0.4(15.18 - 12.8) + [(1 - 0.4)(1.92)] = 2.10$$

$$\widehat{X}_t = 15.18 + 2.10 = 17.28$$

Con los resultados obtenidos, el pronóstico de ventas para el período 3 es equivalente a 17,28 que por decisión del encargado de planeación se debe determinar si el 0.28 del mismo se considera exceso o defecto por tratarse de unidades enteras.

Método asociativo:

A diferencia de las series temporales, este modelo la mayoría de veces considera varias variables relacionadas con la cifra que se va a predecir. A partir de ellas se

construye el modelo estadístico para determinar el pronóstico. (Callao, Metodos asociativos de pronóstico, 2012)

Estas predicciones no tienen valor causal ya que se determinan a base de los hechos o la variación simultánea de las variables la cual no es ocasionada por la variable predictora. (Métodos, s.f.)

Un ejemplo del método asociativo se puede representar en las ventas de computadoras de alguna empresa ya que hay relación con el presupuesto para la publicidad, los precios de la compañía y de la competencia, la economía nacional y los índices de desempleo. Para este caso las variables dependientes serían las computadoras mientras que las otras variables serían independientes. El objetivo del administrador va a ser crear la mejor relación entre dichas variables es decir entre la venta de computadoras y las variables independientes. (Linares, s.f.)

2.3. Serie de tiempo:

Proyecciones de tendencia:

Este método ajusta la tendencia a una serie de datos para proyectarlos en una recta y poder obtener pronósticos de mediano y largo plazo. Para ello se desarrollan diversas ecuaciones matemáticas lineales, exponenciales y cuadráticas. (Callao, 2012)

Cuando se desarrolla una recta con tendencia lineal por medio de un método estadístico, se puede utilizar el método de mínimos cuadrados el cual da como resultado una recta que simplifica la suma de los cuadrados de las distintas desviaciones de la recta a cada una de las verdaderas observaciones. (Callao, 2012)

A continuación, se presenta dicho método el cual posee una recta de mínimos cuadrados que se describe en términos de su ordenada o intersección con el eje “y” y su pendiente. Al calcular la ordenada y la pendiente, la ecuación se representa de la siguiente manera (Callao, Administración de operaciones, 2012):

$$\hat{y} = a + bx$$

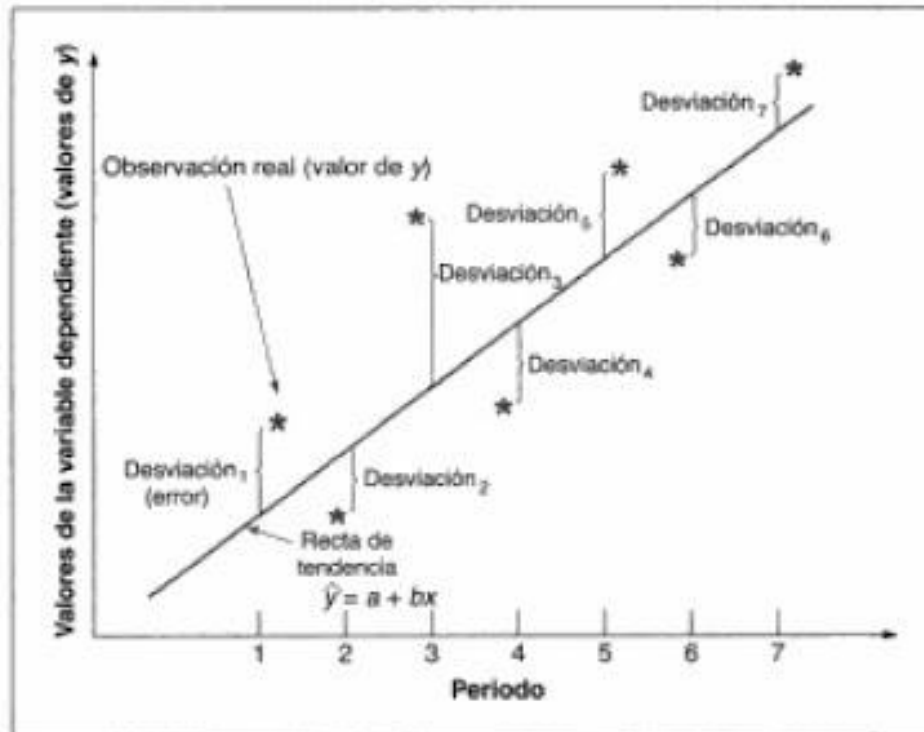
Donde:

\hat{y} = valor calculado de la variable que va a predecirse (variable dependiente)

a = ordenada

b = pendiente de la recta de regresión

x = variable independiente (tiempo)



Representación de recta de mínimos cuadrados (Callao, 2012)

- **Lineal:**

El método de previsión de tendencias está basado en utilizar la técnica de regresión lineal de la previsión de series temporales. Esta ofrece mayor fiabilidad al momento en que los factores de control afectan a las medidas de forma lineal. Por ejemplo, si los ingresos históricos varían a un ritmo constante, ya sea aumentando o disminuyendo, se produce un efecto lineal. (IBM, s.f.)

La fiabilidad se refleja en el trazo de una línea de los datos históricos ya que esta debería de ser prácticamente lineal. Utilice el método de previsión de tendencias si

sólo tiene dos valores de datos que representan dos periodos de tiempo en sus datos históricos. (IBM, s.f.)

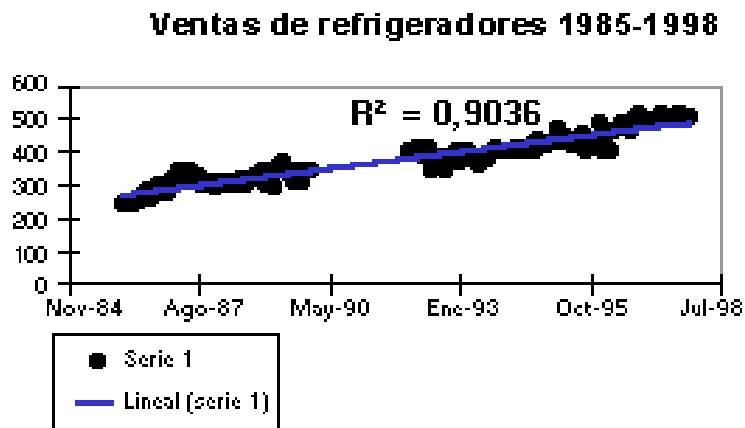
En este modelo no es necesario realizar alguna transformación en la variable de explicación por lo cual la ecuación está representada de la siguiente manera.

(Tipos de modelos lineales de tendencia, s.f.)

$$y = b_0 + b_1 * x + e$$

Una línea de tendencia lineal se ajusta con perfección y se utiliza más que todo con grupos de datos lineales simples. En el siguiente ejemplo recopilado del sitio web Microsoft Office, se muestra una línea de tendencia lineal del aumento constante de las ventas de refrigeradores durante un período de 13 años. Se puede observar que el valor R al cuadrado es de 0.9036 el cual indica un buen ajuste de la línea. Ya que se cumple la siguiente afirmación,

Cuando $r = 1$, la correlación lineal es perfecta, directa.



Este modelo de pronóstico tiene como objetivo hallar el valor esperado de una variable aleatoria cuando otra variable toma un valor específico. Para utilizarlo es necesario establecer algún supuesto de linealidad cuando la demanda es creciente o decreciente por lo que es muy necesario realizar un análisis de regresión antes de elegir este método para determinar la intensidad de las relaciones entre las distintas variables del modelo. Es óptimo para patrones en el que haya una relación de linealidad entre la demanda y el tiempo. Esta técnica permite determinar la

relación observada al graficar el diagrama de dispersión correspondiente a dos variables con tendencia rectilínea. Utilizando la siguiente ecuación de la recta (pesca, s.f.):

$$y = a + bx$$

En donde:

y = valores de la coordenada en el eje y

x = magnitud de la coordenada en el eje x.

a = intercepto (puede ser negativo o positivo)

b = coeficiente de regresión o pendiente (puede ser positivo o negativo)

- *Tendencia logarítmica:*

En este tipo de modelo sí se da una transformación en la variable de explicación por el registro natural antes de estimar el modelo por lo que la fórmula se presenta de la siguiente manera (Microsoft, 2007):

$$y = b_0 + b_1 * \ln(x) + e$$

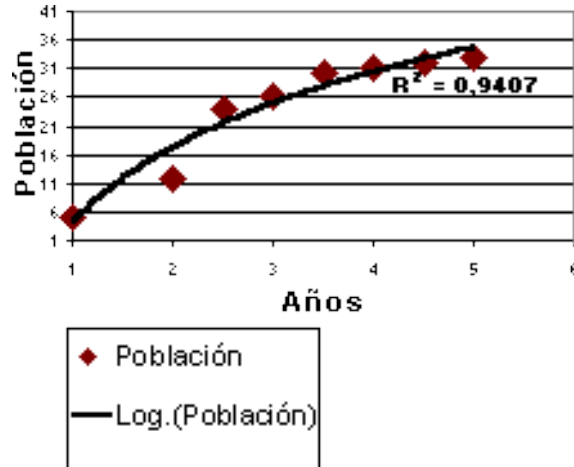
La descripción de línea de tendencia va a informar la cantidad de marcas que se filtraron antes de estimar el modelo. Ya que para los números menores a cero no está definido el logaritmo natural, cualquier marca para la cual la variable de respuesta sea negativa se filtra antes de la estimación de modelo. Se recomienda evitar el uso de modelos que descarten por completo algunos datos a menos que se consideren no válidos. (Microsoft, 2007)

A diferencia de la tendencia lineal, este modelo logarítmico se representa por medio de una línea curva que se ajusta perfectamente y es de gran utilidad cuando el índice de cambios de los datos aumenta o disminuye con rapidez y luego se mantiene estable por lo que puede llegar a tomar valores tanto negativos como positivos. (Microsoft, 2007)

A continuación, se presenta un ejemplo para mostrar el crecimiento previsto de la población animal en un área específica, en el cual la población se estabilizó al reducirse el espacio de los animales. El valor cuadrado de R de 0,9407 indica que es un ajuste relativamente bueno de la línea respecto a los datos. (Microsoft, 2007)

Ya que se cumple la siguiente afirmación,

Cuando $r = 1$, la correlación lineal es perfecta, directa.



- *Tendencia exponencial:*

En el modelo exponencial, la variable de respuesta es transformada por el registro natural antes de estimar el modelo. Por lo que la fórmula es la siguiente:

$$\ln(y) = b_0 + b_1 * x + e$$

El eje de respuesta no se convierte en logarítmico al utilizar un modelo exponencial ya que las marcas ingresan valores explicativos para determinar los valores de $\ln(Y)$. Estos mismos se elevan exponencialmente para trazar la línea de tendencia por lo que la fórmula del modelo se representa de la siguiente manera (Tipos de modelos lineales de tendencia, s.f.):

$$y = e^{b_0 + b_1 * x + e}$$

En este caso como tampoco está definido un logaritmo por un número menor a cero, las marcas para la cual la variable de respuesta sea negativa se filtran antes de estimar el modelo. (Tipos de modelos lineales de tendencia, s.f.)

A continuación, se presenta un ejemplo de regresión lineal (pesca, s.f.):

Para obtener los valores de a y b para una serie de pares de datos de “x” y de “y” se debe de seguir los siguientes pasos. (pesca, s.f.)

<u>Tabla 1</u>					
Serie de datos para el cálculo de una regresión (“a” y “b”) y del coeficiente de correlación (“r”)					
Número	Valores de x	Valores de y	Número	Valores de x	Valores de y
1	9,0	0,50	7	6,7	1,00
2	9,4	0,50	8	8,4	0,50
3	7,4	1,23	9	8,0	0,50
4	9,7	1,00	10	10,0	0,50
5	10,4	0,30	11	9,2	0,50
6	5,0	1,50	12	6,2	1,00
			13	7,7	0,50

Tabla. Ejemplo de regresión lineal (pesca, s.f.).

Número de pares de datos	x	x ²	y	y ²	x.y
1	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...
.					
.					
.					
n	...	...	...	...	...
Monto de las sumas	$\sum x$	$\sum x^2$	$\sum y$	$\sum y^2$	$\sum x \cdot y$

1. Calcular para cada par de valores de “x” y “y” las cantidades “x²”, “y²”, y “x.y”.
2. Obtener las sumas de esos valores para todos los pares de datos “x” e “y” y las sumas del total de los valores de “x” e “y”.

Los resultados de los Pasos 1 y 2 se resumen de la siguiente manera:

3. Como tercer paso hay que estimar la pendiente por medio de la siguiente relación:

$$b = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

4. Como cuarto paso se debe estimar el intercepto por medio de la siguiente relación:

$$a = \left[\frac{\sum y}{n} - \left(b * \frac{\sum x}{n} \right) \right]$$

Con estos valores de “a” y de “b” se traza a lo largo de los puntos dispersos la línea recta mejor ajustada a los mismos, y se verifica visualmente si tales puntos están bien representados por la línea. (pesca, s.f.)

2.4. Selección de método de pronóstico

Se debe de tomar en cuenta varios factores para seleccionar algún método de pronóstico en específico. Uno de ellos es el tiempo que se va a tomar para realizar el pronóstico y también es muy importancia el grado en que los datos históricos van a influir en el pronóstico. El tiempo y el gasto deben ser mayor conforme sea más importante la decisión. (Carrasco, 2013)

Cuando se utilizan series temporales es muy importante tomar en cuenta el patrón de comportamiento de los mismos porque también influye en la decisión de selección del método. (Carrasco, 2013)

Otro factor son los beneficios y costos porque se necesita que los costos sean menos para respaldar la toma de decisiones más importantes. (Carrasco, 2013)

La elección de computadoras y programas también puede influir porque algunos métodos más complejos requieren gran volumen de cálculos que se necesita una computadora de alta calidad. (Carrasco, 2013)

2.5. Capacidad

Es definida como el volumen de producción recibido, almacenado o producido sobre una unidad de tiempo. El sistema productivo se puede planear tanto a largo, mediano y corto plazo dependiendo de la demanda que se tenga. Por lo que se debe de buscar una decisión a nivel estratégico, táctico y operativo en donde no se sobrepase la capacidad de la maquinaria ni se quede corto a la demanda.

A continuación se darán a conocer los tipos de capacidad:

1. Capacidad de diseño: es la máxima producción teórica, que se alcanza bajo condiciones ideales.
2. Capacidad efectiva: restricciones como asuetos, mantenimientos entre otros, que provocan que una producción no alcance su producción máxima.
3. Capacidad real: involucra las la eficiencia en la producción y utilización de la capacidad
4. Capacidad nominal: es la capacidad para la que están diseñados los equipos.

2.6. DOP

Un diagrama de flujo de proceso se define como representación gráfica de un determinado proceso. Cada paso del proceso es representado por un símbolo que va de la mano de una breve descripción de la etapa del proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso.

A continuación se darán a conocer los símbolos del diagrama:

Simbología para diagramas de flujo		
Símbolo	Conector	Descripción
	Actividad o tarea.	Acción llevada a cabo en un proceso, representa cortes, cambios, modificaciones, ensambles; puede tener muchas entradas una salida.
	Decisión	Sirve para indicar puntos donde se toman decisiones: Sí, No.
	Demora (no programada)	Retraso no programado de materiales o información; partes o productos; espera.
	Transporte / movimiento	Cualquier acción que desplaza información, objetos o personas.
	Almacenaje / Archivo	Retraso programado de materiales, partes o productos, se quedan en piso, almacén.
	Inicio o final	Para marcar los extremos de un diagrama, podría implicar la actividad de inicio y fin.

2.7 Sandblast

La palabra sandblast proviene de los vocablos en inglés “sand” que significa arena, y “blast” que significa presión, por lo que como su nombre lo indica es una técnica que consiste en que por medio de una boquilla se expulsa algún abrasivo (puede utilizarse cualquier abrasivo no únicamente arena) bajo aire comprimido que se encuentra a presión, esto con el objetivo de limpiar superficies. La limpieza con Sandblast es ampliamente usada para remover óxido, escama de laminación y cualquier tipo de recubrimiento de las superficies preparándolas para la aplicación de un recubrimiento.

Beneficios de usar el sandblast

Dentro de los beneficios de utilizar el Sandblast se encuentran:

- Optimiza resultados con mayor uniformidad
- Minimiza tiempos de trabajo
- Reduce tiempos de mantenimiento
- Obtiene mayor anclaje y adherencia de recubrimientos
- Consigue mayor pureza del material con un mínimo de esfuerzo



2.4 EPAM

El **Error Porcentual Absoluto Medio** es un indicador del desempeño del Pronóstico de Demanda que mide el tamaño del error (absoluto) en términos porcentuales. En otras palabras calcula el promedio de las diferencias absolutas entre los valores pronosticados y los reales y se expresa como porcentaje de los valores reales, entre más cercano sea este valor a cero más exactos son los pronósticos.

III. Planteamiento del problema

Actualmente la empresa objeto de estudio se dedica a la trituración y cribado de minerales para posteriormente elaborar fertilizantes. Como parte del proceso de investigación se analizó el proceso productivo a través del diagrama de flujo y el diagrama de operaciones de proceso, en los cuales se pudo constatar que el 59% del tiempo invertido para la limpieza se ejecuta en el vaciado de la línea de producción. Derivado de esto se analizaron los datos históricos de la compañía y se pudo verificar que en los últimos 5 años ha habido un incremento notable en los costos de desperdicios y costos energéticos debido al tiempo ocioso por las tareas de vaciado de la línea de producción.

De continuar sin ninguna modificación en el proceso actual, se espera que la tendencia al aumento de los costos anteriormente mencionados continúe de manera acelerada, y que la compañía presente un déficit en su capacidad real.

Para poder controlar el aumento de los costos de desperdicios y energéticos, y poder aumentar la capacidad de producción para poder cubrir la demanda, es necesario implementar propuestas de mejora en el proceso de producción.

De lo anterior, surge la siguiente interrogante: ¿podrá el rediseño del proceso de producción controlar el aumento de costos y mejorar la capacidad de producción?

3.1 Objetivos

- **Objetivo general.**

Incrementar la productividad, mediante la reducción de tiempos de limpieza, en una empresa procesadora de minerales tales como magnesita y dolomita.

- **Objetivos específicos.**

- Reducir los tiempos del proceso de limpieza mediante reducción de desperdicios e implementando herramienta de sandblast.

- Verificar si existe retorno en la inversión para los accionistas.
- Reducir los costos en el proceso de limpieza en el sistema de triturado y cribado.
- Realizar un análisis económico para verificar si la propuesta es viable para su ejecución.

3.2 Alcance y limitaciones

El proceso de producción de la empresa productora de fertilizantes abarca desde el traslado de materias primas a la línea de producción, alimentación de productos a trituradora, cribado de minerales, traslado a silos de almacenamiento, mezclado y envasado de producto final.

El presente trabajo de investigación se limitará al proceso de triturado y cribado de 2 minerales: dolomita y magnesita, los cuales representan el 80% de la materia prima utilizada para la elaboración de fertilizantes, el otro 20% quedará fuera del presente estudio.

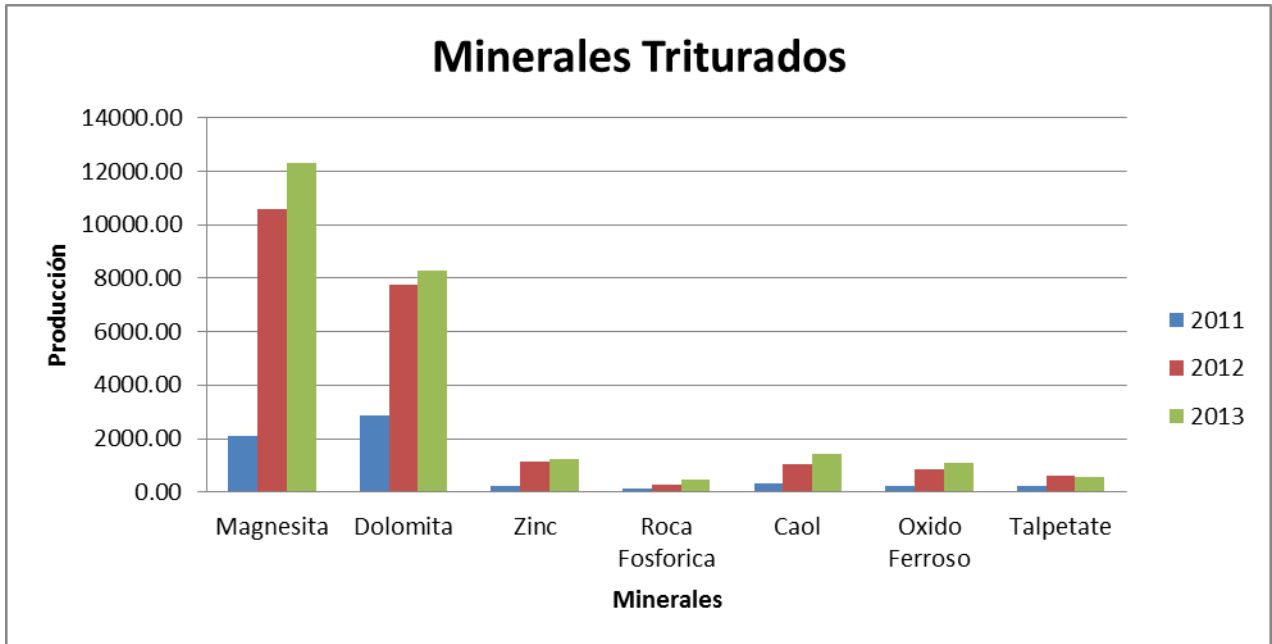
Se realizará una evaluación económica para ver si el proyecto es viable pero la implementación se excluirá del proyecto debido a que se dejará planteada la solución a la problemática con todos sus beneficios, para que la empresa decida si desea implementarlo.

A continuación se explicará por medio de pareto como se llegó a la conclusión que el 80% de la producción es de magnesita y dolomita.

	2011	2012	2013	Porcentaje Triturado 2011	Porcentaje Triturado 2012	Porcentaje Triturado 2013
Magnesita	2089.00	10564.00	12306.00	34.27%	47.62%	48.36%
Dolomita	2847.00	7757.00	8303.00	46.70%	34.97%	32.63%
Zinc	215.00	1135.00	1251.00	3.53%	5.12%	4.92%
Roca Fosforica	150.00	273.00	460.00	2.46%	1.23%	1.81%
Caol	326.00	1030.00	1425.00	5.35%	4.64%	5.60%
Oxido Ferroso	231.00	830.00	1115.00	3.79%	3.74%	4.38%
Talpetate	238.00	593.00	585.00	3.90%	2.67%	2.30%

	2011	2012	2013	Porcentaje Triturado 2011	Porcentaje Triturado 2012	Porcentaje Triturado 2013
Total Toneladas	6096.00	22182.00	25445.00	100.00%	100.00%	100.00%

Porcentaje Para Pareto						
Magnesita y dolomita	4936.00	18321.00	20609.00	80.97%	82.59%	80.99%
Otros	1160.00	3861.00	4836.00	19.03%	17.41%	19.01%



3.3 Aportes

- A la empresa

La problemática que se planteó con anterioridad permite aplicar las herramientas de Ingeniería Industrial, específicamente las de producción de operaciones, e ingeniería económica. Adicional se dará a conocer las previsiones que ayudarán a calcular los costos que serán los medios para tomar la decisión de cuándo se requerirá adquirir una nueva maquinaria.

- A la sociedad

En la actualidad existe una diversidad de plantas procesadoras, las cuales no siempre aplican las herramientas específicas para sus procesos. Teniendo como consecuencias, pérdidas tanto con materia prima como en producto terminado, por

lo que en ocasiones es necesario de una reingeniería, en donde se re-estructure los procesos actuales y de esta manera se optimicen los recursos.

- A la universidad.

Esta investigación tiene como finalidad integrar los temas aprendidos a lo largo de la carrera de Ingeniería Industrial sirviendo como fuente de consulta para la facultad de Ingeniería y facultad de economía de la Universidad Rafael Landívar.

IV. Método

4.1 Sujeto

Para el desarrollo del trabajo de investigación se requirió de datos históricos que fundamentaran la evolución del mismo, por lo que los sujetos que ayudaron a obtener la siguiente información son los siguientes:

- Jefe de mantenimiento: tiene como objetivo la coordinación de un grupo de personas que se encargan del mantenimiento y limpieza de las maquinarias tales como, tolva, trituradora, criba, bandas, silos entre otros. Asegurando su correcto funcionamiento teniendo en mente siempre la mejora continua, esto se logra con las ausencias de paradas no planificadas, o así bien reduciendo los tiempos de limpieza de un cambio de mineral a otro.
- Jefe de producción: encargado de velar por el seguimiento en la producción en cuanto al volumen y calidad del producto, incluyendo revisión del equipo y gestión con el personal, de la mano con el cumplimiento de la seguridad y salud ocupacional.
- Contador: encargado de la contabilidad de la empresa, asimismo de generar los pagos a proveedores y empleados, y llevar el registro de los costos del proceso de producción.

4.2 Instrumento

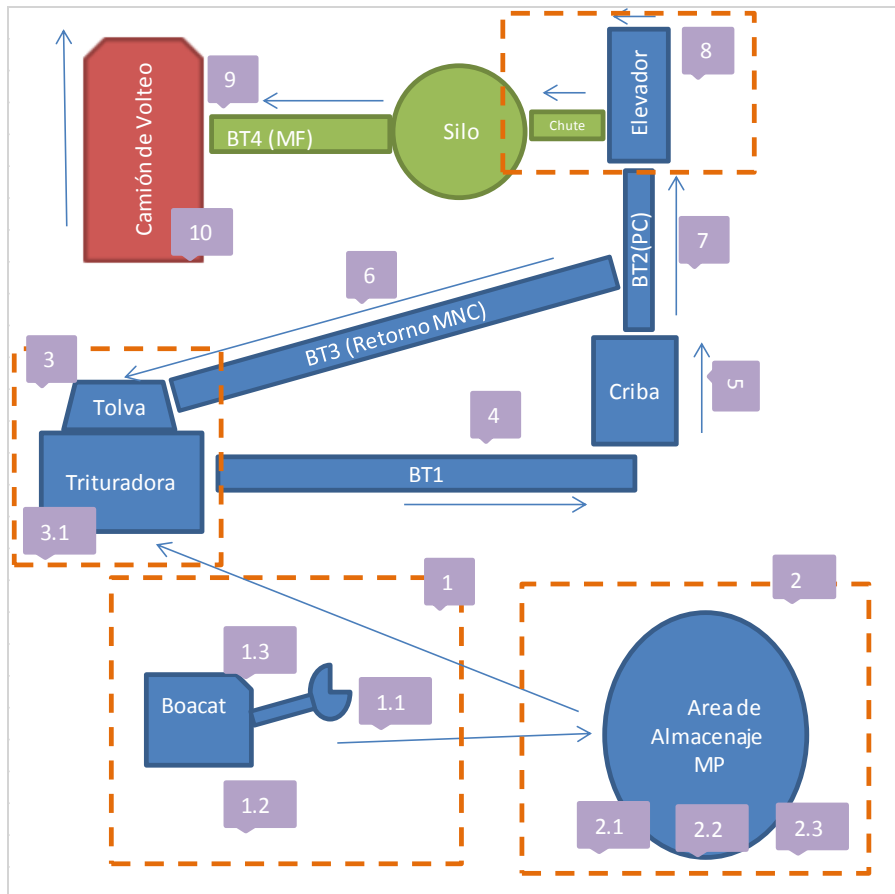
Para llevar a cabo la reingeniería en el proceso de limpieza, fue necesario utilizar algunos instrumentos, los cuales se muestran a continuación.

