



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**MEJORA DE PRODUCTIVIDAD EN LINEAS DE TRITURACION DE  
MATERIA PRIMA, CENOSA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21111202      LUIS FERNANDO FUNES VARGAS**

**ASESOR: ING. MARTA REYES**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**MAYO 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios: Por las abundantes bendiciones que ha derramado sobre mi familia y hogar, por los principios cristianos que me inculcaron desde pequeño, que me ayudaron a ser un mejor ser humano, ya que definitivamente me guiaron por el camino del bien para poder culminar esta meta.

A mi madre: Por su amor incomparable y por todo el esfuerzo que ha hecho para garantizar mi educación a lo largo de los años, siendo mi ejemplo a seguir. Mi motivación, mi recordatorio que cada día que pasa, es un nuevo día para seguir adquiriendo conocimientos necesarios para la vida.

A mi padre: Por su trabajo arduo que ejerció diariamente para poder culminar mis estudios universitarios, por ser el apoyo que ha necesitado nuestro hogar desde siempre. Por sus consejos diarios que me han brindado madurez, paciencia y consistencia en los momentos que los he necesitado.

A mis catedráticos: Por el hecho de compartir sus conocimientos y experiencias laborales que hoy en día podemos poner en práctica. A los diferentes maestros que nos impulsaron a ser mejores y a demostrar que podemos ser innovadores mediante los diferentes trabajos y proyectos de clase.

A mis compañeros: Por hacer que los trabajos en grupo fueran de mucho provecho para nosotros como personas y profesionales en el área profesional. Por los momentos que compartimos dentro y fuera del salón de clases, que lograron brindarnos el éxito en los retos más difíciles durante la carrera universitaria.

# INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1 ANTECEDENTES.....	2
2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2.4 OBJETIVOS.....	3
2.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	4
III. MARCO TEORICO.....	5
3.1 METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA- RAÍZ.....	5
3.1.1 FUNDAMENTOS DEL ACR.....	6
3.1.2 VENTAJAS DEL ACR.....	7
3.1.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACR.....	7
3.1.4 PASOS PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACR.....	7
3.1.5 NIVELES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....	8
3.1.6 GLOSARIO DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....	11
3.2 DIAGRAMA DE PARETO.....	14
3.2.1 VENTAJAS DEL DIAGRAMA DE PARETO.....	14
3.2.2 PASOS PARA REALIZAR EL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO.....	14
3.3 DIAGRAMA CAUSA EFECTO O DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	15
3.4 CLASIFICACION DE CAUSAS.....	16
3.5 PASOS PARA ELABORAR EL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO.....	17
3.6 ELABORACIÓN DE CEMENTO.....	17
3.6.1 EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	17
3.6.2 TRITURACIÓN Y PRE HOMOGENIZACIÓN.....	18
3.6.3 MOLIENDA DE HARINA CRUDA.....	18
3.6.4 OBTENCIÓN DE CLINKER.....	18
3.6.5 MOLIENDA DE CEMENTO.....	19
3.6.6 ENVASE Y DESPACHO.....	19
3.7 LINEA DE TRITURACIÓN Y PRE HOMOGENIZACIÓN.....	29
3.7.1 PARTES PRINCIPALES DE TRITURADORA TITÁN.....	29
3.7.2 FUNCIONAMIENTO TRITURADORA TITÁN.....	30
3.7.3 PRE HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	30
3.7.4 TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA.....	30

IV. METODOLOGÍA.....	33
4.1 VARIABLES DEPENDIENTES .....	33
4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	33
4.3 MÉTODO.....	33
4.4 ENFOQUE.....	34
4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	35
V. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	36
5.1 FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS .....	36
5.2 DIAGRAMA CAUSA-EFECTO O DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	38
5.3 TABULACIÓN DE DATOS .....	40
5.4 GRÁFICO DE PARETO.....	41
5.5 SELECCIÓN DE PAROS PARA EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ .....	42
5.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ .....	43
5.6.1 DESPLAZAMIENTO LATERAL DE BANDAS TRANSPORTADORAS .....	43
5.7 APORTACIONES.....	46
5.7.1 .... FALLA ELÉCTRICA EN SENSOR INDUCTIVO EN BANDA TRANSPORTADORA DE APILADOR	46
VI. CONCLUSIONES .....	48
VII. RECOMENDACIONES.....	49
7.1 A LA UNIVERSIDAD .....	49
7.2 A LA EMPRESA.....	49
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	50
IX. ANEXOS.....	53

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Análisis Causa-Raíz .....	2
Ilustración 2. Diagrama causa-efecto o diagrama de Ishikawa.....	16
Ilustración 3. INFILROT Z40. ....	20
Ilustración 4. Ensacadora Giratoria GEV 10/Plus.....	22
Ilustración 5. VENTOSORT CUBE. ....	23
Ilustración 6. Grupo de Evacuación de Bolsas. ....	24
Ilustración 7. Grupo Descartador.....	25
Ilustración 8. Grupo rompesacos.....	25
Ilustración 9. Banda pesadora. ....	26
Ilustración 10. POLIMAT C40.....	27
Ilustración 11. Grupo POLIMAT C40.....	28
Ilustración 12. Trituradora de doble árbol de martillos. ....	29
Ilustración 13. Banda transportadora con sus componentes.....	31
Ilustración 14. Chute de transferencia con placas de impacto.....	32
Ilustración 15. Chute de transferencia con deflectores. ....	32
Ilustración 16. Diagrama de Ishikawa de Baja Productividad. ....	39
Ilustración 17. Grafica de Pareto.....	41
Ilustración 18. Rodo conductor de cinta transportadora. ....	43
Ilustración 19. Rodo de reenvío o de cola. ....	44
Ilustración 20. Modo correcto y modos incorrectos de cargar correas transportadoras. 45	
Ilustración 21. TRT Enero y Abril 2019 de trituradora Titán.....	45
Ilustración 22. Ajuste de tensión en correa transportadora. ....	46
Ilustración 23. Eliminación de desplazamiento lateral en una banda transportadora.....	47

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles del Análisis Causa-Raíz.....	10
Tabla 2. Cronograma de actividades. ....	35
Tabla 3. Horas en paros o fallas.....	37
Tabla 4. Fallas principales y tiempos para realizar estudio. ....	40
Tabla 5. Clasificación de paros y fallas.....	42
Tabla 6. Calendarización de paros por mantenimiento.....	42

## GLOSARIO

1. **Bandas Transportadoras:** Las cintas transportadoras son sistemas de transporte industrial continuo que funciona con una lámina de caucho, acero o cualquier otro material indicado. La lámina se encuentra sobre tambores que van girando y con la fricción hacen que la lámina se mueva hacia adelante o hacia atrás.
2. **Trituración:** La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, como por moler los polvos en un mortero con un mazo.
3. **Cantera:** Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.
4. **Materia Prima:** Se conoce como materia prima a la materia extraída de la naturaleza y que se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo.
5. **Silo:** Un silo es una construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel; son parte del ciclo de acopio de la agricultura. Los más habituales tienen forma cilíndrica, asemejándose a una torre, construida de madera, hormigón armado o metal.
6. **Pre-homogenización:** La pre homogenización es la mezcla proporcional de los diferentes tipos de arcilla, caliza o cualquier otro material que lo requiera. El término se emplea en campos tales como la química, las ciencias agrícolas, la tecnología de los alimentos, la sociología y la biología celular, y hace referencia a un proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia, porque así lo muestra la regla general en la tecnología de los alimentos, y se entiende que se realiza una mejora en calidad final del producto.
7. **SCADA:** Es un concepto que se emplea para realizar un software en ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia, es el acrónimo de supervisión, control y adquisición de datos en el idioma inglés.
8. **ACR:** acrónimo de análisis causa-raíz. Es un método para la resolución de problemas que intenta evitar la recurrencia de un problema o defecto a través de la identificación de sus causas. Es la relación del producto obtenido en un sistema de producción entre el tiempo y recursos utilizados para lograrlo.
9. **Productividad:** es la relación del producto obtenido en un sistema de producción entre el tiempo y recursos utilizados para lograrlo.
10. **Tiempo Muerto:** es el tiempo durante el cual un operador o maquinaria no está realizando sus trabajos o tareas, debido a la falta de recursos o elementos necesarios para llevarlos a cabo.
11. **Chute:** Es una estructura física que se encarga de transferir material de una banda transportadora hacia otro punto, evitando derramamiento de material y daños a los componentes.

# I. INTRODUCCIÓN

En el trabajo presentado a continuación se detallará a profundidad el proyecto de mejora en bandas transportadoras implementado en Cementos del Norte S.A.

La empresa fabricante de cemento CENOSA, una de las más reconocidas nacionalmente, ya que tiene un alto volumen de producción diaria. Y como toda empresa industrial, dicha empresa cuenta con un gran número de bandas transportadoras para la entrega del producto final.

El objetivo del presente proyecto es realizar un análisis causa-raíz, en el des alineamiento de las bandas transportadoras, siendo este problema, uno de los que suceden con mayor frecuencia en el proceso de producción. El análisis consiste en determinar la causa real del problema, basados primeramente en la comprensión de la secuencia de operación de cada uno de los equipos involucrados en las líneas de trituración y almacenamiento, en la observación y toma de datos, proponiendo un plan de mejora que aumente el rendimiento y minimice los paros en los procesos de producción. Adicionando una comprobación de la efectividad en las acciones propuestas.

El des alineamiento en las bandas transportadoras es un responsable en el detenimiento de emergencia en cada una de las líneas de trituración. Principal causante en el bajo rendimiento y disponibilidad en una planta industrial. Razón fundamental del presente análisis, generando una optimización de tiempo en el proceso de trituración. "La principal ventaja radica en que con una cinta transportadora podremos aumentar la producción industrial gracias a que se trata de un sistema de transporte continuo". (Admin, 2017)

El departamento de canteras y trituración está ubicado en la parta más alta de la empresa, es el primer departamento en la línea de producción, ya que se encarga de la trituración de materia prima. Con la integración del plan de mejora, se obtendrá una optimización significativa en el proceso de almacenamiento de materia prima en los silos de pre homogenización. Obteniendo de igual manera, un ahorro de energía eléctrica.



## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES

La empresa Cementos del Norte S.A. o CENOSA, es una planta industrial dedicada a la elaboración y suministro de diferentes tipos de cemento, los cuales son fabricados bajo estrictos controles de producción, que cumplen normas de calidad internacional.

En el proceso lineal de fabricación, inicialmente se procesa materia prima en el área de canteras, la cual pasa por la trituradora llamada TITAN, que tiene la finalidad de entregar rocas con una granulometría deseada de 2 pulgadas, aceptándose una tolerancia de 2% como margen de error. Luego de la trituración, los materiales se transportan mediante bandas transportadoras hacia 3 diferentes domos de pre homogenización.

El problema que se presentó en los domos de pre homogenización es que en el apilador 1 y 2 de material caliza, es que las bandas transportadoras presentan desplazamientos laterales de manera recurrente, lo cual genera un paro en la producción. Afectando así la productividad de material triturado almacenado en los domos.

Según (Fuentes, 2012), "El método de Análisis de Causa a Raíz (ACR), es el método basado en el supuesto de que los problemas se resuelven mejor al tratar de corregir o eliminar las causas raíz, en vez de simplemente tratar los síntomas evidentes de inmediato. Dentro de la organización este método está conectado fundamentalmente por tres preguntas básicas, ver ilustración 1.



**Ilustración 1. Análisis Causa-Raíz**

(Fuentes, 2012)

## **2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA**

Las bandas transportadoras de los apiladores de materia prima en los domos de pre homogenización #1 y #2, presentan des alineamiento durante la operación de transporte de material triturado, provocando fugas por las partes laterales de las bandas, provocando daños por roce contra las estructuras metálicas y daños por el impacto del material que cae.

Muchos de las bandas transportadoras cuentan con sensores de des alineamiento en cada uno de sus lados, los cuales una vez se activen realizan un paro inmediato de emergencia en el proceso de producción, generando de esta manera perdidas de material y tiempo.

## **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son las causas de la baja productividad en las líneas de trituración de materia prima?

¿Qué acciones deben llevarse a cabo para aumentar la productividad en el transporte de material triturado?

¿Cómo se debe atacar la causa-raíz de este problema que genera des alineamiento en las bandas transportadoras?

## **2.4 OBJETIVOS**

“Un objetivo general de investigación debe involucrar un solo logro general, pues el objetivo general es el que determina el tipo de estudio. Si hay varios logros en un mismo objetivo general, la investigación no está bien delimitada y hay varios estudios mezclados en uno, lo cual puede llevar al investigador a resultados confusos y ambiguos” (Hurtado, 2007).

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar las causas de la baja productividad en las líneas de transporte de material triturado mediante la metodología del análisis causa raíz. Generando un estudio de las causas latentes que generan los paros de producción de mayor impacto en la productividad y así mitigar por completo los paros por mantenimiento recurrentes.

### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las causas del des alineamiento de las bandas transportadoras en los domos de pre homogenización #1 y #2.

- Establecer un plan de mejora que reduzca las fallas que provocan los paros de producción.

- Implementar un formato de inspección post operatoria para las bandas transportadoras, donde se retroalimente la efectividad del plan de mejora.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La razón por la cual se realizó un análisis causa-raíz, es para poder tomar decisiones conociendo las causas reales y no en base a suposiciones, siendo las medidas tomadas realmente efectivas para mitigar o eliminar las causas de la baja productividad en las líneas de producción de la planta.

Una vez identificado su fallo principal y sus causas, se aprovechará a disminuir los paros de emergencia, provocando como consecuencia un ahorro de costos y mejorando los tiempos de producción.

El departamento mensualmente presenta un reporte de producción, reportando recientemente bajas en la productividad específicamente por fallas mecánicas en las líneas de trituración. Por lo cual se asignó al estudiante un análisis para eliminar fallas mecánicas que afecten la productividad mensual.

### III. MARCO TEORICO

#### 3.1 METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA- RAÍZ

El análisis causa raíz es uno de los métodos más necesarios en la industria moderna. Ya que, en la mayoría de procesos de producción del ámbito local e internacional, las fallas surgentes que debido a su frecuencia se denominan posteriormente, fallas repetitivas o recurrentes, en el área de ingeniería. Usualmente generan un número de pérdidas en las reparaciones y ajustes en un periodo de corto plazo.

