



**PROPUESTA DE MEJORA PARA EL CONTROL DE ADICIONES EN LA  
FACBRICACIÓN DE CEMENTO EN LA PLANTA ARGOS ZONA FRANCA,  
CARTAGENA, 2021**

**Daniel Eduardo de la hoz de la hoz**

Código: 20451719285

**Albeiro López pájaro**

Código: 20451817739

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

Año 2021



**PROPUESTA DE MEJORA PARA EL CONTROL DE ADICIONES EN LA  
FACBRICACIÓN DE CEMENTO EN LA PLANTA ARGOS ZONA FRANCA,  
CARTAGENA, 2021**

**Autores:**

**Daniel Eduardo de la hoz de la hoz**

**Albeiro López pájaro**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Mecánico**

Director:

Ingeniero Mecánico Willman Orozco Lozano

Línea de Investigación:

Diseño Mecánico

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

Año 2021

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
1. ANTECEDENTES .....	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 Objetivo General.....	11
3.2 Objetivos Específicos .....	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	12
5. MARCO TEORICO .....	13
5.1 Definiciones .....	13
6. METODOLOGÍA.....	23
6.1 Tipo de estudio.....	23
6.2 Fuentes de información.....	23
6.2.1 Primarias .....	23
6.2.2 Secundaria: .....	24
6.3 Metodología según el objetivo.....	24
6.3.1 Objetivo Especifico 1: .....	24
6.3.2 Objetivo Especifico 2: .....	24
6.3.3 Objetivo específico 3:.....	25
7. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.....	26
7.1 Etapa 1: Extracción, Recepción y almacenamiento de materias primas.....	26
7.2 Etapa 2: Dosificación y pre homogenización .....	28
7.3 Etapa 3: Molienda del crudo .....	28
7.4 Etapa 4: Homogenización.....	29
7.5 Etapa 5: Pre calcinación.....	30
7.6 Etapa 6: Clinkerización.....	30
7.7 Etapa 7: Molienda del cemento .....	32
7.8 Etapa 8: Almacenamiento del cemento.....	33
8 DESARROLLO METODOLOGIA OBJETIVO 1 .....	34
8.1 Análisis del modelo hombre-máquina en la producción de cemento .....	34

9. DESARROLLO METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECÍFICO 2.....	37
9.1 Diseño del modelo mecánico de la nueva cuchilla restrictora.....	40
9.1.1 Cuchilla restrictora o compuerta.....	41
9.1.2 Medidas optimas del modelo.....	41
9.1.3 Carcaza .....	43
9.1.4 Volanta .....	44
9.1.5 Chumacera.....	45
9.1.6 Corredera .....	47
9.1.7 Modelo 3d Cremallera.....	48
9.1.8 Piñón.....	49
9.2 Simulaciones.....	50
9.2.1 Propiedades físicas .....	50
9.2.2 Propiedades del Material .....	53
9.2.3 Simulación de Esfuerzo Von Mises.....	55
9.2.4 Simulación Factor de Seguridad.....	56
9.2.5 Cálculos de resistencia de la cuchilla restrictora.....	57
9.2.6 Suposiciones .....	57
9.2.7 Cálculo de resistencia de la Cremallera.....	59
10 DESARROLLO METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO 3.....	64
10.1 Análisis de control y calidad .....	64
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	74
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES .....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82

## Lista de Figuras

	<b><u>Pág.</u></b>
Figura 1- Producción y despachos de cemento gris (miles de toneladas) Total nacional Enero (2019 – 2021p).....	6
Figura 2 Producción y despachos de cemento gris (miles de toneladas y variación anual)Total nacional.Enero (2019)- agosto (2021).....	7
Figura 3 Imagen de Cemento Tipo UG .....	17
Figura 4 Panorama de una Cantera.....	27
Figura 5 Panorama de Bandas transportadoras de la materia prima.....	27
Figura 6 Bandas transportadoras internas en el proceso de Prehogenización .....	28
Figura 7 Molinos de gran tamaño del crudo.....	29
Figura 8 Panorama del proceso de homogenización y adición de otras materias primas ....	30
Figura 9 Panorama de hornos rotatorios en el proceso de clinkerización .....	31
Figura 10 Resultado del proceso de clinkerización , granulos de clinker .....	31
Figura 11 Molino de rebestimiento de acero,proceso de molienda final.....	32
Figura 12Resultado de la molienda y mezcla de aditivos .....	32
Figura 13 Panorama de silos de almacenamiento del producto final .....	33
Figura 14 Proceso de empacado del cemento.....	33
Figura 15 Producto final cemento empacado .....	34
Figura 16 Imagen de la cuchilla antigua.....	38
Figura 17 Medidas de la cuchilla antigua.....	38
Figura 18 Prototipos de diseño de la cuchilla restrictora .....	39
Figura 19 Cuchilla Restrictora.....	40
Figura 20 Calculo de la compuerta.....	41
Figura 21 Medidas de la compuerta .....	41
Figura 22 Modelo 3d de la compuerta (diseñado con la herramienta solidworks).....	42
Figura 23 Medidas de la carcaza .....	43
Figura 24 Modelo 3d de la Carcaza.....	44
Figura 25 Medidas de la volanta.....	44
Figura 26 Modelo 3d de la Volanta .....	45
Figura 27 Modelo 3D Chumacera .....	45
Figura 28 Rodamiento de chumacera .....	46
Figura 29 Modelo 2D de la chumacera .....	46
Figura 30 Imagen de la corredera .....	47
Figura 31 Medidas Mecánicas de la Corredera .....	48
Figura 32 Modelo 2d cremallera .....	48
Figura 33 Modelo 3D Piñón .....	49
Figura 34 Medidas mecánicas del Piñón .....	49
Figura 35 Modelo 2D piñón .....	50
Figura 36 Tensión de Von Mises.....	55
Figura 37 Factor de seguridad .....	56

Figura 38 Cálculos de resistencia de la nueva cuchilla restrictora .....	57
Figura 39 Diagrama de la cremallera y el piñon de la cuchilla .....	58
Figura 40 Diagrama de cuerpo libre del eje del casino .....	60
Figura 41 Diagrama de corte .....	61
Figura 42 Grafica de control de medias .....	69
Figura 43 Gráfico de control de rangos .....	70

## Lista de Tablas

Tabla 1 Tipos de Cemento Hidráulicos .....	16
Tabla 2 Especificaciones Técnicas del Cemento.....	17
Tabla 3 Tipo de Aditivos para el Concreto.....	19
Tabla 4 Análisis en el tiempo de las operaciones .....	35
Tabla 5 Recolección de datos de la producción .....	35
Tabla 6 Análisis del modelo Hombre-Maquina .....	36
Tabla 7 Datos del proceso de producción actualmente .....	37
Tabla 8 Propiedades Físicas de la cuchilla restrictora.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 9 Referencia del modelo de la cuchilla.....	53
Tabla 10 Información de las unidades utilizadas.....	54
Tabla 11 Fuerzas de reacción .....	54
Tabla 12 Fuerzas de cuerpo libre.....	54
Tabla 13 Datos sobre el porcentaje de clinker en la producción .....	65
Tabla 14 Datos extraídos para cálculo estadístico.....	66
Tabla 15 Cuadro de control de medias .....	67
Tabla 16 cuadro de control de rangos.....	68
Tabla 17 Resultado de la Hipótesis .....	71
Tabla 18 Información del tiempo de producción actual .....	72
Tabla 19 Datos del proceso de producción Antes y Después De la reforma.....	73

**Pág.**

## **RESUMEN**

El cemento es uno de los productos industriales más usados a nivel mundial desde su invención en el año 1845 hasta la actualidad. Esta investigación se enfoca en dar solución a la problemática presentada en la empresa Argos ubicada en Zona Franca de Cartagena, en el aumento de volumen de descarga de Clinker desde el silo a la banda transportadora, además de mejorar las características del cemento con ciertos aditivos.