- Solver: programa que fue empleado para obtener las previsiones y a su vez analizar el error porcentual absoluto medio (EPAM) con menor valor.
- Gráficas: se utilizaron para poder encontrar la curva que mejor se ajusta a los datos teniendo el mayor coeficiente de correlación y poder así calcular las proyecciones de los siguientes cinco años.
- Tablas: se utilizaron para poder representar un conjunto de datos.
- DOP: diagrama de flujo de proceso el cual muestra gráficamente cada parte del proceso, mostrando la relación secuencial de cada una así como el flujo de la información, materiales y operaciones.

V. Procedimiento

Procedimiento de triturado y cribado

A continuación se dará a conocer de manera gráfica el procedimiento de triturado y cribado de minerales.



1.- Descarga de materia prima

El proceso inicia con la descarga y recepción de materias primas llevando a cabo

3 pasos del proceso:

- 1.1- Verificar área de descarga
- 1.2- Entregar boleta de recepción
- 1.3- Llamar maquinaria apiladora (BobCat)

2.- Apilar materia prima

El apilamiento de la materia prima consta de 3 pasos:

2.1- Identificación del material

2.2- Destinar almacén

2.3- Limpieza del área de descarga

3.- Llenar Tolva de alimentación

3.1- Verificar el sistema limpio

3.2-Triturar los materiales

4.- Transporte de materiales a la criba

4.1- Alimentación de materiales a criba con banda transportadora

5.- Proceso de cribado en criba vibratoria

6.- Transporte de retorno en banda después de criba, (cuando no alcanza la granulometría esperado por el cliente)

7.- Transporte de materiales en banda después de criba al elevador

8.-Transporte de materiales fino a silo a través de elevador

9.-Almacenamiento de material en silos

10.-Transporte de minerales procesados para la elaboración de minerales.

El proceso actual de triturado y cribado no cuenta con un control de pesaje, viéndose reflejado en los desperdicios ya que estos representa entre el 5% al 9% por tanda de producción. Siendo este el punto de partida para las propuestas de mejora que se darán a conocer a posteriormente.

5.2 Procedimiento de limpieza de la línea de producción de triturado y cribado de minerales:

Luego que se tritura y criba una cantidad determinada de mineral, es necesario realizar una limpieza exhaustiva de la línea de producción, ya que no debe existir ningún residuo que se mezcle con el nuevo mineral. Una de las consecuencias de una mala limpieza es que el cliente rechazará su pedido, esto significara pérdidas a la empresa.

A continuación se explicará paso a paso el procedimiento actual de limpieza tanto de la trituradora como de la cribadora y todos los elementos que se incluyen en el proceso.

1. Vaciado de la línea
2. Verificación que la tolva se encuentre vacía
3. Detener el proceso de triturado y cribado (apagando el equipo)
4. Apertura de las compuertas
5. Eliminación de los residuos de material
6. Limpieza de la tolva
7. Limpieza trituradora/ banda transportadora 1 (BT1)
8. Inspección y control de calidad
9. Eliminación de los residuos de material
10. Limpieza (BT3)/saranda-screew
11. Inspección y control de calidad
12. Eliminación de los residuos de material
13. Limpieza (BT2)/alimentación del elevador
14. Inspección y control de calidad
15. Eliminar los residuos de material
16. Inspección y control de calidad
17. Eliminación de los residuos de material
18. Limpieza bota/cangilón del elevador
19. Inspección y control de calidad
20. Eliminación los residuos de material
21. Limpieza de silo
22. Inspección y control de calidad

VI. Situación Actual

Situación Actual:

Para poder analizar el proceso actual es necesario realizar un diagrama de flujo de proceso para identificar cuáles son las operaciones, inspecciones, demoras entre otros, y determinar qué factores son los que toman más tiempo y ver la manera de reducir este factor.

A continuación se muestra el diagrama de flujo que corresponde al proceso de limpieza de la línea de producción de triturado y cribado de minerales, esto con la finalidad de poder visualizar de forma gráfica la secuencia de pasos que se necesitan para obtener un determinado resultado y a su vez poder ordenar las actividades en operación, transporte, demora, inspección, almacenamiento entre otros. Asimismo se involucró el tiempo que toma la realización de cada una de las actividades, esto con el objetivo de poder analizar cuáles son algunas de las mejoras que se recomiendan para que el proceso pueda tornarse más productivo.

Cabe mencionar que durante este proceso de cambio se involucran únicamente los dos operarios habituales en el proceso de producción.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Diagrama de Material		RESUMEN	Número	Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
		Operaciones	15	145.88		
Empresa	Empresa Trituradora de Minerales	Transportes				
Producto	Dolomita y Magnesita	Demoras				
Código	DM	Inspecciones	7	9.5		
Fecha	08 de Agosto del 2015	Almacenamiento				
Analista	Analista de Métodos	Otros				
Método	Actual	Total	22	155.38		

No.	Descripción de la actividad	Símbología					Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
1	Vaciado de la línea	●	⇒	D	□	▽	92		
2	Verificación que la tolva se encuentre vacía	○	⇒	D	■	▽	4		
3	Detener el proceso de Triturado y Cribado (Apagando el Equipo)	●	⇒	D	□	▽	2.5		
4	Apertura de las Compuertas	●	⇒	D	□	▽	0.5		
5	Eliminar los residuos de material	●	⇒	D	□	▽	2		
6	Limpieza de la Tolva	●	⇒	D	□	▽	5.27		
7	Limpieza Trituradora/BTI	●	⇒	D	□	▽	7		
8	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	1		
9	Eliminar los residuos de material	●	⇒	D	□	▽	1		
10	Limpieza BT4/Saranda-Screew	●	⇒	D	□	▽	9.05		
11	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	1		
12	Eliminar los residuos de material	●	⇒	D	□	▽	0.5		
13	Limpieza BT2/Alimentación del Silo	●	⇒	D	□	▽	0.75		
14	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	1		
15	Eliminar los residuos de material	●	⇒	D	□	▽	0.65		
16	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	0.5		
17	Eliminar los residuos de material	●	⇒	D	□	▽	4		
18	Limpieza Bota/cangilon del Elevador	●	⇒	D	□	▽	3.23		
19	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	1		
20	Eliminar los residuos de material	●	⇒	D	□	▽	5		
21	Limpieza de Silo	●	⇒	D	□	▽	12.43		
22	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	1		

Luego del análisis DOP, del tiempo que tarda el proceso de limpieza se llegó a la conclusión que 92 minutos transcurrido de los 155 minutos que tarda el proceso de limpieza lo utilizan para el vaciado del sistema, en base a ello se establecieron propuestas de mejora en donde se buscará reducir los tiempos de limpieza para invertirlo en producción.

VII. Propuestas de Mejora

Luego de realizar el diagrama de flujo de proceso del procedimiento actual de limpieza del sistema de triturado y cribado se observó que se invierte un 59% del tiempo total de limpieza solo para el vaciado del sistema, tiempo que pudiese ser invertido en el incremento de la producción. Partiendo de esta premisa se plantearán a continuación dos propuestas de mejora que ayudaran a que el proceso de limpieza actual se realice a un menor tiempo. En la actualidad el proceso de limpieza tarda un tiempo de 2.6 horas en realizarse.

Propuesta de mejora No.1:

1. Evitar la acumulación de desperdicios a través del pesaje de los minerales a utilizar.
2. Implementar el uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza y de esta forma minimizar las pérdidas por cambio de material.

Llevando a cabo las dos modificaciones que se mencionaron anteriormente el tiempo se reduce a 0.63 horas.

- Diagrama flujo de procesos, propuesta de mejora No. 1:

Luego de realizar el diagrama de flujo de proceso, se pudo observar que actualmente invierten el 60% (92 minutos de 155 minutos) que tarda la limpieza para el vaciado de la línea de producción con mineral que ya no utilizarán y todo ese material es considerado como material de desecho.

Adicional se estudió qué materiales podrían ayudar a remover de forma más eficiente los residuos de minerales que quedan tanto en la trituradora, cribadora, bandas y silos. Una técnica muy adecuada a esta necesidad es el sandblast, la cual consiste en la limpieza de una superficie por la acción de un abrasivo granulado (en este caso se utilizara arena) expulsado por aire comprimido a través de una boquilla. Cabe mencionar que en esta propuesta se involucran únicamente los dos operarios habituales en el proceso de producción.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Diagrama de Material	RESUMEN	Número	Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
Pieza AB (Elemento Fijo de Desgaste)	Operaciones	14	30	0	
Empresa Empresa Trituradora de Minerales	Transportes				
Producto Dolomita y Magnesita	Demoras				
Código DM	Inspecciones	1	8		
Fecha 08 de Agosto del 2015	Almacenamiento				
Analista Analista de Métodos	Otros				
Método Actual	Total	15	38	0	

No.	Descripción de la actividad	Símbología	Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
1	Vaciado de la línea		0		1 Sistema de Sandblast
2	Utiliza Arena o Sandblast Tolva		2		
3	Apertura de las Compuertas		1		
4	Eliminar residuos en Tolva		2		
5	Utilización Sandblast en Trituradora		3.5		
6	Utilización de Sandblast en BT1		2		
7	Utilización Sandblast de saranda - Screw		4		
8	Utilización Sandblast de BT2		2		
9	Utilización Sandblast de BT3		2		
11	Utilización Sandblast en elevador		5		
12	Utilización Sandblast en Silo 1		2		
13	Utilización Sandblast de Silo 2		2		
14	Detener el proceso de Triturado y Cribado		2.5		
15	Recolectar los desperdicios de la línea de Triturado y Cribado		5		
16	Inspección y Control de Calidad		3		

Propuesta de mejora No.2:

1. Evitar la acumulación de desperdicios a través del pesaje de los minerales a utilizar.
2. Implementar el uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza y de esta forma minimizar las pérdidas por cambio de material.
3. Adicionar 2 operarios para la realización de las limpiezas por cambio de material.

Implementando las dos modificaciones que se mencionaron anteriormente el tiempo se reduce a 0.35 horas.

- **Diagrama flujo de procesos, propuesta de mejora #2:**

Este tercer diagrama de proceso incluye: el vaciado de la maquina mediante una planificación en la producción, lo cual significa que ese material que se desecha en el primer DOP sea incluido en la última tanda del pedido solicitado por el cliente. Luego del vaciado, se utilizara la técnica sandblast para que los minerales se desprendan más fácilmente de las máquinas. Por último, se trabajará por medio de actividades asignadas de forma simultánea, para ello es necesario contar con dos operarios adicionales por lo tanto dicha propuesta se lleva a cabo con cuatro operarios, lo que permitirá que al mismo tiempo se estén realizando dos limpiezas diferentes, reduciendo significativamente el tiempo de limpieza total.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO								
Diagrama de Material		RESUMEN	Número	Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones		
		Operaciones	14	#¡REF!	0			
Empresa	Empresa Trituradora de Minerales	Transportes						
Producto	Dolomita y Magnesita	Demoras						
Código	DM	Inspecciones	1	8				
Fecha	08 de Agosto del 2015	Almacenamiento						
Analista	Analista de Métodos	Otros						
Método	Actual	Total	15	#¡REF!	0			
No.	Descripción de la actividad	Simbología				Tiempo (min)	Distancia (min)	Observaciones
1	Vaciado de la línea						0	2 Sistemas de Sandblast
2	Utiliza Arena o Sandblast Tolva						2	Se llevan a cabo simultaneamente dos actividades con 2 usuarios cada una
3	Apertura de las Puertas						1	
4	Utilización Sandblast en Tolva						2	
5	Utilización Sandblast en Trituradora						3.5	
6	Utilización Sandblast BT1						2	
7	Utilización Sandblast - Screw						4	
9	Utilización Sandblast BT2						2	
10	Utilización Sandblast BT3						2	
11	Utilización Sandblast elevador						3	
12	Utilización Sandblast Silo 1						2	
13	Utilización Sandblast Silo 2						2	
14	Detener el proceso de Triturado y Cribado						0.5	
15	Recolectar los desperdicios de la línea de Triturado y Cribado						5	
16	Inspección y Control de Calidad						3	Dicha inspección la llevan a cabo los cuatro usuarios
Limpieza No. 1				13				
Limpieza No. 2				13				

Propuesta de mejora No.3 planificación:

Se recomienda a la empresa trituradora de minerales programar su producción de manera que se reduzca la cantidad de cambios de productos con el objetivo de disminuir la cantidad de desperdicios y por ende reducir el número de limpiezas que se realiza a la maquinaria. Debido a que habrá una reducción de número de tandas, es necesario producir más por tanda. La empresa no cuenta con espacio propio para almacenar producto terminado por eso se tomaran en cuenta costos de alquiler en la aledaña llamada bodega las moñas ubicada 700 metros de la empresa trituradora de minerales, asimismo se tomará en cuenta el transporte del punto A. empresa trituradora de minerales al punto B la bodega las moñas. Por lo tanto se propone programar la producción en tandas de un día para magnesita y dolomita (3 veces a la semana cada material) dichos minerales representan el 80% de la producción, y dejando únicamente 1 día a la semana para el resto de productos que representan el 20% de la producción.

- **Costo de almacenar:**

- Alquiler mensual de bodega ubicada en las moñas:

Alquiler de la bodega las moñas: \$9,600.00 $\frac{\$9,600}{500m^2} = \$19.2m^2 \cong \$20m^2$
Dimensiones de las bodegas: 25X20 metro
Altura de: 2.50 m

$$\text{Alquiler: } 1,250 m^3 = 1,500 \text{ Ton}$$

$$1 m^3 = 1,600 \text{ kg} = 1.6 \text{ Ton}$$

$$\text{Alquiler} = \frac{\$ 20}{m^2} * \frac{500m^2}{1,500 \text{ Ton}} = \$6.67/\text{Ton}$$

- Transporte:

Transporte por tonelada trasladada: \$5.63 \$5.63/Ton

$$\text{Transporte} = \frac{\$5.63}{\text{Ton}} * 2$$

$$\text{Transporte} = \$11.26/\text{Ton}$$

$$\text{Costo de Almacenaje} = \text{Costo de Alquiler} + \text{Costo de Transporte}$$

$$\text{Costo de almacenaje} = \$6.67/\text{Ton} + \$11.26/\text{Ton}$$

$$\text{Costo de almacenaje} = \$17.92/\text{Ton}$$

- **Costo fijo:**

- Costo de cambio:

- $\text{Costo de mano de obra (2018)} = Q44.57/\text{hr} * 2 \text{ operarios} = Q89.14/\text{hr}$

- $\text{Tiempo de cambio} = 2.6 \text{ hr}$

$$\text{Costo de cambio} = 2.6\text{hr} * Q89.14/\text{hr}$$

$$\text{Costo de cambio} = Q231.76$$

- Costo del 1% de desperdicio:

- $153.25 \text{ Q/Ton magnesita}$

- $225.32 \text{ Q/Ton dolomita}$

$$\text{DESPERDICIO} = \left(("X"_{TANDA}^{TON}) * ("Y"_{TON}^Q) \right)$$

$$\text{DESPERDICIO} = \left(((153.25 * 0.5003) + (225.32 * 0.4997))_{TON}^Q \right)$$

$$\text{DESPERDICIO} = ("Z"_{TANDA}^Q)$$

$$\text{DESPERDICIO} = (198.72_{TANDA}^Q)$$

$$\text{Costo por desperdicio} = Q198.72/\text{Ton}$$

Cantidad producida	220 Toneladas
Desperdicios obtenidos	2.05 Toneladas
Porcentaje de desperdicio	0.93% = 1%

$$\text{Perdida por cambio} = 2.05/\text{Ton}$$

$$\text{Costo 1\%} = Q198.72/\text{Ton} * 2.05$$

$$\text{Costo 1\%} = Q407.88$$

$$\text{Costo fijo} = \text{Costo de cambio} + \text{Costo de desperdicio}$$

$$\text{Costo fijo} = Q231.76 + Q407.88$$

$$\text{Costo fijo} = Q639.64$$

$$\text{Costo fijo} = \$86.44$$

- **Lote óptimo:**

- Producción mensual Magnesita (Prom. 2018) = 4,919/Ton
- Producción mensual Dolomita (Prom. 2018) = 5,041/Ton
- Sumatoria de las producciones $D = 9,960/Ton$
- $S = Costo Fijo$
- $H = Costo de Almacenar$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * S}{h}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * (9,960/Ton) * (\$86.44)}{\$17.92/Ton}}$$

$$Q^* = 309.98$$

A continuación se muestra un ejemplo de cómo quedaría la programación para el mes de enero 2018 bajo esas premisas, basando en los resultados anteriores:

Programa de Producción enero 2018

ene-18			
Día del mes	Magnesita	Dolomita	Otros
1	380		
2		282	
3	380		
4		282	
5			265
6	380		
7		282	
8	380		
9		282	
10			265
11	380		
12		282	
13	380		
14		282	
15			265
16	380		
17		282	
18	380		
19		282	
20			265
21	380		
22		282	
23	380		
24		282	
25			265
26	380		
27		282	
28	380		
29		282	
30			265
Tonelada Mensual	4,564	3,379	1589
Tonelada Diaria	380	282	265

El cálculo de la producción por día se realizó de la siguiente manera:

- Magnesita:

$$\text{Toneladas diarias} = \frac{\text{producción enero 2018 magnesita}}{\text{número de tandas al mes}}$$

$$\text{Toneladas diarias} = \frac{4,564}{12}$$

$$\text{Toneladas diarias} = 380$$

- Dolomita:

$$\text{Toneladas diarias} = \frac{\text{producción enero 2018 dolomita}}{\text{número de tandas al mes}}$$

$$\text{Toneladas diarias} = \frac{3,379}{12}$$

$$\text{Toneladas diarias} = 282$$

- Otros:

$$\begin{aligned} &\text{Producción enero 2018 Otros productos} \\ &= (\text{producción total de magnesita} + \text{producción total de dolomita}) * 0.20 \end{aligned}$$

$$\text{Producción enero 2018 otros productos} = (4,564 + 3,379) * 0.20$$

$$\text{Producción enero 2018 otros productos} = 1,589$$

$$\text{Toneladas diarias} = \frac{\text{producción enero 2018 otros productos}}{\text{número de tandas al mes}}$$

$$\text{Toneladas diarias} = \frac{1,589}{6}$$

$$\text{Toneladas diarias} = 265$$

Con la programación propuesta anteriormente se logra disminuir un 32% la cantidad de tandas de producción, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Comparación de tandas actuales vrs. tandas propuestas

	Magnesita	Dolomita	Otros	Total
Tandas Actuales	21	14	9	44
Tandas Propuestas	12	12	6	30

Actualmente la empresa objeto de estudio tritura dentro de un intervalo de 60 a 450 toneladas al día (dependiendo de los requerimientos), por lo que si sería factible triturar las 380 toneladas al día de magnesita que se mostró anteriormente.

Comparativo

A continuación se comparará los tiempos del diagrama de flujo de proceso tanto del proceso actual como de las dos propuestas de mejora que se desea implementar en la empresa trituradora de minerales, esto con la finalidad de poder analizar cuáles fueron las variables que harán que el tiempo de limpieza actual se reduzca.

1. El vaciado de la línea, se reduce de 92 minutos proceso actual a 0 minutos en la propuesta de mejora, esto se logrará con un monitoreo en el pesaje del material utilizado en el sistema de triturado y cribado. (Como se explicara en el VII).
2. Implementar el sistema de sandblast a cada una de las partes del sistema de triturado y cribado logrando reducir de 62.38 minutos en el proceso actual a 30 minutos de la propuestas de mejora.

Proceso Actual			Propuesta de Mejora No. 1			Propuesta de Mejora No. 1		
No.	Descripción de la actividad	Tiempo (min)	No.	Descripción de la actividad	Tiempo (min)	No.	Descripción de la actividad	Tiempo (min)
1	Vaciado de la línea	92	1	Vaciado de la línea	0	1	Vaciado de la línea	0
2	Verificación que la tolva se encuentre vacía	4	2	Utiliza Arena o Sandblast Tolva	2	2	Utiliza Arena o Sandblast Tolva	2
3	Detener el proceso de Triturado y Cribado	2.5	3	Apertura de las Compuertas	1	3	Apertura de las Puertas	1
4	Apertura de las Compuertas	0.5	4	Eliminar residuos en Tolva	2	4	Utilización Sandblast en Tolva	2
5	Eliminar los residuos de material	2	5	Utilización Sandblast en Trituradora	3.5	5	Utilización Sandblast en Trituradora	3.5
6	Limpieza de la Tolva	5.27	6	Utilización de Sandblast en BT1	2	6	Utilización Sandblast BT1	2
7	Limpieza Trituradora/BTI	7	7	Utilización Sandblast de saranda - Screw	4	7	Utilización Sandblast - Screw	4
8	Inspección y Control de Calidad	1	8	Utilización Sandblast de BT2	2	8	Utilización Sandblast BT2	2
9	Eliminar los residuos de material	1	9	Utilización Sandblast de BT3	2	9	Utilización Sandblast BT3	2
10	Limpieza BT4/Saranda-Screw	9.05	11	Utilización Sandblast en elevador	5	10	Utilización Sandblast elevador	3
11	Inspección y Control de Calidad	1	12	Utilización Sandblast en Silo 1	2	11	Utilización Sandblast Silo 1	2
12	Eliminar los residuos de material	0.5	13	Utilización Sandblast de Silo 2	2	12	Utilización Sandblast Silo 2	2
13	Limpieza BT2/Alimentación del Silo	0.75	14	Detener el proceso de Triturado y Cribado	2.5	13	Detener el proceso de Triturado y Cribado	0.5
14	Inspección y Control de Calidad	1	15	Recolectar los desperdicios de la línea de	5	14	Recolectar los desperdicios de la línea de	5
15	Eliminar los residuos de material	0.65	16	Inspección y Control de Calidad	3	15	Inspección y Control de Calidad	3
16	Inspección y Control de Calidad	0.5	Sumatoria de Tiempo			Sumatoria de Tiempo		
17	Eliminar los residuos de material	4				Limpieza No. 1		
18	Limpieza Bota/cangilon del Elevador	3.23				Limpieza No. 2		
19	Inspección y Control de Calidad	1						
20	Eliminar los residuos de material	5						
21	Limpieza de Silo	12.43						
22	Inspección y Control de Calidad	1						
Sumatoria de Tiempo		155.38						

VIII. Pesaje del material triturado

Lo que se desea lograr es que exista el menor porcentaje de desperdicios comparado con el 7% que se tiene actualmente. Para ello es necesario realizar una programación de cambio de producto en la producción para que al momento de detener el sistema, este no se encuentre con material útil, y se pueda reducir los desperdicios al 1%, que será material que queda en las paredes de las maquinarias, o residuos de las bandas.

Para poder calcular el 7% fue necesario conocer los datos históricos de los desperdicios que actualmente tiene la empresa trituradora de minerales en donde se verifico que los desperdicios oscilan entre un 5% a un 9%, en un período de tiempo de enero 2011 a diciembre 2015.

A continuación se dará a conocer los desperdicios de la línea de triturado y cribado, toneladas mes.

PRODUCCIÓN (Ton/mes)	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	14.96	118.20	154.66	127.16	415.64
FEBRERO	10.09	103.71	128.34	186.70	367.08
MARZO	12.99	112.13	90.11	167.59	316.89
ABRIL	16.18	96.57	140.17	148.54	305.76
MAYO	15.01	75.71	116.95	137.46	453.70
JUNIO	25.76	83.29	87.76	160.56	317.69
JULIO	26.98	94.10	110.99	235.50	424.61
AGOSTO	28.84	85.54	102.03	385.67	508.49
SEPTIEMBRE	47.99	121.10	109.33	255.50	653.79
OCTUBRE	25.67	131.52	174.93	358.72	377.83
NOVIEMBRE	23.99	80.41	165.22	238.59	481.65
DICIEMBRE	77.28	109.28	174.95	285.57	718.73

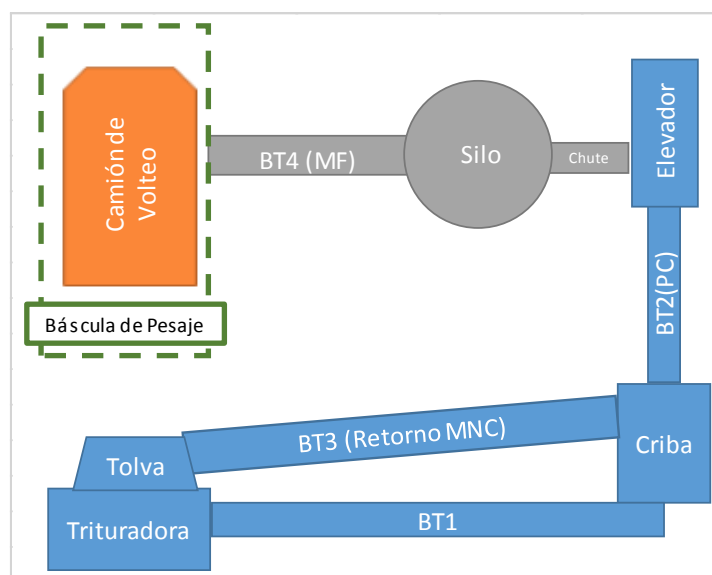
Se puede observar en la tabla anterior los porcentajes de desperdicio que oscila entre los 5% al 9% que actualmente tiene la empresa trituradora de minerales, este porcentaje de desperdicio es material en buen estado que pudiera ser utilizado como producto terminado pero no es así es desechado. Partiendo de esta premisa

se dispondrá a dar a conocer ciertas alternativas de mejora. Se planteará una alternativa para el pesaje del producto luego de triturar:

Opción A “mecanismo de pesaje final de la línea de producción”:

Si se deseara triturar 500 toneladas de magnesita, y se conoce que en el sistema de triturado y cribado tiene un flujo de 20 toneladas mineral por hora, al momento que la báscula ubicada al final del sistema indique un peso acumulado 480 Tonelada, se detendrá la alimentación de la tolva, esto con la finalidad que las toneladas que se encuentren dentro del sistema no sea considerada como material de desperdicio sino al contrario sea material de calidad para ser utilizado como producto útil del pedido. *(Al final del proceso se estarán pesando las góndolas o el camión de volteo con el objetivo de poder obtener los pesos requeridos con mayor exactitud.)* Siguiendo la programación de cambio de producto descrita anteriormente se podrá observar que al final del proceso de triturado y cribado se disminuirá la cantidad de desperdicios en el sistema, siendo los únicos residuos los que quedan residiendo en las paredes de la maquinaria. Se reducirá de un promedio del 7% de desperdicio que existe actualmente a un porcentaje de 1% que contemplan las propuestas de mejora. (Teniendo un costo estimado de \$ 10,000.00 traída de china).

Ilustración del **“mecanismo de pesaje final de la línea de producción”:**



A continuación se explicará las 20 toneladas descritas en la “opción A” y en las opciones que se mostraran posteriormente:

“Para determinar cuál es el producto triturado que necesitan los clientes o procesos siguientes se realizaron pruebas y calibraciones a la trituradora de quijada. La primera prueba se arrancó el equipo sin ningún espaciador (separación del tornillo de ajuste de quijada, que impide que la mandíbula se cierre y regrese a la posición inicial) lo que dio como resultado piedra de mayor a <6” pero este producto no es útil debido a que no cuenta con la granulometría que exige los clientes. Prueba No. 2 se hizo con el espaciador 1 la abertura quedo en 5.5” lo que dio una granulometría de 6” a 5” se mandaron a pesar los camiones en donde dio un peso de 52.57 ton en peso promedio ton/hr (según con el manual del fabricante alcanza las 50 ton máximo); al finalizar la prueba del pesaje no fueron aprobados por los clientes debido a que no cumplía con la granulometría esperada. Se repitió el procedimiento con 2 hasta 6 espaciadores siendo este último el máximo espaciadores que puede tener la trituradora. No se permite instalar un séptimo espaciador porque las placas chocan y la abertura ya sería polvo fino. Al enviarse las pruebas de los minerales triturados con las diferentes aberturas de la trituradora los clientes solicitaron que se utilizara como mínimo de 2” a 1”. Partiendo de esta premisa el sistema tiene un flujo de 20 toneladas por hora.”