Este tipo de análisis tiene como objetivo primordial encontrar o eliminar por completo la falla recurrente. Dicho objetivo proviene del estudio para realizar las acciones correctivas que son de importancia para corregir el problema desde su origen.

El análisis de causas raíz era uno de los procesos que contaba y cuenta con secuencias de preguntas estructuradas para descubrir causas latentes, de un evento. El ACR se orienta al proceso, por lo que supone una revisión exhaustiva de todos los elementos que lo integran como ser: personas, equipos, procedimientos, información, entornos, contingencias externas, entre otras. Esta metodología se comenzó a utilizar en forma sistemática, desde los años 70's y, se ha mejorado con el tiempo, siendo utilizada para identificar las causas, que originan los fallos o problemas, que al ser corregidas evitarán la ocurrencia de los mismos (Amendola, 2016).

La identificación de causa-efecto y su causa-física, a través de un análisis deductivo, relaciona el fallo del sistema, equipo o componente a una causa latente en muchos casos. La recolección de información es la base de todas las conclusiones válidas, sin una recolección eficaz de los datos no pueden ser identificados los factores causales y las causas raíces, un factor causal es la falla de un equipo o un error humano que provocó un problema de calidad o permitió que las consecuencias de un problema de calidad fuesen peores a lo esperado (Rooney, 2013).

La metodología Análisis Causa Raíz (ACR) es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejorando la seguridad y la confiabilidad del negocio.

Para la comprensión la finalidad del análisis, es necesario el estudio profundo para tomar en cuenta los eventos en el tiempo y la forma mecánica en que actuó cada acción que se convirtió en la raíz del problema. Este tipo de estudio se puede clasificar en las siguientes tres formas.

1. Análisis de falla de componentes (CFA).

Este tipo de análisis implica realizar un estudio de las partes que sufren daños.

2. Investigación de Causa Raíz (RCI).

Este tipo de herramienta incluye los resultados del análisis anterior y fabrica una investigación de las causas físicas.

3. Análisis de Causa Raíz (RCA).

El análisis final envuelve las 2 investigaciones previamente mencionadas y posteriormente se adiciona el factor de error humano.

La metodología Análisis Causa Raíz (ACR) es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejorando la seguridad y la confiabilidad del negocio. (Sojo, 2004).

El ACR al igual que todos los métodos cualitativos de análisis de fallas utilizados, empleando la lógica sistemática, para encontrar la causa de la falla. También permite identificar la mejor solución para corregir la causa identificada, a través de acciones correctivas, siendo un método que por su estructura consume una gran cantidad de recursos y tiempo (Munoz, 2011).

Esta técnica de análisis permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas, el objetivo es determinar el origen de una falla, la frecuencia con la que aparece y el impacto que genera, por medio de un estudio profundo de los factores, condiciones y elementos relacionados, con la finalidad de eliminarla por completo (Lema, 2009).

Si existe la posibilidad de que varias cosas vayan mal, la que cause más perjuicios será la única que vaya mal. Si usted intuye que hay cuatro posibilidades de que una gestión vaya mal y las evita, al momento aparecerá, espontáneamente, una quinta posibilidad. Ya que cualquier solución entraña nuevos problemas (Bloch, 2008).

Las diversas técnicas que autores han elaborado sobre lo que es el ACR y cuyo objetivo ha sido buscar soluciones efectivas a los eventos de fallos. Es una de las metodologías desarrolladas con el fin de ayudar a los analistas de problemas a orientarse, en los pasos a seguir y en las consideraciones que deben tomarse para la obtención de soluciones efectivas, el éxito de la aplicación del ACR depende del esfuerzo de un equipo de trabajo y como tal requiere de cierta experiencia para vencer los paradigmas que tradicionalmente se encuentran en los procesos de análisis de fallos (Parra Marquez, 2012).

### **3.1.1 FUNDAMENTOS DEL ACR**

En el transcurso de un fallo en el área de producción de una planta industrial, este inconveniente genera determinadas consecuencias que son detectadas de fácil manera. A estas consecuencias se les llama síntomas. Pero estos síntomas, no son la causa raíz del problema. Y el resultado de atender estos eventos es reparar los síntomas, pero no se elimina su origen. Dada esta atención, las probabilidades de que se presente nuevamente el fallo en el mismo sistema aumentan. Es por eso, que el motivo principal del análisis es encontrar la causa principal para atacarla desde su raíz.

### **3.1.2 VENTAJAS DEL ACR**

1. Aumenta la productividad de los procesos industriales.
2. Reduce el número de fallos en una planta industrial.
3. Reduce costos operativos y de mantenimiento.
4. Aumento en la eficiencia de los equipos industriales.
5. Mejora en la rentabilidad de un proceso de producción.

### **3.1.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACR**

En las operaciones del departamento de mantenimiento para evitar los fallos y paros de maquinaria que son repetitivos. Generalmente un mantenimiento correctivo en equipos de producción contiene un alto costo, que conlleva a una reducción en la productividad en una planta industrial.

Un análisis ACR es necesario en procesos críticos de una línea de producción, ya que en sus propios procedimientos se puede detectar las fallas desde su causa origen para reducir pérdidas de material, reducción de costos de mantenimientos y elevar el rendimiento.

### **3.1.4 PASOS PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACR**

La implementación del método Análisis Causa Raíz consta de 4 pasos que explicamos a continuación.

1. Análisis del problema.

El primer paso del estudio está destinado a detectar de manera clara y estricta el problema. Esto quiere decir, que necesitamos identificar lo que realmente está pasando durante el evento. A lo largo de este inicio de aplicación, debemos enumerar los síntomas del fallo, luego del equipo, ubicar la falla y categorizarla según su tipo.

2. Análisis de Causa Raíz del Problema.

Esta investigación trata acerca de encontrar mediante 3 fases una lista de las causas del problema.

3. Análisis de todas las causas

La finalidad de esta fase es determinar el mayor número de causas posibles. Posteriormente se elabora un listado con cada una de las causas posibles que ocasionan el problema detectado.

4. Validación de las causas posibles

Esta fase se enfoca en recopilar información de las causas que poseen evidencias o pruebas de su existencia. De esta manera descartamos los datos no comprobados de las causas previamente listadas.

## 5. Identificación y verificación de la causa raíz.

Seguidamente se confirman las causas que están relacionadas con la definición del problema, una vez comprobado pasas a ser causas raíces. Este paso en específico, es para verificar que las causas están realmente provocando el problema con las pruebas necesarias obtenidas

## 6. Desarrollo de Solución.

Una vez que hemos llegado a este paso debemos encontrar una solución que nos equilibre el sistema. Es decir, se encuentra una solución que elimine la causa raíz sin generar nuevos problemas o agravar otro problema de los existentes en la línea de producción.

Este paso se divide en 3 etapas:

- Selección de criterios.

La finalidad es enlistar los factores específicos que deben ser satisfechos por la solución encontrada. Se establece de manera clara una solución y se toma en consideración su criterio de aceptación.

- Consideración de cada solución posible al problema de causa-raíz.

El objetivo de esta etapa es descubrir y seleccionar múltiples soluciones para poder llegar a la solución del problema. Este objetivo se concentra en recolectar diferentes soluciones dependiendo de su tipo.

- Solución final.

La meta final en el proceso de la metodología es el desarrollo de la solución. Es decir, definir el alcance de la solución, los requisitos necesarios para lograr aplicar la solución, evaluación y comparación de los diferentes resultados, listado de riesgos y los beneficios obtenidos por cada solución propuesta.

- Implementación.

En este paso final se elaboran las correcciones y se obtienen los beneficios gracias a la aplicación de la técnica del análisis.

### **3.1.5 NIVELES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.**

La investigación científica de un accidente, evento catastrófico o falla debe estar estructurada como una pirámide. Debe existir una gran base de hechos verificables y pruebas en la parte inferior. Estos hechos constituyen la base de análisis basados en principios científicos y métodos comprobados (Otegui, 2013).

Un análisis total de causa raíz de una falla debería limitarse a los casos que realmente justifiquen los hechos. Por ejemplo, un pequeño análisis requiere de un investigador asignado al proyecto hasta que este se resuelva (Otegui, 2013).

Generalmente, la persona encargada de la investigación debe realizar un número grande de entrevistas y también, debe revisar documentos para extraer la información requerida. En la siguiente tabla podemos observar que el nivel 1 son cuasi-accidentes (accidentes de menor nivel de detalle). El nivel 2 comprende eventos aislados con consecuencias de menor magnitud o un grupo de incidentes acumulados generando un alto riesgo potencial. Y el nivel 3 es un evento separado de grandes consecuencias, ya sean reales o en potencia.



**Tabla 1. Niveles del Análisis Causa-Raíz.**

API RP 585	ACR Nivel 1	ACR Nivel 2	ACR Nivel 3
Características del Incidente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Condición o daños encontrados. Si se hubieran permitido avanzar habrían conducido a la pérdida de contención antes del siguiente intervalo de interrupción programada o inspección</li> <li>2. Daño a la integridad mecánica descubierta provocaría mayor daño que el esperado, sin pérdida de contención</li> <li>3. Muy pequeñas fugas de presión en equipo o accesorios que fueron fácilmente</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fugas de equipos a presión que resultaron en incendios pequeños o daños de equipo sólo en el área inmediata</li> <li>2. Falla inesperada de equipo por mecanismos de daño</li> <li>3. Daños inesperados descubiertos en equipos a presión que requieren parada de la planta o unidad.</li> <li>4. incidentes tipo nivel 1 repetitivos en el mismo proceso o sistema.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga o ruptura de equipo a presión que resultó en incendio o grandes daños de equipos.</li> <li>2. Fuga o pérdida de contención de equipos a presión que fueron más allá de los requisitos regulatorios de informe.</li> </ol>
Características de la investigación	Informe de cuasi incidente. Herramientas de análisis de causa raíz simples,	Investigue usando los Análisis de Causa Raíz formales de la compañía o departamento	Investigue usando los Análisis de Causa Raíz formales de la compañía o departamento.
Composición recomendada del equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigados por la inspección o personal de integridad mecánica de la zona afectada.</li> <li>• Ningún equipo necesario, pueden ser investigados por una sola persona. Involucrar a expertos si es necesario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El líder será alguien capacitado del área afectada.</li> <li>• Los miembros del equipo incluirán 1 o 2 de diferentes disciplinas, incluyen un MI o personal de inspección.</li> <li>• Involucrar a expertos si es necesario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El líder será alguien capacitado y de otra área de la planta o unidad de negocio.</li> <li>• Los miembros del equipo serán al menos 3 de diferentes disciplinas.</li> <li>• Involucrar a expertos si es necesario</li> </ul>
Inicio	Inmediatamente	Dentro de las 48 horas	Dentro de las 48 horas
Sponsor	Supervisor del Líder	Jefe de Departamento	Gerente de Planta
Informe	Formato de informe de cuasi incidente	Informe Formal usando formato prescripto	Informe Formal usando formato prescripto

(Otegui, 2013)

En la tabla 1 podemos los 3 niveles para realizar el estudio del análisis causa raíz. Adicionalmente se categoriza las características del incidente, investigación, la composición para desarrollar el equipo de investigación y las recomendaciones para llevar el análisis a cabo satisfactoriamente.

### **3.1.6 GLOSARIO DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ**

#### **Tipificación de Fallas:**

Las fallas o problemas se pueden tipificar por el tipo y el nivel de proceso que afectan en:

1. Fallas en componentes/equipos/sistemas.
2. Desviaciones operacionales/pérdida de eficiencia.
3. Problemas administrativos/médicos/otros.
4. Por la frecuencia con la cual afectan en:
5. Fallas/eventos aislados de alto impacto.
6. Fallas crónicas o recurrentes

Se destaca que:

1. Las fallas crónicas tienen un impacto acumulado similar a las fallas de alto impacto. Sin embargo, no se perciben tan fácilmente, ya que se consideran como un comportamiento normal pero que, una vez acumulado, impacta en el estado de resultados.
2. Los eventos de alto impacto son causados por las mismas causas raíces que producen las fallas crónicas. Al reducir las causas de estas fallas crónicas, se reducirá la probabilidad de un evento mayor.

#### **Riesgo**

Este término de naturaleza probabilística está definido como la "probabilidad de tener una pérdida".

#### **Probabilidad**

La frecuencia de ocurrencia de un evento es un indicador de probabilidad.

#### **Modo de falla**

Es la forma por la cual una falla es observada. Describe de forma general como ocurre y su impacto en la operación del equipo.

#### **Mecanismo de falla**

Proceso físico, químico u otro que ha conducido a un deterioro hasta llegar a la falla.

#### **Metodología**

Conjunto de métodos y/o procedimientos estructurados que se siguen para lograr determinados objetivos.

#### **Lista Jerarquizada de Problemas**

Lista donde los problemas son ordenados según su impacto para corregirlos y su factibilidad.

## **Ítem**

Término específico usado para denotar cualquier equipo mantenible, incluyendo sistemas, partes, materiales, sub ensamblés, conjuntos, accesorios, etcétera.

## **Impacto Económico**

Representa el impacto financiero por incremento en costos de mantenimiento o pérdidas de producción por frecuencia de falla en el proceso.

## **Histograma**

Es un tipo de gráfico que agrupa un conjunto de datos de una variable aleatoria, de manera tal que puedan apreciarse. La forma en que están distribuidos los mismos, el grado de dispersión y los valores con más alta probabilidad de ocurrencia.

## **Hipótesis**

Es una conjetura o suposición que se admite provisionalmente para ser verificada o validada, y si el resultado es verdadero, la misma se convierte en hecho.

## **Falla funcional**

Es cuando el ítem no cumple con su función de acuerdo al parámetro que el usuario requiere.

## **Fallas Catastróficas**

Una falla que causa la pérdida total de uno o varios ítems y que puede generar daños al personal, medio ambiente y a la instalación.

## **Fallas Crónicas**

Son aquellas fallas que ocurren con frecuencia.

## **Falla**

Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.

## **Efecto de falla**

Describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

## **Defecto**

Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, entre otros.

## **Consecuencia de una Falla**

Se define en función a los aspectos que son de mayor importancia para el operador, como el de seguridad, el ambiental y el económico.

**Consecuencia**

Resultado de un evento. Pueden existir una o más consecuencias de un evento.