El principal objetivo es realizar un diseño mecánico de una cuchilla restrictora, que permita mejorar el proceso de fabricación de cemento y su calidad con la finalidad de reducir costos. En la recolección y análisis de la información durante la aplicación de la metodología se utilizaron estudios mecánicos, datos estadísticos y uso de un softwares de diseño tales como SolidWorks, fusion360, Auto Cad y Excel.

**Palabras claves:** cemento, Clinker y aditivos.

## ABSTRACT

Cement is one of the most used industrial products worldwide since its invention in 1845 to the present day. This research focuses on solving the problem inside of the Argos Company located in the Cartagena Free Zone, in increasing the volume of clinker discharge from the silo to the conveyor belt, in addition to improving the characteristics of the cement with certain additives.

The main objective is to carry out a mechanical design of a restrictor blade, which allows improving the cement manufacturing process and its quality to reduce costs. In the collection and analysis of the information during the application of the methodology, were used mechanical studies, statistical data, and the use of design software such as SolidWorks, fusion360, Auto Cad y Excel.

**Keywords:** cement, clinker and additives.

## INTRODUCCIÓN

El cemento a sido un material con gran impacto para la fabricacion de estructuras en nuestra sociedad, en la antigüedad se emplearon arcilla o escoria , yeso y cal para unir mampuestos en las edificaciones . Este material se empezó a utilizar en la antigua grecia utilizando tobas volcanicas extraidas de la isla Santorini siendo los primeros cementos naturales.

En el siglo XX (revolucion industrial) se experimentó el auge y generalización del cemento , Joseph Aspdin y James Parker patentaron dicho compuesto en 1824(cemento portland) denominado asi por su color gris verdoso oscuro. En el año 1845 Issac Jhonsson obtiene el prototipo del cemento moderno, derivada de una mezcla de arcilla y caliza sometida a altas temperaturas. Debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y le Chatelier logran un cemento de calidad homogeneo. (Machado, s.f)

Con la modernizacion de la industria se ha costruido plantas de alta producción, exigiendo más versatilidad en los proceso; esta investigación tiene como finalidad mostrar una inovacion la cual ofrecerá mejoras en el proceso de fabricacion del cemento, utilizando la ingenieria mecanica ofreciendo una solución estratégica sobre la mejora en la producción, programación y consumo energético.

El cemento puede definirce como un material que cuenta con propiedades adherentes, y su principal funcion es de unir piezas solidas e integrar dichos componentes de forma prologada y resistente al tener contacto con el agua.Una de las principales materias primas del cemento es el clínker, el cual se define como un material que tiene forma de granulos , obtenidos a partir de un proceso de cocci3n a una temperatura de 1.400°C y su composici3n

esta principalmente integrada por materias como arcilla , silicatos , aluminoferritos de calcio y aluminatos.

Por otro lado los aditivos juega un papel muy importante en la elaboración del concreto ya que son aquellos ingredientes que mejoran la composición química y las características del cemento ofreciendo mayor durabilidad , fácil manipulación y mejor resistencia.

En la industria del cemento a nivel internacional se han realizado investigaciones que demuestran que los países desarrollados cuentan con tecnologías avanzadas enfocadas a mejorar la producción, optimizar el uso racional de energía, políticas a favor del medio ambiente y reducción de costos operacionales; en comparación con los países subdesarrollados puede observarse una menor investigación en estos campos debido a ciertas barreras que pueden ser de tipo tecnológico y económico.

El cemento hace parte de uno de los insumos más relevantes en la industria de la construcción en Colombia, esto quiere decir que este producto debe cumplir con ciertas especificaciones técnicas de resistencia, calidad y estabilidad. Por otro lado el sector cementero esta influenciado por políticas de tipo regionales direccionadas a la distribución, asignación de precios y el aspecto más importante es el tema de producción.

Con la modernización de la industria, se han construido plantas de alta producción, gracias a esto se exige más versatilidad en los procesos. En esta investigación se mostrará una innovación en el diseño de una cuchilla restrictora para la planta procesadora de cemento de la empresa Argos ubicada en Zona Franca, como solución a una problemática interna, utilizando estrategias que puede ofrecer la ingeniería mecánica .

## 1. ANTECEDENTES

A nivel mundial se han realizado investigaciones las cuales han sido dirigidas a la búsqueda de información dentro de los años 2000 y 2021, donde afirma que los países desarrollados que cuentan con tecnologías avanzadas direccionan sus esfuerzos a la optimización del uso racional de la energía eléctrica, reducción de gases de efecto invernadero y principalmente la sostenibilidad de la industria del cemento, con la finalidad de reducir costos operacionales. En comparación a los países subdesarrollados que se puede observar una menor investigación en estos campos gracias a ciertos obstáculos como puede ser de tipo tecnológico y económico.

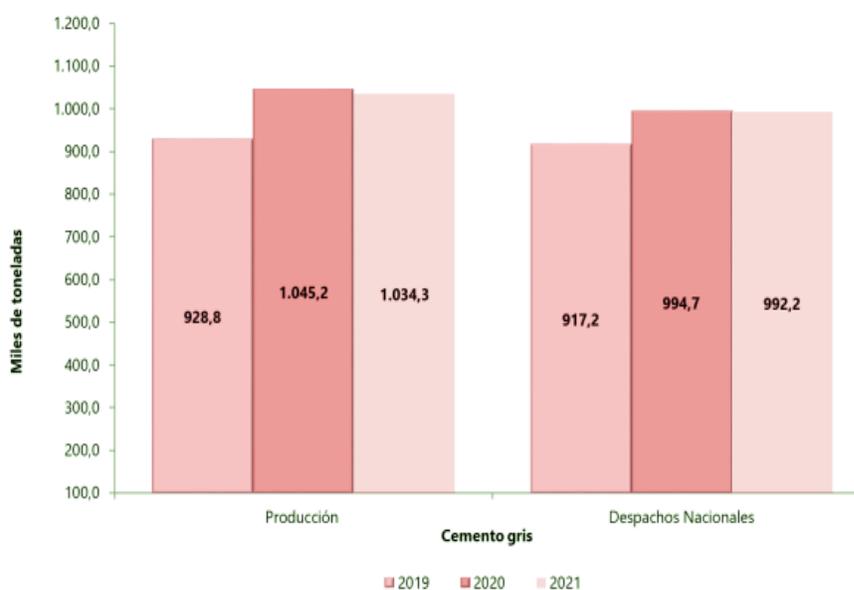
La industria del cemento siempre estará en constante avance enfocándose principalmente en la innovación, sistemas energéticos dirigidos a mejorar las necesidades en cada componente de instalación de plantas que implementen energías renovables , optimización energética , inversión en I+D ; diseñando estrategias para lograr una mayor competitividad , eficiencia en la cadena de producción del cemento y sostenibilidad. (Aristizabal & Gonzales, 2021)

El cemento hace parte de uno de los insumos más importantes en la industria de la construcción en Colombia, ya que es utilizado en la edificación de obras de infraestructuras y casas, lo que quiere decir que debe cumplir con especificaciones técnicas de resistencia, calidad, y estabilidad.