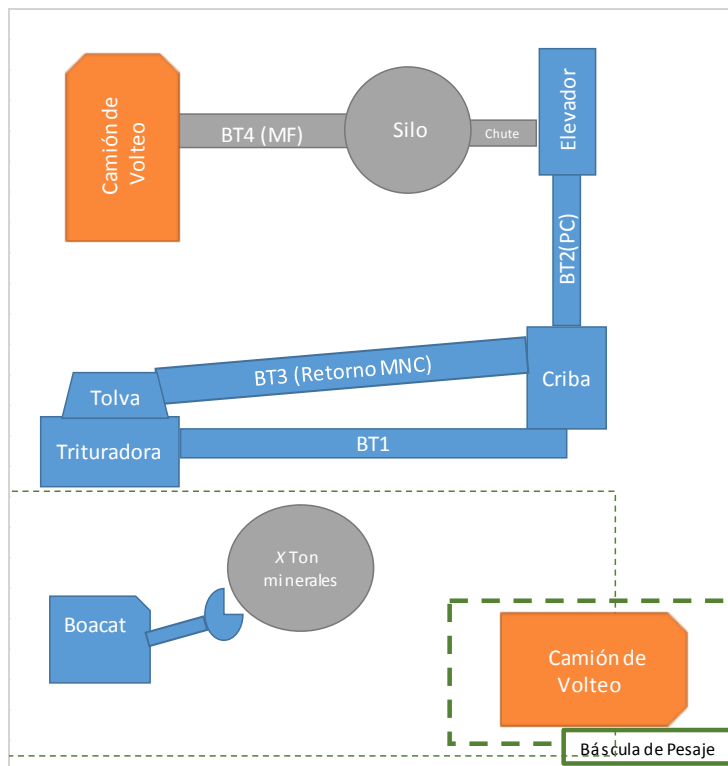
Area:	Trituración Primaria
Procedimiento:	Calibración de Abertura
Tiempo de Prueba:	8 horas
Especificaciones de Material:	Dolomita / Magnesita / Yeso / Calcinados
TAC:	PT-11-TQ1
Medición:	Toneladas / Hora
Manual de Fabricante:	15 a 50 Toneladas / Hora

Tabla de Datos Según Pruebas de Pesaje				
Abertura	Espaciadores	Granulometría	Peso Promedio	Aprobación
5 1/2"	1	6" > X > 5"	52.57 TON	-
4 1/2"	2	5" > X > 4"	42.03 TON	-
3 1/2"	3	4" > X > 3"	34.81 TON	-
2 1/2"	4	3" > X > 2"	26.34 TON	-
1 1/2"	5	2" > X > 1"	20.63 TON	Aprobada
1 "	6	1" > X	15.54 TON	-

Opción B “mecanismo de pesaje inicio de la línea de producción”:

Si se desea triturar 500 toneladas de magnesita, y tener un mejor control de la cantidad específica de minerales a triturar, cumpliendo con la pre-planificación y reducir al 1% los desperdicios, será necesario tener una báscula de pesaje antes de la descarga de la MP en el área de trituración, con esto se conocerá el peso de ingreso a la plataforma de trituración para cumplir con los requerimientos programados. Por cualquier eventualidad se solicitan de 5 a 7 toneladas adicionales al requerimiento debido a las acumulaciones en el sistema, es decir en las partes muertas dentro de los equipos del sistema de trituración. La cantidad restante del producto será tomado en cuenta para la siguiente producción impidiendo desperdicio de MP. (Teniendo un costo estimado de \$ 10,000.00 traída de china).

Ilustración del **“mecanismo de pesaje inicio de la línea de producción”**:



Opción C “mecanismo de celdas de pesaje en la tolva”:

Si se desea triturar 500 toneladas de magnesita, y tener un mejor control de la cantidad específica de minerales a triturar, cumpliendo con la pre-planificación y reducir al 1% los desperdicios, será necesario tener un sistema de celdas de pesaje

que tiren un promedio de la cantidad a medir de MP antes de ingresar en el sistema de trituración, con esto se conocerá el peso de ingreso al sistema de trituración para cumplir con los requerimientos programados. Por cualquier eventualidad se solicitan de 5 a 7 toneladas adicionales al requerimiento debido a las acumulaciones en el sistema, es decir en las partes muertas dentro de los equipos del sistema de trituración. La cantidad restante del producto será tomado en cuenta para la siguiente producción impidiendo desperdicio de MP. (Teniendo un costo estimado de \$1,100 c/u y se requieren 6 unidades sería un total de \$7,000 traída de china un aproximado de Q51,800.)

Para un mayor entendimiento se dará una breve explicación en que consiste las celdas de pesaje o mejor conocidas como celdas de carga son sensores de peso electrónicos cuya finalidad es recibir la excitación eléctrica provocada por un peso determinado aplicado a la báscula o balanza y transmitirlo hacia un indicador de peso. Esto es debido a que la celda de caga sufre una deformación conforme se le aplica una fuerza traducida con una señal de voltaje.

Se muestra una imagen en donde se puede visualizar como son las celdas de carga.



“Prueba de pesaje”

Partiendo de la información anterior, se realizó una prueba de pesaje en donde se verificará si el porcentaje del 7% se reducirá, se tomará en cuenta la siguiente premisa: “**opción A: mecanismo de pesaje**” (descrita anteriormente). En donde se puede observar que los únicos desperdicios obtenidos son los residuos que quedan en las paredes de las maquinarias o en el suelo del sistema. Para tener un dato más preciso se realizó el pesaje de dicho material, para poderlos posteriormente comparar con el porcentaje de desperdicio actual.

- Desperdicios que se encuentran las bandas del sistema.



- Desperdicio ubicada en la criba.



- Desperdicio en los elevadores:



- Desperdicio en los Tolva:



Cantidad producida	220 Toneladas
Desperdicios obtenidos	2.05 Toneladas
Porcentaje de desperdicio	0.93% = 1%
Diferencial (7%-1%)	6%

** Para fines prácticos del trabajo de investigación se trabaja con un 1% de desperdicios.

Analizando dicha información se puede observar una reducción de los desperdicios de un 7% a un 1%, esto ocurre debido a que en la actualidad no cuentan con una programación diaria, sino que trabajan según la demanda requerida. Y por ello se desperdicia el material ubicado en la línea de producción ya que no cuentan con un área para poder almacenar el producto terminado.

IX. Proceso de sandblast

Otra mejora aparte de llevar a cabo una adecuada planificación en la producción, se propuso implementar el uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza.

Sandblast consiste en remover de forma más eficiente los residuos de minerales que quedan tanto en la trituradora, cribadora, bandas y silos. Dicho proceso se utilizó en el sistema de triturado y cribado con el objetivo de verificar si se reducían los tiempos de limpieza en el proceso actual y analizando los DPO se llegó a la siguiente conclusión.

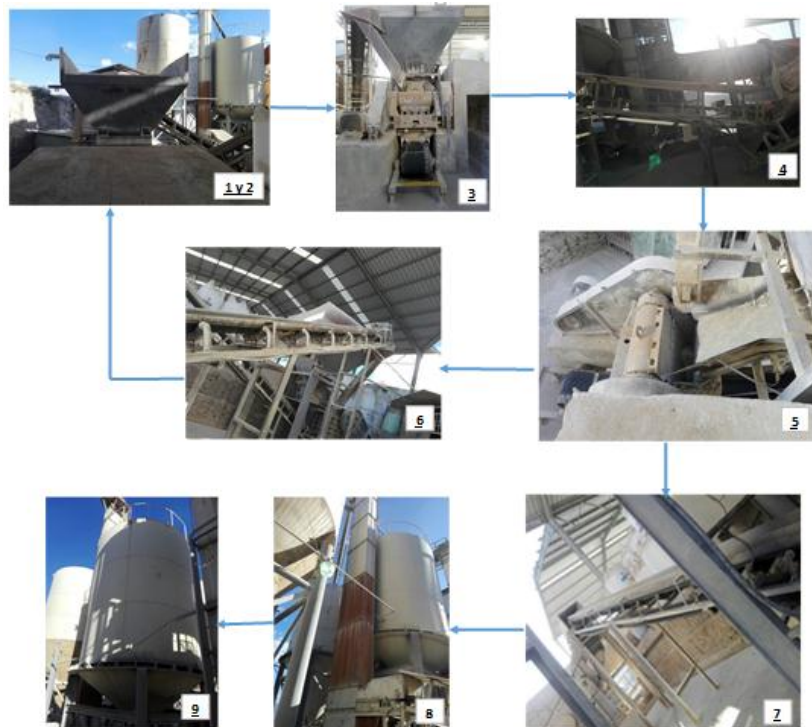
	Limpieza actual	Limpieza propuesta de mejora No. 1	Limpieza propuesta de mejora No. 2
Tiempo	1.06 horas	0.63 horas	0.35 horas
Porcentaje Propuestas vrs. actual		40.56%	66.98%

Asimismo el proceso de sandblast se describirá a continuación:

1. Adquirir las herramientas de sandblast que son:
 - Equipo de sand blasting MTP-360 P/CXT
 - Rep sand blast control remoto
 - Rep sand blast filtro purificador
 - Arena
2. Instalar la manguera con el tanque de arena y arrancar el compresor.
3. Revise su EPP, lentes googles y mascarilla media cara, casco y verifique que el equipo está parado.
4. Ubicarse en la superficie superior de la rampa de alimentación y posicionar la punta de la manguera dentro de la tolva (dimensiones de Tolva: 2.40 mt X 2.40 mt X 2.00 mt).
5. Limpie únicamente los lugares donde se visualiza el material acumulado, revisando las esquinas y la caída de la tolva.
6. Revise la boca de la trituradora de quijadas y aplique la cantidad necesaria de sandblastado entre los dientes de la placa (Dimensiones Quijadas: 1.00 mt X 0.40 mt.)

7. Revise la compuerta de la tolva y el alimentador vibratorio para que el material fluya y revise, si es necesario aplique el sandblastado.
8. Arranque la banda transportadora por debajo de la trituradora de quijadas.
9. Abra la compuerta de bypass para dejar salir la arena hacia la banda de rechazo.
10. Antes de arrancar nuevamente verifique si no hay personal revisando los demás equipos de la línea de trituración, este procedimiento se repetirá con cada maquinaria que compone el proceso de triturado y cribado: criba vibratorio, bandas transportadoras, elevador de cangilones y 2 silos.
11. Arranque los equipos.

A continuación se mostrará el recorrido de limpieza del sistema mediante la herramienta sandblast.



X. Previsión

Partiendo del proceso de triturado y cribado, que fue el objeto de estudio de este trabajo de investigación, se pudo analizar que su producción es en base a su demanda, esto quiere decir que no requiere tener almacenado producto terminado por lo tanto no manejan inventarios, algunas de las razones son:

1. La producción es según pedido, tomando en cuenta la granulometría solicitada por el cliente
2. No se conoce la cantidad exacta requerida de producción, (demanda independiente).
3. No se cuenta con área para poder almacenar producto terminado.

Para el cálculo de las previsiones se recolectaron datos históricos de la producción de magnesita y dolomita (enero 2011-junio 2015), con el objetivo de establecer un modelo matemático por medio del cual se pudieran obtener datos confiables para el año 2016. Se plantearon 4 tipos de previsiones para cada tipo de producto las cuales fueron comparadas a través del EPAM (error porcentual absoluto medio): media móvil ponderada 2 períodos, media móvil ponderada 3 períodos, alisado exponencial, alisado exponencial con ajuste. Se decidió utilizar el EPAM ya que es un indicador fácil de interpretar el cual expresa el error en las previsiones como un porcentaje. El criterio de decisión respecto a que previsión utilizar fue aquella cuyo porcentaje se acercara más a cero eso quiere decir la que tuviera menos error.

10.1 Cálculos de mineral magnesita

Tabla I. Datos históricos trituración mineral magnesita 2011-2015

PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	2011	2012	2013	2014	TOTAL	%		2015	
ENERO	101	1,501	964	1,501	4,067	8%		2,485	0.44
FEBRERO	95	1,571	955	1,571	4,192	8%		2,351	
MARZO	89	576	938	1,724	3,326	6%		2,184	
ABRIL	83	592	945	1,860	3,480	7%		2,649	
MAYO	81	510	965	1,997	3,553	7%		2,489	
JUNIO	97	846	903	2,134	3,979	8%		2,638	
JULIO	127	671	971	2,271	4,040	8%	14%	2,645	0.56
AGOSTO	115	548	1,007	2,407	4,077	8%	14%	2,669	
SEPTIEMBRE	145	969	1,070	2,544	4,729	9%	17%	3,096	
OCTUBRE	147	846	1,133	2,681	4,808	9%	17%	3,148	
NOVIEMBRE	157	935	1,196	2,817	5,105	10%	18%	3,343	
DICIEMBRE	853	999	1,259	2,746	5,857	11%	20%	3,835	
Producción Anual Ton/añual	2,089.38	10,564.29	12,306.74	26,254.31				33,531	

Fuente: elaboración propia (2017)

Debido a que únicamente se contaba con los datos del primer semestre del año 2015, se utilizó la técnica de índice de estacionalidad para calcular los datos correspondientes al segundo semestre de dicho año.

Cálculo de la tasa de rendimiento anual compuesto (CARG)

Mide el rendimiento a lo largo de un determinado tiempo, por lo que se calculara el rendimiento sobre los datos histórico en el período del 2011 al 2015.

En donde:

P_{t_o} = Producción anual

t_o = tiempo anual

$$CARG(t_n - t_o) = \left(\frac{P_{t_n}}{P_{t_o}}\right)^{\frac{1}{t_n - t_o}} - 1$$

$$CARG(t_n - t_o) = \left(\frac{33,531}{2,089}\right)^{\frac{1}{2015-2011}} - 1$$

$$CARG(t_n - t_o) = (16.05)^{(0.25)} - 1$$

$$CARG(t_n - t_o) = 100\%$$

- Cálculo de previsión media móvil ponderada 2 períodos:

Se utilizó la herramienta solver para calcular las ponderaciones de los últimos dos periodos de Magnesita que dieran el mínimo EPAM, obteniendo como resultado una ponderación del 100% para el último período, lo cual indica que el último año es el dato más confiable por lo tanto los demás años se dejan afuera del cálculo. Se decidió utilizar ponderaciones para que la previsión fuera más sensible a los cambios debido a que se les está dando más peso a los valores más recientes.

A continuación se muestra la forma en la cual solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de la media móvil ponderada de 2 periodos, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.

Gráfica I. Cálculo de previsiones media móvil ponderadas 2 períodos

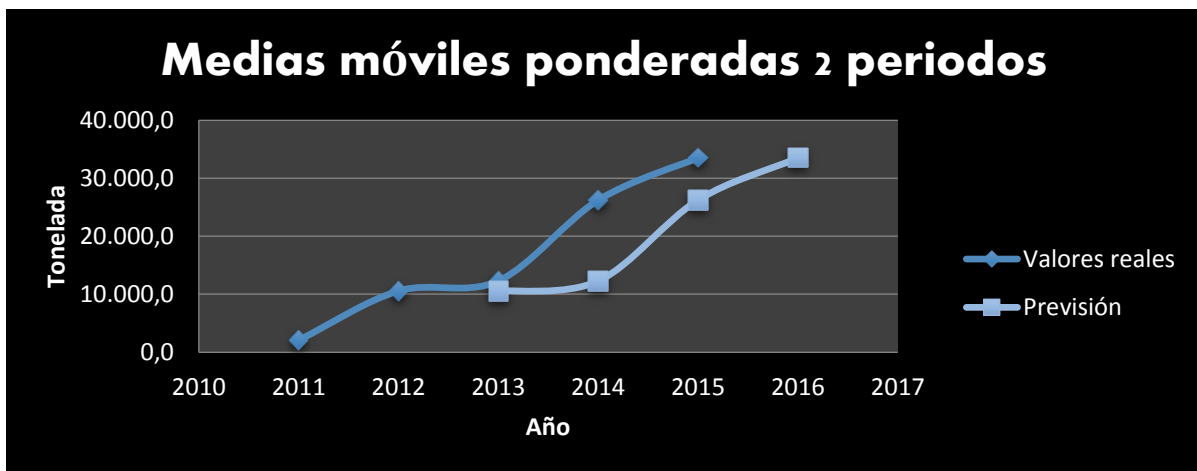
1. Medias Móviles 2 Períodos	
Periodo	Ponderación
Ultimo	100.0000%
Penultimo	0.0000%
	100.00%

PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,089.4			37.4136%
2012	10,564.3			
2013	12,306.7			
2014	26,254.3	12,306.7	53.12%	
2015	33,531.4	26,254.3	21.70%	
2016		33,531.4		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de la media móvil ponderada de 2 períodos a través de Solver fue de 37.4136%.

Tendencia producción por media móvil 2 períodos



Fuente: elaboración propia (2017)

- **Cálculo de previsión media móvil ponderada 3 períodos**

A continuación se muestra la forma en la cual solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de la media móvil ponderada de 3 períodos, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.

Gráfica II.

Cálculo de previsiones media móvil 3 períodos

2. MEDIAS MÓVILES PONDERADAS DE 3 PERIODOS

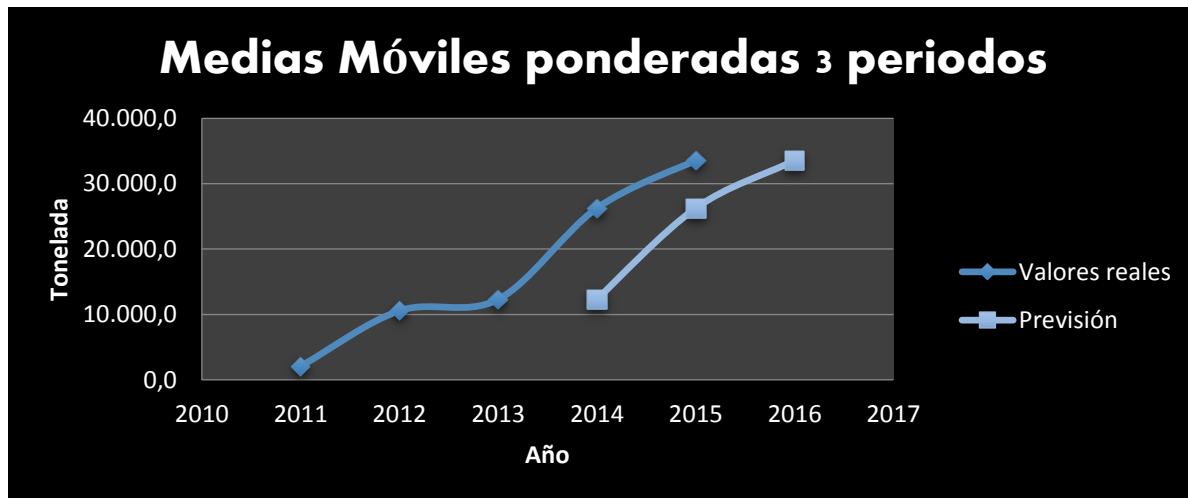
Periodo	Ponderación
Ultimo	100.0000%
Penultimo	0.0000%
Antepenultimo	0.0000%
	100.00%

PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,089.4			37.4136%
2012	10,564.3			
2013	12,306.7			
2014	26,254.3	12,306.7	53.12%	
2015	33,531.4	26,254.3	21.70%	
2016		33,531.4		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de la media móvil ponderada de 3 períodos a través de Solver fue de 37.4136%.

Tendencia producción por media móvil ponderada 3 períodos



Fuente: elaboración propia (2017)

- Cálculo de previsión alisado exponencial
- Por medio de la herramienta solver se obtuvo el valor óptimo para la constante de alisado (Alfa α) para los datos de producción de magnesita., la cual es el factor de ponderación utilizado en este método de previsiones.

A continuación se muestra la forma en la cual solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de alisado exponencial, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.

Gráfica III. **Cálculo de previsiones alisado exponencial**

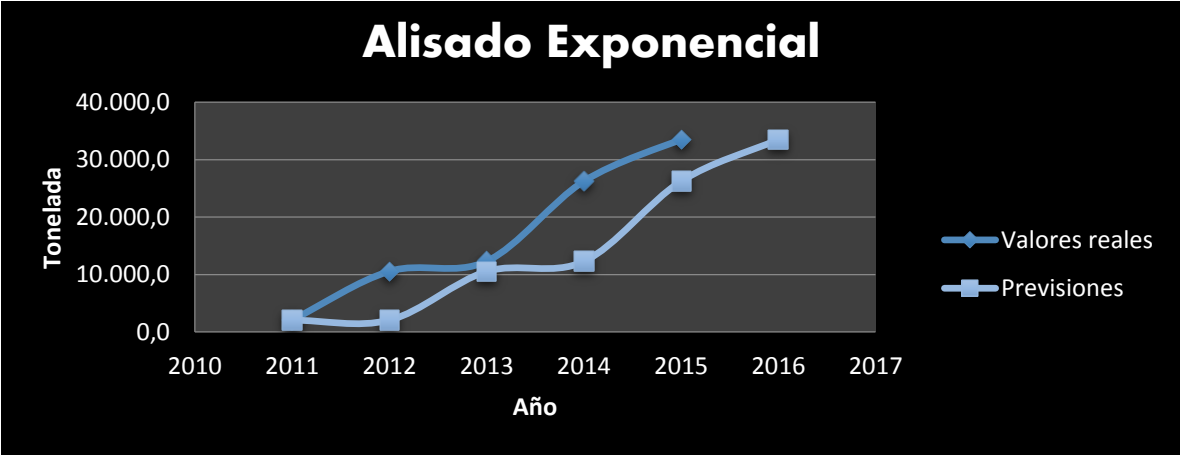
3. Alisado Exponencial				
Variable	Valor			
α	1.00000			

PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,089.4	2,089.4		37.4136%
2012	10,564.3	2,089.4		
2013	12,306.7	10,564.3		
2014	26,254.3	12,306.7	53.12%	
2015	33,531.4	26,254.3	21.70%	
2016		33,531.4		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de alisado exponencial a través de solver fue de 37.4136%.

Tendencia producción por alisado exponencial



Fuente: elaboración propia (2017)

- Cálculo de previsión alisado exponencial con ajuste de tendencia
 Por medio de la herramienta solver se obtuvieron los valores óptimos para la constante de alisado para la media (Alfa α) y para la constante de alisado de la tendencia (beta β) para los datos de producción de la magnesita, las cuales son los factores de ponderación utilizado en este método de previsiones.

A continuación se muestra la forma que solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de alisado exponencial con ajuste, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.

Gráfica IV. Cálculo de previsiones alisado exponencial con ajuste de tendencia

4. Alisado Exponencial Con Ajuste						
Variable	Valor					
α	0.59019					
β	1.00000					
PERIODO	VALORES REALES	PREVISIÓN ALISADA	TENDENCIA ALISADA	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,089.4	1,800.0	200.0	2,000.0		17.6320%
2012	10,564.3	2,052.8	252.8	2,305.5		
2013	12,306.7	7,179.7	5,127.0	12,306.7		
2014	26,254.3	12,306.7	5,127.0	17,433.7	33.60%	
2015	33,531.4	22,639.5	10,332.8	32,972.3	1.67%	
2016		33,302.3	10,662.8	43,965.0		

Fuente: elaboración propio (2017)

El resultado del EPAM, de alisado exponencial a través de solver fue de 17.6320%.

Tendencia producción por alisado exponencial con ajuste



Fuente: elaboración propia (2017)

Al comparar los valores obtenidos del EPAM por medio de los cuatro métodos de previsión se puede observar que el valor más cercano a cero corresponde al alisado exponencial con ajuste de tendencia, el cual dio un 17.6320%, por lo tanto este es el método que se utilizó para hacer la previsión de producción de magnesita. En el último período el error es mínimo lo que demuestra la exactitud del método para este análisis

Comparación de lo proyectado vrs. datos históricos:

PROYECTADO VRS. REAL 2015			
Indice de Estacionalidad	2015	2015	EPAM
	REAL	PROYECTADO	
0.93	2,485	2,549	3%
0.93	2,351	2,546	8%
0.78	2,184	2,144	2%
0.87	2,649	2,385	10%
0.86	2,489	2,351	6%
0.94	2,638	2,575	2%
0.95	2,645	2,601	2%
0.96	2,669	2,625	2%
1.11	3,096	3,044	2%
1.13	3,148	3,095	2%
1.20	3,343	3,287	2%
1.37	3,835	3,771	2%
	33,531	32,972	3.39%

Se comparó la producción proyectada vrs. La producción histórica a su vez se calculó su respectivo EPAM con la finalidad de poder analizar la variabilidad que existe y verificar que los resultados de las previsiones obtenidos con anterioridad son precisos y confiables. Adicional al profundizar en los resultados de la tabla de alisado exponencial con ajuste de tendencia se pudo observar que a medida que pasaron los años el EPAM disminuye significativamente esto se debe a que a medida que pasen los años las previsiones serán más cercanas a los datos reales en la producción.

10.2 Calculo de mineral dolomita

Se repetirá el mismo procedimiento que se llevó a cabo con la magnesita en donde se planteará 4 tipos de previsiones para cada tipo de producto las cuales fueron comparadas a través del EPAM: media móvil ponderada 2 períodos, media móvil ponderada 3 períodos, alisado exponencial, alisado exponencial con ajuste. Se decidió utilizar el EPAM debido a que es un indicador fácil de interpretar el cual expresa el error en las previsiones como un porcentaje. El criterio de decisión respecto a que previsión utilizar fue aquella cuyo EPAM se acercara más a cero eso quiere decir la que tuviera menos error.

Tabla II. **Datos históricos trituración mineral dolomita 2011-2015**

PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	2011	2012	2013	2014	TOTAL	%		2015	
ENERO	86	469	754	618	1,927	6%		2,133	0.36
FEBRERO	107	503	650	503	1,762	5%		2,238	
MARZO	127	670	564	670	2,032	6%		2,343	
ABRIL	148	615	612	615	1,991	6%		2,447	
MAYO	169	752	497	752	2,170	7%		2,552	
JUNIO	190	542	560	542	1,834	6%		2,657	
JULIO	210	673	614	673	2,171	7%	10%	2,663	0.64
AGOSTO	297	878	693	1,878	3,747	11%	18%	4,595	
SEPTIEMBRE	388	545	752	1,714	3,399	10%	16%	4,168	
OCTUBRE	366	615	811	1,803	3,595	11%	17%	4,409	
NOVIEMBRE	323	673	869	1,954	3,820	12%	18%	4,685	
DICIEMBRE	435	823	928	2,013	4,198	13%	20%	5,149	
Promedio Anual Ton/MES	2,847	7,758	8,304	13,737				40,038	

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la tasa de rendimiento anual compuesto (CARG)

Mide el rendimiento a lo largo de un determinado tiempo, por lo que se calculara el rendimiento sobre los datos histórico en el período del 2011 al 2015.

$$CARG(t_n - t_o) = \left(\frac{P_{t_n}}{P_{t_o}}\right)^{\frac{1}{t_n - t_o}} - 1$$

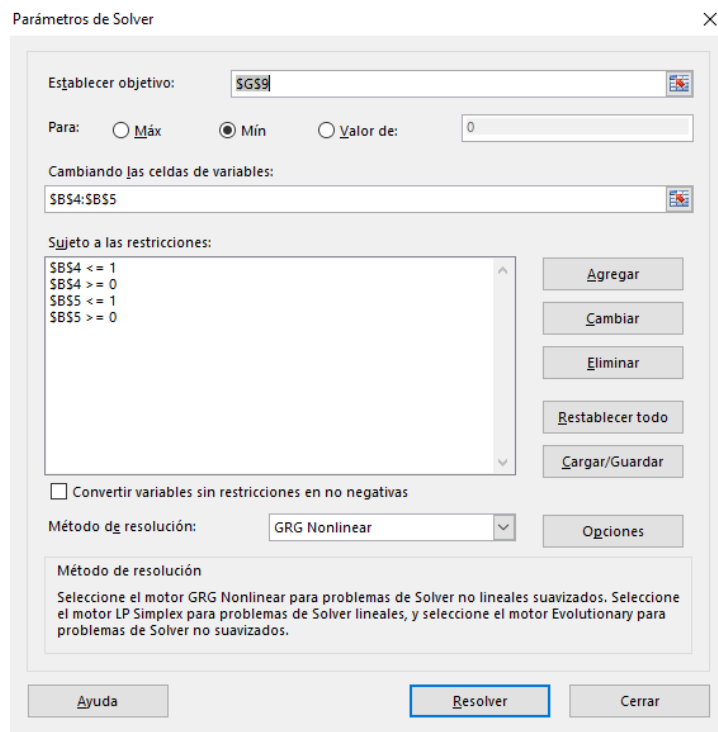
$$CARG(t_n - t_o) = \left(\frac{40,038}{2,047}\right)^{\frac{1}{2015-2011}} - 1$$

$$CARG(t_n - t_o) = (19.56)^{(0.25)} - 1$$

$$CARG(t_n - t_o) = 110\%$$

Debido a que únicamente se contaba con los datos del primer semestre del año 2015, se utilizó la técnica de índice de estacionalidad para calcular los datos correspondientes al segundo semestre de dicho año, de igual forma como se realizó con la magnesita.