**Confiabilidad Operacional**

Es la capacidad de un equipo para cumplir sus funciones dentro de sus límites de diseño.

**Confiabilidad**

Es la probabilidad de funcionamiento libre de fallas de un equipo o sus componentes, durante un tiempo definido bajo un contexto operacional determinado.

**Causa Raíces Latentes**

En los Análisis de Causa Raíz, representan las manifestaciones de los procesos organizacionales que explican la ocurrencia de las causas raíces humanas.

**Causas Raíces Humanas**

En los Análisis de Causa Raíz, identifican las acciones humanas que provocan las causas raíces físicas.

**Causas Raíces Físicas**

En los Análisis Causa Raíz, se refiere al mecanismo de falla del componente. Su solución resuelve las situaciones de falla.

**Causa de Falla (Causa Raíz)**

Las causas de las fallas pueden ser físicas, humanas u organizacionales.

**Análisis Causa-Efecto**

Es una herramienta utilizada en la Metodología de ACR para ordenar gráficamente el análisis de manera secuencial.

**Acción**

Es el efecto que causa un agente (físico, químico o humano, entre otros) sobre algo, debido a la ejecución de actividades específicas.

## **3.2 DIAGRAMA DE PARETO**

“El Diagrama de Pareto constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales), y las que lo son menos (los muchos y triviales)” (Consultores, 2019).

El nombre fue por Dr. Joseph Juran por honor al economista italiano Vilfredo Pareto, quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza, en el cual descubrió que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza. Con esto estableció la llamada “Ley de Pareto” según la cual la desigualdad económica es inevitable en cualquier sociedad.

“Pareto propuso 80% de la riqueza es poseída por el 20% de las personas, poseerán el 80 por ciento de la riqueza. En un proceso o una situación el 20% de las causas nos generan el 80% de los resultados” (Aparicio, 2019).

“El diagrama de Pareto consiste en un método gráfico para determinar cuáles son los problemas más importantes de una determinada situación y por consiguiente, las prioridades de intervención” (Arnoletto, 2007).

Un diagrama de Pareto es un tipo especial de gráfica de barras donde los valores graficados están organizados de mayor a menor. El diagrama de Pareto se utiliza para identificar los defectos que se producen con mayor frecuencia, requieren un mayor tiempo en solucionarse e implican un mayor costo.

### **3.2.1 VENTAJAS DEL DIAGRAMA DE PARETO**

Son muchas las ventajas que este análisis nos brinda, aquí enumero las claves:

1. Mostrar la importancia relativa de las diversas causas identificadas para un determinado efecto o problema, en los casos en que éste sea el resultado de la contribución de varias causas o factores.
2. Determinar los factores claves que incluye un determinado efecto o problema.
3. Decidir sobre qué aspectos, los “pocos vitales”, trabajar de manera inmediata.

### **3.2.2 PASOS PARA REALIZAR EL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO**

Con la finalidad de realizar correctamente un diagrama de Pareto hemos de realizar lo siguiente:

1. Recolectar o recoger datos y clasificarlos por categorías
2. Ordenar las categorías de mayor a menor indicando el número de veces que se ha producido.
3. Calcular los porcentajes individuales y acumulados de cada categoría, el acumulado se calcula sumando los porcentajes anteriores a la categoría seleccionada.
4. Construcción del diagrama en función de los datos obtenidos anteriormente.

Al recabar datos sobre la frecuencia de ocurrencia de paros/fallos y la pérdida de producción relacionada a causa de los tiempos muertos. Un diagrama de Pareto ponderado puede aclarar la perspectiva con respecto a las causas reales del problema, al considerar los datos basándose tanto en tiempo como en frecuencia. Por ejemplo, aun cuando un fallo sea muy frecuente, puede presentar menor tiempo y costo de reparación que otro fallo con una ocurrencia menos frecuente. Al tomar en cuenta tanto el tiempo, frecuencia y costo, se comprende mejor el impacto ocasionado por cada fallo en la productividad.

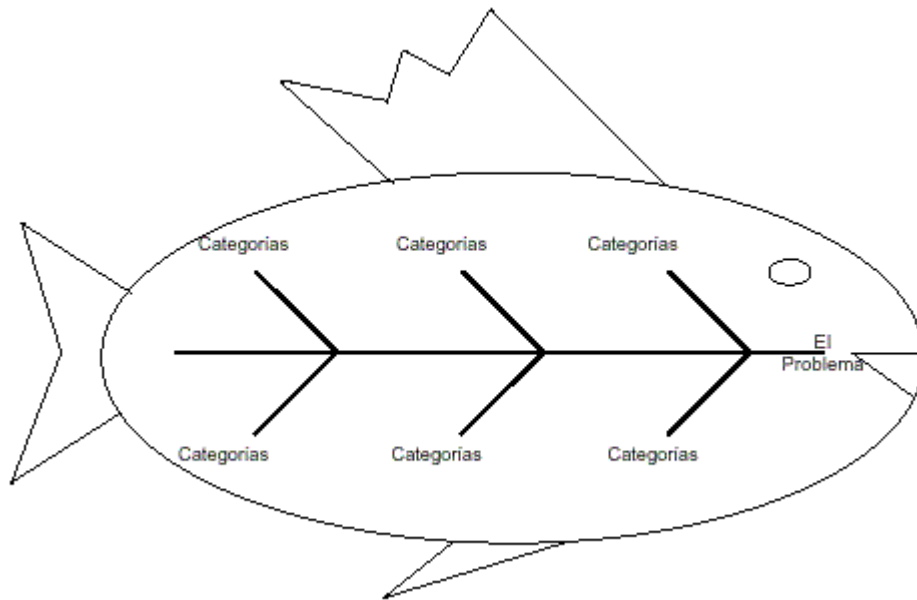
### **3.3 DIAGRAMA CAUSA EFECTO O DIAGRAMA DE ISHIKAWA**

Es una herramienta utilizada para analizar y evidenciar las relaciones entre un efecto determinado y sus causas potenciales. Fue concebido por el licenciado en química japonés Kaoru Ishikawa en el año 1943 (Gesihy, 2017).

El Diagrama de Ishikawa, también conocido como Diagrama de Espina de Pescado o Diagrama de Causa y Efecto, es una herramienta de la calidad que ayuda a levantar las causas-raíces de un problema, analizando todos los factores que involucran la ejecución del proceso (Meire, 2018).

Generalmente, se representa con forma de espina de pez, tomando el nombre alternativo de Diagrama de espina de pescado.

Esta herramienta no ofrece respuesta a una pregunta, como el análisis de Pareto, diagramas Scatter o histogramas; en el momento de generar el diagrama causa-efecto, normalmente se ignora si estas causas son o no responsables de los efectos. Por otra parte, un diagrama causa-efecto bien organizado sirve como vehículo para ayudar a los equipos a tener una concepción común de un problema complejo, con todos sus elementos y relaciones claramente visibles a cualquier nivel de detalle requerido (Zapata & Villegas, 2006).



**Ilustración 2. Diagrama causa-efecto o diagrama de Ishikawa.**

(Cyta, 2003)

### **3.4 CLASIFICACION DE CAUSAS**

En la siguiente metodología, también conocida como método de las 5 M, estudia el problema y define las posibles causas, generalmente este proceso se realiza con el grupo de trabajo encargado de la resolución del problema.

Para la aplicación de este método se sigue un orden para considerar las causas de los problemas, partiendo de la premisa que estas están agrupadas según cinco criterios y por ello se denomina de las 5 M.

Las M corresponden a:

1. Máquinas
2. Mano de Obra
3. Métodos
4. Materiales

## 5. Medio Ambiente

Las 5 M suelen ser generalmente un punto de referencia que abarca casi todas las principales causas de un problema, por lo que constituyen los brazos principales del diagrama causa-efecto.

### **3.5 PASOS PARA ELABORAR EL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO**

La elaboración del diagrama causa-efecto se inicia escribiendo el efecto que se desea estudiar en el lado derecho de una hoja de papel. Para ello se debe seguir la búsqueda de todas las posibles causas que sobre él incurran. Para esa búsqueda se pueden seguir tres métodos, que se diferencian por la forma en que se realizan.

1. Método de la Clasificación de las Causas.
2. Método por Fases del Proceso.
3. Método por Enumeración de las Causas.

Se eligió por utilizar el método de clasificación de causas para optimizar el proceso de toma de datos en el menor tiempo y mayor orden posible.

### **3.6 ELABORACIÓN DE CEMENTO**

El proceso de fabricación para los diferentes tipos de cemento que elabora Cementos del Norte S.A., se compone por 6 etapas, que se presentan a continuación:

- Extracción de materia prima.
- Trituración y pre homogenización.
- Molienda de harina cruda.
- Obtención de Clinker.
- Molienda de cemento.
- Envase y despacho.

#### **3.6.1 EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA**

“Las canteras se explotan mediante voladuras controladas, en el caso de materiales duros como calizas y pizarras, mientras que en el caso de materiales blandos (arcillas y margas) se utilizan excavadoras para su extracción” (IECA, 2017).

En CENOSA (Cementos del Norte S.A.) se obtiene la materia prima mediante diferentes canteras localizadas en las cercanías de la planta industrial. Estas son extraídas mediante voladuras (explosivos) y se transportan hacia el patio de materias primas por equipo pesado.



### **3.6.2 TRITURACIÓN Y PRE HOMOGENIZACIÓN**

Una vez extraído y clasificado el material, se procede a su trituración hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y se traslada a la fábrica mediante cintas transportadoras o camiones para su almacenamiento en el parque de pre homogeneización (IECA, 2017).

Esta segunda etapa del proceso consiste en reducir el tamaño de las rocas que provienen de las canteras, por maquinas industriales de trituración, desde diámetros que van de 1.5 metros hasta transformarlas en partículas menores a 2 pulgadas. El producto, culminada esta etapa, se almacena en domos circulares para ser pre-homogenizado con la finalidad de asegurar una mayor uniformidad, en la distribución química, de los materiales y reducir cualquier medida baja en la calidad, permaneciendo distribuidos para ser transportados a la tercera etapa.

### **3.6.3 MOLIENDA DE HARINA CRUDA**

En la presente etapa se prepara la combinación deseada de materia prima efectuando un secado de los mismos, previo a ser sometidos a las elevadas temperaturas de los hornos. Los molinos reciben las materias primas necesarias para producir "harina cruda", llegando a esta etapa: triturados y pre-homogenizados, realizándose la mezcla y pulverización. Estos materiales se muelen para reducir su tamaño y favorecer así su cocción en el horno.

La composición química de los materiales que ingresan a los molinos es determinada en línea, a través de un analizador de neutrones ubicado en la entrada de alimentación del molino, permitiendo que durante el proceso se realicen ajustes de manera continua en la proporción de los materiales.

El producto es un polvo muy fino, llamado "harina cruda", que posee la composición química correspondiente al tipo de cemento producido en determinado momento. Reducir la variación de calidad de la "harina cruda", es posible gracias a su almacenamiento en silos especialmente contruidos para la homogenización. Un segundo control de calidad se realiza en la entra de los silos, a través de un analizador de rayos X llamado gamamatrix, realizando análisis químicos completos en muy corto tiempo y con gran precisión. La finalidad es tomar las materias primas necesarias para la harina cruda, teniendo como variables las bandas transportadoras que contienen las materias primas deseadas.

### **3.6.4 OBTENCIÓN DE CLINKER**

La harina cruda que se transporta desde los silos de homogenización es ingresada al horno rotativo, donde el material es calcinado y semi-fundido al ser sometido a una temperatura estimada a los 1,450°C. Aquí suceden las reacciones químicas entre los distintos elementos que conforman la llamada harina cruda, como son: óxidos de calcio, sílice, aluminio, hierro y otros

aditivos en menor cantidad como la fluorita. Estos elementos al combinarse forman compuestos nuevos, que son enfriados rápidamente una vez que salen del horno. El producto resultante se conoce como Clinker, normalmente es granulado con forma redondeada y de color gris oscuro. La planta que CENOSA posee en las inmediaciones del río Bijao, cuenta con 2 hornos cada uno con una capacidad de producción de 5,500 toneladas por día, adicionalmente se pueden utilizar combustibles fósiles o alternativos para alimentar la llama del horno.

### **3.6.5 MOLIENDA DE CEMENTO**

En esta etapa del proceso de producción de cemento se utilizan molinos de trituración de Clinker junto con otras materias primas que le confieren propiedades específicas. El yeso es utilizado para retardar el tiempo de fraguado de la mezcla de cemento y agua, lo que facilita su manejo. Se pueden adicionar otros materiales como puzolanas y cales, produciendo concretos con ciertas características como: aumento de la durabilidad e impermeabilidad, disminución del calor de hidratación, entre otras. Comparados con un cemento Portland compuesto únicamente por Clinker y yeso.

Es prioritario el análisis del producto resultante, por tanto se lleva a cabo un control a través de un analizador de rayos X, que permite ajustar las proporciones de los materiales y obtener las características específicas requeridas en el cemento producido. Controlar el tamaño de las partículas del cemento molido es de suma importancia, pues afecta sus propiedades, volviéndose necesaria su medición de manera frecuente.

### **3.6.6 ENVASE Y DESPACHO**

El cemento almacenado en los silos puede ser entregado en equipo pesado de cisternas para grandes consumidores, o embolsado para su venta por unidades de 42.5 kilogramos.

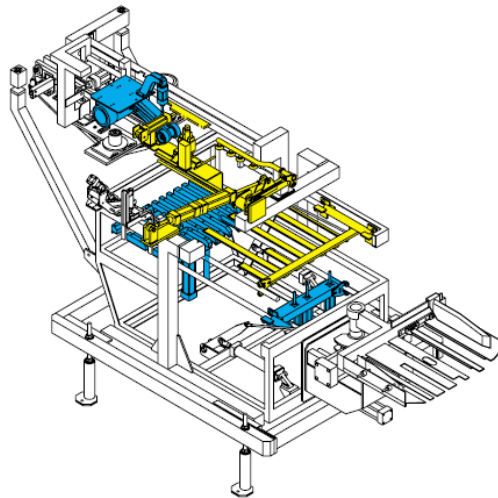
El cemento es enviado a los silos de almacenamiento; de los que se extrae por sistemas neumáticos o mecánicos, siendo transportado a donde será envasado en sacos de papel, o surtido directamente a granel. En ambos casos se puede despachar en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos (Aepincay, 2015).