El sector cementero está influenciado por políticas de tipo regional en Cuanto a la distribución, asignación de precios y lo más relevante el tema de producción (Peña & Ari, 2016)

Según datos registrados por el DANE se obtuvo como resultado que la producción de cemento gris en Colombia tiende a crecer en el segundo semestre del años en comparación el primer semestre; además se puede evidenciar que el 95% del cemento producido es comercializado en el país , dicho en otras palabras este es un producto no transable ya que su finalidad no está direccionada a ser exportado o importado, debido a que cuenta con un peso considerable y bajo precio por unidad, lo que puede generar un costo mayor si se transporta a largas distancias. (Vera, 2019, p.66)

**Figura 1- Producción y despachos de cemento gris (miles de toneladas) Total nacional Enero (2019 – 2021p)**

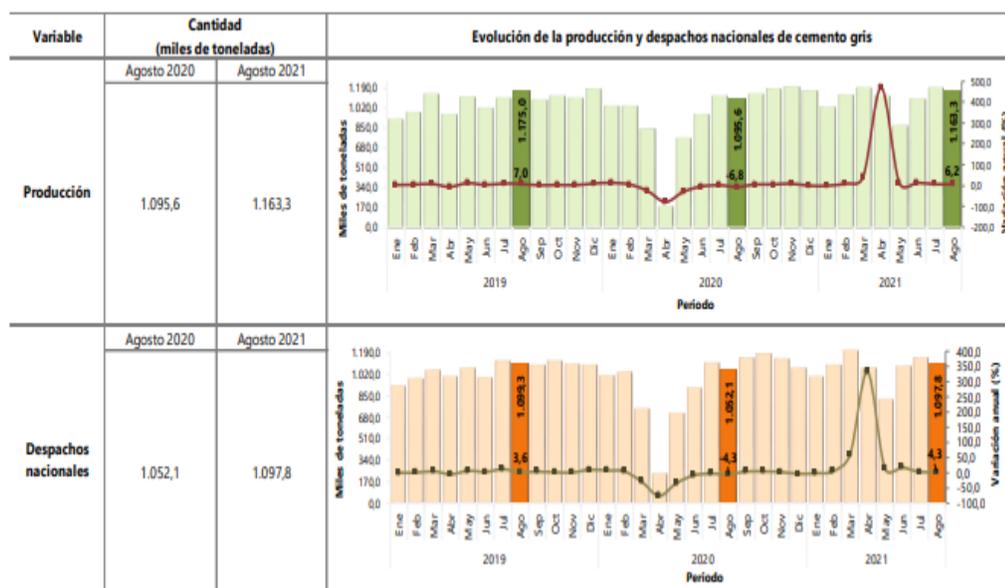


**Nota:** DANE, EGG 2021

En esta gráfica puede observarse que para el 2021, la producción de cemento gris a nivel nacional fue de 1.043,3 miles de toneladas, demostrando un decrecimiento de 1,0% en

comparación al año 2020. Sin embargo la industria cementera sigue siendo importante en el sector de la construcción mostrando un comportamiento estable. (DANE, 2021)

**Figura 2 Producción y despachos de cemento gris (miles de toneladas y variación anual) Total nacional. Enero (2019)- agosto (2021)**



**Nota:** DANE, EGG 2021

En esta tabla se puede observar que en agosto de 2021 el comportamiento de la producción de cemento gris a nivel nacional fue de 1.163,3 miles de toneladas, mostrando un crecimiento del 6,2% en comparación con el mes de agosto del año 2020 donde se despacharon 1.097,8 miles de toneladas de cemento gris con un incremento de 4,3% frente al mes de agosto del año 2020. (DANE, 2021)

Se puede evidenciar que la producción y despacho nacional sigue mostrando incremento, ya que la industria del cemento seguirá con la misma tendencia de aumento, ya que este producto es de vital importancia en el sector de la construcción.

En 1934 nace en Colombia Cementera Argos en Medellín cuyo nombre proviene de sus fundadores de los señores Arangos, llegando a producir 50 toneladas diarias. En 1982 se constituyó Cementos Rio Claro, y en 1937 se constituyó Cementos del Nare, mientras que por la misma época se adelantaron obras para la instalación de una planta hidroeléctrica en la orilla izquierda del Río Nare. En febrero de 1943 se dio la primera producción de cemento gris en la fábrica de Cementos del Nare, con 250 toneladas diarias de capacidad; esa fábrica trabajó hasta 2001 cuando se suspendió la producción de cemento gris. En 1955 se cumplió allí mismo el sueño de los fabricantes de cemento del occidente del país de producir cemento blanco, con una capacidad de 82 toneladas diarias.

Argos, con la colaboración de unos industriales barranquilleros entre ellos Ángel Palma, Julio Mario y Luis Felipe Santodomingo constituyó en Barranquilla Cementos del Caribe, en un sitio denominado Las Flores, en la orilla izquierda del río Magdalena en 1949 se encendieron los dos hornos para producir 350 toneladas. (Osorio, s.f.)

En Colombia la empresa Argos ha venido desarrollado un avance en cuanto a su modelo de negocios, y mejoramiento en la parte de producción logrando a producir 21,5 millones de toneladas de cemento por año y 18 millones de m<sup>3</sup> en la producción de concreto (Velez, 2017, p.73)

El comportamiento de la industria del cemento siempre estará en constante desarrollo debido, a la competencia constante entre las empresas cementeras más importantes a nivel nacional.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta Argos ubicada en Zona Franca de Cartagena (molienda de cemento 7, descarga de silos de Clinker, zona de adiciones), inicialmente fue diseñada para la fabricación del cemento con especificaciones técnicas para ser un producto tipo exportación con una mezcla de 90% clínker y 10% adictivos; luego de un tiempo se replanteó el nicho de mercado al que iría direccionada la producción ,decidiendo fabricar cemento para venderlo en Colombia esto ocasionó cambios en los estándares de calidad y producción según la reglamentación y normatividad colombiana.

Las características de este tipo de cemento de uso general se modificaron a un 60% Clinker y 40% adictivo. Este cambio trajo serias consecuencias ya que aumentó el volumen de descarga del silo a la banda transportadora, generando esfuerzos en el desplazamiento haciendo derramar el producto; y debido a esto se incrementó los costos en horas hombre, ineficiencia en el rendimiento del equipo, mayor impacto ambiental y aumento del mantenimiento programado.

Cabe resaltar que actualmente en Colombia se destacan 5 empresas que son: Cemex, Holcim, cementos del oriente y cementos Tequendama; y que junto con la Empresa Argos se puede decir que compiten en precios y calidad dentro del mercado, teniendo en cuenta esta información, no es pertinente que la plata de producción de cemento Argos antes mencionada presente ineficiencia en la elaboración del cemento debido a las consecuencias negativas que esto pueda traer.

Una investigación realizada de la empresa Tequendama realizó diagnósticos de producción del cemento, para entender con mayor detenimiento el funcionamiento de las características de la planta y la maquinaria implicada en el proceso, además de la función que cumple en las diversas etapas abordando el impacto ambiental y las mejoras enfocada en la calidad del producto; es por eso que se tomará como referencia para la presente investigación (Sanabria, 2018)

La investigación citada gira en torno de las propiedades mecánicas de adhesión en la fabricación de cemento, teniendo en cuenta que su problemática se presenta en la falencia del producto final; ya que presentaba quebramiento cuando se secaba la mezcla y con bajo rendimiento de la resistencia a la tracción, lo que quiere decir que no contaban con el debido control de calidad en el proceso de producción ocasionando un incremento en los costos de producción. (Chipana & Luna, 2018)

Se tendrá en consideración esta investigación ya que pretende estudiar las mejoras en el incremento de la productividad en la empresa Mixercon S.A., debido a que su problemática interna permitió que se enfocaran sus esfuerzos en el mantenimiento preventivo ya que impacta directamente en la disminución de tiempos en la producción, observando el comportamiento del molino para el debido análisis en la fabricación del cemento. (Armas, 2020)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Establecer un diseño mecánico y funcional de una cuchilla restrictora que permita graduar el volumen de Clinker descargado del silo a la banda, facilitando el control de calidad durante la fabricación del cemento.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Analizar el comportamiento del sistema de cuchillas y procesos implicados en la descarga de Clinker hacia el silo para mejorar la producción.
- ✓ Desarrollar el diseño y análisis mecánico correspondiente de la nueva cuchilla restrictora en la descarga del silo, para aumento de adiciones en la fabricación del cemento.
- ✓ Analizar datos extraídos de la producción para determinar la mejora en la calidad del proceso.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Los investigadores de este proyecto se enfocaron en realizar estudios, con la finalidad de profundizar en el análisis de los componentes incluidos en la transformación de la materia prima para la fabricación del cemento, analizando la calidad del producto final; resaltando aquellos elementos y oportunidades en la mejora de la producción teniendo en cuenta las investigaciones correspondientes direccionado a dar soluciones estratégicas a la problemática mencionada anteriormente.