A continuación se muestra la forma en la cual solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de la media móvil ponderada de 2 periodos, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.



- Cálculo de previsión media móvil ponderada 2 períodos

Se utilizó la herramienta solver para calcular las ponderaciones de los últimos dos periodos de dolomita que dieran el mínimo EPAM, obteniendo como resultado una ponderación del 100% para el último período, lo cual indica que el último año es el dato más confiable por lo tanto los demás años se dejan fuera del cálculo. Se decidió utilizar ponderaciones para que la previsión fuera más sensible a los cambios debido a que se les está dando más peso a los valores más recientes.

A continuación se muestra la forma que solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de la media móvil ponderada de 2 periodos, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de Solver.

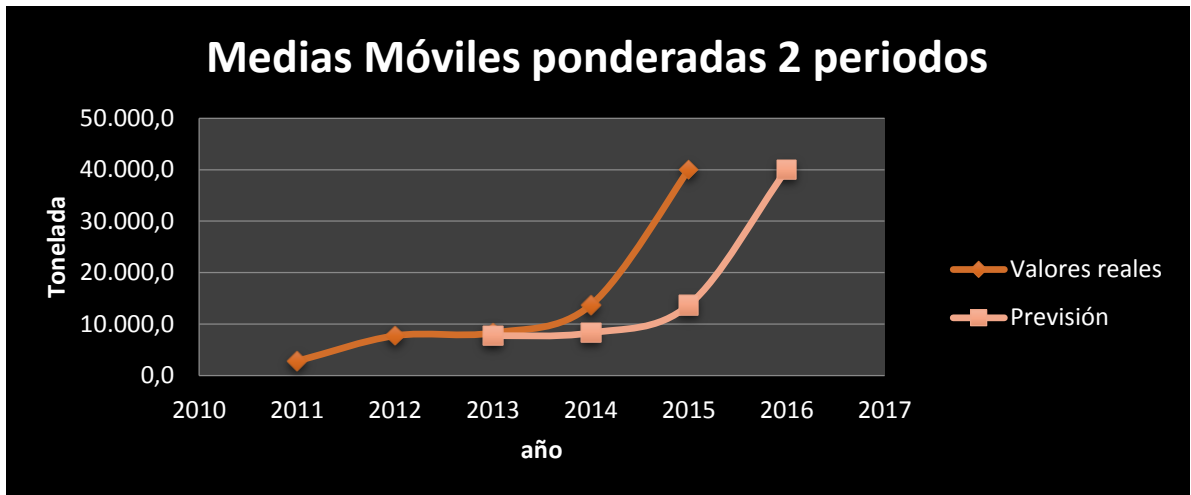
Gráfica V. **Cálculo de previsiones media móvil ponderada 2 períodos**

1. Medias Móviles 2 Periodos				
Periodo	Ponderación			
Ultimo	100.0000%			
Penultimo	0.0000%			
	100.00%			
PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,847.1			52.6203%
2012	7,757.7			
2013	8,304.0			
2014	13,736.9	8,304.0	39.55%	
2015	40,038.4	13,736.9	65.69%	
2016		40,038.4		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de la media móvil ponderada de 2 períodos a través de solver fue de 52.6203%.

Tendencia producción por media móvil ponderada 2 períodos



Fuente: elaboración propia (2017)

- Cálculo de previsiones media móvil ponderada 3 períodos
- A continuación se muestra la forma en la cual solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de la media móvil ponderada de 3 períodos, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.

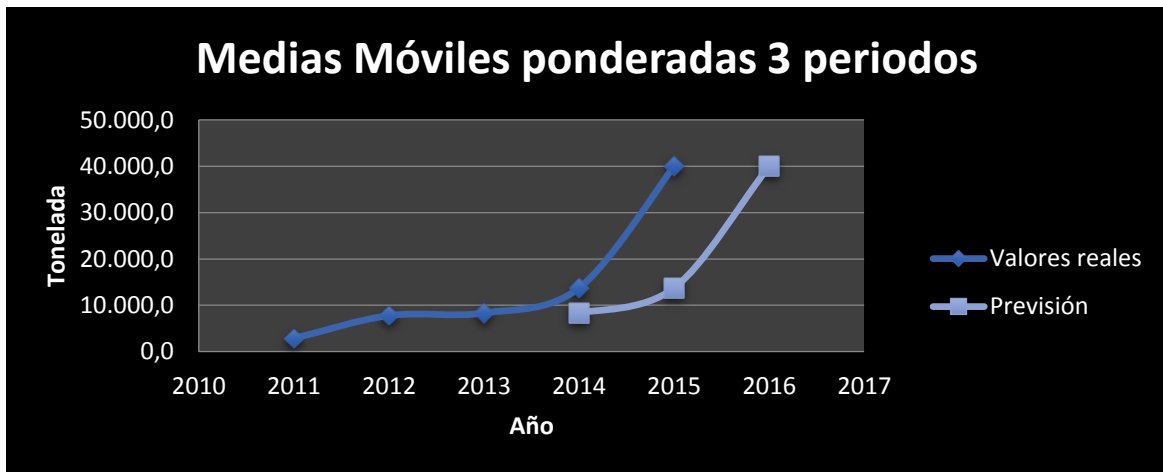
Gráfica VI. **Cálculo de previsiones media móvil ponderada 3 períodos**

1. Medias Móviles 2 Períodos				
Periodo	Ponderación			
Ultimo	100.0000%			
Penultimo	0.0000%			
	100.00%			
PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,847.1			52.6203%
2012	7,757.7			
2013	8,304.0	7,757.7		
2014	13,736.9	8,304.0	39.55%	
2015	40,038.4	13,736.9	65.69%	
2016		40,038.4		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de la media móvil ponderada de 3 períodos a través de Solver fue de 52.62%.

Tendencia producción por media móvil ponderada 3 períodos



Fuente: elaboración propia (2017)

- Cálculo de previsiones alisado exponencial

Por medio de la herramienta solver se obtuvo el valor óptimo para la constante de alisado (Alfa α) para los datos de producción de dolomita, la cual es el factor de ponderación utilizado en este método de previsiones.

A continuación se muestra la forma en la cual solver determina el valor mínimo de EPAM para previsión de alisado exponencial, le cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de Solver.

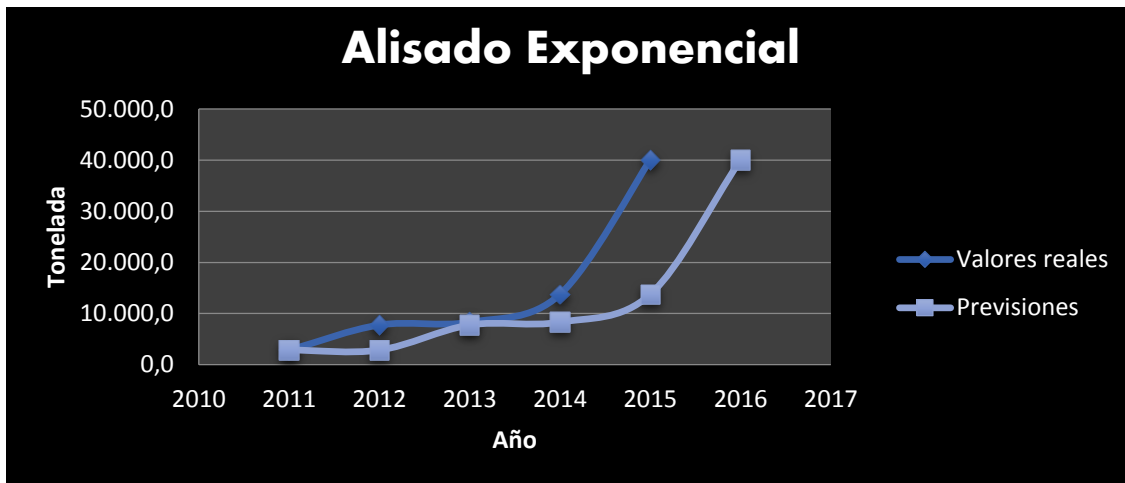
Gráfica VII. **Cálculo de previsiones alisado exponencial**

3. Alisado Exponencial				
Variable	Valor			
α	1.00000			
PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,847.1	2,847.1		52.6203%
2012	7,757.7	2,847.1		
2013	8,304.0	7,757.7		
2014	13,736.9	8,304.0	39.55%	
2015	40,038.4	13,736.9	65.69%	
2016		40,038.4		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de alisado exponencial a través de solver fue de 52.6203%.

Tendencia producción por alisado exponencial



Fuente: elaboración propia (2017)

- Media móvil ponderada de alisado exponencial con ajuste de tendencia
Por medio de la herramienta solver se obtuvieron los valores óptimos para la constante de alisado para la media (Alfa α) y para la constante de alisado de la tendencia (beta β) para los datos de producción de la dolomita, las cuales son los factores de ponderación utilizados en este método de previsiones. A continuación se muestra la forma que solver determina el valor mínimo de EPAM para la previsión de alisado exponencial con ajuste, el cual fue establecido como objetivo dentro de los parámetros de solver.

GRÁFICA VIII. Cálculo de previsiones alisado exponencial con ajuste de tendencia

4. ALISADO EXPONENCIAL CON AJUSTE DE TENDENCIA

Variable	Valor
α	0.53331
β	1.00000

PERIODO	VALORES REALES	PREVISIÓN ALISADA	TENDENCIA ALISADA	PREVISIONES	EPAM	EPAM
2011	2,847.1	2,592.0	208.0	2,800.0		39.0042%
2012	7,757.7	2,825.1	233.1	3,058.3		
2013	8,304.0	5,564.5	2,739.4	8,304.0		
2014	13,736.9	8,304.0	2,739.4	11,043.4	19.61%	
2015	40,038.4	12,479.8	4,175.9	16,655.7	58.40%	
2016		29,126.0	16,646.1	45,772.1		

Fuente: elaboración propia (2017)

El resultado del EPAM, de alisado exponencial a través de Solver fue de 39.00%.

Tendencia producción por alisado exponencial con ajuste de tendencia



Al comparar los valores obtenidos del EPAM por medio de los cuatro métodos de previsión se puede observar el valor más cercano a cero corresponde al alisado exponencial con ajuste de tendencia, el cual dio un 37.70%, por lo tanto este es el método que se utilizó para hacer la previsión de producción de dolomita.

Comparación de lo proyectado vrs. datos históricos:

4. Producción mensual del año 2015:

PROYECTADO VRS. REAL 2015			
Indice de Estacionalidad	2015 REAL	2015 PROYECTADO	EPAM
0.93	2,133.09	1,288	40%
0.93	2,237.83	1,286	43%
0.78	2,342.57	1,083	54%
0.87	2,447.31	1,205	51%
0.86	2,552.06	1,187	53%
0.94	2,656.80	1,301	51%
0.95	2,662.63	1,314	51%
0.96	4,594.92	1,326	71%
1.11	4,168.34	1,538	63%
1.13	4,408.89	1,564	65%
1.20	4,684.86	1,660	65%
1.37	5,149.10	1,905	63%
	40,038.39	16,656	55.69%

5. Producción anual:

PERIODO	VALORES REALES	PREVISIONES	EPAM
2011	2,847.1	2,800.0	
2012	7,757.7	3,058.3	
2013	8,304.0	8,304.0	
2014	13,736.9	11,043.4	19.61%
2015	40,038.4	16,655.7	58.40%
2016		45,772.1	

Se comparó la producción proyectada vrs. La producción histórica, ocurriendo algo peculiar con la dolomita debido a que existió un crecimiento del 153% del 2013 al 2014 y un crecimiento del 291% del 2014 al 2015 por lo que al momento del cálculo de las previsiones en se vio reflejado es incremento debido a que la previsión del año 2014 se acoplo al crecimiento que llevaba el año 2013, y la del 2015 el crecimiento que llevaba el 2014. Sin embargo la previsión del 2016 tomo en cuenta ese crecimiento exponencial que tenían los datos históricos eso con la finalidad a que la producción del 2016 fue lo más precisa posible, he ahí porque existió un 58.40%, en lugar de que el EPAM disminuyera como ocurrió con la magnesita.

10.3 Descomposición de la previsión en estaciones

- **Magnesita:**

Ya obtenido el pronóstico total de la producción para el año 2016 (información calculado anteriormente) se procedió al cálculo del pronóstico de cada uno de los meses de dicho año utilizando una variación de estacionalidad.

Tabla III: datos históricos de la magnesita.

	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	101	1,501	964	1,501	2,485
FEBRERO	95	1,571	955	1,571	2,351
MARZO	89	576	938	1,724	2,184
ABRIL	83	592	945	1,860	2,649
MAYO	81	510	965	1,997	2,489
JUNIO	97	846	903	2,134	2,638
JULIO	127	671	971	2,271	2,645
AGOSTO	115	548	1,007	2,407	2,669
SEPTIEMBRE	145	969	1,070	2,544	3,096
OCTUBRE	147	846	1,133	2,681	3,148
NOVIEMBRE	157	935	1,196	2,817	3,343
DICIEMBRE	853	999	1,259	2,746	3,835
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	2,089	10,564	12,307	26,254	33,531

El procedimiento para encontrar los pronósticos mensuales del año 2016 es el siguiente:

1. Se debe de encontrar la demanda media mensual. Para ello inicialmente encontramos el promedio de cada mes de enero a diciembre dentro del período del año 2011 al 2015. Luego se lleva a cabo la sumatoria de los promedios siendo este valor la demanda media mensual. Utilizando el método de variaciones estacionales.

$$Demanda\ media\ mensual = \frac{\sum\ demanda\ mensual\ (2011 - 2015)}{12}$$

$$Demanda\ media\ mensual = 1,412.44$$

2. Para obtener el índice de estacionalidad se procederá al cálculo:

$$\text{Índice de estacionalidad} = \frac{\text{demanda mensual (2011 – 2015)}}{\text{demanda media mensual}}$$

Se replicará este procedimiento con cada uno de los meses, asumiendo que los datos históricos tienen un comportamiento similar. A continuación se ejemplificara el mes de enero.

$$\text{Índice de estacionalidad} = \frac{1,310.52}{1,412.44}$$

$$\text{Índice de estacionalidad} = 0.93$$

Dicho coeficiente variación estacional indican el valor en que aumenta o disminuye la tendencia a causa del componente estacional, que permitirá un ajuste en cada período mensual, a lo largo de los siguientes 6 años 2016 al 2021.

Tabla IV: demanda mensual del 2016 de la magnesita

	Índice de estacionalidad
ENERO	0.93
FEBRERO	0.93
MARZO	0.78
ABRIL	0.87
MAYO	0.86
JUNIO	0.94
JULIO	0.95
AGOSTO	0.96
SEPTIEMBRE	1.11
OCTUBRE	1.13
NOVIEMBRE	1.20
DICIEMBRE	1.37

3. Con el índice de estacionalidad se obtendrá la previsión de la demanda mensual del año 2016 de la siguiente forma:

Previsión magnesita del 2016: dicho valor fue calculado anteriormente, en donde se comparó los EPAM de las líneas de tendencia y el valor más cercano a cero fue el dato que se utilizara a continuación siendo este el dato del alisado exponencial con ajuste de tendencia teniendo un EPAM de 17.6320% y el valor a utilizará será 43,965.04.

$$Enero = \frac{\text{previsión del 2016}}{12} * \text{índice de estacionalidad}$$

$$Enero = \frac{43,965.04}{12} * 0.93$$

$$Enero = 3,399.40 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Mes}} \right)$$

Tabla V: demanda mensual del 2016

	2016	Demanda media	Demanda Mensual Media
ENERO	3,399	1,311	1,412
FEBRERO	3,394	1,309	1,412
MARZO	2,859	1,102	1,412
ABRIL	3,180	1,226	1,412
MAYO	3,134	1,208	1,412
JUNIO	3,433	1,323	1,412
JULIO	3,468	1,337	1,412
AGOSTO	3,500	1,349	1,412
SEPTIEMBRE	4,059	1,565	1,412
OCTUBRE	4,127	1,591	1,412
NOVIEMBRE	4,383	1,690	1,412
DICIEMBRE	5,028	1,938	1,412
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	43,965	16,949	

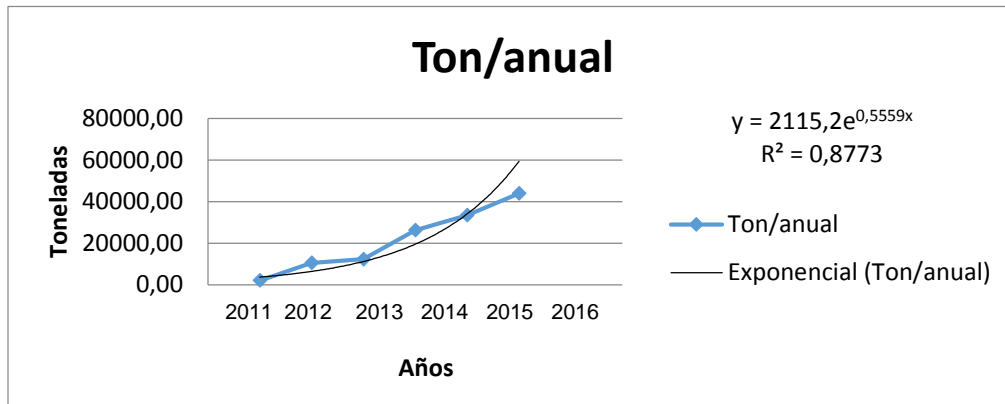
Luego de encontrar la producción mensual del 2016, se calculó la producción total de los próximos años 2017 al 2021, para ello se realizaron gráficas de tendencia, con su respectivo coeficiente de correlación (R) con la finalidad de poder analizar cómo se relacionan los datos entre sí.

Cuando ya se obtengan todos los gráficos se comparó los coeficientes y el valor que más se acerque a uno será la línea de tendencia de mejor interrelacione los datos analizados.

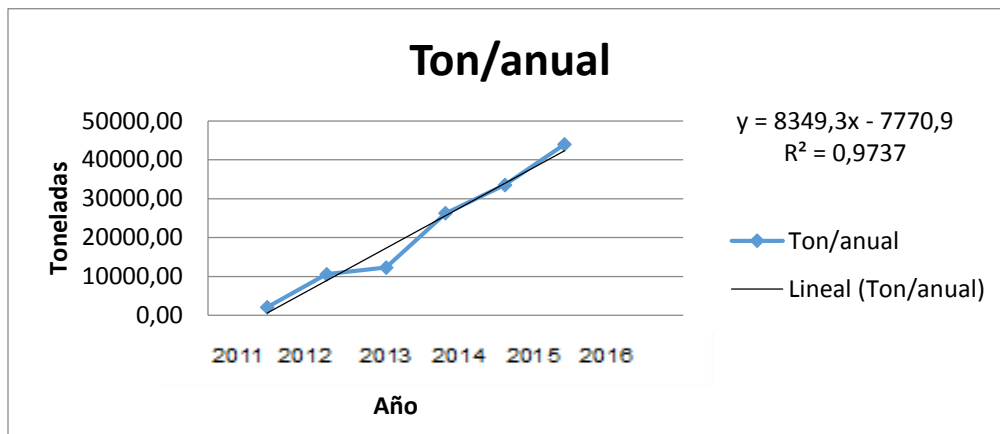
Cuando $r = 1$, la correlación lineal es perfecta, directa.

Asimismo se obtuvo la ecuación de la gráfica como se muestran a continuación:

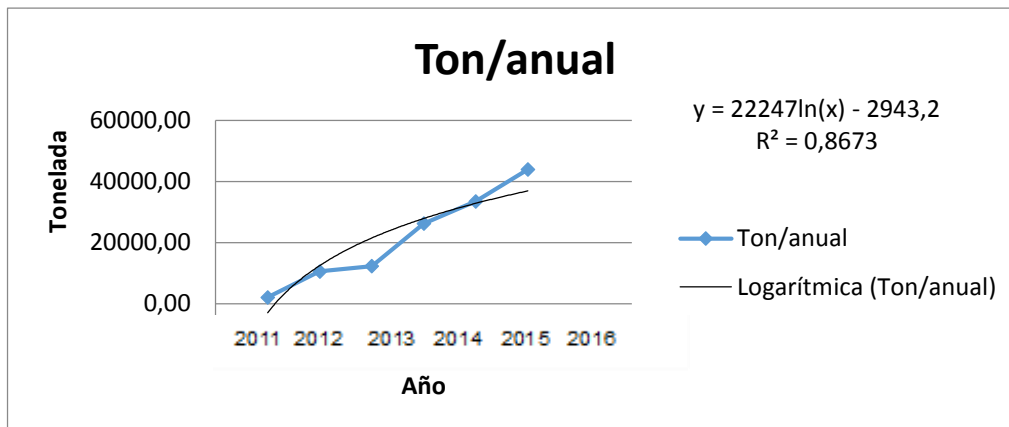
Exponencial:



Lineal



Logarítmica



Analizando las gráficas se puede observar que la línea de tendencia que relaciona los datos históricos es la **lineal**, partiendo de aquí se realizarán los siguientes

pronósticos sustituyendo la "x" en la variable de la ecuación. Se ejemplificará la producción anual del 2017.

$$\text{Producción 2017} = 8,349.3 * x - 7,770.9$$

$$\text{Producción 2017} = 8,349.3 * (7) - 7,770.9$$

$$\text{Producción 2017} = 50,674.20 \text{ Ton/Anual}$$

Este mismo procedimiento se realizara para poder conocer la producción de los próximos años 2018-2021. Cuando ya se tenga dicha información es necesario conocer la producción mensual de cada año y para ello se utilizara el índice de estacionalidad encontrado para el año 2016 y lo mismo se hará para encontrar las producciones mensuales del año 2018-2021. Se demostrara lo antes mencionado con un ejemplo.

$$\text{Enero} = \frac{\text{previsión del 2017}}{12} * \text{índice de Estacionalida}$$

$$\text{Enero} = \frac{50,674.20}{12} * 0.93$$

$$\text{Enero} = 3,918.16 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Mes}} \right)$$

Se muestran a continuación los datos obtenidos para las previsiones mensuales de producción de magnesita de los años 2017 al 2021.

Tabla VI: pronóstico de magnesita del año 2017 al 2021.

MAGNESITA	$y = 8349.3x - 7770.9$				
	$R^2 = 0.9737$				
	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	3,918	4,564	5,209	5,855	6,500
FEBRERO	3,912	4,557	5,202	5,846	6,491
MARZO	3,295	3,838	4,381	4,924	5,467
ABRIL	3,665	4,269	4,873	5,476	6,080
MAYO	3,613	4,208	4,803	5,399	5,994
JUNIO	3,957	4,609	5,261	5,913	6,565
JULIO	3,997	4,656	5,314	5,973	6,632
AGOSTO	4,034	4,699	5,363	6,028	6,693
SEPTIEMBRE	4,679	5,450	6,221	6,991	7,762
OCTUBRE	4,757	5,541	6,324	7,108	7,892
NOVIEMBRE	5,051	5,884	6,716	7,548	8,381
DICIEMBRE	5,796	6,750	7,705	8,660	9,615
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	50,674	59,024	67,373	75,722	84,071

- **Dolomita:**

De igual forma que con la magnesita se procedió con los datos de la dolomita, los cuales se muestran a continuación.

Tabla VII: datos históricos de la dolomita.

	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	86	469	754	618	2,133
FEBRERO	107	503	650	503	2,238
MARZO	127	670	564	670	2,343
ABRIL	148	615	612	615	2,447
MAYO	169	752	497	752	2,552
JUNIO	190	542	560	542	2,657
JULIO	210	673	614	673	2,663
AGOSTO	297	878	693	1,878	4,595
SEPTIEMBRE	388	545	752	1,714	4,168
OCTUBRE	366	615	811	1,803	4,409
NOVIEMBRE	323	673	869	1,954	4,685
DICIEMBRE	435	823	928	2,013	5,149
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	2,847	7,758	8,304	13,737	40,038

El procedimiento para encontrar los pronósticos mensuales del año 2016 de la Dolomita es el siguiente:

1. Se debe de encontrar la demanda media mensual. Para ello inicialmente encontramos el promedio de cada mes de enero a diciembre dentro del período del año 2011 al 2015. Luego se lleva a cabo la sumatoria de los promedios siendo este valor la demanda media mensual. Utilizando el método de variaciones estacionales.

$$Demanda\ media\ mensual = \frac{\sum demanda\ mensual\ (2011 - 2015)}{12}$$

$$Demanda\ media\ mensual = 1,211.40$$

2. Para obtener el índice de estacionalidad se procederá al cálculo:

$$\text{Índice de estacionalidad} = \frac{\text{demanda mensual (2011 – 2015)}}{\text{demanda media mensual}}$$

Se replicará este procedimiento con cada uno de los meses, asumiendo que los datos históricos tienen un comportamiento similar. A continuación se ejemplificara el mes de enero.

$$\text{Índice de estacionalidad} = \frac{812.06}{1,211.40}$$

$$\text{Índice de estacionalidad} = 0.67$$

Tabla VIII: demanda mensual del 2016 de la dolomita

	Índice de estacionalidad
ENERO	0.67
FEBRERO	0.66
MARZO	0.72
ABRIL	0.73
MAYO	0.78
JUNIO	0.74
JULIO	0.80
AGOSTO	1.38
SEPTIEMBRE	1.25
OCTUBRE	1.32
NOVIEMBRE	1.40
DICIEMBRE	1.54
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	

3. Con el índice de estacionalidad se obtendrá la previsión de la demanda mensual del año 2016 de la siguiente forma:

Previsión magnesita del 2016: dicho valor fue calculado anteriormente, en donde se comparó los EPAM de las líneas de tendencia y el valor más cercano a cero fue el dato que se utilizara a continuación siendo este el dato del alisado exponencial con ajuste de tendencia teniendo un EPAM de 37.7032% y el valor a utilizará será 43,965.04..

$$\text{Enero} = \frac{\text{previsión del 2016}}{12} * \text{índice de estacionalidad}$$

$$\text{Enero} = \frac{45,772}{12} * 0.67$$

$$\text{Enero} = 2,557 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Mes}} \right)$$

Tabla IX: demanda mensual del 2016

	2016	Demanda Media	Demanda Mensual Media
ENERO	2,557	812	1,211
FEBRERO	2,519	800	1,211
MARZO	2,755	875	1,211
ABRIL	2,795	888	1,211
MAYO	2,974	944	1,211
JUNIO	2,828	898	1,211
JULIO	3,044	967	1,211
AGOSTO	5,253	1,668	1,211
SEPTIEMBRE	4,765	1,513	1,211
OCTUBRE	5,040	1,601	1,211
NOVIEMBRE	5,356	1,701	1,211
DICIEMBRE	5,886	1,869	1,211
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	45,772	14,537	

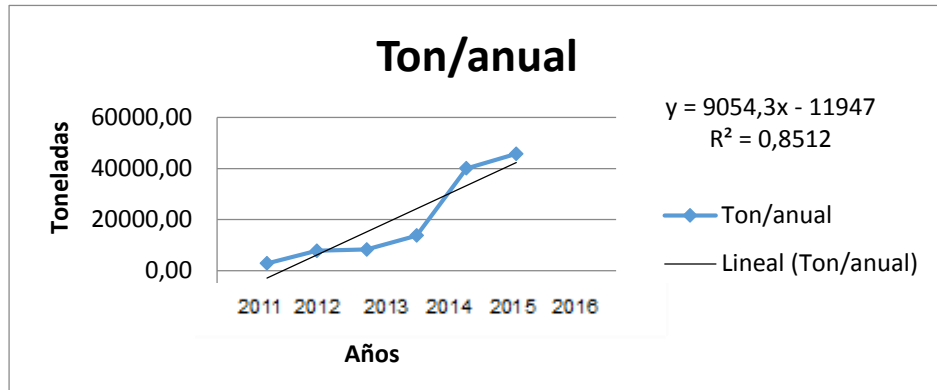
Luego de encontrar la producción mensual del 2016, se calculó la producción total de los próximos años 2017 al 2021 de dolomita, para ello se realizó gráficas de tendencia, con su respectivo coeficiente de correlación (R) con la finalidad de poder analizar cómo se relacionan los datos entre sí.