Las líneas de envase constan de múltiples equipos trabajando en conjunto para: ensacar, limpiar, pesar, transportar, ordenar y paletizar el producto en pilas que pueden tener diferente número de capas de acuerdo al requerimiento del cliente.

La maquinaria que inicia el proceso es el depósito de sacos NORIAMAT, la colocación de sacos sobre el mismo se realiza de forma manual. Este es encadenado por el aplicador de sacos INFILROT Z40, este le indica cuando activarse, desactivarse y detecta las alarmas por mal funcionamiento del NORIAMAT.

El aplicador de sacos INFILROT Z40 es una máquina proyectada para aplicar automáticamente sacos vacíos de papel en las boquillas de la ensacadora rotativa GEV 10/PLUS. La máquina permite la utilización de sacos con dimensiones variables y se configura de modo automático dependiendo del tipo de saco que se utilizará. La alimentación de los sacos en el aplicador de sacos se produce de modo continuo.

El diseño del INFILROT Z40 y del INFILROT Z60 es el fruto de años de experiencia de FLSmidth Ventomatic en el campo de los aplicadores automáticos de sacos. El uso/utilización de los mejores componentes y tecnología disponible en el mercado garantiza que nuestros aplicadores cumplan con la creciente potencialidad de las ensacadoras rotativas (Ventomatic, FLSmidth, 2012).



**Ilustración 3. INFILROT Z40.**

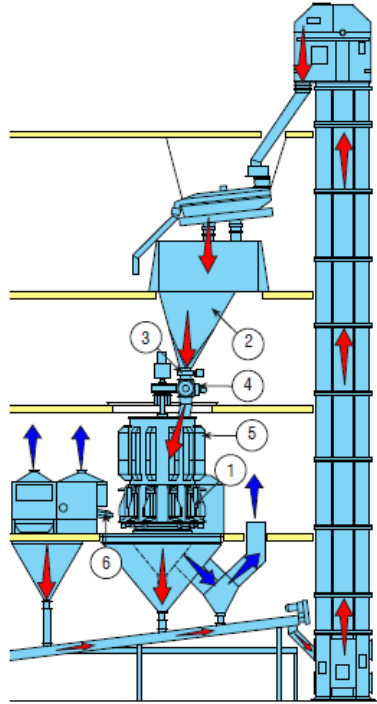
(Ventomatic, FLSmidth, 2012)

El ciclo de funcionamiento del aplicador de sacos Infilrot Z40 comienza con el abastecimiento de la máquina, realizado por un sistema de alimentación de sacos, constituido generalmente por un depósito de sacos tipo NORIAMAT. El paquete de sacos es ubicado en el trasladador de sacos que lo recibe y lo posiciona dentro de la máquina. Un sensor detecta la posición final de rotación del trasladador de sacos y activa el carrito empujador para llevar los sacos hasta la mesa de levantamiento donde serán alzados.

El primer saco de la pila es tomado por las ventosas, llevándolo a la posición adecuada, para ser enviado a la zona de lanzamiento. Cuando el saco está en posición, dos ruedas de goma en constante rotación bajan hasta entrar en contacto con la válvula del saco enviándolo al cono de lanzamiento.

En la zona de lanzamiento dos correas contrapuestas arrastran el saco hacia la ensacadora para aplicarlo en la boquilla. Cuando la pila de sacos disminuye, un sensor de nivelación de mesa detecta el nivel que debe mantener la pila, activando el pistón de levantamiento de mesa cuando este nivel es muy bajo, otro sensor detecta la altura máxima que la mesa de levantamiento puede alcanzar, activando el avance de las horquillas de soporte una vez la mesa ha alcanzado la altura máxima sosteniendo los últimos sacos que quedan en la mesa. Esta operación permite a la mesa bajar y recibir otro paquete de sacos haciendo posible que la máquina mantenga una operación continua.

La ensacadora giratoria GEV 10/PLUS es una máquina proyectada y fabricada para dosificar y llenar sacos de papel con válvula pegada o sacos cosidos con productos en polvo como ser: cemento, cal, talco y premezclados.



#### **Ilustración 4. Ensacadora Giratoria GEV 10/Plus**

(Ventomatic, Ensacadora Geo/Gev plus, 2010)

El ciclo de funcionamiento de la ensacadora giratoria GEV 10/PLUS inicia con la aplicación de sacos vacíos en las boquillas a través de un sistema de aplicación de sacos o con la aplicación manual de los mismos.

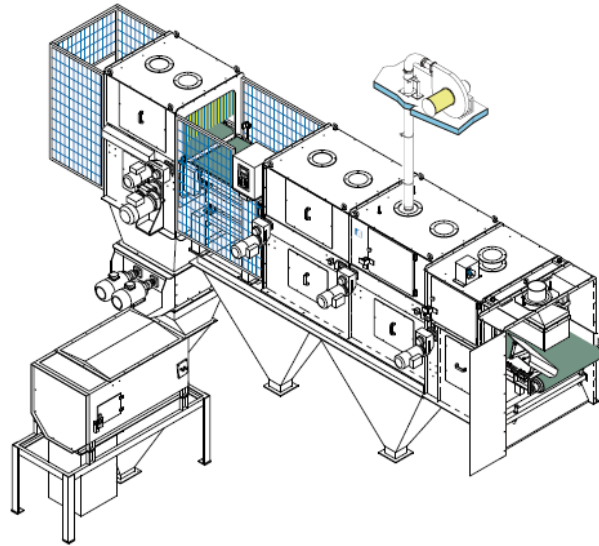
Un sensor detecta la presencia del saco vacío en la boquilla de la ensacadora realizando la auto-calibración para dar inicio al ciclo de llenado.

El grupo de pesaje (Pos.1 Ilu.4) sostiene el saco durante el ciclo de llenado y mediante una celda de carga determina el peso del producto que está dentro del saco. En la parte superior de la ensacadora está prevista una tolva (Pos.2 Ilu.4) para la contención y la alimentación del producto. La válvula de mariposa (Pos.3 Ilu.4), montada bajo la tolva, permite el pasaje del producto hacia el dosificador (Pos.4 Ilu.4) que lo transvasa y lo distribuye en el tanque (Pos.5 Ilu.4) (Ventomatic, Ensacadora Geo/Gev plus, 2010).

El producto es enviado del tanque a la boquilla de la ensacadora. Una guillotina de tres posiciones intercepta el paso del producto con la abertura completa al inicio del ciclo de llenado, mientras en la última fase se posiciona en abertura parcial para cerrarse completamente cuando se alcanza el peso programado.

Finalmente, el saco lleno se encontrará en la línea de evacuación (Pos.6 Ilu.4) para ser depositado sobre la cinta transportadora. El sistema de tratamiento de sacos VENTOSORT CUBE ha sido diseñado para optimizar la producción de las líneas automáticas de ensacado de cemento.

El sistema se instala después de una ensacadora y está formado por una serie de máquinas con funciones específicas, efectuando de modo automático las operaciones de limpieza del saco, verificación del peso y posible descarte de sacos con pesos inadecuados.



**Ilustración 5. VENTOSORT CUBE.**

(Ventomatic, FLSmidth, 2012)

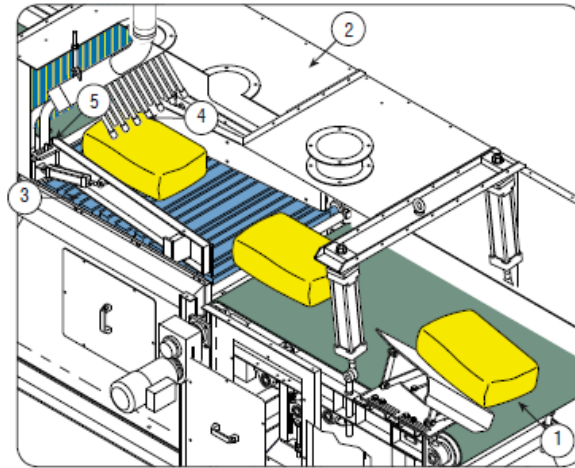
Para entender mejor las operaciones desarrolladas por el sistema de tratamiento de sacos, es necesario hacer una descripción del proceso que realiza el saco antes de llegar a esta máquina. El saco vacío aplicado en la ensacadora se llena durante la rotación; una vez alcanzado el rango de peso establecido, este será evacuado sobre la línea de tratamiento de sacos.

El sistema de tratamiento de sacos Ventoso Cube está gestionado por un sistema que monitoriza toda la línea de ensacado de cemento, mediante el envío y recepción de señales a los equipos conectados a la red BITBUS.

Cuando las cintas transportadoras que componen la línea de evacuación de sacos están en marcha, listas para ser alimentadas, se manda la señal para el arranque del rompesacos.

En secuencia se activan la balanza, la cinta, la limpia-maltrata sacos, a continuación, la cinta evacuadora y la ensacadora empieza a evacuar sacos. Esta secuencia de arranque permite eliminar

posibles sacos que hayan quedado en la línea. Para la secuencia de parada el proceso se produce en modo inverso: de la ensacadora a las cintas transportadoras. Después de la parada del sistema el rompesacos sigue funcionando por 15 segundos para completar sus funciones.

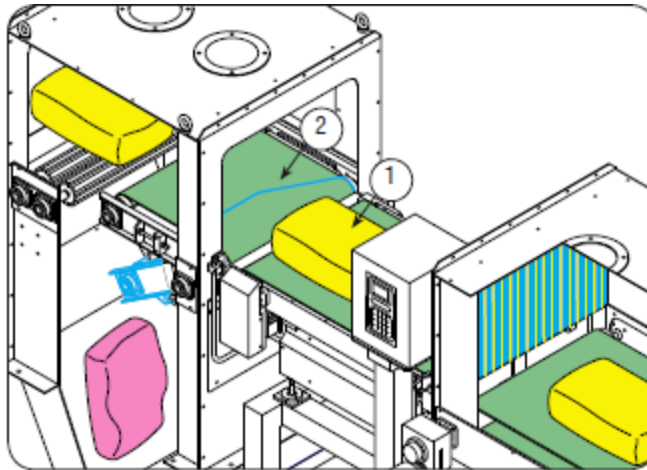


**Ilustración 6. Grupo de Evacuación de Bolsas.**

(Ventomatic, Ventosort Cube, 2010)

La cinta evacuadora está instalada en eje con la zona de evacuación del saco de la ensacadora. Su función es recibir los sacos que salen y transferirlos al grupo limpia-maltrata sacos.

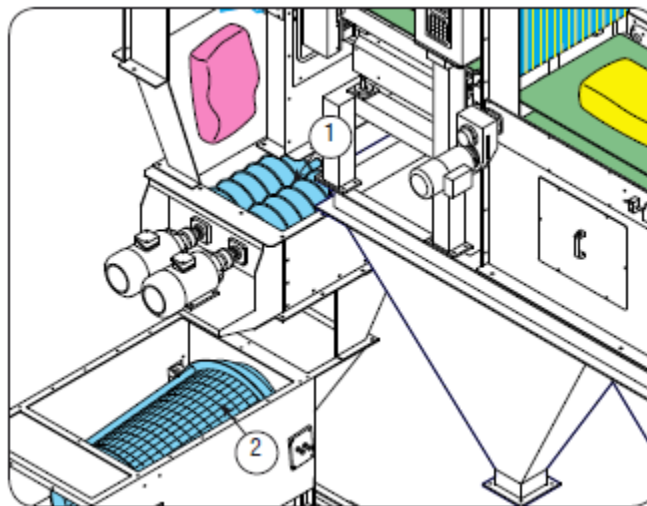
Cuando el saco llega al grupo limpia-maltrata sacos, los rodillos cuadrados lo maltratan a modo de quitar el polvo y arreglarlo. Un chorro de aire en la parte superior y una serie de boquillas limpian el saco de posibles acumulaciones de material durante el recorrido. Este procedimiento permite enviar a pesaje sacos limpios.



**Ilustración 7. Grupo Descartador.**

(Ventomatic, Ventosort Cube, 2010)

Si el saco está roto, la balanza de cinta Ventocheck detecta la pérdida de peso del saco y envía una señal al desecha-sacos para eliminar el saco defectuoso.



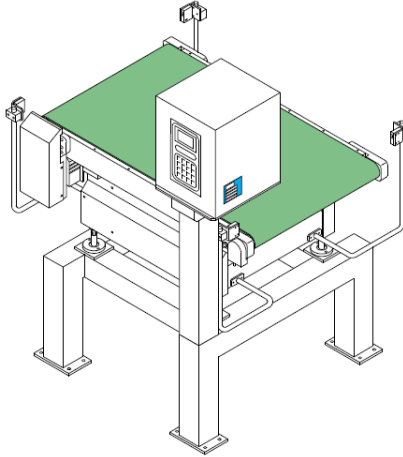
**Ilustración 8. Grupo rompesacos.**

(Ventomatic, Ventosort Cube, 2010)

El saco eliminado pasa entre las hojas del corta-sacos. El material se transporta a la criba giratoria, donde se separa el producto de llenado y el papel del saco. El producto se recoge mediante una tolva inferior, es recuperado por un tornillo sin fin y reintroducido en el sistema, el papel es expulsado a través de una compuerta de limpieza.



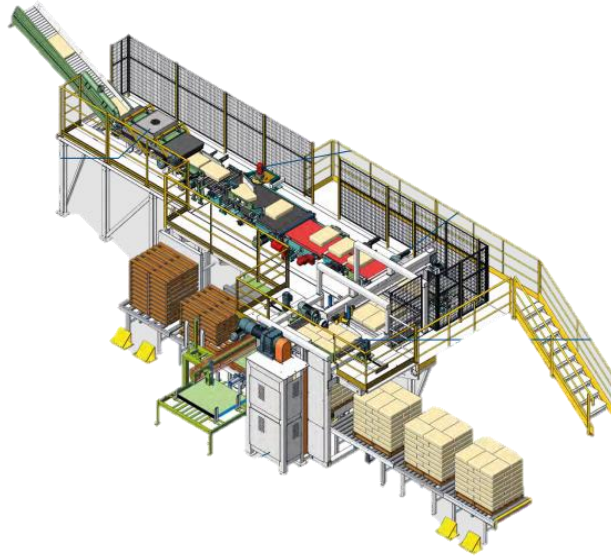
Existe al final de la línea de envase una balanza para verificación de peso. La máquina ha sido diseñada para el pesaje dinámico de sacos de cemento (o productos similares) con pesos de 10 a 60 kg. El peso de los sacos es detectado por medio de celdas de carga instaladas en el equipo, cuya señal es recibida por un sistema de pesaje electrónico.