Se implementará una solución en pro de mejorar la eficiencia, seguridad y optimizar procesos en la planta de la empresa Argos ubicada en la Zona Franca de Cartagena, (específicamente en la zona de adiciones de molienda de cemento 7); teniendo en cuenta la línea de investigación direccionada al diseño mecánico, a través de los conocimientos ingeniería mecánica para así poder realizar una mejora a dicho equipo (banda transportadora pesadora 532.BE400).

Además se hará énfasis en el uso de herramientas tales como softwares: SolidWorks, fusion360, Auto Cad y Excel para explicar el diseño de la estructura mecánica de la maquinaria que juega un papel muy importante en la producción; a través del análisis del comportamiento de la producción basado en datos estadísticos que facilita su correspondiente evaluación.

Por otro lado se llevará a cabo una comparación en el antes y después de la adaptación de la cuchilla restrictora diseñada; teniendo en cuenta elementos de ingeniería mecánica y automatización, con la finalidad de ser un estudio de gran ayuda a otras empresas que fabrican cemento y tengan problemáticas similares a las que se piensa abordar con detenimiento.

## 5. MARCO TEORICO

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 31 se especifican las respectivas definiciones relacionadas con la fabricación de los tipos de cementos. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC] ,1982)

### 5.1 Definiciones

**5.1.1 Cemento:** El cemento se define como un material que cuenta con propiedades adherentes con la principal función de adherir piezas sólidas, e integrar dichos componentes de forma duradera y resistente al tener contacto con el agua.

**5.1.2 Propiedad hidráulica:** Este material tiene la capacidad de endurecer y fraguar mediante la mezcla con agua.

**5.1.3 Propiedad puzolánica:** Gracias a que es un material pulverizado al ser mezclado con agua puede transformarse químicamente, debido al hidróxido de calcio que da lugar a tener propiedades hidráulicas.

Teniendo en cuenta la norma el cemento es un material triturado que contiene minerales calcáreos que pueden ser la caliza, sílice, alúmina que por lo general están incluidos en la arcilla; oxido de calcio, y óxido de hierro, con adición de agua la cual permite convertirse en una pasta que luego puede ser capaz de solidificarse en el agua y el aire; excluyendo las canales aéreas, yesos y canales hidráulicas.

Las siguientes definiciones facilitan el entendimiento de los diferentes tipos de cementos que se manejan en la industria del cemento.

**5.1.4 Clinker:** es un material en forma de gránulos que se obtiene luego de un proceso de cocción a una temperatura de 1.400°C, dentro de las principales materias primas están las de composición calcárea y arcilla, anteriormente convertidas en polvo y respectivamente homogeneizadas y proporcionadas; además de esos materiales también componentes tales como silicatos , alumenoferritos de calcio y aluminatos.

**5.1.5 Clínger Portland:** Se define como Cemento en forma de gránulos compuestos principalmente por silicatos, ferroaluminatos de calcio, aluminatos, luego de la cocción se obtiene una mezcla de los materiales agrupados.

**5.1.6 Clínger Aluminoso:** Está conformado en gran parte de aluminato de calcio como resultado de ser mezclada y homogeneizada, luego de la selección del Clinker proveniente del óxido de aluminio y óxido de hierro.

**5.1.7 Escoria Granulada de alto horno:** Es el resultado del procesamiento de minerales de hierro sometido a altas temperaturas dentro de un horno en forma de gránulos al ser enfriados súbitamente.

**5.1.8 Puzolana :** Hace referencia al material sílico-aluminoso o silíceo, proveniente de material en estado natural es decir rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas entre otras; material calcinado como algunos esquistos y arcillas y por ultimo materiales artificiales como cenizas volantes y oxido de silicio precipitado.

Es necesario con conocer los tipos de cementos con adiciones según NTC 31 que son:

## **5.2 Tipos de Cementos**

**5.2.1 Cemento portland Puzolánico:** producto resultante de la pulverización del Clinker Portland y puzolana con adición de sulfato de calcio.

**5.2.2 Cemento de Escoria de alto Horno:** producto obtenido de la pulverización incorporada de Clinker y escoria en gránulos en partículas finas para luego agregar adición de sulfato de calcio según lo requiera.

**5.2.3 Cemento Siderúrgico o Supersulfatado:** producto que se obtiene como resultado de la pulverización de escoria granulada de alto horno, con adición de cantidades pequeñas de cemento Portland, Clinker Portland, cal hidratada y cantidades específicas de sulfato de calcio teniendo en cuenta que el porcentaje de escoria debe ser por encima de 70% presente en la masa total según la norma NTC 31.

**5.2.4 Cemento Aluminoso:** conocido también como cemento fundido, es proveniente de la mezcla de materiales calcáreos y aluminosos para luego ser pulverizados; dentro de las cuales se usa en su fabricación la bauxita y caliza.

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 121 del año 2014, menciona las especificaciones que debe tener el cemento hidráulico para tener un buen desempeño; garantizando el tiempo de duración del cemento, fácil manejo en las obras de construcción y cuenta con aplicaciones de políticas de sostenibilidad a favor del medio ambiente.(INCONTEC,2014)

Según NTC 121 existen varios tipos de cementos de acuerdo con las características especiales los cuales son:

*Tabla 1 Tipos de Cemento Hidráulicos*

<b>TIPOS DE CEMENTOS HIDRÁULICOS SEGÚN NORMA NTC 121</b>	
<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
UG	Cemento hidráulico particularmente usado en constricciones de obras en general(Usó General)
ART	Alta Resistencia Temprana
MRS	Moderada Resistencia a los Sulfatos
ARS	Alta Resistencia a los Sulfatos
MCH	Moderación Calor de Hidratación
BCH	Bajo Calor de Hidratación

**Nota:** el Autor

Para esta investigación se tomará las características del tipo de cemento UG fabricado por la empresa Argos que cumple con los valores de la Norma Técnica Colombiana NTC 121.

Dentro de los principales usos de este tipo de cemento se pueden mencionar: elaboración de nivelaciones, morteros para pisos, lechadas, reparaciones, fabricación de elementos prefabricados, morteros para mampostería, pegado de cerámicos, acabados, enchapes, fachadas, entre otros. (Argos, 2020)

Las presentaciones que manejan son: sacos de 1 kg- 5 kg – 25 kg – 50 kg

**Figura 3 Imagen de Cemento Tipo UG**



**Nota:** Cemento Argos Colombia .Fuente: <https://colombia.argos.co/cemento-gris/>

**Tabla 2 Especificaciones Técnicas del Cemento**

PARÁMETROS FÍSICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO UG
Finura	Blaine, min. (cm <sup>2</sup> /gr)	NTC 33	A
	Retenido Tamiz 45 μm (%)	NTC 294	A
Cambio de longitud por autoclave, expansión, máx. (%)		NTC 107	0.80
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat <sup>a</sup>	No menos de, minutos	NTC 118	45
	No mas de, minutos	NTC 118	420
Contenido de Aire en Volumen de mortero, máx. (%)		NTC 224	12
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx.		NTC 4927	0.020
RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN (MPa)			
3 días		NTC 220	8.0
7 días		NTC 220	15.0
28 días		NTC 220	24.0

A: Los resultados de estos ensayos deben ser informados en todos los reportes que sean solicitados.

B: El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTC 118.