Cuando ya se obtengan todos los gráficos se comparó los coeficientes y el valor que más se acerque a uno será la línea de tendencia de mejor interrelacione los datos analizados.

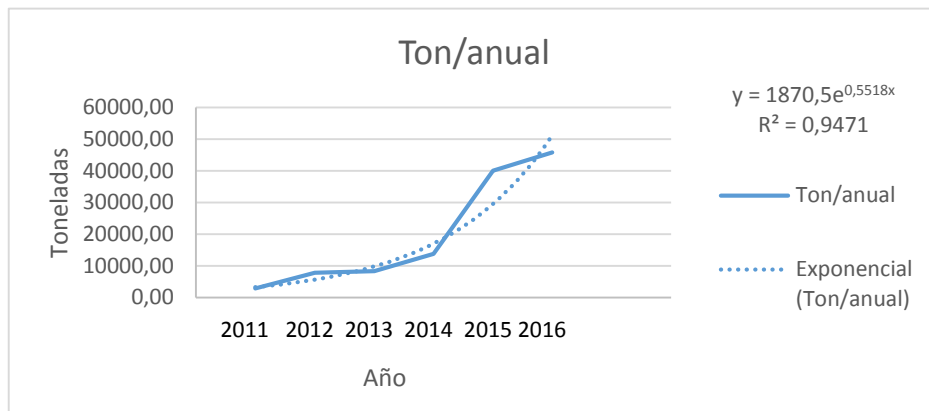
Cuando $r = 1$, la correlación lineal es perfecta, directa.

Asimismo se obtuvo la ecuación de la gráfica como se muestran a continuación:

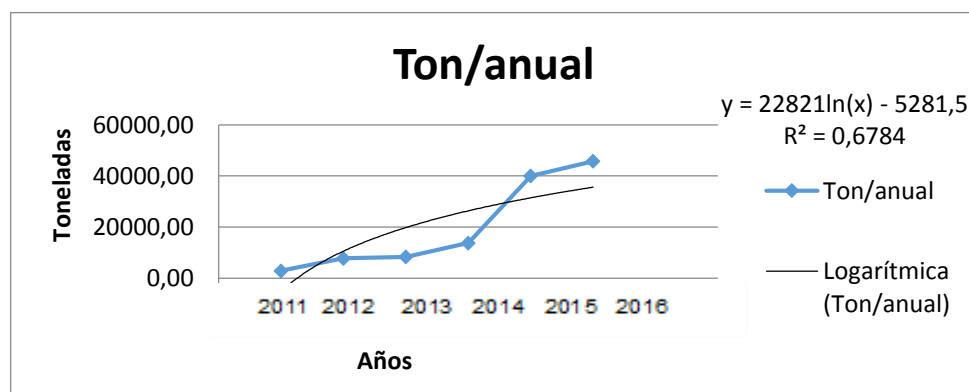
Lineal



Exponencial



Logarítmica:



Analizando las gráficas se llegó a la conclusión que aunque el mejor índice de correlación lo da la exponencial, se considera utilizar la lineal que da un dato más conservador adicional también tiene un buen índice de correlación. Partiendo de

aquí se realizarán los siguientes pronósticos sustituyendo la “x” en la variable de la ecuación. Se ejemplificará la producción anual del 2017.

$$\text{Producción 2017} = 9,054.3 * (x) - 11,947$$

$$\text{Producción 2017} = 9,054.3 * (7) - 11,947$$

$$\text{Producción 2017} = 51,433.10 \text{ Ton/Anual}$$

Este mismo procedimiento se realizará para poder conocer la producción de los próximos años 2018-2021 de dolomita. Cuando ya se tenga dicha información es necesario conocer la producción mensual de cada año y para ello se utilizará el índice de estacionalidad encontrado para el año 2016 y lo mismo se hará para encontrar las producciones mensuales del año 2018-2021. Se demostrará lo antes mencionado con un ejemplo.

$$\text{Enero} = \frac{\text{previsión del 2017}}{12} * \text{índice de estacionalidad}$$

$$\text{Enero} = \frac{51,433.10}{12} * 0.67$$

$$\text{Enero} = 2,873.17 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Mes}} \right)$$

Se muestran a continuación los datos obtenidos para las previsiones mensuales de producción de dolomita de los años 2017 al 2021.

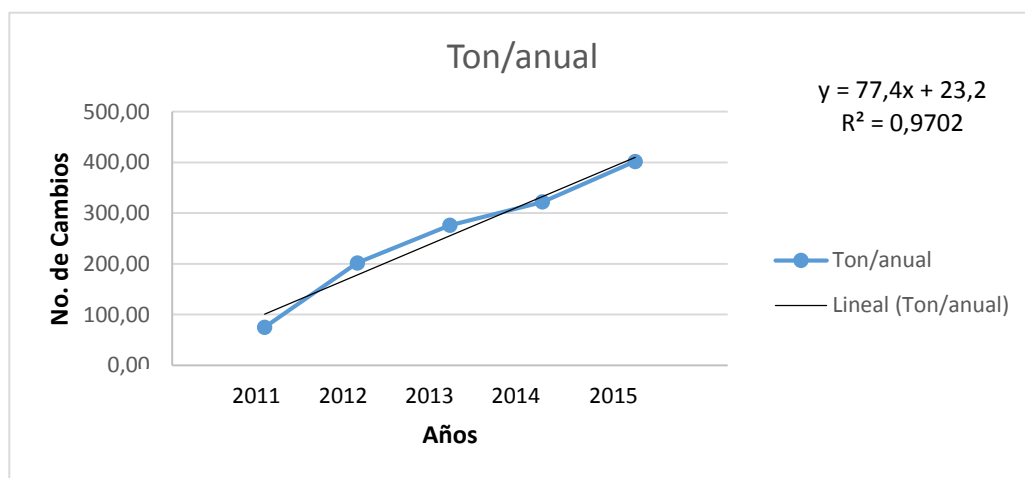
Tabla X: pronóstico de dolomita del año 2017 al 2021.

DOLOMITA	$y = 9054.3x - 11947$				
	$R^2 = 0.8512$				
	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	2,873	3,379	3,885	4,391	4,896
FEBRERO	2,831	3,329	3,827	4,325	4,824
MARZO	3,096	3,640	4,185	4,730	5,275
ABRIL	3,141	3,694	4,246	4,799	5,352
MAYO	3,342	3,930	4,518	5,106	5,695
JUNIO	3,178	3,737	4,296	4,856	5,415
JULIO	3,420	4,023	4,625	5,227	5,829
AGOSTO	5,903	6,942	7,981	9,020	10,059
SEPTIEMBRE	5,355	6,297	7,240	8,183	9,125
OCTUBRE	5,664	6,661	7,658	8,655	9,652
NOVIEMBRE	6,018	7,078	8,137	9,196	10,256
DICIEMBRE	6,615	7,779	8,943	10,108	11,272
PRODUCCIÓN (Ton/Mes)	51,433	60,487	69,542	78,596	87,650

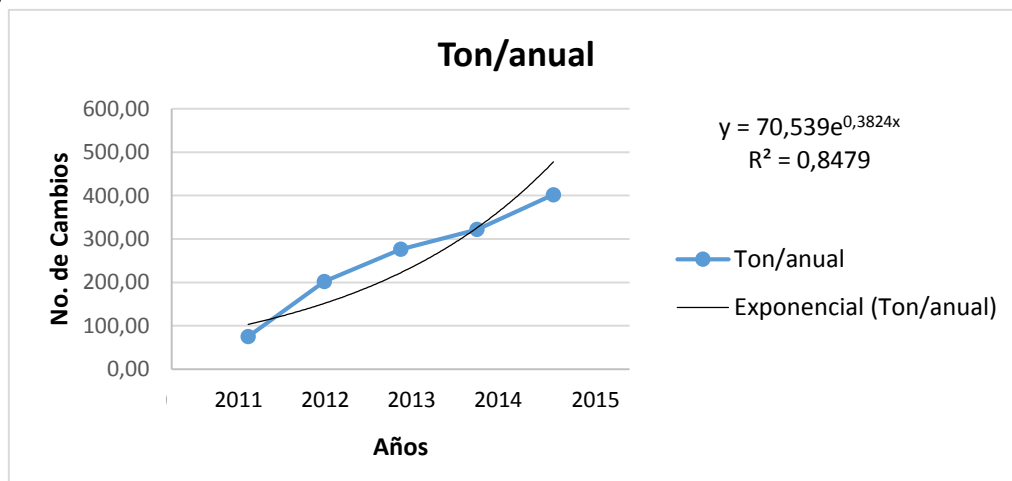
XI. Costos de desperdicio

Para el cálculo del costo de desperdicio se utilizó el número de cambios de materiales, debido a que los desperdicios van en función de dichos cambios y de la limpieza que se realiza en cada uno de los cambios de material. Los costos fueron proyectados mediante una línea de tendencia del año 2016 al 2021, conociendo la ecuación que mejor se ajusta a la gráfica, con el mayor coeficiente de correlación. A continuación se muestran las distintas líneas de tendencia utilizadas para los datos:

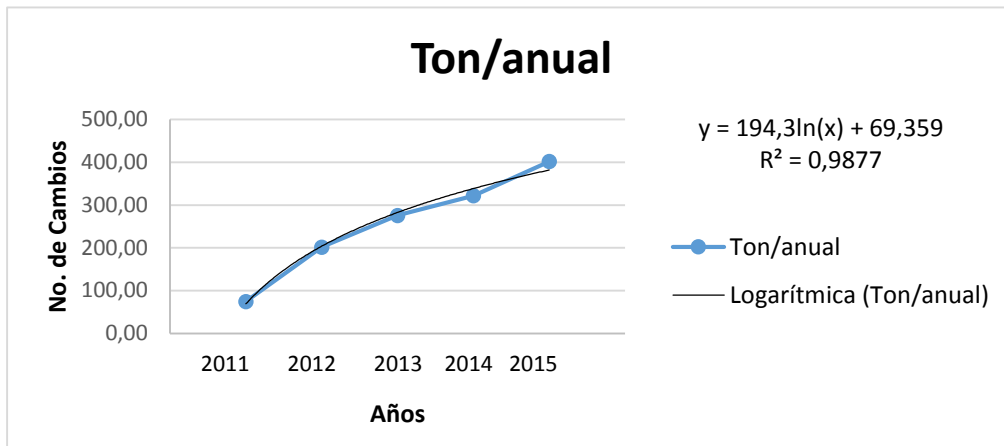
- Lineal:



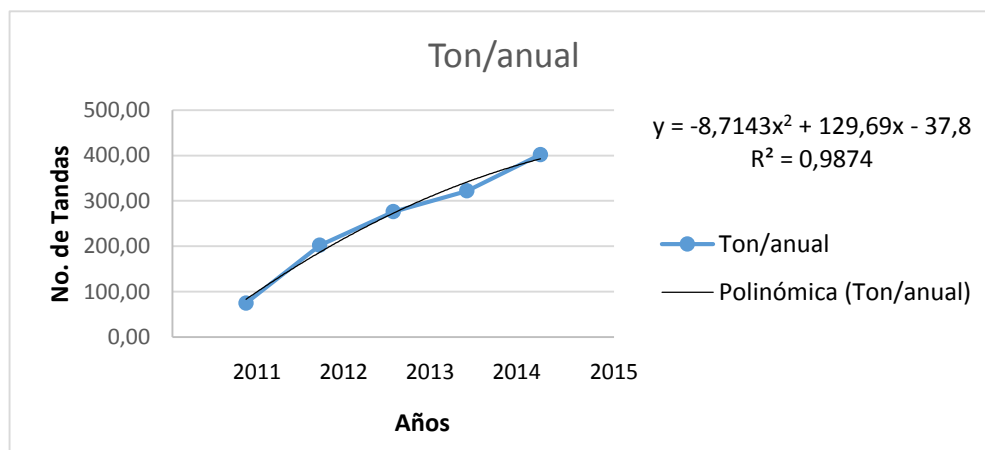
- Exponencial:



- Logarítmica:



- Polinómica:



Luego de realizar las gráficas correspondientes se evidencia que la línea que mejor se ajusta a los datos es la logarítmica, con un coeficiente de correlación de 0.9877, sin embargo, se eligió línea de tendencial lineal debido a que es el método que muestra el crecimiento que seguirán teniendo en los próximos años, adicional muestra un coeficiente de correlación bastante alto (0.9702), por lo que se procede a utilizar la siguiente fórmula para el cálculo de los cambios anuales de 2016 al 2021:

$$y = 77.4x + 23.2$$

El cálculo de los cambios de material realizados mensualmente se realizó de la siguiente manera:

- Demanda media mensual:

$$Demanda\ media\ mensual = \frac{\sum\ demanda\ mensual\ (2011 - 2015)}{12}$$

$$Demanda\ media\ mensual = 18.23$$

En donde la demanda mensual es el promedio mensual en un intervalo de tiempo.

Ejemplo:

$$Demanda\ mensual\ enero = \frac{4 + 10 + 21 + 25}{5}$$

$$Demanda\ mensual\ enero = 15\ Tandas$$

Tabla XI: demanda media mensual del 2016

	Demanda Mensual Media
ENERO	18.23
FEBRERO	18.23
MARZO	18.23
ABRIL	18.23
MAYO	18.23
JUNIO	18.23
JULIO	18.23
AGOSTO	18.23
SEPTIEMBRE	18.23
OCTUBRE	18.23
NOVIEMBRE	18.23
DICIEMBRE	18.23

- Índice de estacionalidad:

Ya que se tiene la demanda mensual que es el promedio de tandas de cada mes y la demanda media mensual que se obtuvo en el inciso anterior se procede al cálculo del índice de estacionalidad para cada mes, a continuación se muestra el cálculo del índice de estacionalidad para el mes de enero:

$$\acute{I}ndice\ de\ estacionalidad = \frac{15}{18.23}$$

$$\acute{I}ndice\ de\ estacionalidad = 0.82$$

Tabla XII: índice de estacionalidad del 2016

	Demanda media	Demanda Mensual Media	Índice de estacionalidad
ENERO	15.00	18.23	0.82
FEBRERO	17.25	18.23	0.95
MARZO	17.25	18.23	0.95
ABRIL	16.75	18.23	0.92
MAYO	16.00	18.23	0.88
JUNIO	18.00	18.23	0.99
JULIO	18.75	18.23	1.03
AGOSTO	19.00	18.23	1.04
SEPTIEMBRE	19.25	18.23	1.06
OCTUBRE	20.50	18.23	1.12
NOVIEMBRE	20.75	18.23	1.14
DICIEMBRE	20.25	18.23	1.11
Tandas Anuales	218.75		

Luego del cálculo del índice de estacionalidad se procederá a conocer el número de cambios mensuales de cada año, durante los siguientes años del 2017 al 2021, a continuación se dará a conocer un ejemplo:

$$\text{Enero 2017} = \frac{585}{12} * 0.82$$

$$\text{Enero 2017} = 39 \text{ No. de cambios}$$

Tabla XIII: cantidad de cambios de un mineral a otro

	Costos										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60

11.1 Situación actual:

Por cada tanda existe un porcentaje de desperdicio que oscila entre el 5% y 9%, por lo que en este trabajo de investigación se utilizará un 7% como un promedio para efectos de cálculo. A continuación se muestra la forma en la cual se calcularon los costos del desperdicio para cada mes, los cuales van en función del tamaño promedio de la tanda y del costo de la materia prima acorde al tipo de material que se está trabajando.

“□” = tamaño promedio de la tanda (Ton/Tanda)

“□” = materia prima (Costo/Ton)

- 153.25 Q/Ton Magnesita
- 225.32 Q/Ton Dolomita

$$DESPERDICIO = \left(7\% * \left("X"_{TANDA}^{TON} \right) * \left("Y"_{TON}^Q \right) \right) + Inflación$$

$$DESPERDICIO = \left(7\% * \left(15_{TANDA}^{TON} \right) * \left((153.25 * 0.5003) + (225.32 * 0.4997) \right)_{TON}^Q \right) + 4\%$$

$$DESPERDICIO = \left("Z"_{TANDA}^Q \right) + (4\% \text{ de } "Z")$$

$$DESPERDICIO = \left(198.72_{TANDA}^Q \right) + \left(7.949_{TANDA}^Q \right)$$

$$DESPERDICIO = \left(206.67_{TANDA}^Q \right)$$

		Costos										
		y= 77.4x+23.2										
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
	FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
	MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
	ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
	MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
	JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
	JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
	AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
	SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
	OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
	NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
	DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales		75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	488	565	642	720	797	875
Desperdicios	No. de tandas	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 206.67	Q 214.94	Q 223.53	Q 232.47	Q 241.77
	Costo Total de Desperdicio	Q 14,904.00	Q 40,141.44	Q 54,846.72	Q 63,987.84	Q 80,282.88	Q 96,895.87	Q 116,767.87	Q 138,074.60	Q 160,899.03	Q 185,328.51	Q 211,454.90

11.2 Propuesta No. 1:

Debido a que se realizará una planificación de la producción disminuirá significativamente el material de desperdicio al final de cada tanda, se pretende obtener un 1% de desperdicio en las dos propuestas del trabajo de investigación, para lo cual se muestra a continuación el cálculo de los costos de desperdicio para las propuestas, bajo la premisa que se espera obtener un 1% de desperdicio:

"□" = tamaño promedio de la tanda (Ton/Tanda)

"□" = materia prima (Costo/Ton)

- 153.25 Q/Ton Magnesita
- 225.32 Q/Ton Dolomita

$$\mathbf{DESPERDICIO} = \left(\% \text{ de desperdicio} * \left("X"_{TANDA}^{TON} \right) * \left("Y"_{TON}^Q \right) \right) + \text{Inflación}$$

$$\mathbf{DESPERDICIO} = \left(1\% * \left(15_{TANDA}^{TON} \right) * \left((153.25 * 0.5003) + (225.32 * 0.4997) \right)_{TON}^Q \right) + 4\%$$

$$\mathbf{DESPERDICIO} = \left("Z"_{TANDA}^Q \right) + (4\% \text{ de } "Z")$$

$$\mathbf{DESPERDICIO} = \left(28.39_{TANDA}^Q \right) + \left(1.136_{TANDA}^Q \right)$$

$$\mathbf{DESPERDICIO} = \left(29.53_{TANDA}^Q \right)$$

Costos Propuesta No. 1												
y= 77.4x+23.2												
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60	
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69	
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69	
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67	
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64	
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72	
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75	
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76	
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77	
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82	
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83	
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81	
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565	642	720	797	875	
Desperdicios	No. de tandas	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 29.53	Q 30.71	Q 31.93	Q 33.21	Q 34.54
	Costo Total de Desperdicio	Q 2,129.25	Q 5,734.78	Q 7,835.64	Q 9,141.58	Q 11,469.56	Q 13,842.96	Q 16,681.96	Q 19,725.94	Q 22,986.73	Q 26,476.83	Q 30,209.36

11.3 Propuesta No.2:

“□” = tamaño promedio de la tanda (Ton/Tanda)

“□” = materia prima (Costo/Ton)

- 153.25 Q/Ton magnesita
- 225.32 Q/Ton dolomita

$$DESPERDICIO = \left(1\% * \left("X"_{TANDA}^{TON} \right) * \left("Y"_{TON}^Q \right) \right) + Inflación$$

$$DESPERDICIO = \left(1\% * \left(15_{TANDA}^{TON} \right) * \left((153.25 * 0.5003) + (225.32 * 0.4997) \right)_{TON}^Q \right) + 4\%$$

$$DESPERDICIO = \left("Z"_{TANDA}^Q \right) + (4\% de "Z")$$

$$DESPERDICIO = (28.39_{TANDA}^Q) + (1.136_{TANDA}^Q)$$

$$DESPERDICIO = (29.53_{TANDA}^Q)$$

Costos Propuesta No. 2												
g= 77.4x+23.2												
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO		4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO		7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO		6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL		7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO		4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO		4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO		7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO		5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE		7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE		7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE		8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE		9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales		75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	488	565	642	720	797	875
Desperdicios	No. de tandas	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 28.39	Q 29.53	Q 30.71	Q 31.93	Q 33.21	Q 34.54
	Costo Total de Desperdicio	Q 2,129.25	Q 5,734.78	Q 7,835.64	Q 9,141.58	Q 11,469.56	Q 13,842.96	Q 16,681.96	Q 19,725.94	Q 22,986.73	Q 26,476.83	Q 30,209.36

- Resumen:

Tanto en la **propuesta No.1** como en la **propuesta No. 2** tendremos los mismos costos de desperdicios debido a que se pretende obtener un 1% de desperdicio al final de cada cambio. Se pudo comparar que ambas propuestas tuvieron una reducción del 6% en los desperdicios comprados con el proceso de cambio actual. Para las proyecciones del 2017 al 2021 se tomó en cuenta el 4% de inflación anual.

11.4 Propuesta No.3 Planificación:

En la actualidad existe un porcentaje de desperdicio por tanda que oscila entre el 5% y 9%, por fines práctico se utilizará un promedio que sería de un 7%. A continuación se muestra la forma en la cual se calcularon los costos del desperdicio para un período de tiempo determinado, utilizando como base la propuesta de planificación.

A continuación se darán a conocer los desperdicios utilizando la propuesta No. 3 de planificación:

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	26	28	29	31	
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	26	28	29	31	
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	26	28	29	31	
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	26	28	29	31	
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	26	28	29	31	
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	26	28	29	31	
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	26	28	29	31	
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	26	28	29	31	
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	26	28	29	31	
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	26	28	29	31	
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	26	28	29	31	
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	26	28	29	31	
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	312.00	336.00	348.00	372.00	
Desperdicios	No, de tandas	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	312.00	336.00	348.00	372.00	
	Costo de desperdicio portanda	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 198.72	Q 206.67	Q 214.94	Q 223.53	Q 232.47	Q 241.77
	Costo Total de Desperdicio	Q 14,904.00	Q 40,141.44	Q 54,846.72	Q 63,987.84	Q 80,282.88	Q 96,895.87	Q 116,767.87	Q 67,059.89	Q 75,107.08	Q 80,901.05	Q 89,939.65

- Cálculo de las tandas:

Se partió de la producción proyectada del 2018 al 2021, se utilizó la fórmula que se muestra a continuación para el cálculo del lote óptimo realizando el mismo procedimiento que en la página 45.

- Sumatoria de las producciones total de dolomita y magnesita $D = 9,960/Ton$
- $S =$ costo fijo
- $H =$ costo de almacenar
 - Cálculo del lote óptimo anual 2018:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * S}{h}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * (9,960/Ton) * (\$86.44)}{\$17.92/Ton}}$$

$$Q^* = 309.98$$

- Cálculo del costo de desperdicio por tanda:

“x” = tamaño promedio de la tanda (Ton/Tanda)

“y” = materia prima (Costo/Ton)

- 153.25 Q/Ton magnesita
- 225.32 Q/Ton dolomita

$$DESPERDICIO = \left(7\% * \left("X"_{TANDA}^{TON} \right) * \left("Y"_{TON}^Q \right) \right) + Inflación$$

$$DESPERDICIO = \left(7\% * \left(15_{TANDA}^{TON} \right) * \left((153.25 * 0.5003) + (225.32 * 0.4997) \right)_{TON}^Q \right) + 4\%$$

$$DESPERDICIO = \left("Z"_{TANDA}^Q \right) + (4\% \text{ de } "Z")$$

$$DESPERDICIO = \left(198.72_{TANDA}^Q \right) + \left(7.949_{TANDA}^Q \right)$$

$$DESPERDICIO = \left(206.67_{TANDA}^Q \right)$$

XII. Costo de mano de obra

Los costos de mano de obra se generan debido a los cambios de un material a otro, en los cuales se requiere realizar una limpieza exhaustiva debido a que si existe algún residuo la producción contaminada es considerada desperdicio. A continuación se muestra la proyección de cantidad de cambios de un material a otro, para lo cual se utilizó una línea de tendencia. Tomando como base esta cantidad de limpiezas que se requieren en la maquinaria, se procedió a calcular el costo de mano de obra como se detalla posteriormente.

Tabla XIV: cantidad de cambios de un mineral a otro.

Costos											
$y = 77.4x + 23.2$											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60

Costos de mano de obra:

Para el cálculo de los costos de mano de obra se utilizó el dato de salario mínimo del 2011 a la fecha, obtenido del Ministerio de Trabajo, y se llevó a cabo una proyección por medio de una línea de tendencia para calcular los costos de mano de obra del año 2017 al 2021. La línea de tendencia que más se ajustó a los datos es la lineal con un coeficiente de correlación del 0.99, dicho dato fue calculado en los costos de desperdicio. Por lo tanto del año 2007 al 2016 se obtuvo en el Ministerio de Trabajo y del año 2017 al 2021 fue calculado con línea de tendencia.

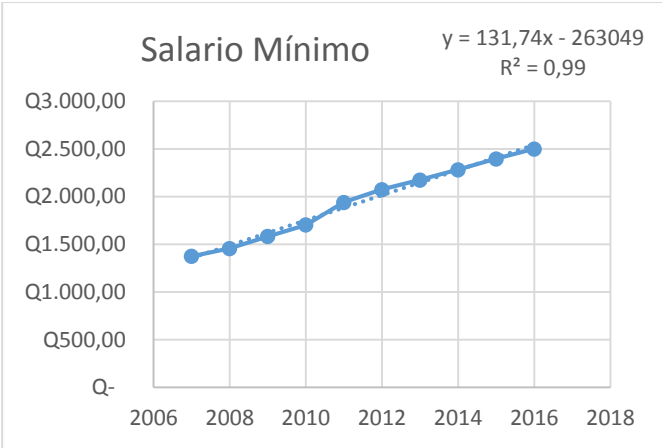
$$y = 131.74x - 263049$$

A continuación se muestran los datos de salario mínimo en el país utilizados para el cálculo de la línea de tendencia, así como el respectivo factor de crecimiento.