**Ilustración 9. Banda pesadora.**

(Ventomatic, FLSmidth, 2012)

El peso neto utilizado es equivalente a 93.5 libras. Cementos del Norte, cuenta con 2 líneas de envase de cemento en sacos con capacidad instalada de 3,000 sacos por hora cada una; ambas automatizadas desde la aplicación del saco en la ensacadora hasta la formación de la pila estratificada. Siendo necesaria la colocación manual de los sacos en el equipo que alimenta al aplicador de sacos y el retiro de las ramplas de la Paletizadora con el uso de montacargas.



**Ilustración 10. POLIMAT C40.**

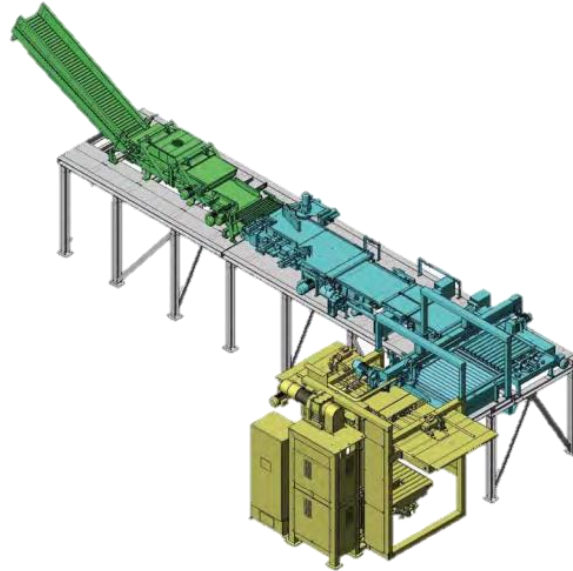
(Ventomatic, FLSmidth, 2012)

La paletizadora de sacos POLIMAT C40 está diseñada para apilar sacos de cemento de diferentes tamaños de forma automática, eficiente y perfecta sobre una paleta de madera o una carpeta de plástico. Trabaja con una amplia gama de configuraciones de estratos que cubren todos los tamaños de sacos y paletas convencionales, garantizando pilas muy estables.

Consta de tres módulos principales subdivididos en grupos que realizan funciones específicas.

Los módulos principales son:

1. Módulo de des aireación del saco
2. Módulo de formación de capa.
3. Modulo formación de pila de sacos.



**Ilustración 11. Grupo POLIMAT C40.**

(Ventomatic, FLSmidth, 2012)

Las bolsas de cemento llegan desde las bandas de alimentación, provenientes de la ensacadora de cemento, entran a la vía de rodillos donde los sacos se maltratan con el objeto de soltar el material y prepararlo para la des aireación, además sirve para evitar atascamientos debido a las diferentes velocidades de las bandas, posteriormente entra a la prensadora de doble cinta donde el saco es desairado y se mueve hacia los rodillos aceleradores.

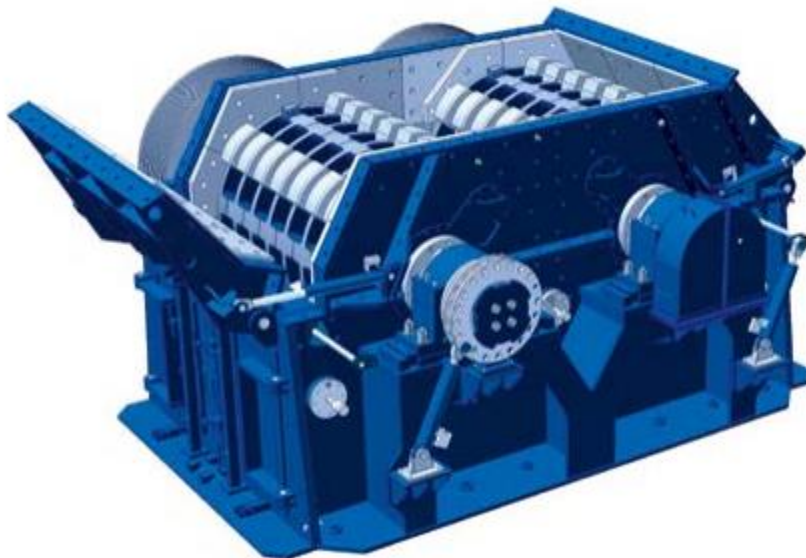
El saco es contado para saber qué posición tendrá en el estrato, llega a la banda orientadora donde un motor con leva le dará la orientación correcta al saco según su posición en el estrato. El saco ya orientado llega a la banda acumuladora, esta banda utiliza un servomotor, donde es retenido y contado nuevamente, la banda se mueve para dar lugar a los sacos que van llegando a ella, hasta que completa la secuencia de sacos según el primer contador, para luego pasar los sacos a los rodillos de formación de cencapa, donde serán desplazados por las bandas de transferencia, a los rodillos de formación de capa donde son retenidos por el rodillo bloquea-sacos, al haber sacos sobre ambas vías de rodillos el desplazador bajara y se moverá para empujarlos sobre el diafragma, el rodillo bloquea-sacos se activara al mismo tiempo que el desplazador comience su carrera, al estar el estrato sobre el diafragma el desplazador subirá y retrocederá hasta su posición original.

Él toma carpetas toma una carpeta y la coloca sobre la vía de rodillos, la carpeta es desplazada por los rodillos motorizados hasta la mesa elevadora, esta recibe la carpeta y sube hasta el diafragma esperando el primer estrato de la pila, él toma carpeta colocara otra carpeta inmediatamente después, el grupo de mesa elevadora está listo para recibir el primer estrato de sacos, una vez que hay una capa sobre el diafragma este se abre, depositando el estrato sobre la mesa elevadora que al recibirlo bajara lo suficiente para permitir que el diafragma cierre, una vez

que el diafragma está cerrado la mesa elevadora subirá empujando el estrato sobre el diafragma para conseguir una última des aireación y aplanando el estrato, consiguiendo así una mayor estabilidad de la pila, una vez que la pila alcanza la cantidad programada de estratos la mesa elevadora bajara y activara sus rodillos motorizados para evacuar la pila sobre la vía de rodillos y recibiendo una nueva carpeta. Las vías de rodillos se activan en secuencia y son capaces almacenar hasta 7 pilas siendo necesario un montacargas para trasladarlas al área de almacenamiento o a la plataforma de un camión.

### **3.7 LINEA DE TRITURACIÓN Y PRE HOMOGENIZACIÓN**

Esta parte de la línea de producción consta de múltiples equipos que se encargan de realizar la trituración de materia prima para su posterior transporte hacia los domos de pre homogenización. La trituradora principal se llama Titán, nombre dado por el fabricante Thyssen Krupp.



**Ilustración 12. Trituradora de doble árbol de martillos.**

(Thyssenkrupp, 2014)

#### **3.7.1 PARTES PRINCIPALES DE TRITURADORA TITÁN**

1. Carcasa.
2. Rotores.
3. Martillos.
4. Yunque.
5. Cesta de Rejillas o Parrillas.

6. Rodamientos de rotor
7. Dispositivo de rotación del rotor.

### **3.7.2 FUNCIONAMIENTO TRITURADORA TITÁN**

En la trituradora inicialmente se recibe la materia prima por una entrada de alimentación, luego el material es alcanzado por los martillos rotativos de los rotores, en este caso, el diseño es de doble eje, posteriormente el material logra ser pre triturado debido al efecto de martillado. Por los efectos de impacto en el yunque, el material sigue siendo triturado. Durante este proceso el material es llevado a una granulación deseada a partir del ancho la cesta de rejillas que se ubica debajo de los martillos.

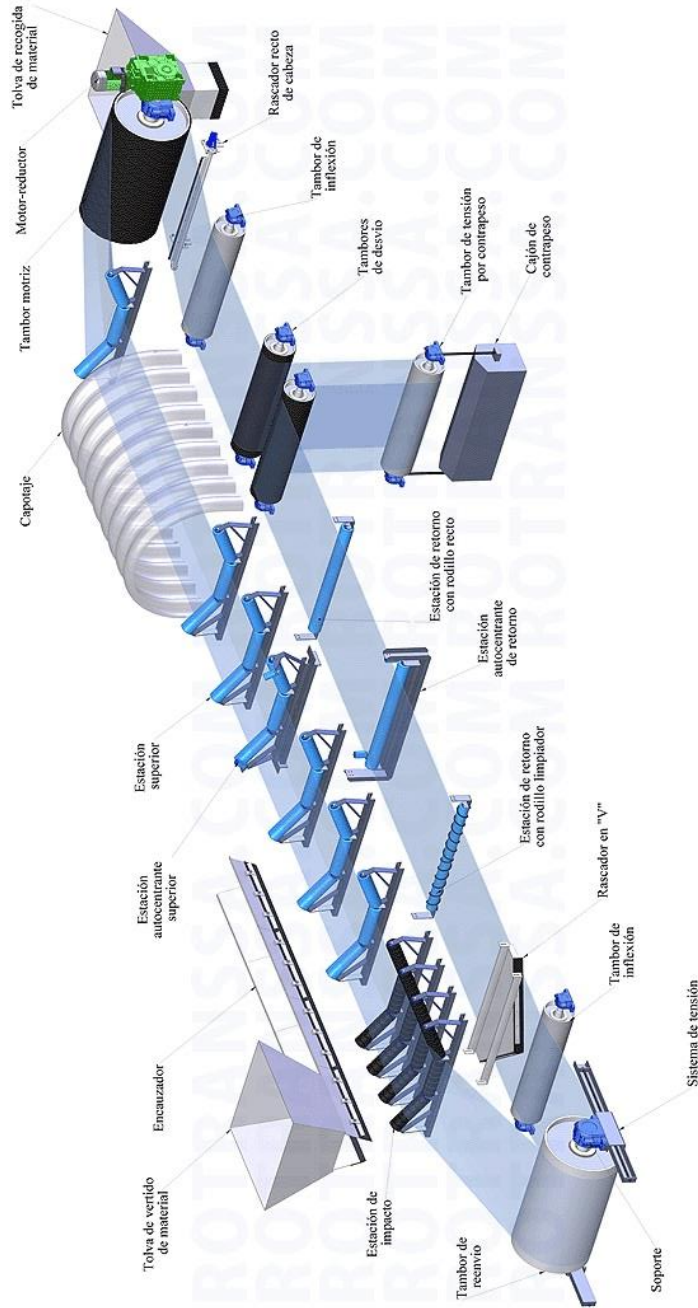
### **3.7.3 PRE HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS**

La mayoría de las veces solo se somete a pre homogenización el componente principal del crudo para el cemento, la caliza. En Cementos del Norte, la materia prima de esquisto se pre homogeniza también. En múltiples casos los componentes arcillosos o margosos son químicamente homogéneos, aunque hay fábricas de cemento que se ven obligadas a someterlos a pre homogenización. Otros componentes de la harina cruda como ser el cuarzo o minerales de hierro (óxido férrico), son casi siempre homogéneos y no requieren pre homogenización alguna. Solamente en el caso de utilizar escorias de alta granulación, es ventajoso pre homogenización. CENOSA almacena directamente la fluorita y material de hierro para la clinkerización.

El material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. El pre homogeneización permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad (IECA, 2017).

### **3.7.4 TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA**

El transporte de las rocas y partículas finas de materia prima se realiza mediante bandas transportadoras. Este medio de transporte es la forma industrial de trasladar material de un punto A hacia un punto B.



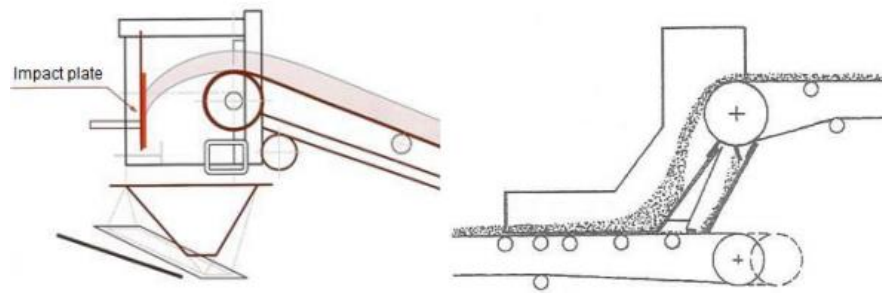
**Ilustración 13. Banda transportadora con sus componentes.**

(ROTRANS, 2019)

Un componente fundamental en la transferencia de materia prima de una banda transportadora hacia otra, es el chute de transferencia. Los chutes de transferencia son usados ampliamente en el área industrial para transferir materiales de minería de un lugar a otro. Son necesarios para aumentar la vida útil de las bandas transportadoras en el proceso y que no exista derramamiento o bloqueos en sus caminos.

CENOSA utiliza 2 configuraciones en sus chutes de transferencia:

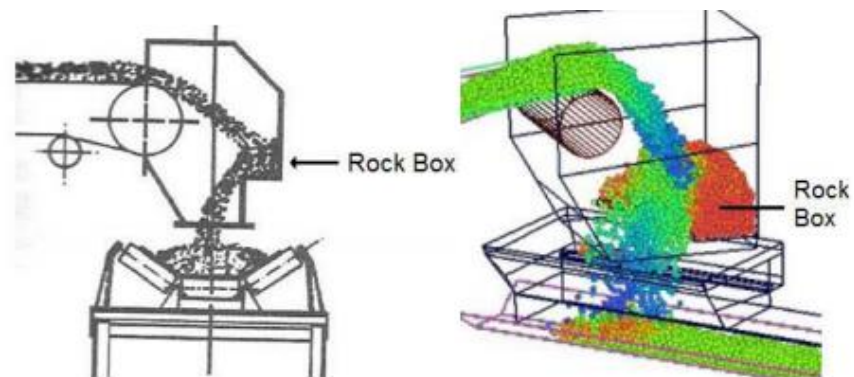
1. Chutes con placas de impacto.