**Nota:** Cemento Argos Colombia. Fuente: <https://colombia.argos.co/cemento-gris/>

### 5.3 Aditivos

Se define como aditivos aquellos ingredientes que se adicionan en la elaboración del concreto o mortero que junto con el agua, agregados, fibra de refuerzo cuando lo requiera, y cemento hidráulico, son agregados a la mezcla ya sea antes o durante el proceso. Estos materiales juegan un papel muy importante en la calidad del concreto, es por eso que la norma técnica colombiana explica el uso adecuado para la fabricación del concreto según las necesidades en el mercado.

La empresa Argos tiene en cuenta la norma NTC 1299 que ofrece las especificaciones de los aditivos en la elaboración del concreto, permitiendo una mayor versatilidad en obras de construcción, para así evitar futuros inconvenientes. Dependiendo el aditivo usado se puede lograr mejorar las características del concreto ya sea una mayor durabilidad, mejor resistencia evitando posibles fisuras. Existen ciertos aspectos que condicionan la funcionalidad del aditivo tales como: cantidad del cemento, tipo de aditivo, cantidad de agua, tiempo de mezclado, granulometría entre otros. (Silva, s.f.)

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 1299 se encuentra registrada la información concerniente a los aditivos químicos para concreto; esta norma establece los materiales usados para la mezcla de concreto hidráulico los cuales son:( INCONTEC, 2008)

**Tabla 3 Tipo de Aditivos para el Concreto**

<b>TIPOS DE ADITIVOS PARA CONCRETO</b>	
Tipo A	Adictivos reductores de agua
Tipo B	Aditivos retardantes
Tipo C	Aditivos acelerantes
Tipo D	Aditivos reductores de agua y retardantes
Tipo E	Aditivos reductores de agua y acelerantes
Tipo F	Aditivos reductores de agua de alto rango
Tipo G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Nota: el autor

**5.3.1 Aditivo reductor de agua:** Se define como un aditivo que reduce la cantidad de agua empleada al momento de efectuar el mezclado usado en la producción de concreto dependiendo de la consistencia requerida.

**5.3.2 Aditivo retardante:** Este tipo de aditivo permite retardar el fraguado del concreto, es decir prolonga el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del cemento al momento de ser manipulado.

#### **5.3.3 Aditivo acelerante**

: Este aditivo tiene la propiedad de hacer lo opuesto al anteriormente mencionado ya que acelera el fraguado y el proceso de resistencia temprana del concreto.

**5.3.4 Aditivo reductor de agua y retardante:** Este aditivo que disminuye la cantidad de agua al momento de mezclar el cemento utilizado que genera un concreto según la consistencia requerida, y además retarda el proceso de endurecimiento del concreto.

**5.3.5 Aditivo reductor de agua y acelerante:** Es un aditivo que hace menor la cantidad de agua en la ejecución de la mezcla necesaria para producir un concreto dependiendo de la consistencia deseada pero además agiliza el fraguado y la resistencia temprana del concreto.

**5.3.6 Aditivo reductor de agua, de alto rango:** Es considerado como un aditivo que hace menor la cantidad de agua al momento de hacer la mezcla necesaria para producir un concreto de una consistencia proporcionada a partir de un 12 % o más.

**5.3.7 Aditivo reductor de agua, de alto rango y retardante:** Es un aditivo que reduce la cantidad de agua en el mezclado empleada para producir un concreto con una consistencia del 12 % o más que hace que el proceso de endurecimiento del concreto se retarde.

#### **5.4 Principales Normas De Producción Del Cemento En Colombia**

A continuación se hará una breve explicación de las principales normas, leyes y decretos que regulan la producción del cemento con altos estándares de calidad.

**5.4.1 Ley 99 De 1993** (Ley General Ambiental de Colombia ) ART 1° tiene como objeto la regulación de la prohibición de desechos tóxicos y peligrosos al territorio nacional , además de establecer políticas para el manejo integral de los desechos generados en los diferentes procesos de producción , gestión y su respectivo manejo ; de igual manera también regula la infraestructura de autoridades aduaneras , zonas francas y portuarias con la finalidad de detectar las posibles infracciones en la parte técnica y científica de la introducción de estos residuos.( Ley N° 99, 1993)

**5.4.2 Decreto 2811 Del 18 De Diciembre De 1974** (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente). Según ART 2 especifica el objeto del presente código:( Decreto N° 2811, 1974)

1 Lograr la conservación y restauración del ambiente con la finalidad de conseguir el mejoramiento y al mismo tiempo establecer un buen uso de los recursos naturales renovables, teniendo en cuenta criterios de equidad que aseguren el desarrollo integral del hombre.

2. Prevenir y controlar malas prácticas que causan daños en la extracción de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos.

3. Regular la conducta humana según la actividad de la administración pública, relacionado con el ambiente y de los recursos naturales renovables que pueden ser aprovechados y preservados.

**5.4.3 Resolución 1173 De 1999** (Ministerio del Medio Ambiente). El objetivo de esta resolución es establecer los términos de referentes a la elaboración del Plan de Manejo Ambiental relacionado con la minería de materias primas y/o procesos para la fabricación de cemento. (Resolución N° 1173, 1999)

**5.4.4 Resolución 2309 De 1986** (Ministerio de Salud). Tiene por objeto esta resolución establecer las disposiciones generales en el manejo sanitario en cuanto al uso y transporte de los Residuos Sólidos; el Ministerio de Salud reglamenta todo el sistema de recolección, transporte y disposición final de basuras alrededor del territorio colombiano.(Resolución N° 2309, 1986)

Particularizado con el proceso de fabricación del cemento dicha resolución debe tenerse en cuenta con la finalidad de saber cuál es la mejor forma de darle tratamiento a los residuos sólidos a lo largo de cada etapa de la fabricación.

**5.4.5 Decreto 2222 De 1993.** El presente decreto expedido por el Reglamento de Salud Ocupacional en Labores Mineras a cielo Abierto, se dirige al seguimiento, vigilancia

y control en cada una de las actividades mineras a cielo abierto efectuadas en el territorio nacional , con la finalidad de preservar las condiciones de seguridad e higiene Industrial en las minas.( Decreto N° 222, 1993)

Las empresas que efectúan estas actividades deben regirse por este decreto y en el caso específico de la empresa ARGOS está sometida al cumplimiento ya que desarrollan labores mineras a cielo abierto dentro del territorio colombiano.

**5.4.6 Decreto 1356 De 1984** (La Republica de Colombia dicta disposiciones sobre protección a la industria y al trabajo nacionales). En este decreto se menciona la preferencia a la industria nacional como incentivo a la producción frente a empresas internacionales, donde los contratos que se efectúen sean por entidades departamentales , municipales , el Distrito Especial de Bogotá y entidades descentralizadas ; las cuales debe preferirse la producción industrial y ofertas de servicios nacionales. (Decreto N° 1356,1984)

**5.4.7 Decreto 901 De 1997** (Ministerio del Medio Ambiente). El presente decreto consiste en la reglamentación de las tasas retributivas por el uso directo o indirecto del agua con el objetivo de ser receptor de los vertimientos puntuales y da a conocer las tarifas correspondientes. (Decreto N°901, 1997)

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 Tipo de estudio**

**Metodología exploratoria:** Permite analizar desde una perspectiva más general para luego particularizar en la problemática interna de la empresa Argos Zona Franca - Cartagena, en la etapa del proceso de producción que se ve afectada en el transporte del Clinker y la adición de aditivos para el mejoramiento de la calidad del producto final. Mediante la aplicación de este método se pretende establecer el registro y el comportamiento antes y después de la aplicación del diseño de la cuchilla restrictora en la fabricación del cemento.

Durante el desarrollo de la investigación se analiza los diferentes aspectos que van direccionados al mejoramiento y el impacto con respecto a la optimización en la producción, identificando las alternativas para mejorar los tiempos óptimos, reducción de los costos y aprovechamiento de los recursos.