Tabla XV: salario mínimo en un período del 2007 al 2021

Salario Mínimo		
año	valor	Factor de Crecimiento
2007	Q 1,374.60	
2008	Q 1,457.00	5.99%
2009	Q 1,581.67	8.56%
2010	Q 1,703.33	7.69%
2011	Q 1,940.00	13.89%
2012	Q 2,074.00	6.91%
2013	Q 2,174.00	4.82%
2014	Q 2,281.00	4.92%
2015	Q 2,395.00	5.00%
2016	Q 2,500.00	4.38%
2017	Q 2,670.58	6.82%
2018	Q 2,802.32	4.93%
2019	Q 2,934.06	4.70%
2020	Q 3,065.80	4.49%
2021	Q 3,197.54	4.30%

Gráfica IX: salario mínimo del 2011 al 2016



Adicional al sueldo base se utilizaron todas las prestaciones de ley: proporción bono 14, aguinaldo y vacaciones. A continuación se muestra el cálculo del costo

total de mano de obra y el costo anual por 2 operarios. Con estos datos se obtuvo el costo de mano de obra por hora al mes, indicado en la última columna.

Tabla XVI: calculo del costo de mano de obra h/mes.

	Cantidad de Usuarios	SUELDO BASE	BONIFICACIÓN	HORAS EXTRAS SIMPLES	HORAS EXTRAS DOBLES	EXTRAORDINARIO	TOTAL LÍQUIDO	PROPORCIÓN BONO 14	PROPORCIÓN AGUINALDO	PROPORCIÓN INDEMNIZACIÓN	PROPORCIÓN VACACIONES	TOTAL PRESTACIONES	CUOTA PADRONAL 12.67%	TOTAL	Costo Anual 2 Operarios	Costo de h/mes
2011	2	Q1,940.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,190.00	Q 161.67	Q 161.67	Q 182.50	Q 80.83	Q 586.67	Q 245.80	Q3,022.46	Q 6,044.93	Q 31.73
2012	2	Q2,074.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,324.00	Q 172.83	Q 172.83	Q 193.67	Q 86.42	Q 625.75	Q 262.78	Q3,212.53	Q 6,425.05	Q 33.72
2013	2	Q2,174.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,424.00	Q 181.17	Q 181.17	Q 202.00	Q 90.58	Q 654.92	Q 275.45	Q3,354.36	Q 6,708.72	Q 35.21
2014	2	Q2,281.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,531.00	Q 190.08	Q 190.08	Q 210.92	Q 95.04	Q 686.13	Q 289.00	Q3,506.13	Q 7,012.26	Q 36.81
2015	2	Q2,395.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,645.00	Q 199.58	Q 199.58	Q 220.42	Q 99.79	Q 719.38	Q 303.45	Q3,667.82	Q 7,335.64	Q 38.50
2016	2	Q2,500.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,750.00	Q 208.33	Q 208.33	Q 229.17	Q 104.17	Q 750.00	Q 316.75	Q3,816.75	Q 7,633.50	Q 40.07
2017	2	Q2,670.58	Q 250.00		0	Q -	Q2,920.58	Q 222.55	Q 222.55	Q 243.38	Q 111.27	Q 799.75	Q 338.36	Q4,058.69	Q 8,117.39	Q 42.61
2018	2	Q2,802.32	Q 250.00		0	Q -	Q3,052.32	Q 233.53	Q 233.53	Q 254.36	Q 116.76	Q 838.18	Q 355.05	Q4,245.55	Q 8,491.10	Q 44.57
2019	2	Q2,934.06	Q 250.00		0	Q -	Q3,184.06	Q 244.51	Q 244.51	Q 265.34	Q 122.25	Q 876.60	Q 371.75	Q4,432.41	Q 8,864.81	Q 46.53
2020	2	Q3,065.80	Q 250.00		0	Q -	Q3,315.80	Q 255.48	Q 255.48	Q 276.32	Q 127.74	Q 915.03	Q 388.44	Q4,619.26	Q 9,238.52	Q 48.49
2021	2	Q3,197.54	Q 250.00		0	Q -	Q3,447.54	Q 266.46	Q 266.46	Q 287.30	Q 133.23	Q 953.45	Q 405.13	Q4,806.12	Q 9,612.23	Q 50.45

A continuación se darán a conocer los cálculos de los costos de mano de obra, se utilizará como ejemplo año 2011.

4. Bono 14:

$$\text{Bono 14} = \frac{\text{sueldo Base}}{12} = \frac{1,940}{12} = Q161.67$$

5. Aguinaldo:

$$\text{Aguinaldo} = \frac{\text{sueldo Base}}{12} = \frac{1,940}{12} = Q161.67$$

6. Indemnización:

$$\text{Indemnización} = \frac{\text{sueldo Base} + \text{bonificación}}{12} = \frac{1,940 + 250}{12} = Q182.50$$

7. Vacaciones:

$$\text{Aguinaldo} = \text{sueldo Base} * \frac{\left(\frac{15}{12}\right)}{30} = Q80.83$$

8. Total de prestaciones:

Total de prestaciones

$$= \text{bono 14} + \text{aguinaldo} + \text{indemnización} + \text{vacaciones}$$

$$\text{Total de prestaciones} = Q161.67 + Q161.67 + Q182.50 + Q89.83$$

$$\text{Total de prestaciones} = Q586.67$$

9. Cuota patronal:

$$\text{Cuota patronal} = \text{Sueldo Base} * 0.1267 = Q245.80$$

10. Costo anual:

$$\text{Costo anual} = \text{total líquido} + \text{total prestaciones} + \text{cuota patronal}$$

$$\text{Costo anual} = Q2,190.00 + Q586.67 + Q245.80$$

$$\text{Costo anual} = Q3,022.46$$

El proceso de limpieza en el sistema de triturado y cribado se necesitan dos operarios el costo anual se multiplicará por dos, Q6,044.93

11. Costo de h/mes:

$$1 \text{ año} = 12 \text{ meses} = 365 \text{ días}$$

$$1 \text{ semana laboral} = 44 \text{ horas}$$

$$\frac{\text{día}}{\text{mes}} = \frac{365}{12} = 30.42$$

$$\frac{\text{día semana}}{\text{mes día}} = \frac{30.42}{7} = 4.34$$

$$4.34 \text{ semanas} * 44 \text{ horas} = 191 \text{ horas}$$

$$\text{Costo de } \frac{h}{\text{mes}} = \frac{Q6,044.93}{191}$$

$$\text{Costo de } \frac{h}{\text{mes}} = Q31.7$$

A continuación se relacionaran los costos de mano de obra y el No. De cambios que se llevaron a cabo en el proceso de triturado y cribado de magnesita y dolomita.

Tabla XVII: costo total de mano de obra.

		Costos										
		y = 77.4x + 23.2										
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO		4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
	FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
	MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
	ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
	MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
	JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
	JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
	AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
	SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
	OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
	NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
	DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales		75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	195.00	525.20	717.60	837.20	1050.40	1267.76	1469.00	1670.24	1871.48	2072.72	2273.96
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 31.73	Q 33.72	Q 35.21	Q 36.81	Q 38.50	Q 40.07	Q 42.61	Q 44.57	Q 46.53	Q 48.49	Q 50.45
	Costo Total Mano de Obra	Q 6,187.07	Q 17,711.72	Q 25,268.64	Q 30,813.88	Q 40,443.83	Q 50,794.91	Q 62,588.95	Q 74,439.31	Q 87,079.15	Q 100,508.47	Q 114,727.26

1. $\left(\frac{h}{\text{año}}\right) = 75 \text{ (No. de Cambios)} * 2.6 \text{ (tiempo de limpieza)}$
2. $\left(\frac{h}{\text{año}}\right) = 195$
3. Costo de mano de obra (Q/h) = tabla XVI
3. Costo total mano de obra = $195 \left(\frac{h}{\text{año}}\right) * Q31.7/h = Q6,187.07$

Calculo de las h/año:

A continuación se muestra el cálculo del número de horas utilizadas para el cambio de materiales en el año 2011, de la misma forma se calcularon los demás años.

$x = \text{número de cambios de material al año}$

$y = \text{tiempo actual que toma la limpieza del material en el sistema}$

$$\text{Mano de obra } \left(\frac{h}{\text{año}}\right) \text{ año 2011} = x * y$$

$$\text{Mano de obra } \left(\frac{h}{\text{año}}\right) \text{ año 2011} = 75 * 2.6 \text{ horas}$$

$$\text{Mano de obra para el año 2011} = 195 \left(\frac{h}{\text{año}}\right)$$

El tiempo actual que toma la limpieza de materiales en el sistema (2.6 horas) se obtuvo del DOP.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO						
Diagrama de Material		RESUMEN	Número	Tiempo (s)	Distancia (m)	Observaciones
		Operaciones	14	145.88		
Empresa	Empresa Trituradora de Minerales	Transportes				
Producto	Dolomita y Magnesita	Demoras				
Código	DM	Inspecciones	7	9.5		
Fecha	08 de Agosto del 2015	Almacenamiento				
Analista	Analista de Métodos	Otros				
Método	Actual	Total	21	155.38		

No.	Descripción de la actividad	Símbología	Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
1	Vaciado de la línea		92		
2	Verificación que la tolva se encuentre vacía		4		
3	Detener el proceso de Triturado y Cribado (Apagando el Equipo)		2.5		
4	Apertura de las Compuertas		0.5		
5	Eliminar los residuos de material		2		
6	Limpieza de la Tolva		5.27		
7	Limpieza Trituradora/BT1		7		
8	Inspección y Control de Calidad		1		
9	Eliminar los residuos de material		1		
10	Limpieza BT4/Saranda-Screw		9.05		
11	Inspección y Control de Calidad		1		
12	Eliminar los residuos de material		0.5		
13	Limpieza BT2/Alimentación del Silo		0.75		
14	Inspección y Control de Calidad		1		
15	Eliminar los residuos de material		0.65		
16	Inspección y Control de Calidad		0.5		
17	Eliminar los residuos de material		4		
18	Limpieza Bota/cangilon del Elevador		3.23		
19	Inspección y Control de Calidad		1		
20	Eliminar los residuos de material		5		
21	Limpieza de Silo		12.43		
22	Inspección y Control de Calidad		1		

Costo total de mano de obra:

Para calcular el costo total de mano de obra se multiplicó el número de horas de limpieza al año (calculado anteriormente) por el costo de mano de obra por hora para cada uno de los años. A continuación se muestra como ejemplo el cálculo para el año 2011, de la misma manera se realizó el cálculo para los demás años.

$$\text{Cost total de mano de obra} = 195 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) * 31.73 \left(\frac{Q}{\text{horas}} \right)$$

$$\text{Cost total de mano de obra} = Q 6,187.35/\text{año}$$

12.1 Costo propuesta No. 1:

Los costos de mano de obra de la propuesta 1, se generan de la misma forma que los costos actuales, partiendo de los cambios de un material a otros, por lo que a continuación de muestra la proyección de cantidad de cambios de un material a otros, para ellos se utiliza una línea de tendencia.

Tabla XVIII: cantidad de cambios de un mineral a otro.

	Costos										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60

Otro factor que permanecerá igual que los costos actuales es el salario mínimo del 2011 a la fecha, el cual se obtuvo del Ministerio de Trabajo y para el cálculo de los años faltante se utilizó una línea de tendencia lineal (coeficiente de correlación 0.99) y se obtuvo el salario mínimo del año 2017 al 2021. A continuación se muestra los datos Salario Mínimo en el país utilizado para el cálculo de la línea de tendencia

así como el respectivo factor de crecimiento. Dicha información está dada en la tabla XV, no variara ni un dato debido a que en la propuesta No. 1 permanecerán los mismos dos operarios que en el proceso actual.

Adicional al sueldo base se utilizaron todas las prestaciones de ley: proporción bono 14, aguinaldo y vacaciones. A continuación se muestra el cálculo del costo total de mano de obra y el costo anual por 2 operarios. Con estos datos se obtuvo el costo de mano de obra por hora al mes, indicado en la última columna.

Tabla XIX: calculo del costo de mano de obra h/mes.

Costos Propuesta No. 1												
y=77.4x+23.2												
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO		4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO		7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO		6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL		7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO		4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO		4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO		7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO		5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE		7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE		7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE		8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE		9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales		75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565	642	720	797	875
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	47.48	127.87	174.71	203.83	255.73	308.65	357.65	406.64	455.63	504.63	553.62
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 31.73	Q 33.72	Q 35.21	Q 36.81	Q 38.50	Q 40.07	Q 42.61	Q 44.57	Q 46.53	Q 48.49	Q 50.45
	Costo Total Mano de Obra	Q 1,506.31	Q 4,312.12	Q 6,151.94	Q 7,501.99	Q 9,846.52	Q 12,366.61	Q 15,238.00	Q 18,123.11	Q 21,200.42	Q 24,469.95	Q 27,931.68

Calculo de las h/año:

A continuación se muestra el cálculo del número de horas utilizadas para el cambio de materiales en el año 2011, de la misma forma se calcularon los demás años.

$x = \text{número de cambios de material al año}$

$y = \text{tiempo actual que toma la limpieza del material en el sistema}$

$$\text{Mano de obra } \left(\frac{h}{\text{año}}\right) \text{ año 2011} = x * y$$

$$\text{Mano de obra } \left(\frac{h}{\text{año}}\right) \text{ año 2011} = 75 * 0.6333 \text{ horas}$$

$$\text{Mano de obra para el año 2011} = 47.48 \left(\frac{h}{\text{año}}\right)$$

El tiempo actual que toma la limpieza de materiales en el sistema (0.633 horas) se obtuvo del DOP.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO						
Diagrama de Material		RESUMEN	Número	Tiempo (s)	Distancia (m)	Observaciones
Pieza AB (Elemento Fijo de Desgaste)		Operaciones	13	30	0	
Empresa	Empresa Trituradora de Minerales	Transportes				
Producto	Dolomita y Magnequita	Demoras				
Código	DM	Inspecciones	1	8		
Fecha	08 de Agosto del 2015	Almacenamiento				
Analista	Analista de Métodos	Otros				
Método	Actual	Total	14	38	0	

No.	Descripción de la actividad	Simbología					Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
1	Vaciado de la línea	●	⇒	D	□	▽	0		1 Sistema de Sandblast
2	Utiliza Arena o Sandblast Tolva	●	⇒	D	□	▽	2		
3	Apertura de las Compuertas	●	⇒	D	□	▽	1		
4	Eliminar residuos en Tolva	●	⇒	D	□	▽	2		
5	Eliminar residuos en Trituradora	●	⇒	D	□	▽	1.5		
6	Eliminar residuos con raspadores BT1	●	⇒	D	□	▽	2		
7	Eliminar residuos de saranda - Screw	●	⇒	D	□	▽	4		
8	Eliminar residuos con raspadores BT4	●	⇒	D	□	▽	2		
9	Eliminar residuos con raspadores BT2	●	⇒	D	□	▽	2		
10	Eliminar residuos con raspadores BT3	●	⇒	D	□	▽	2		
11	Eliminar residuos elevador	●	⇒	D	□	▽	5		
12	Eliminar residuos de Silo 1	●	⇒	D	□	▽	2		
13	Eliminar residuos de Silo 2	●	⇒	D	□	▽	2		
14	Detener el proceso de Triturado y Cribado	●	⇒	D	□	▽	2.5		
15	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	■	▽	8		

Costo total de mano de obra:

Para calcular el costo total de Mano de obra se multiplicó el número de horas de limpieza al año (calculado anteriormente) por el costo de mano de obra por hora

para cada uno de los años. A continuación se muestra como ejemplo el cálculo para el año 2011, de la misma manera se realizó el cálculo para los demás años.

$$\text{Cost total de mano de obra} = 47.48 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) * 31.73 \left(\frac{Q}{\text{horas}} \right)$$

$$\text{Cost total de mano de obra} = Q 1,506.38 \text{ horas}$$

12.2 Costo Propuesta No. 2:

Los costos de mano de obra de la propuesta 2, se generan de la misma forma que los costos actuales, partiendo de los cambios de un material a otros, por lo que a continuación se muestra la proyección de cantidad de cambios de un material a otros, para ellos se utiliza una línea de tendencia.

Otro factor que permanecerá igual que los costos actuales es el salario mínimo del 2011 a la fecha, el cual se obtuvo del Ministerio de Trabajo y para el cálculo de los años faltante se utilizó una línea de tendencia lineal (coeficiente de correlación 0.99) y se obtuvo el salario mínimo del año 2017 al 2021. A continuación se muestra los datos Salario Mínimo en el país utilizado para el cálculo de la línea de tendencia, así como el respectivo factor de crecimiento. Dicho salario se puede verificar en la tabla XV que el salario mínimo permanecerá igual en las dos propuestas.

Adicional al sueldo base se utilizaron todas las prestaciones de Ley: proporción bono 14, aguinaldo y vacaciones. A continuación se muestra el cálculo del costo total de mano de obra y el costo anual por 4 operarios. Con estos datos se obtuvo el costo de mano de obra por hora al mes, indicado en la última columna. En cuanto al cálculo del costo de mano de obra se realizó de la misma forma que el proceso actual la única variante es que en lugar de 2 operarios serán 4 operarios.

Tabla XXIV: calculo del costo de mano de obra h/mes.

	Cantidad de Usuarios	SUELDO BASE	BONIFICACIÓN	HORAS EXTRAS SIMPLES	HORAS EXTRAS DOBLES	EXTRAORDINARIO	TOTAL LÍQUIDO	PROPORCIÓN BONO 14	PROPORCIÓN AGUINALDO	PROPORCIÓN INDEMNIZACIÓN	PROPORCIÓN VACACIONES	TOTAL PRESTACIONES	CUOTA PADRONAL 12.67%	TOTAL	Costo Anual 2 Operarios	Costo de h/mes
2011	4	Q1,940.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,190.00	Q 161.67	Q 161.67	Q 182.50	Q 80.83	Q 586.67	Q 245.80	Q3,022.46	Q 12,089.86	Q 63.46
2012	4	Q2,074.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,324.00	Q 172.83	Q 172.83	Q 193.67	Q 86.42	Q 625.75	Q 262.78	Q3,212.53	Q 12,850.10	Q 67.45
2013	4	Q2,174.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,424.00	Q 181.17	Q 181.17	Q 202.00	Q 90.58	Q 654.92	Q 275.45	Q3,354.36	Q 13,417.45	Q 70.43
2014	4	Q2,281.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,531.00	Q 190.08	Q 190.08	Q 210.92	Q 95.04	Q 686.13	Q 289.00	Q3,506.13	Q 14,024.51	Q 73.61
2015	4	Q2,395.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,645.00	Q 199.58	Q 199.58	Q 220.42	Q 99.79	Q 719.38	Q 303.45	Q3,667.82	Q 14,671.29	Q 77.01
2016	4	Q2,500.00	Q 250.00		0	Q -	Q2,750.00	Q 208.33	Q 208.33	Q 229.17	Q 104.17	Q 750.00	Q 316.75	Q3,816.75	Q 15,267.00	Q 80.13
2017	4	Q2,670.58	Q 250.00		0	Q -	Q2,920.58	Q 222.55	Q 222.55	Q 243.38	Q 111.27	Q 799.75	Q 338.36	Q4,058.69	Q 16,234.78	Q 85.21
2018	4	Q2,802.32	Q 250.00		0	Q -	Q3,052.32	Q 233.53	Q 233.53	Q 254.36	Q 116.76	Q 838.18	Q 355.05	Q4,245.55	Q 16,982.20	Q 89.14
2019	4	Q2,934.06	Q 250.00		0	Q -	Q3,184.06	Q 244.51	Q 244.51	Q 265.34	Q 122.25	Q 876.60	Q 371.75	Q4,432.41	Q 17,729.62	Q 93.06
2020	4	Q3,065.80	Q 250.00		0	Q -	Q3,315.80	Q 255.48	Q 255.48	Q 276.32	Q 127.74	Q 915.03	Q 388.44	Q4,619.26	Q 18,477.05	Q 96.98
2021	4	Q3,197.54	Q 250.00		0	Q -	Q3,447.54	Q 266.46	Q 266.46	Q 287.30	Q 133.23	Q 953.45	Q 405.13	Q4,806.12	Q 19,224.47	Q 100.91

Tabla XXV: costo total de mano de obra.

Costos Propuesta No. 2												
y= 77.4x+23.2												
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60	
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69	
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69	
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67	
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64	
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72	
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75	
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76	
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77	
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82	
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83	
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81	
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	488	565	642	720	797	875	
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	26.25	70.70	96.60	112.70	141.40	170.66	197.75	224.84	251.93	279.02	306.11
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 63.46	Q 67.45	Q 70.43	Q 73.61	Q 77.01	Q 80.13	Q 85.21	Q 89.14	Q 93.06	Q 96.98	Q 100.91
	Costo Total Mano de Obra	Q 1,665.75	Q 4,768.54	Q 6,803.09	Q 8,296.04	Q 10,888.72	Q 13,675.55	Q 16,850.87	Q 20,041.35	Q 23,444.39	Q 27,059.97	Q 30,888.11

Cálculo de las h/año:

A continuación se muestra el cálculo del número de horas utilizadas para el cambio de materiales en el año 2011, de la misma forma se calcularon los demás años.

$x = \text{número de cambios de material al año}$

$y = \text{tiempo actual que toma la limpieza del material en el sistema}$

$$\text{Mano de obra } \left(\frac{h}{\text{año}}\right) \text{ año 2011} = x * y$$

$$\text{Mano de obra } \left(\frac{h}{\text{año}}\right) \text{ año 2011} = 75 * 0.355 \text{ horas}$$

$$\text{Mano de obra para el año 2011} = 26.25 \left(\frac{h}{\text{año}}\right)$$

El tiempo actual que toma la limpieza de materiales en el sistema (0.35 horas) se obtuvo del DOP.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO						
Diagrama de Material		RESUMEN	Número	Tiempo (min)	Distancia (m)	Observaciones
Empresa	Empresa Trituradora de Minerales	Operaciones	14	13	0	
Producto	Dolomita y Magnesita	Transportes				
Código	DM	Inspecciones	1	8		
Fecha	08 de Agosto del 2015	Almacenamiento				
Analista	Analista de Métodos	Otros				
Método	Actual	Total	15	21	0	

No.	Descripción de la actividad	Simbología				Tiempo (min)	Sumatoria (min)	Observaciones
1	Vaciado de la línea	●	⇒	D	□	▽	0	2 Sistemas de Sandblast
2	Utiliza Arena o Sandblast Tolva	●	⇒	D	□	▽	2	Se llevan a cabo simultáneamente dos actividades con 2 usuarios cada una
3	Apertura de las Puertas	●	⇒	D	□	▽	1	
4	Eliminar residuos en Tolva	●	⇒	D	□	▽	2	
5	Eliminar residuos en Trituradora	●	⇒	D	□	▽	1.5	
6	Eliminar residuos con raspadores BT1	●	⇒	D	□	▽	2	
7	Eliminar residuos de saranda - Screw	●	⇒	D	□	▽	4	
8	Eliminar residuos con raspadores BT4	●	⇒	D	□	▽	2	
9	Eliminar residuos con raspadores BT2	●	⇒	D	□	▽	2	
10	Eliminar residuos con raspadores BT3	●	⇒	D	□	▽	2	
11	Eliminar residuos elevador	●	⇒	D	□	▽	5	
12	Eliminar residuos de Silo 1	●	⇒	D	□	▽	2	
13	Eliminar residuos de Silo 2	●	⇒	D	□	▽	2	
14	Detener el proceso de Triturado y Cribado	●	⇒	D	□	▽	2.5	
15	Inspección y Control de Calidad	○	⇒	D	□	▽	8	Dicha inspección la llevan a cabo los cuatro usuarios

Limpieza No. 1	13
Limpieza No. 2	15

Costo total de mano de obra:

Para calcular el costo total de Mano de obra se multiplicó el número de horas de limpieza al año (calculado anteriormente) por el costo de mano de obra por hora para cada uno de los años. A continuación se muestra como ejemplo el cálculo para el año 2011, de la misma manera se realizó el cálculo para los demás años.

$$\text{Cost total de mano de obra} = 26.25 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) * 63.46 \left(\frac{Q}{\text{horas}} \right)$$

$$\text{Cost total de mano de obra} = Q 1,665.825 \text{ horas}$$

- Resumen:

Luego de realizar el costeo de mano de obra se puede analizar que en la **propuesta de mejora No. 1** se invertirá en el mismo número de operarios por ende el costo total de mano de obra es el mismo que el del proceso actual. Sin embargo en la **propuesta de mejora No. 2** existe la variante que se incrementara en el número de operarios ya que en lugar de dos serán cuatro operarios por lo que el costo total de mano de obra de duplicar.

XIII. Costo de energía eléctrica

13.1 Costo actual energía eléctrica:

Para el cálculo del costo de energía eléctrica se utilizó el número de cambios de materiales, debido a que el consumo de energía eléctrica va en función de dichos cambios y de la limpieza que se realiza en cada uno de los cambios de material. Los costos fueron proyectados mediante una línea de tendencia del año 2016 al 2021, conociendo la ecuación que mejor se ajusta a la gráfica, con el mayor coeficiente de correlación. A continuación se muestran las distintas líneas de tendencia utilizadas para los datos:

Tabla XXVI: cantidad de cambios de un mineral a otro.

Costos											
$y = 77.4x + 23.2$											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60

Tabla XXVII: costo de energía eléctrica.

Costos												
$y = 77.4x + 23.2$												
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60	
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69	
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69	
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67	
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64	
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72	
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75	
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76	
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77	
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82	
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83	
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81	
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60	
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	123.13	331.62	453.10	528.62	663.23	800.48	927.54	1054.61	1181.67	1308.74	1435.80
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.6016	1.685664	1.73229056	1.801582182	1.87364547
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q 2,298.47	Q 6,190.54	Q 8,458.37	Q 9,868.10	Q 12,381.09	Q 14,943.12	Q 18,007.74	Q 21,293.63	Q 24,813.57	Q 28,581.05	Q 32,610.21

- **Horas año:**

$x = \text{No. de cambios anuales}$

$y = \text{tiempo que tarda el sistema en desocuparse para comenzar la respectiva limpieza}$

Ejemplificación año 2011:

$$\begin{aligned} \text{horas/año} &= x * y \\ \text{horas/año} &= 75 * \left(\frac{98.5}{60}\right) \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}}\right) \\ \text{horas/año} &= 123.13 \end{aligned}$$

- **Consumo Kw energético (Kw/h):**

Para el cálculo de costo de energía eléctrica es indispensable conocer las horas máquina del sistema y para ello se utilizó como base un año que fue el 2014 debido a que de este año se conocía la producción anual y el consumo energético del sistema de triturado y cribado en este intervalo de tiempo.