**Ilustración 14. Chute de transferencia con placas de impacto.**

(Benjamin C., 2010)

2. Chutes con deflectores de carga.



**Ilustración 15. Chute de transferencia con deflectores.**

(Chaves, 2011)

## **IV. METODOLOGÍA**

“Las variables pueden definirse como aspectos de los problemas de investigación que expresan un conjunto de propiedades, cualidades y características observables de las unidades de análisis, tales como individuos, grupos sociales, hechos, procesos y fenómenos sociales y naturales” (Carrasco, 2006).

### **4.1 VARIABLES DEPENDIENTES**

La variable dependiente es la baja productividad en el almacenamiento de materia prima triturada en los domos de pre homogenización. Siendo esta variable la usada en la medición de disponibilidad y rendimiento interno del equipo a cargo del departamento de cantera y trituración. Cabe mencionar que los paros internos son los necesarios en el proceso y los externos los que no podemos controlar. El estudio de todas las variables es para determinar las causas físicas, causas humanas y causas latentes que ocasionan la baja productividad.

### **4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES**

Este tipo de variables no se manipularon, únicamente funcionaron como un registro de mediciones para determinar cuál de todas las variables afectaron la variable dependiente y la magnitud de su impacto en el análisis. A continuación, se enumeran las variables independientes:

1. Paros externos.
2. Paros internos.
3. Paros por mantenimiento.

### **4.3 MÉTODO**

He utilizado el método de análisis de causa raíz para determinar el origen de la baja productividad. Para llegar a ese resultado se presenta un diagrama de Pareto que nos ayuda a clasificar las causas de menor a mayor grado de importancia y como herramienta visual para exponer el fin de la investigación, se ha agregado un diagrama causa efecto o también llamado diagrama de Ishikawa

“El método, en tanto se emplea para realizar investigaciones científicas, se denomina método científico, y constituye un sistema de procedimientos, técnicas, instrumentos, acciones estratégicas y tácticas para resolver el problema de investigación, así como probar la hipótesis científica” (Carrasco, 2006).

“Los métodos mixtos (MM) combinan la perspectiva cuantitativa y cualitativa en un mismo estudio, con el objetivo de darle profundidad al análisis cuando las preguntas de investigación son complejas” (Hamui-Sutton, 2013).



Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014).

“La clave está en partir de una pregunta de investigación clara y una hipótesis a ser demostrada, para desde ahí debatir y definir el método y los instrumentos apropiados para responderla” (Hamui-Sutton, 2013).

#### **4.4 ENFOQUE**

Inicialmente se recorrió las líneas de trituración de materia prima, para ubicar cada uno de los equipos y maquinas integradas en el sistema de producción. Seguidamente, se realizó un estudio de los manuales de instalación, mantenimiento y funcionamiento de la trituradora principal TITAN, para comprender el proceso de trituración de la empresa Cementos del Norte S.A.

Como continuación del estudio, se inició la elaboración de un enfoque cuantitativo no experimental, donde se miden y recolectan datos de tiempos muertos y tiempos de paros o fallas. Para esto, se necesitó generar gráficos de Pareto e Ishikawa con la finalidad de enlistar la información obtenida y de esta forma, visualizar el tipo de paros o fallos de mayor impacto de una mejor manera.

Una vez graficado nuestros estudios y gráficos, gracias al método de Análisis Causa Raíz, se determina el origen real de los paros de emergencia y fallas que afectan las productividad en las líneas de trituración.

## 4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

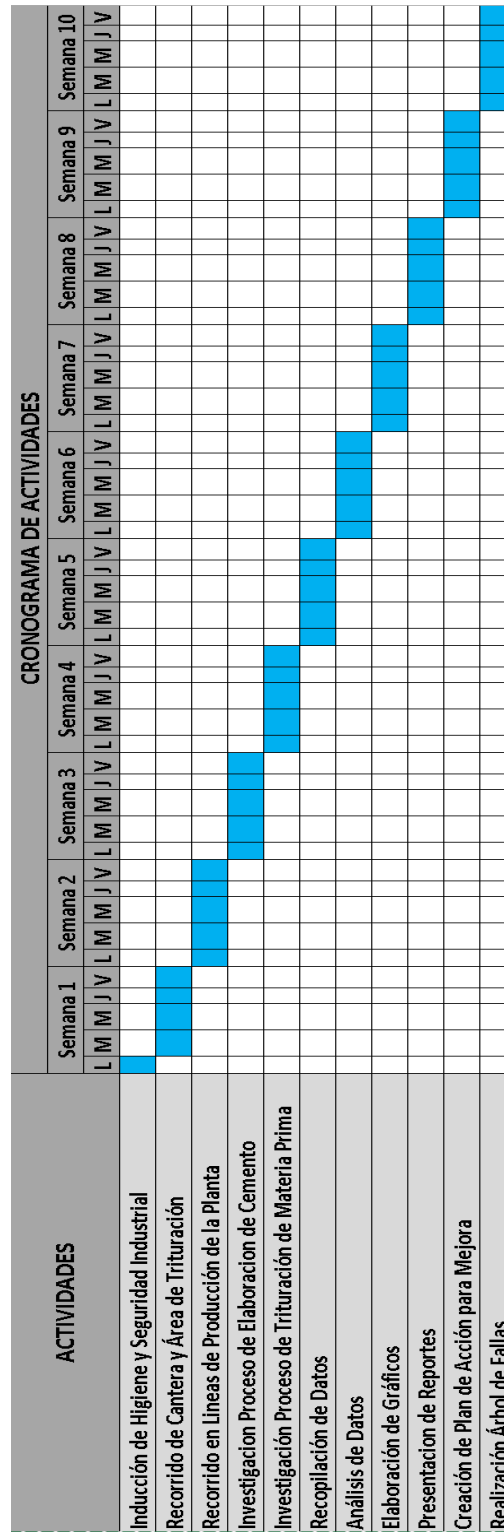


Tabla 2. Cronograma de actividades.

(Fuente propia)

## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se realizó la recopilación de datos con los tiempos muertos tomados en el mes de enero del 2019, que contiene 23 días de producción en el sistema de la trituradora principal llamada Titán. Este equipo está programado para producir 11.5 horas de lunes a miércoles y 10.5 horas los días viernes. De esta manera reservando los días jueves para realizar revisión y mantenimiento preventivo.

### 5.1 FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS

El formato se simplifico para los cálculos resueltos de paros o fallas con algunas observaciones que funcionan como descripción del evento que ocurrió en determinado equipo.

Las horas de producción en la trituración de las diferentes materias primas, varían debido a los siguientes eventos externos:

- Ingreso y manejo de materia prima.
- Silos de almacenamiento llenos.
- Domos de pre homogenización llenos.
- Paros en el horno de Clinker.
- Mantenimientos Correctivos.

Las fallas más comunes y de mayor impacto se dividen internamente en tres categorías:

1. Fallas Mecánicas.
2. Fallas Eléctricas.
3. Fallas de Instrumentación.

Los paros de emergencia más comunes son:

1. Paro externo.
2. Paro por proceso.
3. Paro por mantenimiento preventivo.

**Tabla 3. Horas en paros o fallas**

<b>Fecha</b>	<b>Paro o Falla</b>	<b>Equipo</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Tiempo Min.</b>
Enero 2019	Se Llenó Tolva previo al inicio	Trituradora Titán	Se espera a llenar tolva	77
	Limpieza de Área de Materia Prima	Trituradora Titán	Camiones no disponibles	48
	Cambio Automático a Local	Apilador Pre-Homo2	Se apilo manualmente	73
	Se Quemaron Bandas de Transmisión	Motor 01	Se esperó reparación	79
	Remoción Hierros No Deseados	Trituradora Titán	Se detuvo bandas transportadoras	39
	Cambio de Material a Triturar	Trituradora Titán	Se vació tolva para iniciar de nuevo	151
	Fin de Trituración Prematuro	Trituradora Titán	Se terminó temprano a programación	43
	Falla Eléctrica en Sensor de Retorno	Apilador Pre-Homo2	Posible falla en bandas transportadoras	141
	Falla Eléctrica Motores Deshabilitados	Trituradora Titán	Se requiere energización de equipo	156
	Des alineamiento de Banda	Apilador Pre-Homo2	Se desalineó banda con material	52
	Atascamiento Muestreador	Banda 210-BT1	Posible falla por humedad en material	67
	Silos de Almacenamiento Llenos	Silos de Hierro	Se terminó temprano a programación	488
<b>Total Minutos</b>				<b>1414</b>
<b>Total Horas</b>				<b>23.57</b>

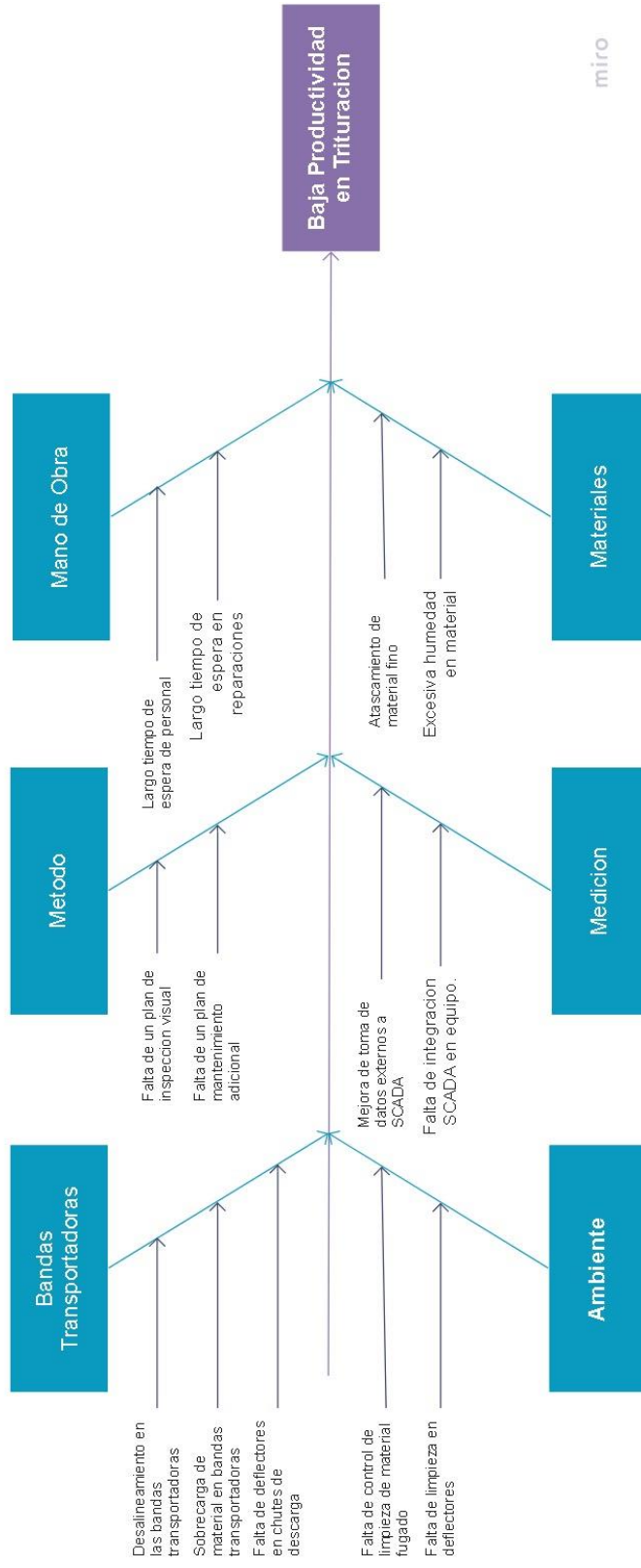
(Fuente propia)

## **5.2 DIAGRAMA CAUSA-EFECTO O DIAGRAMA DE ISHIKAWA**

A continuación, se presentó el siguiente gráfico donde se clasifican el tipo de paro o falla que se presentan, utilizando el método de las 5M, adicionando la medición como otra M, ya que los datos de producción son obtenidos manualmente en tiempo real y se consideró la sobrecarga de material como una posible causa de baja productividad.

Mediante este gráfico podemos apreciar las causas de la baja productividad en la trituración de materia prima, siendo categorizados por su grupo de pertenencia y por tanto como se debe actuar para mitigar las causas previamente enlistadas. Como ejemplo podemos tomar que la falta de una inspección visual semanal al equipo de bandas transportadoras es una causa en la categoría de mantenimiento y la forma de atacarla es realizar un plan de mantenimiento adicional.

El diagrama que se presentó en la ilustración 16, nos permite observar con claridad cuáles son las posibles causas del problema y que tipo de medidas tomar al respecto. Esta es la primera información que se obtiene, es una herramienta que nos ayudara llegar al objetivo final de la investigación.



**Ilustración 16. Diagrama de Ishikawa de Baja Productividad.**

(Fuente propia)

### 5.3 TABULACIÓN DE DATOS

Se inició la tabulación de datos para determinar que causas o fallas generan mayor impacto en los paros de producción, y así lograr encontrar la causa raíz del problema para eliminarlo.

En la siguiente tabla se muestran los eventos más concurrentes que afecta el rendimiento de la máquina trituradora, ya que una vez estas fallas suceden, por seguridad se detienen las bandas transportadoras, pero la máquina trituración permanece encendida, lo que indica un costo de energía y tiempo que minimiza el tiempo de producción programado.