Basado en el método cualitativo facilita el manejo de la información teniendo en cuenta los contrastes para luego comparar la producción del cemento teniendo en cuenta las adaptaciones y mejoramiento en el proceso en general.

### **6.2 Fuentes de información**

En esta investigación se utiliza dos fuentes de información que brindan el soporte a la recolección de los datos, los cuales son:

#### **6.2.1 Primarias**

estudios investigativos, documentos internos, entrevistas a personas en el área de producción.

### **6.2.2 Secundaria:**

artículos científicos, datos estadísticos, análisis de software de diseño mecánico, documentos e información direccionado al mejoramiento de los procesos de producción del cemento.

## **6.3 Metodología según el objetivo**

### **6.3.1 Objetivo Especifico 1:**

en este apartado se estudia el comportamiento del sistema de cuchilla implementando un Modelo Hombre Máquina, el cual permite observar el tiempo del operario teniendo en cuenta la relación en las operaciones, con la finalidad de encontrar procesos innecesarios y aplicar mejoras a los requeridos. Posteriormente efectúa un estudio de control donde se pretende extraer datos de producción, para realizar gráficas las cuales permiten ver el nivel de calidad que presenta la máquina actual. Por último, un análisis en la estructura original de la cuchilla y su funcionamiento para obtener información de vital importancia con la finalidad de idealizar el diseño mecánico.

### **6.3.2 Objetivo Especifico 2:**

en esta etapa se realizan mediciones, cálculos y adaptaciones mecánicas que ayuda en la elaboración de un nuevo diseño más resistente, práctico y económico que logre el cumplimiento de las especificaciones establecidas para el cemento tipo UG, que permite controlar la producción de Clinker para otros tipos de cemento, logrando el aumento o reducción de aditivos. En este proceso puede integrarse un sistema piñón-cremallera que consiste en el manejo del control en el posicionamiento de la chuchilla restrictora. En la elaboración del prototipo se pretende usar herramientas como SolidWorks, fusion360, Auto Cad y Excel entre otros softwares ingenieriles para la elaboración del diseño.

Por otro lado con ayuda de las herramientas anteriormente mencionadas, se da paso a la aplicación de simulaciones que permitan ver el comportamiento del diseño con el material establecido al momento de estar en función, posteriormente se aplica los análisis estáticos y dinámicos que permitan calcular datos que determinen la eficiencia del modelo.

### **6.3.3 Objetivo específico 3:**

en esta fase se hace una comparación entre los datos antes y después de la reforma de la cuchilla obtenidos por el Diagrama Hombre Maquina y los gráficos de control de calidad, para ver la mejora que proporciona el nuevo diseño en el tiempo de trabajo, para identificar que tan controlado está el proceso y si cumple con las especificaciones establecidas.

## **7. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO**

Es necesario mencionar el proceso de fabricación del cemento en general para entender la cadena productiva que cuenta con una serie de operaciones de vital importancia, que implica una acción planificada y sistemática en cada una de las etapas de transformación de los materiales.

Cada etapa durante la fabricación consta de operaciones de diseño, distribución, producción que se integran, las cuales llevan una secuencia que se conecta entre sí para tales como recursos tecnológicos, económicos, físicos y humanos; donde se explica de manera general todo el proceso desde la extracción de la materia prima hasta la etapa de manufactura, para luego particularizar en la etapa donde se presenta la problemática a estudiar. (Campo & Meriño, s.f)

### **7.1 Etapa 1: Extracción, Recepción y almacenamiento de materias primas**

Se inicia desde la cantera por medio de la minería donde se efectúa según las medidas legales de explotación registradas en las normas colombianas, para llevar a cabo el proceso de extracción usando máquinas perforadoras de alto rendimiento, soportada por voladuras de gran tamaño, para luego transportar principalmente las materias primas derivadas de la caliza, arcilla y hierro en camiones que se dirigen a la planta industrial para luego ser recibidos y almacenado en silos.

***Figura 4 Panorama de una Cantera***



Nota: video sobre la fabricación del cemento Argos.  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

***Figura 5 Panorama de Bandas transportadoras de la materia prima***



Nota: Blog de Argos Planta en Cartagena  
Fuente: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/planta-cartagena-linea-4>

Transporte de estas materias primas a través de volquetas las cuales son dirigidas hacia las bandas transportadoras, para continuar con el siguiente procedimiento.

## 7.2 Etapa 2: Dosificación y pre homogenización

Después de su correspondiente almacenamiento en los silos preparadas para la siguiente etapa en la fábrica; se procede a la dosificación de los componentes. La materia prima es pasada a otra etapa de chancado y triturado con la finalidad de reducir las de tamaño y pueda dirigirse a otros molinos de crudo para ser procesada.

Luego sigue la etapa de pre homogenización, en la cual se hace la mezcla de la caliza y las rocas previamente molidas para agregar más materias primas tales como: arcilla, sílice, hierro y albúmina.

*Figura 6 Bandas transportadoras internas en el proceso de Prehomogenización*



**Nota:** video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

## 7.3 Etapa 3: Molienda del crudo

Según sea el caso puede realizarse la molienda en seco o húmedo. En el proceso de vía seca debe extraerse toda la humedad del crudo previamente a las técnicas de moliendas. Esto quiere decir que el secado de este material es necesario el uso de gases de escape del horno. Luego el crudo es dirigido a otros molinos en varios escalones que lo reducen en un polvo más fino.

La materia prima va mejorando su calidad en cada proceso, después que salen del molino por medio de la succión de un ventilador estos componentes pasa por un filtrado atreves del cual pasa el aire, pero no el material molido que luego es descargado a tornillos sinfín y posteriormente hacia la banda por medio de un elevador que lo transporta al silo de homogeneización.

***Figura 7 Molinos de gran tamaño del crudo***



Nota: video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

#### **7.4 Etapa 4: Homogeneización**

En esta etapa las materias primas resultantes deben tener las especificaciones adecuadas para proceder a la fabricación del Clínter, para luego continuar con la cocción; la homogeneización facilita la mezcla de todos los componentes del crudo. Existen dos tipos de procesos que son: proceso húmedo la mezcla de la materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y en el proceso seco la materia prima es dirigida a patios donde se encuentran unas maquinarias específicas.

El proceso seco cuenta con una mayor eficiencia ya que cuenta con un buen control químico y además ofrece un menor consumo de energía debido a que no necesita eliminar

agua agregada, con la finalidad de mezclar los materiales en el horno reduciendo el tiempo de cocción del Clínter.

**Figura 8** Panorama del proceso de homogenización y adición de otras materias primas



**Nota:** video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

### **7.5 Etapa 5: Pre calcinación**

Luego sigue la mezcla de materias primas en otro proceso expuesto a altas temperaturas para ser pre calcinado para hacer menor la variabilidad de la composición química del material, con el objetivo de conseguir mayor uniformidad en la mezcla y lograr un mejor uso de las materias primas que no están homogenizadas.

### **7.6 Etapa 6: Clinkerización**

Dicha materia prima luego de ser pre calcinado se ingresa a un horno rotatorio en el cual se logra una temperatura de 1450°C, y se forman las partículas granuladas logrando ofrecer al cemento la actividad hidráulica. Después se somete a un proceso de enfriamiento.

El Clinker que está almacenado pasa a ser despachados para luego ser molido junto con otros materiales adicionales como son yeso, escoria y caliza; los cuales aumentarán las propiedades hidráulicas y de fraguado del cemento.

***Figura 9 Panorama de hornos rotatorios en el proceso de clinkerización***



**Nota:** video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

***Figura 10 Resultado del proceso de clinkerización , granulos de clinker***



**Nota:** video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

## 7.7 Etapa 7: Molienda del cemento

El producto derivado de la etapa anterior, llamado Clinker es llevado a otro molino que tiene revestimientos de acero con la finalidad de convertir esos gránulos pequeños en un polvo fino y posteriormente se agregan otros componentes como yeso y los aditivos según las especificaciones técnicas del producto final.