A continuación se dan a conocer los datos históricos del 2014:

Consumo Energético	48,475.61	KwH
Producción	39,991.18	Ton
Horas Máquina	"□"	horas

Tabla XXVIII: consumo energético, producción total del 2014

PRODUCCIÓN (Ton/mes)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	186.95	1,970.04	1,718.45	2,119.27	4,618.21	4,618.21	6,791.33	7,942.70	9,094.07	10,245.43	11,396.80
FEBRERO	201.70	2,074.27	1,604.29	2,074.44	4,588.47	4,588.47	6,743.01	7,885.93	9,028.85	10,171.78	11,314.70
MARZO	216.45	1,245.93	1,501.90	2,394.11	4,527.03	4,527.03	6,390.78	7,478.66	8,566.54	9,654.42	10,742.30
ABRIL	231.20	1,207.15	1,557.42	2,475.66	5,096.02	5,096.02	6,805.60	7,962.34	9,119.07	10,275.81	11,432.54
MAYO	250.18	1,261.84	1,461.87	2,749.15	5,041.07	5,041.07	6,954.33	8,137.84	9,321.34	10,504.85	11,688.36
JUNIO	286.22	1,388.10	1,462.69	2,676.00	5,294.85	5,294.85	7,134.48	8,345.82	9,557.15	10,768.49	11,979.83
JULIO	337.19	1,344.35	1,585.60	2,943.72	5,307.61	5,307.61	7,417.62	8,678.35	9,939.07	11,199.80	12,460.53
AGOSTO	412.03	1,425.69	1,700.53	4,285.23	7,264.20	7,264.20	9,936.55	11,640.30	13,344.05	15,047.80	16,751.54
SEPTIEMBRE	533.22	1,513.71	1,822.11	4,258.30	7,264.29	7,264.29	10,033.37	11,746.89	13,460.41	15,173.93	16,887.45
OCTUBRE	513.40	1,461.30	1,943.69	4,484.05	7,556.54	7,556.54	10,420.51	12,201.31	13,982.10	15,762.89	17,543.68
NOVIEMBRE	479.89	1,608.24	2,065.27	4,771.80	8,027.45	8,027.45	11,069.62	12,961.36	14,853.10	16,744.83	18,636.57
DICEMBRE	1,288.08	1,821.39	2,186.85	4,759.44	8,984.06	8,984.06	12,410.08	14,529.40	16,648.73	18,768.05	20,887.37
	4,936.51	18,322.02	20,610.69	39,991.18	73,569.80	18,322.02	102,107.29	119,510.89	136,914.48	154,318.08	171,721.68

$$\text{Consumo por hora (energético)} = \frac{48,475.61 \text{ KwH}}{"x"}$$

$$\text{Consumo por hora (energético)} = \frac{48,475.61 \text{ KwH}}{3,999 \text{ h}}$$

$$\text{Consumo por hora (energético)} = 12.12193 \frac{\text{KwH}}{\text{h}}$$

- **Costo energético unitario:**

Dicho valor es el costo del Kwh al día de hoy (Q1.54 por Kwh), por lo que para los años 2017 al 2021 se tomará en cuenta una inflación de 4%, dicha inflación fue obtenida del instituto nacional de estadística

- **Costo total energético:**

$$\text{Costo total energético} = \frac{\text{horas}}{\text{año}} * \text{consumo Kw energético} * \text{costo energético unitario.}$$

13.2 Propuesta No. 1:

Para el cálculo del costo de energía eléctrica de la propuesta 1, se utilizó el número de cambios de materiales.

Tabla XXIX: cantidad de cambios de un mineral a otro.

	Costos										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60

Costos energéticos:

Tabla XXX: costo de energía eléctrica

Costos Propuesta No. 1											
g= 77.4x+23.2											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565	642	720	797	875
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.6016	1.665664	1.73229056	1.801582182
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -

- Horas año:

$x = \text{No. de cambios anuales}$

$y = \text{tiempo que tarda el sistema en desocuparse para comenzar la respectiva limpieza}$

Ejemplificación año 2011:

$$\text{horas/año} = x * y$$

$$\text{horas/año} = 75 * (0) \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{horas/año} = 0$$

13.3 Propuesta No. 2:

Para el cálculo del costo de energía eléctrica de la propuesta 1, se utilizó el número de cambios de materiales.

Tabla XXXI: cantidad de cambios de un mineral a otro.

Costos g= 77.4x+23.2											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60

Costos energéticos:

Tabla XXXII: costo de energía eléctrica

Costos Propuesta No. 1 g= 77.4x+23.2											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	4	10	21	25	28	33	39	44	49	55	60
FEBRERO	7	14	24	24	32	38	45	51	57	63	69
MARZO	6	17	21	25	32	38	45	51	57	63	69
ABRIL	7	16	22	22	31	37	43	49	55	61	67
MAYO	4	15	21	24	30	36	41	47	53	58	64
JUNIO	4	18	23	27	33	40	46	53	59	66	72
JULIO	7	17	23	28	35	42	48	55	62	68	75
AGOSTO	5	16	25	30	35	42	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	7	19	23	28	36	43	50	57	63	70	77
OCTUBRE	7	20	24	31	38	46	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	8	21	25	29	38	46	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	9	19	24	29	37	45	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	75.00	202.00	276.00	322.00	404.00	487.60	565	642	720	797	875
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.6016	1.665664	1.73229056	1.801582182
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -

- **Horas año:**

$x = \text{No. de cambios anuales}$

$y = \text{tiempo que tarda el sistema en desocuparse para comenzar la respectiva limpieza}$

Ejemplificación año 2011:

$$\text{horas/año} = x * y$$

$$\text{horas/año} = 75 * (0) \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{horas/año} = 0$$

- Resumen:

En relación a la energía eléctrica tanto en la **propuesta de mejora No. 1** como en la **propuesta de mejora No. 2** el consumo de horas/año será equivalente a cero debido a que el proceso de limpieza se realizará con el sistema apagado porque el mismo se encuentra vacío, en cambio en el proceso actual tarda 2.6 horas solo en el vaciado del equipo en donde consumen Kw/h.

XIV. Costo de sandblast

Asimismo se analizarán los costos de la arena utilizada en el procedimiento de Sandblast para la limpieza de cambio de un material a otro.

1. Para poder calcular los costos de la arena se requieren de las tandas mensuales proyectadas del 2017 al 2021, dichos cálculos fueron obtenidos y explicados para los costos de desperdicio, por lo que a continuación se mostrará la tabla con las tandas.

Costos					
$y = 77.4x + 23.2$					
	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	39	44	49	55	60
FEBRERO	45	51	57	63	69
MARZO	45	51	57	63	69
ABRIL	43	49	55	61	67
MAYO	41	47	53	58	64
JUNIO	46	53	59	66	72
JULIO	48	55	62	68	75
AGOSTO	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	50	57	63	70	77
OCTUBRE	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	565	642	720	797	875

2. Para conocer cuantos metros cúbicos se requieren de arena por cada limpieza es necesario conocer la información técnica del equipo a utilizar:

“Se tomó como referencia la hoja técnica de la arena sílice que posee las mismas características que la arena de río, su variación en granulometría no es representativa y el sistema de Sandblast que se cotizó acepta la arena de río.”

“No se utilizó la arena Sílice debido a que este material es tóxico”

3. Conociendo la información anterior se procederá al cálculo de los m³ de arena por cada limpieza y el costo que conlleva la limpieza con sandblast:

Cuantificación y Calculo de Metros cuadrado de arena por limpieza

Descripción	Metros cuadrados
Trituradora	3.5
Criba Vibratoria	14.5
Silo	57
Banda 1	12.5
Banda 2	8.8
Banda 3	16
Banda 4	8.8
Total Metros	121.1

Rendimiento Total Kg/m ²	5	Kg/m ²
-------------------------------------	---	-------------------

Total requerido por metros	121.1	m ²
----------------------------	-------	----------------

Calculo de M3 de arena		
Kg		m ³
605.5	1m ³ = 1600 Kg	0.3784

Total de requerimiento	0.121	metros cúbicos de arena
M ³ de Arena	0.3784	Precio por M ³
Costo de Metros cubico de Arena	Q75.00	Q28.38 por limpieza
ene-18		
Ingresar cantidad de paros por limpieza	44	
Total de Costo Mensual por limpieza	Q1,248.84	

Ejemplificación enero 2018:

No. De tandas = 44

Precio por limpieza = Q28.38

*Total de costo mensual por limpieza = No. de tanda * precio por limpieza*

*Total de costo por limpieza enero 2018 = 44 * Q28.38*

Total de costo por limpieza = Q1,248.84

A continuación se darán a conocer las proyecciones del consumo de arena de enero-2017 a diciembre 2021 de las propuestas de mejora, si se implementa el distrito de Sandblast.

Costos de Sandblast					
y= 77.4x+23.2					
	2017	2018	2019	2020	2021
ENERO	39	44	49	55	60
FEBRERO	45	51	57	63	69
MARZO	45	51	57	63	69
ABRIL	43	49	55	61	67
MAYO	41	47	53	58	64
JUNIO	46	53	59	66	72
JULIO	48	55	62	68	75
AGOSTO	49	56	63	69	76
SEPTIEMBRE	50	57	63	70	77
OCTUBRE	53	60	67	75	82
NOVIEMBRE	54	61	68	76	83
DICIEMBRE	52	59	67	74	81
Tandas Anuales	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
Precio por m3 de Arena (Q)	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
m3 de arena utilizada	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Costo m3 de Arena utilizada	28.38	28.38	28.38	28.38	28.38
Costo por Tandas Anuales(Q)	16,034.70	18,231.31	20,427.92	22,624.54	24,821.15

Para poder comprender que impacto tienen los costos de la arena de sandblast dentro de los costos totales se darán a conocer cada uno de ellos comparando los costos actuales vrs. Los costos propuestos.

- Costos actuales:

Costos						
y= 77.4x+23.2						
		2017	2018	2019	2020	2021
Tandas Anuales		565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	1469.00	1670.24	1871.48	2072.72	2273.96
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 42.61	Q 44.57	Q 46.53	Q 48.49	Q 50.45
	Costo Total Mano de Obra	Q 62,588.95	Q 74,439.31	Q 87,079.15	Q 100,508.47	Q 114,727.26
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	927.54	1054.61	1181.67	1308.74	1435.80
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.6016	1.665664	1.73229056	1.801582182	1.87364547
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q 18,007.74	Q 21,293.63	Q 24,813.57	Q 28,581.05	Q 32,610.21
Desperdicios	No, de tandas	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 206.67	Q 214.94	Q 223.53	Q 232.47	Q 241.77
	Costo Total de Desperdicio	Q 116,767.87	Q 138,074.60	Q 160,899.03	Q 185,328.51	Q 211,454.90
Costo Total Actual		Q 197,364.56	Q 233,807.54	Q 272,791.76	Q 314,418.02	Q 358,792.37

- Propuesta de mejora No. 1:

Costos Propuesta No. 1						
y= 77.4x+23.2						
		2017	2018	2019	2020	2021
Tandas Anuales		565	642	720	797	875
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	357.65	406.64	455.63	504.63	553.62
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 42.61	Q 44.57	Q 46.53	Q 48.49	Q 50.45
	Costo Total Mano de Obra	Q 15,238.00	Q 18,123.11	Q 21,200.42	Q 24,469.95	Q 27,931.68
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.6016	1.665664	1.73229056	1.801582182	1.87364547
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Desperdicios	No, de tandas	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 29.53	Q 30.71	Q 31.93	Q 33.21	Q 34.54
	Costo Total de Desperdicio	Q 16,681.96	Q 19,725.94	Q 22,986.73	Q 26,476.83	Q 30,209.36
Proceso de SandBlasto	Tandas Anuales	565	642	720	797	875
	Precio por m3 de Arena (Q)	Q 75.00	Q 75.00	Q 75.00	Q 75.00	Q 75.00
	m3 de arena utilizada	0.3784	0.3784	0.3784	0.3784	0.3784
	Costo m3 de Arena utilizada	Q 28.38	Q 28.38	Q 28.38	Q 28.38	Q 28.38
	Costo por Tandas Anuales(Q)	Q 16,034.70	Q 18,231.31	Q 20,427.92	Q 22,624.54	Q 24,821.15
Costo Total Actual		Q 47,954.66	Q 56,080.36	Q 64,615.08	Q 73,571.31	Q 82,962.19

- Propuesta de mejora No. 2:

Costos Propuesta No. 2						
y= 77.4x+23.2						
		2017	2018	2019	2020	2021
Tandas Anuales		565	642	720	797	875
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	197.75	224.84	251.93	279.02	306.11
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 85.21	Q 89.14	Q 93.06	Q 96.98	Q 100.91
	Costo Total Mano de Obra	Q 16,850.87	Q 20,041.35	Q 23,444.39	Q 27,059.97	Q 30,888.11
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Desperdicios	No, de tandas	565.00	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 29.53	Q 30.71	Q 31.93	Q 33.21	Q 34.54
	Costo Total de Desperdicio	Q 16,681.96	Q 19,725.94	Q 22,986.73	Q 26,476.83	Q 30,209.36
Proceso de SandBlasto	Tandas Anuales	565	642	720	797	875
	Precio por m3 de Arena (Q)	Q 75.00	Q 75.00	Q 75.00	Q 75.00	Q 75.00
	m3 de arena utilizada	0.3784	0.3784	0.3784	0.3784	0.3784
	Costo m3 de Arena utilizada	Q 28.38	Q 28.38	Q 28.38	Q 28.38	Q 28.38
	Costo por Tandas Anuales(Q)	Q 16,034.70	Q 18,231.31	Q 20,427.92	Q 22,624.54	Q 24,821.15
Costo Total Actual		Q 49,567.53	Q 57,998.60	Q 66,859.04	Q 76,161.34	Q 85,918.62

Luego de realizar la comparación de los costos se llegó a la conclusión que ambas propuestas son económicamente viables ya que los costos actuales son sobrepasan los costos propuestos.

En las propuestas de mejora se implementara:

- El uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza y de esta forma minimizar las pérdidas por cambio de material.

Partiendo de la premisa anterior y del cálculo de los costos de sandblast se realizará un comparativo en donde se analizará los ahorros de las propuestas de mejora vrs. La limpieza actual. Tomando en cuenta el tiempo de limpieza actual y la reducción de los tiempos de ambas propuestas, asimismo de la mano de obra que se ve involucrada en la limpieza por cambio de material.

- **Situación actual:**

$$\text{Mano de Obra } \frac{h}{\text{mes}} = Q42.61$$

$$\text{Tiempo actual de limpieza} = 2.6 h$$

$$\text{Situación actual} = 2 * (Q42.61 * 2.6)$$

$$\text{Situación actual} = Q221.57$$

- **Propuesta de mejora No. 1:**

$$\text{Mano de obra } \frac{h}{\text{mes}} = Q42.61$$

$$\text{Tiempo actual de limpieza} = 0.63 h$$

$$\text{Costo de sandblast por limpieza} = Q28.30$$

$$\text{Propuesta de mejora No. 1} = 2 * (Q42.61 * 0.63) + Q28.38$$

$$\text{Propuesta de mejora No. 1} = Q82.07$$

- **Propuesta de mejora No. 2:**

$$\text{Mano de obra } \frac{h}{\text{mes}} = Q42.61$$

$$\text{Tiempo actual de limpieza} = 0.63 h$$

$$\text{Costo de sandblast por limpieza} = Q28.30$$

$$\text{Propuesta de mejora No. 2} = 2 * (Q42.61 * 0.35) + Q28.38$$

$$\text{Propuesta de mejora No. 2} = Q58.21$$

XV. Comparativo

A continuación se dará a conocer un comparativo de los costos de las propuestas de mejora No. 1, No. 2 y No. 3 vrs. La situación para poder identificar qué propuesta de mejora es a la que disminuirá los costos de la empresa trituradora de minerales.

	Costo de Producto (Desperdicio)	Costo de Mano de Obra	Costo de Energía Eléctrica	Costos de Almacén P.T. (Alm. + Transporte)	Costos Totales
Situación actual	Q138,074.60	Q74,439.31	Q21,293.62	Q0.00	Q233,805.544
Propuesta de mejora No. 1	Q19,725.94	Q18,123.11	Q0.00	Q0.00	Q37,849.05
Propuesta de mejora No. 2	Q19,725.94	Q20,041.35	Q0.00	Q0.00	Q39,767.29
Propuesta de mejora No. 3 “Planificación”	Q82,966.84	Q44,756.35	Q12,802.71	Q9,970,549.84	Q10,111,075.74

Calculo de los costos, para fines prácticos se escogerá el año 2018

- **Propuesta de mejora No. 3:**

Número de tandas:

$Q^* = \text{Lote óptimo (Cálculado página 45)}$

$$\text{Número de tandas} = \frac{\text{demanda 2018}}{Q^*} = \frac{119,511 \text{ Ton}}{310 \text{ Ton/Tanda}} = 385.51 \text{ Tanda}$$

Costo de producto: *costo de desperdicio + número de cambios*

$$\text{Costo de desperdicio} = \frac{\text{desperdicio anual 2018}}{\text{No. de tandas 2018}} = \frac{Q138,074.60}{642 \text{ Tandas}} = \frac{Q214.94}{\text{Tandas}}$$

*C. D. = número de tandas * costo de desperdicio*

$$C. D. = 386 \text{ Tandas} * \frac{Q214.94}{\text{Tanda}}$$

$$\mathbf{C. D. = Q82,966.84}$$

Costo de Mano de Obra: *Costo de Mano de Obra + número de Cambios*

$$\text{Costo de Mano de Obra} = \frac{\text{Mano de Obra Anual 2018}}{\text{No. de tandas 2018}} = \frac{Q74,439.31}{642 \text{ Tandas}} = \frac{Q115.95}{\text{Tandas}}$$

*C. M. = Número de Tandas * Costo de Mano de Obra*

$$C. M. = 386 \text{ Tandas} * \frac{Q115.95}{\text{Tanda}}$$

$$\mathbf{C. M. = Q44,756.35}$$

Costo de energía eléctrica: *costo de energía eléctrica + número de cambios*

$$\text{Costo de energía eléctrica} = \frac{\text{energía eléctrica anual 2018}}{\text{No. de tandas 2018}} = \frac{Q21,293.63}{642 \text{ Tandas}} = \frac{Q33.17}{\text{Tandas}}$$

*C. E. = número de tandas * costo de energía eléctrica*

$$C. E. = 386 \text{ Tandas} * \frac{Q33.17}{\text{Tanda}}$$

$$\mathbf{C. E. = Q12,802.71}$$

Costo de almacenar: $\frac{Q}{2} * H$

- Costo de almacenaje:

$I = 24.84\%$ costo financiero (Página 133) + 15% edificio, manutención de materiales, mano de obra, hurtos, desechos y obsolescencia = 39.84%

- **Producción anual 2018:**

Dolomita = Q 60,487 Ton/Año (50.6%)

Magnesita = Q 59,024 Ton/Año (49.4%)

Sumatoria = Q119,511 Ton/Año

- **Precio:**

Dolomita = Q 225.32 /Ton

Magnesita = Q 153.25 /Ton

Sumatoria = Q 189.71 /Ton

$$\text{Costo de almacenaje} = \frac{Q^*}{2} * H$$

$$\text{Costo de almacenaje} = \frac{310}{2} * I * P$$

$$\text{Costo de almacenaje} = \frac{310}{2} * (0.3984)(189.71)$$

$$\text{C. A.} = \mathbf{Q11,714.97}$$

- Transporte:

$$\text{Costo de transporte (Página 46)} = \frac{Q83.34}{\text{Ton}}$$

$$Q^* = \text{Lote óptimo (Cálculado página 45)} = \frac{Q310}{\text{Tanda}}$$

$$\text{Costo de transporte} = \frac{Q83.34}{\text{Ton}} * \frac{310 \text{ Ton}}{\text{Tanda}} = \frac{Q 25,830.44}{\text{Tanda}}$$

$$C.T. = \text{número de tandas} * \text{costo de transporte}$$

$$C.T. = 386 \text{ Tandas} * \frac{Q25,830.44}{\text{Tanda}}$$

$$C.T. = \mathbf{Q9,970,549.84}$$

En la página 43 cuando se planteó la propuesta No. 3 planificación se indicó que actualmente la empresa procesadora de minerales no implementara esta propuesta debido a que no cuentan con espacio para mantener inventarios de magnesita, dolomita y otros, sin embargo se realizaron los costos de dicha propuesta para ver qué tan factible sería en cuanto alquilar una bodega aledaña con su respectivo transporte. Sin embargo luego de realizar los cálculos se pudo comprobar que implementar la propuesta de mejora No. 3: Planificación requerirá de costos de transporte elevados vrs. Las otras dos propuestas de mejora, esto se observó en la tabla comparativa de la página 117.

XVI. Costo de mantenimiento y costos de calibración

En las dos propuestas de mejora se incluyó tanto los costos de mantenimiento como los costos calibración de las celdas de pesaje ambos procedimientos se llevarán a cabo cada seis meses, por medio de soluciones exactas.

Costos Propuesta No. 1					
		2018	2019	2020	2021
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	406.64	455.63	504.63	553.62
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 40.02	Q 40.02	Q 40.02	Q 40.02
	Costo Total Mano de Obra	Q 16,273.70	Q 18,234.45	Q 20,195.20	Q 22,155.94
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	0.00	0.00	0.00	0.00
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.54	1.54	1.54	1.54
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q -	Q -	Q -	Q -
Desperdicios	No, de tandas	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 28.29	Q 28.29	Q 28.29	Q 28.29
	Costo Total de Desperdicio	Q 18,173.50	Q 20,363.14	Q 22,552.79	Q 24,742.43
Costo de Mantenimiento	Costo Anual de mantenimiento Celdas de Pesaje (cada 6 meses)	Q 14,800.00	Q 14,800.00	Q 14,800.00	Q 14,800.00
Costo de Calibración	Costo Anual de calibración Celdas de Pesaje (cada 6 meses)	Q 19,980.00	Q 19,980.00	Q 19,980.00	Q 19,980.00
Costo Total Actual		Q 69,227.20	Q 73,377.59	Q 77,527.98	Q 81,678.38

Costos Propuesta No. 2					
		2018	2019	2020	2021
Mano de Obra	(h/año) "ACTUAL"	224.84	251.93	279.02	306.11
	Costo Mano de Obra (Q/h)	Q 40.02	Q 40.02	Q 40.02	Q 40.02
	Costo Total Mano de Obra	Q 8,998.10	Q 10,082.24	Q 11,166.38	Q 12,250.52
Energéticos	(h/año) "ACTUAL"	0.00	0.00	0.00	0.00
	Consumo Kw Energético (Kwh/h)	12.12193	12.12193	12.12193	12.12193
	Costo Energético Unitario (Q/Kwh)	1.54	1.54	1.54	1.54
	Costo Total Energético (Q/Año)	Q -	Q -	Q -	Q -
Desperdicios	No, de tandas	642.40	719.80	797.20	874.60
	Costo de desperdicio por tanda	Q 28.29	Q 28.29	Q 28.29	Q 28.29
	Costo Total de Desperdicio	Q 18,173.50	Q 20,363.14	Q 22,552.79	Q 24,742.43
Costo de Mantenimiento	Costo Anual de mantenimiento Celdas de Pesaje (cada 6 meses)	Q 14,800.00	Q 14,800.00	Q 14,800.00	Q 14,800.00
Costo de Calibración	Costo Anual de calibración Celdas de Pesaje (cada 6 meses)	Q 19,980.00	Q 19,980.00	Q 19,980.00	Q 19,980.00
Costo Total Actual		Q 61,951.59	Q 65,225.38	Q 68,499.17	Q 71,772.96

XVII. Planeación de la capacidad

17.1 Situación actual:

- Capacidad diseñada:

Para el cálculo de la capacidad diseñada se utilizará de base la máquina que tiene la menor capacidad de producción, debido a que esta representa el cuello de botella del proceso, si se toma en cuenta que la planta trabaja 365 días de años, 24 horas al día, se tendrá como resultado la capacidad diseñada de la planta trituradora siendo esta de: 175,200.00 Toneladas al año.

Capacidad diseñada magnesita		
Capacidad según fabricante	20	Toneladas/hora
Horas al día	24	Horas
Días al año	365	Días
Horas laborales por año	8760	horas/año
Producción diseñada anual	175,200	Toneladas/año

Proceso Actual					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00

- Capacidad efectiva:

En la planta procesadora de minerales se tienen pérdidas por efectividad, que consisten en las horas que no se encuentran laborando a causa de asueto, limpieza o mantenimiento de la maquinaria, cambio de un mineral a otro, etc.

A continuación se detallan las pérdidas mencionadas anteriormente que serán utilizadas para el cálculo de la capacidad, como lo son los asuetos que tomando de base el código de trabajo de Guatemala, se establece que son 14 asuetos en el año.

Para el cálculo de la pérdida por cambio de material se necesitó por parte de la empresa el No. De tandas por cambio de material de enero 2011 hasta junio 2015 y por medio del índice de estacionalidad se calculó el resto de tandas del 2015 para luego encontrar la previsión el 2016, y proyectar así los años 2017 al 2021 con el objetivo de poder relacionarlos con el tiempo de limpieza y la capacidad según el fabricante como se muestra a continuación.

Adicionalmente se tienen pérdidas debido al mantenimiento de la máquina (lubricación, ajuste y apriete) dicho valor es de 360 horas año: 120 horas en Febrero y 240 horas en Agosto.

Capacidad efectiva	Enfoque a producto	
Capacidad según fabricante	20	Ton/hora
Asueto	336	Horas/año
Mantenimiento	360	horas/año

Las pérdidas por cambio de producto variarán en función del número de cambios de producto que se realice en las máquinas, ello involucra tiempo ocioso en la maquinaria debido a la limpieza que debe realizarse antes de iniciar el nuevo lote.

Ejemplo de cálculo de pérdida por cambio de material del año 2017:

X: No. De tandas (Ton)

Y: Tiempo que tarda la limpieza (horas)

Z: Capacidad según fabricante (Ton/hora)

$$\text{Pérdida por cambio de material: } x * y * z$$

$$\text{Pérdida por cambio de material: } 565 * 2.6 * 20$$

$$\text{Pérdida por cambio de material: } 1,469 * 20$$

$$\text{Pérdida por cambio de material: } 29,380.00 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

Se realizó una regresión lineal con los datos históricos para obtener la cantidad de cambios al año, y se obtuvo una ecuación lineal por medio de la cual se puede obtener

de manera confiable los cambios de producto previstos del año 2017 al año 2021. A continuación se muestra dicha ecuación.

$$y = 77.4x + 23.2$$

En relación a las pérdidas debidas a asuetos y mantenimientos, éstas se mantienen constantes durante los 5 años.

A continuación se muestran el pronóstico de capacidad efectiva para los años 2017 al 2021 si la compañía siguiera trabajando con el proceso actual:

Proceso Actual					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-29,380.00	-33,404.80	-37,429.60	-41,454.40	-45,479.20
Capacidad Efectiva	131,900.00	127,875.20	123,850.40	119,825.60	115,800.80

- Capacidad real:

Por ultimo es necesario conocer la capacidad real de la procesadora de minerales, para lo cual se deben considerar las pérdidas por eficiencia que se tienen en el proceso. Tomando en cuenta una eficiencia de producción de un 90%, de acuerdo a información proporcionada por la empresa.

Proceso Actual					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-29,380.00	-33,404.80	-37,429.60	-41,454.40	-45,479.20
Capacidad Efectiva	131,900.00	127,875.20	123,850.40	119,825.60	115,800.80
Perdida por Eficiencia	-13,190.00	-12,787.52	-12,385.04	-11,982.56	-11,580.08
Capacidad Real	118,710.00	115,087.68	111,465.36	107,843.04	104,220.72

- Ejemplificación Año 2017:



- Resultados:

Se procedió a realizar una comparación entre la capacidad real y la producción prevista para los años 2017 al 2021 bajo el proceso actual de la empresa, en donde se logra evidenciar que para el año 2018 la producción prevista sobrepasa la capacidad real, por lo tanto es indispensable invertir en aumentar la capacidad de producción, para lo cual se presentan 2 propuestas de mejora, las cuales se detallan más adelante.