**Tabla 4. Fallas principales y tiempos para realizar estudio.**

Fecha	Paro o Falla	Horas
Enero 2019	Falla Eléctrica en Sensor de Retorno	2.35
	Falla Eléctrica Motores Deshabilitados	2.60
	Des alineamiento de Banda	0.87
	Total Horas	<b>5.82</b>

(Fuente propia)

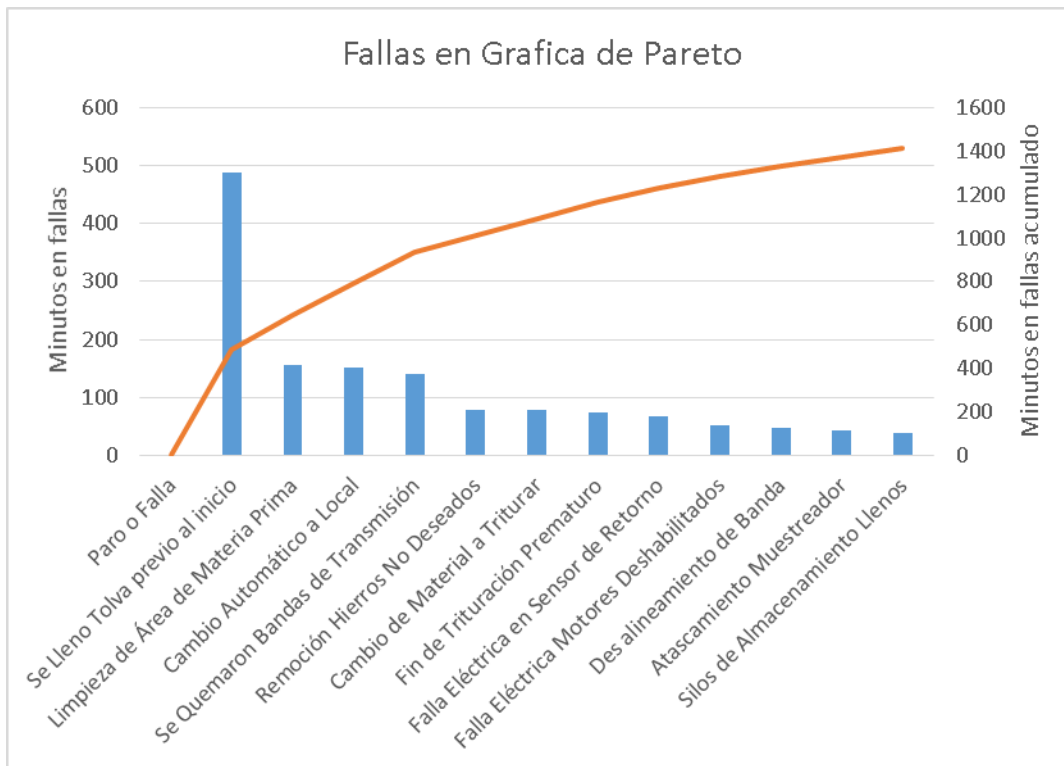
En la tabla 4 podemos encontrar dos fallas mecánicas las cuales son:

- Falla Eléctrica en Sensor de Retorno: Este tipo de falla es transmitida por un sensor inductivo colocado en los rodos de cola que contiene cada una de las bandas transportadoras de la planta. Cuando esta falla se activa significa que la banda no está en movimiento continuo, lo cual inmediatamente detiene el proceso de producción hasta que se llegue el personal mecánico y aplique tensión a la banda transportadora.
- Des alineamiento: Cada banda transportadora cuenta con unos sensores de límite en las partes laterales de dicha banda, los cuales, al ser activados por la misma banda, paran todo el proceso de producción para evitar daños y pérdidas.

Y a continuación expondremos acerca de la falla eléctrica más común:

- Falla Eléctrica Motores Deshabilitados: Este tipo de falla es el que ocurre al inicio del día, ya que todas las noches, se desconecta la alimentación eléctrica de toda la maquinaria y equipo de trituración para evitar accidentes, ya que en el turno nocturno se realizan las labores de mantenimiento y reparación. Y lo que ocurre normalmente es que el personal eléctrico se olvida de alimentar eléctricamente de nuevo para inicio de operaciones del siguiente día laboral.

## 5.4 GRÁFICO DE PARETO



**Ilustración 17. Grafica de Pareto.**

(Fuente propia)

En la ilustración 17 podemos observar en orden ascendente los paros o fallas más extensos en duración de tiempo, es decir, los tiempos muertos que tenemos es el proceso de trituración de materia prima. Seguidamente para realizar el estudio y encontrar nuestra causa raíz, debemos descartar los paros y fallas que sean externos al proceso, esto significa que son inherentes a la trituración de materia prima, a continuación, las enlistamos por categoría para eliminarlas de nuestro siguiente análisis:



**Tabla 5. Clasificación de paros y fallas**

Clasificación de paros y fallas en el proceso de trituración de materia prima					
Paros Externos	Min	Paros Operativos	Min	Paros por Mantenimiento	Min
Llenado de tolva	77	Cambios de operaciones	73	Falla eléctrica en banda	141
Limpieza del área	48	Cambios de material a triturar	151	Falla eléctrica en motores	156
Remoción de hierros	39	Finalización temprana de turno	43	Des alineamiento de banda	52
Silos de Almacenamiento llenos	488			Atascamientos	67
				Bandas de transmisión dañadas	79
<b>Total</b>	<b>652</b>	<b>Total</b>	<b>267</b>	<b>Total</b>	<b>495</b>

(Fuente propia)

### 5.5 SELECCIÓN DE PAROS PARA EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

En esta fase de la investigación descartamos los paros o fallas externos y de operación en el proceso de trituración. Ya que nos centramos en los problemas eléctricos y mecánicos que se tienen de manera recurrente en mantenimientos correctivos. Con el objetivo de atacar las fallas repetitivas y lograr una mejora notable en la producción. En la tabla 6 presentamos los paros por mantenimiento correctivo eléctrico o mecánico con duración en minutos que sucedieron en el mes de enero del 2019.

**Tabla 6. Calendarización de paros por mantenimiento.**

Enero										
Semana 1										
Fecha	1/7/2019		1/8/2019		1/9/2019		1/10/2019		1/11/2019	
Paros por Mantenimiento	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Falla Eléctrica en Sensor de Retorno					4	59				
Des alineamiento de Banda	1	8								
Semana 2										
Fecha	1/14/2019		1/15/2019		1/16/2019		1/17/2019		1/18/2019	
Paros por Mantenimiento	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Falla Eléctrica en Sensor de Retorno										
Des alineamiento de Banda					1	11	1	9		
Semana 3										
Fecha	1/21/2019		1/22/2019		1/23/2019		1/24/2019		1/25/2019	
Paros por Mantenimiento	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Falla Eléctrica en Sensor de Retorno	2	58								
Des alineamiento de Banda			1	6						
Semana 4										
Fecha	1/28/2019		1/29/2019		1/30/2019		1/31/2019		2/1/2019	
Paros por Mantenimiento	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Falla Eléctrica en Sensor de Retorno					2	24				
Des alineamiento de Banda			1	11	1	7				

(Fuente propia)

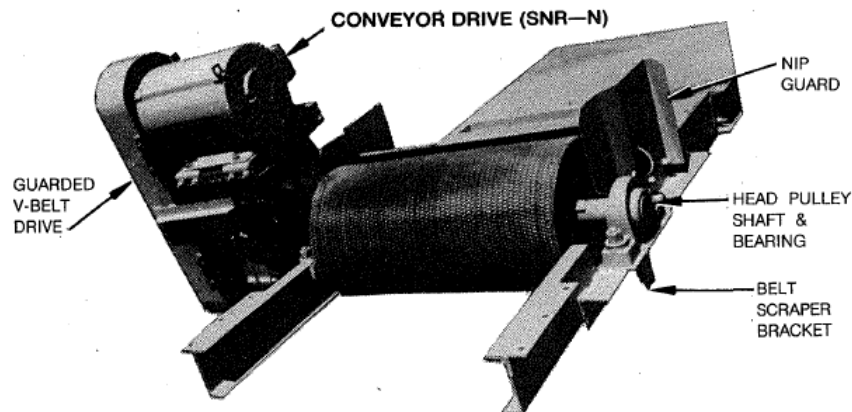
## 5.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Se realizó detenidamente un análisis causa raíz o ACR en las líneas de trituración de materia prima en el departamento de trituración y canteras. La productividad de la trituradora Titán se encontraba por debajo de los niveles mínimos esperados por la empresa. Seguidamente se aplica la tasa de retorno total o TRT, de manera semanal a los resultados operacionales obtenidos para evaluar la producción. La gerencia de CENOSA solicita el 94.5% en TRT al departamento de trituración, y como oportunidad de mejora se elaboró la investigación en las fallas mecánicas y eléctricas del proceso para disminuir los tiempos muertos y aumentar la producción por hora en el departamento.

Una vez realizada la investigación de problemas que se pueden atacar desde su causa raíz, hemos encontrado que, en las fallas eléctricas de motores principales, se debe al departamento eléctrico que no programa la habilitación temprana en los paneles de la sala eléctrica de la máquina trituradora. Lo cual se categoriza como una falla externa. Esto nos deja como causa principal de tiempos muertos en la producción de trituración de materia prima, la falla siguiente:

- Desplazamiento lateral de bandas transportadoras.

### 5.6.1 DESPLAZAMIENTO LATERAL DE BANDAS TRANSPORTADORAS

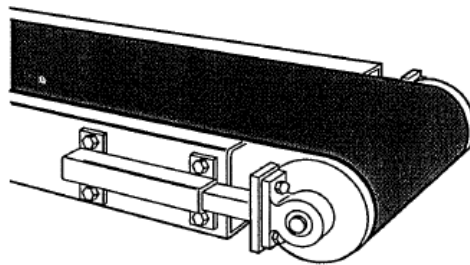


**Ilustración 18. Rodillo conductor de cinta transportadora.**

(Nordberg Inc, 1997)

Se realizó un estudio de las fallas involucradas en desplazamiento lateral de bandas transportadoras, un problema grave en la línea de producción de materia prima, ya que dicha falla genera por mínimo lo siguiente:

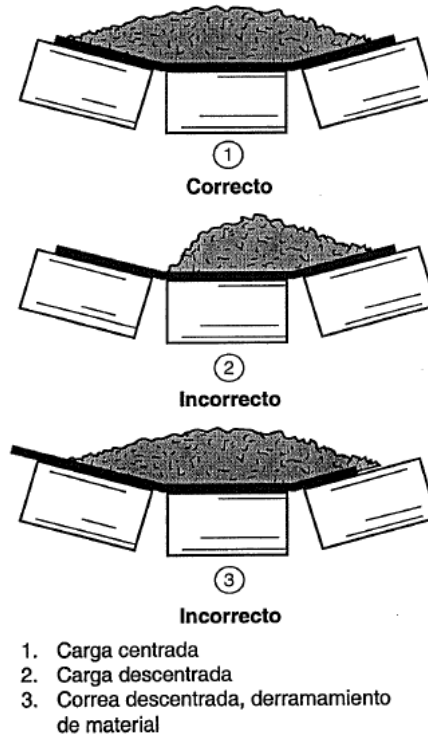
- Daños severos en la cinta de la banda transportadora que provoca un deterioro y reduce su vida útil.
- Paro de producción, una vez sucede el evento, este paro detiene el proceso y se espera el mantenimiento correctivo para continuar la producción.
- Fuga de material, lo cual aparte de que surge la necesidad de limpieza, también genera daños físicos en las estructuras físicas de la planta.



**Ilustración 19. Rodo de reenvío o de cola.**

(Nordberg Inc, 1997)

Luego de identificar chutes sin deflectores en las líneas de trituración, se solicitó a los departamentos encargados, una lista de reparaciones que fueron programadas a lo largo de la duración del proyecto de mejora. Se encontró que la ausencia de deflectores en los chutes que entregan material en las bandas fue la causa raíz del problema de desplazamiento lateral. Ya que no se logra una carga centrada al momento de descarga en las cintas transportadoras.



**Ilustración 20. Modo correcto y modos incorrectos de cargar correas transportadoras.**

(Nordberg Inc, 1997)

En la siguiente ilustración 21 se presenta la disponibilidad y rendimiento de la trituradora Titán antes y después de la realización de la metodología ACR en CENOSA.

Titán Enero	
Disponibilidad	93.19%
Rendimiento	103.31%
TRT	96.27%

Titán Abril	
Disponibilidad	95.35%
Rendimiento	104.39%
TRT	99.54%

**Ilustración 21. TRT enero y abril 2019 de trituradora Titán.**

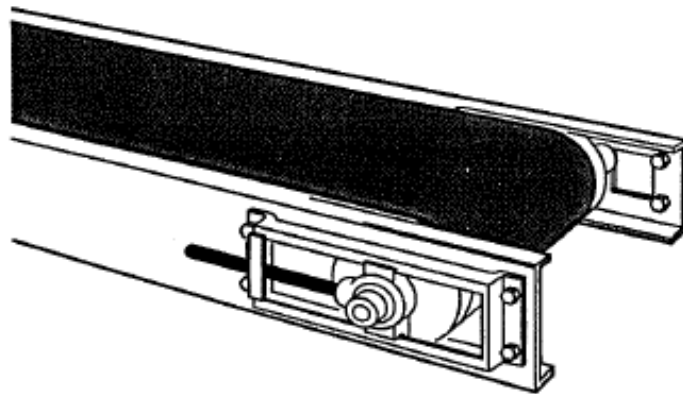
(Fuente propia)

## 5.7 APORTACIONES

Adicionalmente, luego de ejecutar con éxito el plan de instalación de deflectores en los chutes de descarga, para corregir el problema de desplazamiento de bandas transportadoras, se realizó una aportación adicional para eliminar paros por trabajos innecesarios de tensión en bandas transportadoras, los cuales sucede cuando un sensor inductivo detecta que la cinta transportadora necesita tensión. Se detectó que se obtiene un tiempo muerto muy prolongado cuando se necesita solicitar al departamento mecánico, que aplique tensión a una banda. Una falla repetitiva que da paso a analizar y encontrar su causa raíz para mitigarla.

### 5.7.1 FALLA ELÉCTRICA EN SENSOR INDUCTIVO EN BANDA DE APILADOR.

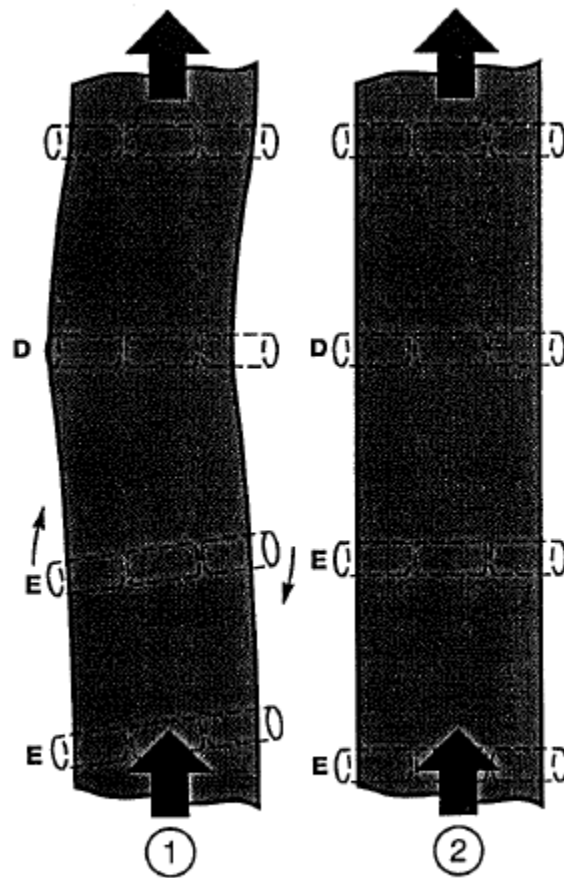
Usualmente un sensor inductivo se encuentra en el rodillo de cola en las bandas transportadora, dicho sensor tiene la función de percibir una señal eléctrica por cada giro completo que realiza este rodillo. Si el rodillo de cola no realiza su giro de manera continua, el sensor manda una señal de alarma al sistema SCADA y se para por completo el proceso de producción. Ya que este supone que la cinta necesita mayor tensión para que el rodillo permanezca ajustado y siga conduciendo la cinta de forma correcta.