*Figura 11 Molino de rebestimiento de acero, proceso de molienda final*



**Nota:** video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

*Figura 12 Resultado de la molienda y mezcla de aditivos*



**Nota:** video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

## 7.8 Etapa 8: Almacenamiento del cemento

En esta etapa el producto final ya está listo para ser almacenado en silos donde luego se procede a ser empacado en sacos o para ser transportado en forma de granel en camiones. Es necesario que el almacenamiento se efectúe bajo techo para ser despachado a granel y luego ser distribuido en bolsas.

*Figura 13 Panorama de silos de almacenamiento del producto final*



Nota: video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

*Figura 14 Proceso de empacado del cemento*



Nota: video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

*Figura 15 Producto final cemento empacado*



Nota: video sobre la fabricación del cemento Argos  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KWz2KsUh33w>

## **8 DESARROLLO METODOLOGIA OBJETIVO 1**

### **8.1 Análisis del modelo hombre-máquina en la producción de cemento**

En el análisis Modelo Hombre-Máquina se pretende calcular los tiempos necesarios en maquinaria y mano humana para realizar el proceso estudiado, por medio de este cálculo se puede observar el costo por horas extras hombre, tiempos inactivos y operaciones innecesarias que afectan a la empresa Argos en cada una de sus moliendas con la finalidad de idealizar las soluciones pertinentes que permitan a una mejora en términos de calidad, rendimiento y costo.

Para esto determinamos cada una de las operaciones necesarias tanto hombre como máquina para realizar el proceso y a cada una de estas establecer el tiempo implementado para su realización. Para dicho análisis se utilizó un cronómetro tomando 15 muestras en cada operación, promediado con el objetivo de suministrar una aproximación a los siguientes datos.

**Tabla 4 Análisis en el tiempo de las operaciones**

<b>TIEMPO EN LAS OPERACIONES (minutos)</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>HOMBRE</b>	<b>MAQUINA</b>
Detención de la banda transportadora	20	20
Bloqueo del equipo y cierre al paso de corriente	15	-
Cuadre o posicionamiento requerido de la cuchilla para el cumplimiento de especificaciones	20	-
Arranque del equipo e inicio de la extracción de Clinker en la banda transportadora	5	45
Maquinado y descargue del proceso	450	450

Nota: el Autor.

**Tabla 5 Recolección de datos de la producción**

<b>DATOS EXTRAÍDOS DE LA EMPRESA</b>	
Toneladas por ciclo	900
Tiempo jornada (horas)	8
Precio hora extra(pesos)	30.000
numero de moliendas	4
numero de operarios	1

Nota: el Autor

Se tienen jornadas de trabajo de 8 horas hombre, La máquina genera un aproximado de 120 tn/h (toneladas por hora) de cemento y para lograr las toneladas establecidas por ciclo es necesario un tiempo de maquinado de aproximadamente 450 minutos (7,5 horas)

**Tabla 6 Análisis del modelo Hombre-Maquina**

<b>ANÁLISIS HOMBRE- MÁQUINA</b>		
<b>Producción actual</b>		
<b>Hombre</b>	<b>Maquina</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>Técnico encargado del proceso</b>	<b>Banda Transportadora</b>	
Descarga	Descarga	0
Detención	Detención	20
Bloqueo	Inactivo	25
Cierre corriente		35
Cuadre de cuchilla		60
Arranque	Arranque y carga	65
Inactivo		105
Tareas requeridas por el Procesos	Maquinado y descargue automático	555

Nota: el Autor

Arrojando un tiempo de ciclo de 555 minutos en cada producción de 900 toneladas de cementos, este tiempo sobrepasa la jornada laboral establecida por la empresa lo que conlleva a costos adicionales por horas extras a los técnicos encargados.

Calculo de datos que ayudan a entender cómo está el proceso antes del diseño de la cuchilla restrictora:

**Tabla 7 Datos del proceso de producción actualmente**

<b>DATOS CALCULADOS</b>	
Tiempo de ciclo (min)	555
Tiempo de ciclo (horas)	9,25
Producción toneladas por hora	97,2972973
Tiempo extra (horas)	1,25
Costo total por horas extras por ciclo	150000
Tiempo Maquina inactiva (min)	40
Tiempo hombre inactivo (min)	40

Nota: el Autor

Con esta información se observa que la empresa por ciclo debe pagar \$150.000 pesos por horas extras, por día se realizan aproximadamente 3 ciclos de producción lo que llevarían a un costo de \$450.000 pesos.

Otro factor que genera fallos en el proceso son los tiempos inactivos que tienen la máquina y el trabajador, estos son provocados por la detención del equipo al momento de adaptar la cuchilla para las especificaciones que se requiera en el ciclo de producción.

Gracias a los resultados del proceso se identificó las operaciones poco favorables, ya que generan gastos extras, disminuye la precisión en las especificaciones por tener poco control de la cuchilla y generan un riesgo para los trabajadores. Esto se produce debido a un diseño poco eficiente del equipo, puesto que en un principio estaba hecho para realizar cemento de una sola especificación y para modificar estas características debían soltar la cuchilla y acomodar al nivel deseado.

## **9. DESARROLLO METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECÍFICO 2**

Durante todo el proceso de análisis de los diferentes factores para la mejora en la producción, se estableció una comparación con dos modelos de cuchilla restrictora, permitiendo escoger la más viable en cuanto al sistema mecánico del equipo estudiado.

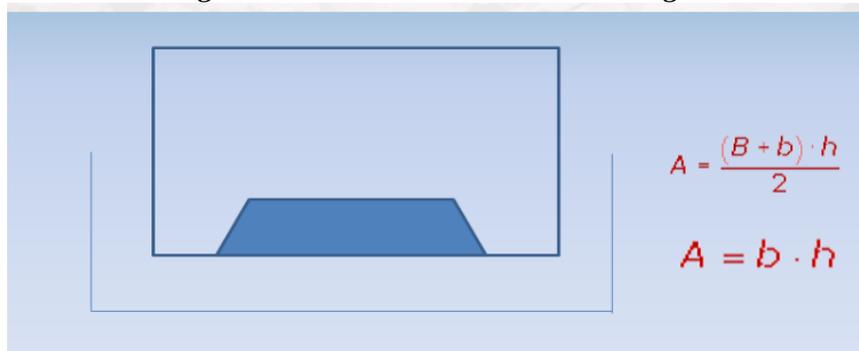
Principalmente es necesario observar el aspecto de la cuchilla antigua para tener claro que tipos de ajustes se realizaron posteriormente para los dos siguientes prototipos. Esta cuchilla hace parte del diseño original que vino con el equipo, enfocada en sacar un volumen bastante alto de clinker y agregar pocas adiciones, el motivo por el cual tiene esta figura es debido a los ángulos de reposo de clinker que permitía que tomara esa forma y fuese una cantidad mayor.

**Figura 16 Imagen de la cuchilla antigua**



**Nota:** el Autor

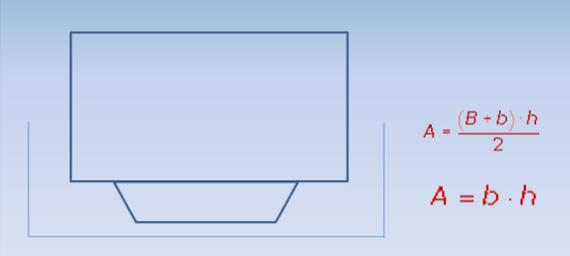
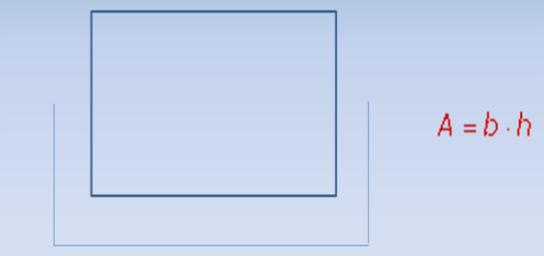
**Figura 17 Medidas de la cuchilla antigua**



**Nota:** el Autor

A continuación se puede observar dos prototipos de cuchilla restrictora que facilita el análisis al momento de comparar sus características, para escoger la mejor opción según la necesidad de optimizar la producción.