Año	Proceso Actual				
	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-29,380.00	-33,404.80	-37,429.60	-41,454.40	-45,479.20
Capacidad Efectiva	131,900.00	127,875.20	123,850.40	119,825.60	115,800.80
Perdida por Eficiencia	-13,190.00	-12,787.52	-12,385.04	-11,982.56	-11,580.08
Capacidad Real	118,710.00	115,087.68	111,465.36	107,843.04	104,220.72
Producción	102,107.29	119,510.89	136,914.48	154,318.08	171,721.68
Porcentaje de Utilización	86%	104%	123%	143%	165%

17.2 Propuestas de mejora:

Las propuestas de mejora van enfocadas en la disminución de las pérdidas por cambio de material, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad efectiva. Se proponen dos formas de mejorar las pérdidas por cambio de material, las cuales se detallan a continuación. En ambas propuestas la capacidad diseñada es la misma, basada en la capacidad actual de producción de las máquinas.

- Propuesta No. 1

La propuesta va enfocada en dos aspectos de mejora:

1. **Mejorar la planificación de la producción para evitar la acumulación de desperdicios.** Al analizar el Diagrama de Flujo del Proceso actual de limpieza, se puede observar que el tiempo de limpieza es de 2.6 horas (155.38 min), siendo uno de los factores que más afecta este tiempo el correspondiente al vaciado de la línea (92 minutos) debido al material que queda acumulado en la máquina luego del paro, lo cual constituye desperdicio de tiempo y del propio material. Lo que se propone es planificar los paros de manera que el material que queda en la máquina pueda ser utilizado como material de producción y no de desperdicio, para ello debe programarse el paro con anticipación considerando que el material que se obtenga del vaciado de la línea será parte de la producción efectiva de la máquina.
2. **Implementar el uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza y de esta forma minimizar las pérdidas por cambio de material.** Se realizó una prueba piloto con sandblast y se llegó a comprobar que a través de este método la limpieza del material se realiza de manera más rápida (Q59,337.00 de inversión del Sandblast.)

A través de los dos aspectos de mejora mencionados anteriormente se logra disminuir significativamente el tiempo del proceso de limpieza, quedando éste en 0.633 horas, a diferencia de las 2.6 horas que tarda el proceso actualmente. Por lo cual la propuesta tiene un impacto directo en la disminución de las pérdidas por cambio de material, lo cual

se traduce en un aumento de la capacidad efectiva. Con el proceso actual se esperarían unas pérdidas de 29,380 toneladas para el año 2017 debido al cambio de material, con lo cual la capacidad efectiva queda en 131,900 ton; mientras que con la propuesta No.1 se esperarían unas pérdidas de 7,152.9 toneladas, obteniendo una capacidad efectiva de 154,127.10 (mayor a la que se obtendría con el proceso actual).

A continuación se muestra el ejemplo de cómo se calcularon las pérdidas por cambio de material, tanto para el proceso actual como para la propuesta No. 1 para el año 2017 (se calculó de manera similar para los demás años):

Proceso actual:

- Tandas al año (obtenidas mediante previsiones): 565 tandas
- Horas de limpieza al año: 1,469 horas
 $565 \text{ tandas} * 2.6 \text{ horas de limpieza por tanda} = 1,469 \text{ horas de limpieza}$
- Capacidad nominal de la máquina: 20 ton/hora
- Pérdidas por cambio de material: 29,380 ton
 $1,469 \text{ horas de limpieza} * 20 \text{ ton /hora} = 29,380 \text{ toneladas}$

Proceso Actual					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-29,380.00	-33,404.80	-37,429.60	-41,454.40	-45,479.20
Capacidad Efectiva	131,900.00	127,875.20	123,850.40	119,825.60	115,800.80

Propuesta No. 1:

- Tandas al año (obtenidas mediante previsiones): 565 tandas
- Horas de limpieza al año: 357.65 horas
 $565 \text{ tandas} * 0.633 \text{ horas de limpieza por tanda} = 357.65 \text{ horas de limpieza}$
- Capacidad nominal de la máquina: 20 ton/hora
- Pérdidas por cambio de material: 7,152.9 ton
 $357.65 \text{ horas de limpieza} * 20 \text{ ton /hora} = 7,152.9 \text{ toneladas}$

Propuesta No. 1					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-7,152.90	-8,132.78	-9,112.67	-10,092.55	-11,072.44
Capacidad Efectiva	154,127.10	153,147.22	152,167.33	151,187.45	150,207.56

A continuación se detalla la capacidad real esperada al implementar esta propuesta de mejora:

Propuesta No. 1					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-7,152.90	-8,132.78	-9,112.67	-10,092.55	-11,072.44
Capacidad Efectiva	154,127.10	153,147.22	152,167.33	151,187.45	150,207.56
Perdida por Eficiencia	-15,412.71	-15,314.72	-15,216.73	-15,118.74	-15,020.76
Capacidad Real	138,714.39	137,832.49	136,950.60	136,068.70	135,186.81

Ejemplificación Año 2017:



Resultado:

Se procedió a realizar una comparación entre la capacidad real y la producción prevista para los años 2017 al 2021 bajo la propuesta de mejora No. 1, en donde se logra evidenciar que para el año 2019 la producción prevista sería de un 100% de la capacidad real, por lo que para el año 2020 deberían de implementarse mejoras en la capacidad nominal de las máquinas, eso quiere decir aumentar las líneas de producción o bien comprar maquinaria nueva con mayor capacidad de producción. Como resultado de la propuesta planteada se estaría aplazando la necesidad de ampliar la capacidad del año 2018 al año 2020.

Propuesta No. 1					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-7,152.90	-8,132.78	-9,112.67	-10,092.55	-11,072.44
Capacidad Efectiva	154,127.10	153,147.22	152,167.33	151,187.45	150,207.56
Perdida por Eficiencia	-15,412.71	-15,314.72	-15,216.73	-15,118.74	-15,020.76
Capacidad Real	138,714.39	137,832.49	136,950.60	136,068.70	135,186.81
Producción	102,107.29	119,510.89	136,914.48	154,318.08	171,721.68
Porcentaje de Utilización	74%	87%	100%	113%	127%

- Propuesta No. 2:

La propuesta va enfocada en tres aspectos de mejora:

1. **Mejorar la planificación de la producción para evitar la acumulación de desperdicios:** sería bajo el mismo enfoque presentado en la propuesta No.1
2. **Implementar el uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza y de esta forma minimizar las pérdidas por cambio de material:** bajo el mismo enfoque presentado en la propuesta No. 1
3. **Adicionar 2 operarios para la realización de las limpiezas por cambio de material:** se busca disminuir el tiempo de limpieza por cambio de material a través de agregar 2 operarios para dicha actividad, y de esta manera disminuir las pérdidas por cambio de material.

A través de los tres aspectos de mejora mencionados anteriormente se logra disminuir significativamente el tiempo del proceso de limpieza, quedando éste en 0.35 horas, a diferencia de las 2.6 horas que tarda el proceso actualmente. Por lo cual la propuesta tiene un impacto directo en la disminución de las pérdidas por cambio de material, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad efectiva. Con el proceso actual se esperarían unas pérdidas de 29,380 toneladas para el año 2017 debido al cambio de material, con lo cual la capacidad efectiva queda en 131,900 ton; mientras que con la propuesta No.2 se esperarían unas pérdidas de 3,955 toneladas, obteniendo una capacidad efectiva de 157,325 (mayor a la que se obtendría con el proceso actual y mayor a la que se obtendría con la propuesta No.1).

A continuación se muestra el ejemplo de cómo se calcularon las pérdidas por cambio de material, tanto para el proceso actual como para la propuesta No. 1 para el año 2017 (se calculó de manera similar para los demás años):

Proceso actual:

- Tandas al año (obtenidas mediante previsiones): 565 tandas
- Horas de limpieza al año: 1,469 horas
- $565 \text{ tandas} * 2.6 \text{ horas de limpieza por tanda} = 1,469 \text{ horas de limpieza}$
- Capacidad nominal de la máquina: 20 ton/hora
- Pérdidas por cambio de material: 29,380 ton
- $1,469 \text{ horas de limpieza} * 20 \text{ ton /hora} = 29,380 \text{ toneladas}$

Proceso Actual					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-29,380.00	-33,404.80	-37,429.60	-41,454.40	-45,479.20
Capacidad Efectiva	131,900.00	127,875.20	123,850.40	119,825.60	115,800.80

Propuesta No. 2:

- Tandas al año (obtenidas mediante previsiones): 565 tandas
- Horas de limpieza al año: 197.75 horas
 $565 \text{ tandas} * 0.35 \text{ horas de limpieza por tanda} = 197.75 \text{ horas de limpieza}$
- Capacidad nominal de la máquina: 20 ton/hora
- Pérdidas por cambio de material: 3,955 ton
 $197.75 \text{ horas de limpieza} * 20 \text{ ton /hora} = 3,955 \text{ toneladas}$

Propuesta No. 2					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-3,955.00	-4,496.80	-5,038.60	-5,580.40	-6,122.20
Capacidad Efectiva	157,325.00	156,783.20	156,241.40	155,699.60	155,157.80

A continuación se detalla la capacidad real esperada al implementar esta propuesta de mejora:

Propuesta No. 2					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-3,955.00	-4,496.80	-5,038.60	-5,580.40	-6,122.20
Capacidad Efectiva	157,325.00	156,783.20	156,241.40	155,699.60	155,157.80
Perdida por Eficiencia	-15,732.50	-15,678.32	-15,624.14	-15,569.96	-15,515.78
Capacidad Real	141,592.50	141,104.88	140,617.26	140,129.64	139,642.02

Ejemplificación Año 2017:



Resultado:

Se procedió a realizar una comparación entre la capacidad real y la producción prevista para los años 2017 al 2021 bajo la propuesta de mejora No. 2, en donde se logra evidenciar que para el año 2020 la producción prevista habrá sobrepasado la capacidad real, por lo que para el año 2020 deberían de implementarse mejoras en la capacidad nominal de las máquinas, eso quiere decir aumentar las líneas de producción o bien comprar maquinaria nueva con mayor capacidad de producción. Como resultado de la propuesta planteada se estaría aplazando la necesidad de ampliar la capacidad del año 2018 al año 2020.

Propuesta No. 2					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad Diseñada (Ton)	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00	175,200.00
Perdidas por Asuetos	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00	-6,720.00
Perdida por Mantenimiento	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00	-7,200.00
Perdida cambio de Material	-3,955.00	-4,496.80	-5,038.60	-5,580.40	-6,122.20
Capacidad Efectiva	157,325.00	156,783.20	156,241.40	155,699.60	155,157.80
Perdida por Eficiencia	-15,732.50	-15,678.32	-15,624.14	-15,569.96	-15,515.78
Capacidad Real	141,592.50	141,104.88	140,617.26	140,129.64	139,642.02
Producción	102,107.29	119,510.89	136,914.48	154,318.08	171,721.68
Porcentaje de Utilización	72%	85%	97%	110%	123%

XVIII. Análisis económico

18.1 Cálculo TMAR

Con el objetivo de determinar si las propuestas presentadas son financieramente viables se procedió a calcular la tasa mínima atractiva de retorno y el costo Promedio Ponderado de Capital. Lo que se busca es tener un proyecto cuyos ingresos y/o rentabilidad sean mayores que el costo financiero para su implementación (costo de capital), ya que de lo contrario no sería viable desde el punto de vista financiero la implementación del proyecto.

A continuación se detallan los datos que se utilizan para poder calcular tasa mínima atractiva de retorno (TMAR):

1. Rentabilidad del sector del negocio, dicho valor fue obtenido del Banco de Guatemala.
2. Tasa de Inflación de los últimos 5 años, dicha información se adquirió del Instituto Nacional de Estadística.
3. Tasa libre de riesgo, dicho valor fue obtenido del Banco de Guatemala.
4. Tasa activa bancaria, dicho valor fue obtenido del Banco de Guatemala.
5. Tasa pasiva bancaria, dicho valor fue obtenido del Banco de Guatemala.

Información necesaria para cálculo de la TMAR.

Rentabilidad del sector del negocio	20%
Tasa de inflación	2011: + 6.21 2012: + 3.80 2013: + 4.32 2014: + 4.42 2015: + 2.29 PROM: + 4.03
Tasa libre de riesgo	5%
Tasa activa bancaria	10%
Tasa pasiva bancaria	7%

Formulas a Utilizar:

$$TMAR = i + f * (i * f)$$

Dónde:

i = interés

f = Inflación

- Cálculo de la tasa ideal de retorno:

1. Tasa de inflación de los últimos 5 años:

	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	4.9	5.44	3.86	4.14	2.32
FEBRERO	5.24	5.17	4.18	3.5	2.44
MARZO	4.99	4.55	4.34	3.25	2.43
ABRIL	5.76	4.27	4.13	3.27	2.58
MAYO	6.39	3.9	4.27	3.22	2.55
JUNIO	6.42	3.47	4.79	3.13	2.39
JULIO	7.04	2.86	4.74	3.41	2.32
AGOSTO	7.63	2.71	4.42	3.7	1.96
SEPTIEMBRE	7.25	3.28	4.21	3.45	1.88
OCTUBRE	6.65	3.35	4.15	3.64	2.23
NOVIEMBRE	6.05	3.11	4.63	3.38	2.51
DICIEMBRE	6.2	3.45	4.39	2.95	3.07
PROMEDIO	6.21	3.80	4.34	3.42	2.39
4.031833333 Inflación					

2. Rentabilidad promedio del sector

$$TMAR = i + f + (i (tasa del sector))$$

$$TMAR = 20\% + 4.03\% + (20\% * 4.03\%)$$

$$TMAR = 20\% + 4.03\% + (0.806\%)$$

$$TMAR = 24.836\%$$

R// Tasa de capital propio / costo de capital propio de 24.836%

- **Calculo del costo del capital ajeno:**

$$K_i = K_d * (1 - t)$$

Dónde:

K_i = costo despues de impuestos

K_d = tasa activa bancaria

t = tasa fiscal

$$K_i = K_d * (1 - t \text{ (ISR 25\% impuestos)})$$

$$K_i = 10\% * (1 - 0.25)$$

$$K_i = 7.25\%$$

R// K_i = Costo después de Impuesto = Costo capital de la deuda.

- **Costo capital promedio ponderado: (WACC)**

El costo de capital promedio ponderado se utiliza para conocer el costo de los recursos financieros, tanto propios como adquiridos a través de deuda, necesarios para la implementación de un proyecto. Para ello se obtiene el porcentaje del financiamiento que se tendrá a través de deuda a largo plazo y el porcentaje de capital propio, los cuales son utilizados para ponderar el costo total del capital. A continuación se muestra el cálculo realizado.

$$K_a = (\% \text{ deuda largo plazo} * \text{costo deuda largo plazo}) + (\% \text{ capital largo plazo} * \text{costo capital largo plazo})$$

Dónde:

Deuda a largo plazo 30%

Capital largo plazo 70%

Costo deuda 7.25%

Costo capital 24.84%

$$K_a = (\% \text{ deuda largo plazo} * \text{costo deuda largo plazo}) + (\% \text{ capital largo plazo} * \text{costo capital largo plazo})$$

$$Ka = (30\% * 7.25\%) + (70\% * 24.84\%)$$

$$Ka = (2.17\%) + (17.38\%)$$

$$Ka = 19.56\%$$

El costo del capital para este proyecto queda en un 19.56% lo cual significa que para que el proyecto sea rentable la TMAR debe ser mayor a este costo, en nuestros cálculos la TMAR es de un 24.84% y es mayor que el costo de capital. Estos datos serán comparados con la TIR (Tasa Interna de Retorno) proyectada y el VPN, los cuales son cálculos financieros utilizados para la toma de decisión respecto a la viabilidad financiera de un proyecto. El criterio de decisión es: si la $TIR > TMAR$ y $VPN > 0$ entonces el proyecto es financieramente viable.

18.2 Cálculo TIR

Para poder determinar si las propuestas son financieramente viables se calculó la tasa interna de retorno (TIR) para cada una de las propuestas. Este indicador financiero permite comparar el retorno previsto versus la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) que se calculó con anterioridad.

El criterio de aceptación para decir que el proyecto es rentable o viable financieramente es el siguiente: $TIR > TMAR$.

Para obtener la tasa interna de retorno (TIR) se procedió a calcular el flujo de efectivo de la compañía para los años 2017 al 2021 de acuerdo a los costos previstos con cada una de las 2 propuestas. Para ello se consideró una inversión inicial que corresponde a la compra del sistema de sandblast (se adjunta cotización como referencia). Adicional a esta inversión inicial se consideran los costos en base a 3 variables: mano de obra, energía eléctrica y desperdicios. Dentro del flujo de efectivo se consideró la inversión inicial como una salida de efectivo debido a que es un desembolso que la compañía debe realizar para la puesta en marcha del proyecto. Para los demás años se consideró el ahorro en costos como un flujo positivo, el cual se calculó como la diferencia entre los costos actuales y los costos con las propuestas de mejora.

Adicional a la TIR se calculó el valor actual neto (VAN), el cual es el valor presente (al día de hoy) del flujo de efectivo de 5 años. Se espera que dicho valor sea positivo (mayor a 0) para poder decir que el proyecto efectivamente está generando ingresos y es rentable para la compañía.

A continuación se dará a conocer la cotización de un sistema de sandblast completo:



COTIZACION No. 122196

GUATEMALA, 27 DE SEPTIEMBRE DE 2016

CLIENTE : TEUTON, S.A.
 DIRECCION : 5 AV. 3-55 EUROPLASA TORRE 3 OF
 TELEFONO(S) : 66242828
 ATENCION : MARTIN HERRERA
 TIEMPO DE ENTREGA :
 FORMA DE PAGO :

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	P. UNITARIO	TOTAL
1728	1.00	UNI EQUIPO DE SAND BLASTING HW-380 P/KEY	46,618.00	46,618.00
1588	1.00	UNI REP SAND BLAST CONTROL SEBETO	5,615.36	5,615.36
244	1.00	UNI REP SAND BLAST FILTRO PURIFICADOR	7,104.34	7,104.34
TOTAL Q.				59,337.70


 DAVID HERRERA
 Asesor Técnico

OBSERVACIONES:
 - Ofrecemos diferentes planes de financiamiento.
 - Aceptamos tarjetas de Crédito y Cheques Personales.

SAMDA **TORTUL** **MEGA** sin previo aviso.
 PEX (502) 2360-2035
 3ra Av. 3-55, zona V
 salesventas@solarsa.com.gt
 www.solarsa.com.gt

Adicional al sandblast se requiere una inversión de Q76,000.00 la cual se desglosa de la siguiente manera: Q51,000.00 de las 6 celdas de pesaje colocadas en la tolva, y Q25,000.00 de la instalación

18.3 Propuesta No. 1:

A continuación se muestra el flujo de efectivo para la propuesta No.1, para la cual se obtiene una TIR de 135% y un VAN de Q525,089.42. De acuerdo a los criterios anteriormente descritos se puede concluir que dicha propuesta es financieramente viable para la compañía debido a que $TIR (135\%) > TMAR (24.84\%)$ y $VAN (Q525,089.42) > 0$.

PROPUESTA No. 1						
PROPUESTA No. 1	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Costos Actuales		Q 197,364.56	Q 233,807.54	Q 272,791.76	Q 314,418.02	Q 358,792.37
Costos Propuesta No. 1		Q 31,919.96	Q 37,849.04	Q 44,187.16	Q 50,946.78	Q 58,141.04
Ahorro		Q 165,444.59	Q 195,958.49	Q 228,604.60	Q 263,471.24	Q 300,651.33
Inversión Inicial	-Q 59,337.70					
		Año	Flujo de Efectivo			
		0	-Q 59,337.70			
		1	Q 165,444.59			
		2	Q 195,958.49			
		3	Q 228,604.60			
		4	Q 263,471.24			
		5	Q 300,651.33			
		TIR	296%		TMAR	24.84%
		VAN	Q 601,891.52		WACC	19.56%

18.4 Propuesta No. 2:

A continuación se muestra el flujo de efectivo para la propuesta No.2, para la cual se obtiene una TIR de 134% y un VAN de Q518,607.82. De acuerdo a los criterios anteriormente descritos se puede concluir que dicha propuesta es financieramente viable para la compañía debido a que $TIR (134\%) > TMAR (24.84\%)$ y $VAN (Q518,607.82) > 0$.

PROPUESTA No. 2						
PROPUESTA No. 2	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Costos Actuales		Q 197,364.56	Q 233,807.54	Q 272,791.76	Q 314,418.02	Q 358,792.37
Costos Propuesta No. 2		Q 33,532.83	Q 39,767.29	Q 46,431.12	Q 53,536.80	Q 61,097.47
Ahorro		Q 163,831.73	Q 194,040.25	Q 226,360.64	Q 260,881.21	Q 297,694.90
Inversión Inicial	-Q 59,337.70					
		Año	Flujo de Efectivo			
		0	-Q 59,337.70			
		1	Q 163,831.73			
		2	Q 194,040.25			
		3	Q 226,360.64			
		4	Q 260,881.21			
		5	Q 297,694.90			
		TIR	293%		TMAR	24.84%
		VAN	Q 595,409.92		WACC	19.56%

XIX. Conclusiones

19.1 Planeación de la capacidad

1. Bajo el proceso actual de la empresa, se logra evidenciar que para el año 2018 la producción prevista será de 119,511 toneladas la cual sobrepasará con un 104% la capacidad real, ya que esta será de 115,088 toneladas, por lo tanto es indispensable buscar alternativas de mejora para la capacidad de producción.
2. Al implementar la propuesta de mejora No. 1, la cual consiste en mejorar la planificación de la producción para evitar la acumulación de desperdicios e implementar el uso de sandblast para disminuir los tiempos de limpieza y de esta forma minimizar las pérdidas por cambio de material; se esperaría que para el año 2019 la producción prevista sería de un 100% de la capacidad real (136,950 toneladas), por lo que para el año 2020 se deben de implementarse mejoras en la capacidad nominal de las máquinas, eso quiere decir aumentar las líneas de producción o bien comprar maquinaria nueva con mayor capacidad de producción.
3. Al implementar la propuesta de mejora No. 2, la cual consiste en mejorar la planificación de la producción, implementar el uso de sandblast y adicionar 2 operarios para la realización de las limpiezas por cambio de material; se esperaría que para el año 2020 la producción prevista (154,318 toneladas) habrá sobrepasado en un 110% la capacidad real (140,130 toneladas), por lo que para el año 2020 deberían de implementarse mejoras en la capacidad nominal de las máquinas, eso quiere decir aumentar las líneas de producción o bien comprar maquinaria nueva con mayor capacidad de producción

19.2 Costos:

- Mano de obra
 4. De continuar con el proceso actual de producción se esperarían unos costos de mano de obra de Q439, 343 acumulados del año 2017 al 2021, los cuales provienen del tiempo dedicado a la limpieza de la línea de producción: 2.6 horas. Al implementar la propuesta No. 01 se espera reducir dicho tiempo a 0.633 horas, por lo cual los costos se reducen significativamente llegando a ser de Q106, 963 para el mismo período de tiempo. Con la implementación de la propuesta No. 02 se espera reducir el tiempo de limpieza a 0.35 horas, sin embargo esta propuesta contempla adicionar 2 operarios para la tarea, por lo que el costo de mano de obra para los años 2017 al 2021 quedarían en Q118, 285.

- Energía eléctrica
 5. Bajo el proceso actual de producción se invierten 1.64 horas en el vaciado de la línea de producción, lo cual representa un costo energético de Q125, 307 de los años 2017 al 2021. Con las dos propuestas de mejora planteadas se estaría eliminando por completo estos costos debido a que al mejorar la planificación de la producción, la maquinaria queda prácticamente vacía por lo que ya no es necesario que el sistema se encuentre encendido durante este tiempo.

- Desperdicios
 6. De continuar operando como en la actualidad tendrían un 7% de desperdicios por tanda de producción, lo cual representaría costos de desperdicios de Q812,525 de los años 2017 al 2021. Con las dos propuestas de mejora planteadas se esperaría que los desperdicios se reduzcan a un 1%, es decir, se obtendrían costos por este rubro de Q116,081

19.3 Análisis económico

7. El costo del capital (WACC) calculado para este proyecto queda en un 19.56% lo cual significa que para que el proyecto sea rentable la TMAR debe ser mayor a este costo. En los cálculos realizados la TMAR es de un 24.84% y es mayor que el costo de capital. Estos datos al compararlos con la TIR (Tasa Interna de Retorno) de cada una de las propuestas, nos brindan un criterio para la toma de

decisión respecto a la viabilidad financiera del proyecto. Para la propuesta No. 01 la TIR es del 135% y para la propuesta No. 02 la TIR es de 134%, por lo que en ambos casos se cumple que $TIR > TMAR > WACC$, por lo que se puede concluir que las dos propuestas son económicamente viables.

8. Se concluye que el proyecto no solamente es factible sino que también es viable, obteniendo beneficios económicos por medio de ahorros, liberación de capital de trabajo y aumento de ventas a lo largo del tiempo. Cabe mencionar que en cuanto al análisis económico las dos propuestas son viables no obstante la propuesta #01 tiene una TIR mayor que la propuesta #02. Sin embargo se sugiere implementar la propuesta #02 debido a que es la que produce una mayor reducción del tiempo de limpieza, el cual es el factor crítico analizado en este estudio, por medio del cual se puede aumentar la capacidad de producción a un corto plazo. Sin embargo, la elección de la mejor propuesta quedará a discreción de la compañía.

XX Referencias

Callao, R. P. (19 de octubre de 2012). *Administración de operaciones*. Obtenido de Proyección de tendencias:

<http://adminoperaciones.blogspot.com/2012/10/proyeccion-de-tendencias-i.html>

Callao, R. P. (26 de octubre de 2012). *Metodos asociativos de pronóstico*. Obtenido de Administración de operaciones:

<http://adminoperaciones.blogspot.com/2012/10/metodos-asociativos-de-pronostico.html>

Capítulo 2 . (s.f.). Obtenido de

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/nava_n_g/capitulo2.pdf

Carrasco, K. (17 de Enero de 2013). *Selección de un método de pronóstico* . Obtenido de Investigación de operaciones:

<http://karem2413.blogspot.com/2013/01/seleccion-de-un-metodo-de-pronosticos.html>

Componentes de una serie temporal. (s.f.). Obtenido de

<http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm>

IBM. (s.f.). *Tendencia (lineal o en línea recta)*. Obtenido de IBM:

http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSEP7J_10.1.1/com.ibm.swg.ba.cognos.pwr_ppweb.10.1.1.doc/c_trendlinearorstraightline.html

Linares, J. (s.f.). *Métodos asociativos de pronóstico*. Obtenido de

https://www.academia.edu/8656178/M%C3%89TODOS_ASOCIATIVOS_DE_PRON%C3%93STICO

Métodos. (s.f.). Obtenido de http://www.uv.es/webgid/Descriptiva/331_mtodos.html

Microsoft. (2007). Obtenido de Elegir la mejor línea de tendencia para los datos :

<https://support.office.com/es-es/article/Elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>

pesca, D. d. (s.f.). *Depósito de documentos de la FAO* . Obtenido de Estadísticas:

Regresión y correlación : <http://www.fao.org/docrep/003/X6845S/X6845S02.htm>

Promedio móvil . (s.f.). Obtenido de Ingeniería Industrial:

<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/promedio-m%C3%B3vil/>

Promedio móvil ponderado. (s.f.). Obtenido de Ingeniería Industrial:

<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/promedio-m%C3%B3vil-ponderado/>

Reingeniería . (s.f.). Obtenido de Business Process Management Consultants Groups :

www.bpmcg.mx

Series temporales. (s.f.). Obtenido de

<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/EDescrip/tema7.pdf>

Suavización exponencial doble: Método de Holt. (s.f.). Obtenido de Ingeniería Industrial:

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/suavizaci%C3%B3n-exponencial-doble/>

Suavización exponencial simple. (s.f.). Obtenido de Ingeniería Industrial:

<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/suavizaci%C3%B3n-exponencial-simple/>

Tipos de modelos lineales de tendencia. (s.f.). Obtenido de

http://onlinehelp.tableau.com/current/pro/desktop/es-es/trendlines_model.html