**Ilustración 22. Ajuste de tensión en correa transportadora.**

(Nordberg Inc, 1997)

Se detectó que el rodillo motriz, el rodillo que está conectado a la caja reductora de su motor asignado, normalmente se encarga de desplazar la banda de forma horizontal en el apilador 230-AD2, pero dicho rodillo presentaba un desgaste notable de caucho sobre su composición metálica. El rodillo definitivamente necesitó recubrimiento para continuar realizando su trabajo de forma óptima. Ya que este rodillo es el que conduce la velocidad de la banda, y si no tiene suficiente agarre para mantener la cinta en movimiento, la cinta perderá la tensión necesaria para realizar su función apropiadamente.



1. Antes de los ajustes
2. Después de los ajustes

**Ilustración 23. Eliminación de desplazamiento lateral en una banda transportadora.**

(Nordberg Inc, 1997)

## VI. CONCLUSIONES

“La conclusión final o síntesis, el resultado aparentemente simple pero que engloba dentro de sí a todo el cúmulo de apreciaciones que se han venido haciendo a lo largo del trabajo. Las conclusiones finales sólo resultan pertinentes para responder al problema de investigación planteado cuando, en la recolección, procesamiento y análisis de los datos, se han seguido los lineamientos que surgen del marco teórico” (Sabino, 1992).

1. Se eliminaron las causas raíces que provocaron los desplazamientos laterales en las principales bandas transportadoras de materia prima triturada mediante la implementación de la metodología ACR.
2. Se realizó un plan de mejora a través de solicitudes de trabajos de mantenimiento correctivo a los departamentos encargados y se logró eliminar las fallas recurrentes que generaron la mayor cantidad de paros de producción.
3. Se recomendó un nuevo plan de inspección preventivo semanal en el departamento de trituración por motivo de mejora, como plan adicional a las inspecciones que realiza la empresa de manera mensual.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1 A LA UNIVERSIDAD**

1. Realizar la práctica profesional previa al proyecto de graduación, ya que el estudiante puede descubrir los procesos industriales con mayor tiempo de anticipación y así facilitar un proyecto de graduación con mayor profundidad a las necesidades de la empresa.
2. Implementar una clase de circuitos de mando a la carrera, para que los estudiantes de la carrera estudien los circuitos y diagramas de control más utilizados en el ámbito industrial.

### **7.2 A LA EMPRESA**

1. Reducir el rendimiento de la trituradora a 900 toneladas por hora, según instrucciones del fabricante.
2. Emplear un operador comodín permanente en el departamento de canteras y trituración capacitado para trabajar en cualquier trituradora con motivo de cubrir personal en vacaciones o con incapacidad.
3. Reemplazar capotas existentes en bandas transportadoras 210-BT1 y 212-BT2 por una estructura metálica techada, ya que en eventos de atascamientos hay un tiempo de espera prolongado para que los mecánicos puedan removerlas. Estas capotas no brindan la visión posible para detectar posibles daños o fallas a tiempo. Se necesita una estructura techada que disponga de pasillos laterales a estas bandas transportadoras para poder realizar inspecciones visuales diarias por los operadores.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Admin. (3 de Abril de 2017). *Aua 214*. Obtenido de <http://www.aua2014.org/importancia-la-cinta-transportadora-industrial/>
- Aepincay. (31 de Marzo de 2015). *Proceso de Fabricacion del Cemento*. Obtenido de Cemento y Asfalto: <https://cementoyasfalto.wordpress.com/2015/03/31/proceso-de-fabricacion-del-cemento/>
- Amendola, L. J. (2016). *Gestion de proyectos de activos industriales*. Valencia: PMM Institute for Learning.
- Aparicio, D. A. (2019). *Lean Manufacturing*. Obtenido de LeanManufacturing10: <https://leanmanufacturing10.com/diagrama-de-pareto>
- Arnoletto, E. J. (2007). *Administracion de la produccion como ventaja competitiva*. eumed.net.
- Benjamin C., D. P. (2010). *Manual de Diseno de Chute de Transferencia para Sistema de Bandas Transportadoras*.
- Bloch, A. (2008). *La Ley de Murphy y otras razones porque las cosas salen mal*. Temas Ed Hoy.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: San Marcos.
- Chaves, A. F. (2011). *Teoria y Practica de Tratamiento de Minería. Vol. 5. Manejo de solidos granulados*. Signus.
- Consultores, A. (26 de Enero de 2019). *Diagrama de Pareto*. Obtenido de Aiteco: <https://www.aiteco.com/diagrama-de-pareto/>
- Cyta. (Diciembre de 2003). *Herramientas para el Análisis, Cuantitativo y Cualitativo*. Obtenido de Calidad.org: [http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas\\_calidad/causaefecto.htm](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/causaefecto.htm)
- Fuentes, F. E. (2012). *Análisis causa Raíz: Pequeñas charlas para gestión del mantenimiento*. Obtenido de RIDSSO Red Internacional de Seguridad y Salud Ocupacional: <http://www.ridssso.com/documentos/muro/fbe6005572088684d7d45c9bcf0436ee.pdf>

- Gesihy. (27 de Marzo de 2017). *El diagrama causa-efecto*. Obtenido de Aprendiendo Calidad y ADR: <https://aprendiendocalidadyadr.com/el-diagrama-causa-efecto/>
- Hamui-Sutton, A. (2013). Acercamiento a los metodos mixtos de investigacion en educacion medica . *Investigacion en educacion medica*, 6.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA .
- Hurtado, J. (2007). *El proyecto de investigacion*. Caracas, Venezuela: Quiron.
- IECA. (28 de Diciembre de 2017). *Proceso de Fabricacion*. Obtenido de Instituto Espanol del Cemento y sus Aplicaciones: <https://www.ieca.es/proceso-de-fabricacion/>
- Lema, E. (2009). *Sistema extranet para el analisis causa raiz para la industria productiva*. Quito: EPN.
- Meire, J. y. (12 de Junio de 2018). *Diagrama de Ishikawa*. Obtenido de Blog de la Calidad: <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>
- Munoz, H. (2011). *Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminacion de un mal actor en equipos críticos de la SOM ECOPETROL S.A.* Santander, Colombia.
- Nordberg Inc. (1997). *Manual de instrucciones y lista de partes para planta de trituracion y cribado*. Clintonville.
- Otegui, J. L. (2013). *Analisis de Fallas*. Mar del Plata, Argentina: eudem.
- Parra Marquez, C. A. (2012). *Ingenieria de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la gestion de activos*. Sevilla: INGEMAN.
- Rooney, J. J. (2013). *Recoleccion de informacion para el analisis de causa raiz*.
- ROTRANS. (2019). *Cinta transportadora y sus componentes*. Obtenido de ROTRANSSA: [www.rotranssa.com](http://www.rotranssa.com)
- Sabino, C. (1992). *EL PROCESO DE INVESTIGACION*. Caracas: Panapo.
- Sojo, L. (2004). *El proceso de analisis de causa raiz PROACT*. Obtenido de [www.klaron.net](http://www.klaron.net)
- Thyssenkrupp. (2014). *Titran Double Shaft Hammer Crushers*. Obtenido de Industrial Solutions: <https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/>
- Ventomatic. (2010). *Ensayadora Geo/Gev plus. Manual para Uso y Mantenimiento*. Valbrembo, Bergamo, Italia.

Ventomatic. (2010). Ventosort Cube. *Manual para Uso y Mantenimiento*. Valbrembo, Bergamo, Italia.

Ventomatic. (2012). *FLSmidth*. Obtenido de <http://www.flsmidth.com/en-US/FLSmidth+Ventomatic/Products/Cement+industry>

Zapata, C. M., & Villegas, S. M. (2006). Reglas de consistencia entre modelos de requisitos de un método. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 40-59. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/215/21514104.pdf>

## IX. ANEXOS



Anexo 1. Stock de caliza en cantera de CENOSA.



Anexo 2. Ubicación central de trituración de materia prima.



Anexo 3. Máquina trituradora de materia prima TITAN.



Anexo 4. Rodo motriz de banda transportadora con desgaste de caucho.



Anexo5. Rodo motriz de banda transportadora con caucho en buen estado.



Anexo 6. Banda transportadora dañada debido a desplazamiento lateral.



Anexo 7. Fuga de materia prima a causa de desplazamiento lateral.

Anexo 8. Sistema SCADA en departamento de trituración.





Anexo 9. Rutina de inspecciones a equipos críticos en trituradoras.

Rutina de: Producción  
Equipo crítico X VOSO \_\_\_\_\_  
Frecuencia: Mensual  
Ejecutor: Depto. Producción  
Estado del equipo: TRABAJANDO  
Área: 20

Semana \_\_\_\_\_

**201-TB1 (Trituradora Nordberg)**

Verificar si existen ruidos raros en el motor.  
Verificar que se encuentre la caja de conexiones del motor debidamente tapada y sellada.  
Verificar que no exista alguna alta temperatura en el motor.  
Verificar que se encuentre limpio el motor.  
Verificar si existe algún ruido extraño en las chumaceras.  
Verificar si existe alta temperatura en las chumaceras.  
Verificar si existe alguna fuga de material en la carcaza (si la hay indicar donde se ubica)  
Verificar si existe alguna vibración en el conjunto.  
Verificar si las bandas de transmisión se encuentran completas.  
Verificar si la guarda de protección se encuentra en buenas condiciones e instalada.

---

---

**211-AP1**

Verificar si existen ruidos raros en el motor.  
Verificar que se encuentre la caja de conexiones del motor debidamente tapada y sellada.  
Verificar que no exista alguna alta temperatura en el conjunto motor reductor.  
Verificar que se encuentren limpios el motor y reductor.  
Verificar que las ruedas del alimentador giran sin problemas.  
Verificar si existe alguna fuga de material (si la hay indicar donde se ubica)  
Verificar si existe alguna vibración en el conjunto motor reductor.

---

---

**211-QB1**

Verificar si existen ruidos raros en el motor.  
Verificar que se encuentre la caja de conexiones del motor debidamente tapada y sellada.  
Verificar que no exista alguna alta temperatura en el motor.  
Verificar que se encuentre limpio el motor.  
Verificar si existe algún ruido extraño en las chumaceras.  
Verificar si existe alta temperatura en las chumaceras.  
Verificar si existe alguna fuga de material en la carcaza (si la hay indicar donde se ubica)  
Verificar si existe alguna vibración en el conjunto.  
Verificar si las bandas de transmisión se encuentran completas.  
Verificar si la guarda de protección se encuentra en buenas condiciones e instalada.

---

---

**212-AP1**

Verificar si existen ruidos raros en el motor.  
Verificar que se encuentre la caja de conexiones del motor debidamente tapada y sellada.  
Verificar que no exista alguna alta temperatura en el conjunto motor reductor.  
Verificar que se encuentren limpios el motor y reductor.  
Verificar que las ruedas del alimentador giran sin problemas.  
Verificar si existe alguna fuga de material (si la hay indicar donde se ubica)  
Verificar si existe alguna vibración en el conjunto motor reductor.

---

---

---

**212-QB1**

- Verificar si existen ruidos raros en el motor.
  - Verificar que se encuentre la caja de conexiones del motor debidamente tapada y sellada.
  - Verificar que no exista alguna alta temperatura en el motor.
  - Verificar que se encuentre limpio el motor.
  - Verificar si existe algún ruido extraño en las chumaceras.
  - Verificar si existe alta temperatura en las chumaceras.
  - Verificar si existe alguna fuga de material en la carcaza (si la hay indicar donde se ubica)
  - Verificar si existe alguna vibración en el conjunto.
  - Verificar si las bandas de transmisión se encuentran completas.
  - Verificar si la guarda de protección se encuentra en buenas condiciones e instalada.
- 
- 

---

---

**230-AD1**

- Verificar si existe algún ruido extraño en el motorrodillo.
  - Verificar si existe alguna fuga de aceite en el motorrodillo.
  - Verificar si las estaciones de rodillos se encuentran completas.
  - Verificar si existe algún ruido extraño en la polea de cola.
  - Verificar que los empalmes de la banda se encuentran en buen estado.
  - Verificar que no exista algún tipo de rotura a lo largo de la banda.
  - Verificar que área se encuentre limpia.
- 
- 

---

---

**230-AD2**

- Verificar si existe algún ruido extraño en el motorrodillo.
  - Verificar si existe alguna fuga de aceite en el motorrodillo.
  - Verificar si las estaciones de rodillos se encuentran completas.
  - Verificar si existe algún ruido extraño en la polea de cola.
  - Verificar que los empalmes de la banda se encuentran en buen estado.
  - Verificar que no exista algún tipo de rotura a lo largo de la banda.
  - Verificar que área se encuentre limpia.
- 
- 

---

---

**230-AD3**

- Verificar si existe algún ruido extraño en el motorrodillo.
  - Verificar si existe alguna fuga de aceite en el motorrodillo.
  - Verificar si las estaciones de rodillos se encuentran completas.
  - Verificar si existe algún ruido extraño en la polea de cola.
  - Verificar que los empalmes de la banda se encuentran en buen estado.
  - Verificar que no exista algún tipo de rotura a lo largo de la banda.
  - Verificar que área se encuentre limpia.
- 
- 

Realizó: \_\_\_\_\_