**Figura 18 Prototipos de diseño de la cuchilla restrictora**

Medidas del modelo de la cuchilla # 1	Medidas del modelo de la cuchilla # 2
 $A = \frac{(B+b) \cdot h}{2}$ $A = b \cdot h$	 $A = b \cdot h$

Nota: el Autor

Se diseñaron dos modelos los cuales tenían como objetivo que arrojaran la menor cantidad de clinker posible y mayor volumen de adiciones, estos fueron evaluados por el personal de operación y el personal mecánico, analizando con detenimiento la eficiencia de cada uno en la producción.

El modelo de cuchilla # 1 fue descartada ya que el área que reducía dejaba un espacio a los laterales, ocasionando que el material saliera y durante la producción se presentara derrames del mismo, desperdiciando gran cantidad de producto y por ende no se cumplía el objetivo deseado. Se evaluó el diseño teniendo en cuenta el modelo antiguo de la cuchilla con la finalidad de obtener un volumen mayor, pero no dio resultado por la granulometría del

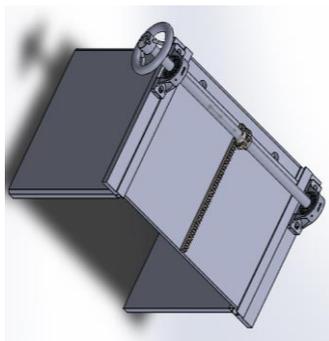
clinker debido al movimiento que tiene las bandas transportadoras, las vibraciones y la velocidad que se manejaba.

El modelo escogido fue **la cuchilla # 2** ya que se pudo bajar al máximo y la cantidad de material desperdiciado fue mínima en comparación al modelo anterior, gracias a que salía el material de forma rectangular sobre la banda transportadora permitiendo menor cantidad de clinker y gran volumen de adiciones al cemento.

### **9.1 Diseño del modelo mecánico de la nueva cuchilla restrictora**

Durante la elaboración del diseño se aplicaron las herramientas Solidworks y auto CAD realizando planos 2d, 3d y simulaciones, con la finalidad de lograr así un diseño óptimo capaz de solventar todas las necesidades presentes en el equipo. Para solucionar todos los inconvenientes que presenta el anterior diseño, se optó por una compuerta de forma rectangular; teniendo ahora solo dos áreas de contacto lo que permitirá que el material salga a una altura rectangular, dando espacio para mayor adición y permitiendo un mejor cálculo para alcanzar las especificaciones que cuenta con un mecanismo piñón-cremallera que permita graduar la altura deseada, además de la aplicación de dos cojinetes o chumaceras para un rodamiento eficaz.

***Figura 19 Cuchilla Restrictora***

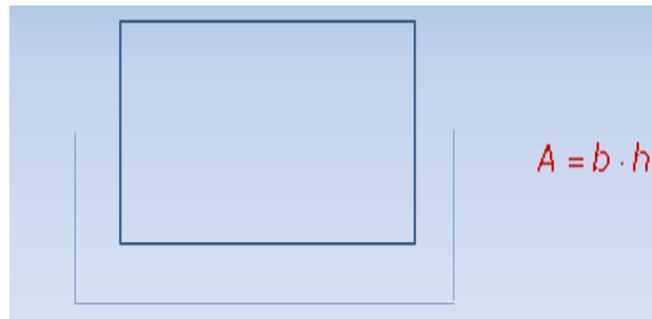


**Nota:** el Autor

### 9.1.1 Cuchilla restrictora o compuerta

Se encarga de extraer las cantidades de Clinker necesario dependiendo el tipo de cemento que se desea producir y las características determinadas, llenando a una altura la banda transportadora pesadora para posteriormente añadir aditivos y así conseguir un peso determinado por la producción.

*Figura 20 Calculo de la compuerta*

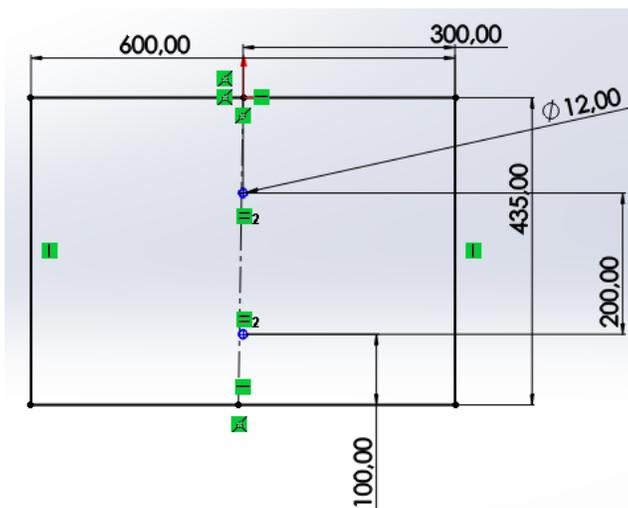


Nota: el Autor

### 9.1.2 Medidas optimas del modelo

Cuenta con unas medidas precisas al molde del equipo, usamos herramientas de precisión como: metro de cinta metálica, pie de rey y goniómetro que nos permitió calcular las dimensiones optimas del modelo.

*Figura 21 Medidas de la compuerta*



Nota: el Autor

## Cálculos

Área

$$A = B * H$$

$$A = 600mm * 435mm = 261000mm^2$$

Perímetro

$$P = 2(H + B)$$

$$P = 2(435mm + 600mm) = 2070mm$$

Cuenta con dos orificios para la adaptación del mecanismo mecánico específicamente la cremallera

$$\emptyset = 12mm$$

donde:

*A = Area de la cuchilla*

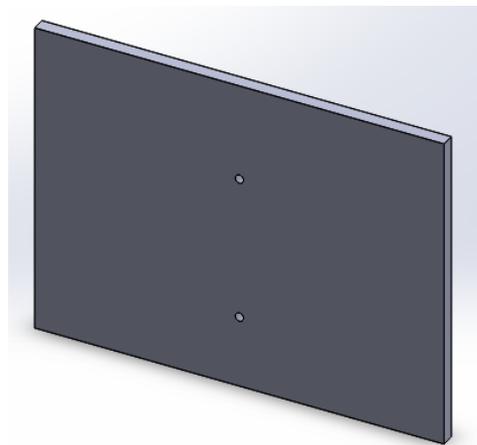
*B = base de la cuchilla*

*H = Altura de la cuchilla*

*P = Perímetro de la cuchilla*

*∅ = Diámetro de orificios*

**Figura 22 Modelo 3d de la compuerta (diseñado con la herramienta solidworks)**

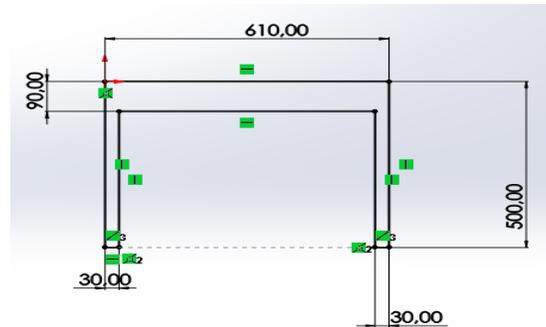


**Nota:** el Autor

### 9.1.3 Carcaza

Es el tronco del diseño, gracias a esto es posible adaptar esta reforma de la cuchilla y el mecanismo que permitirá la traslación vertical de la compuerta sin perder su posición inicial.

**Figura 23** *Medidas de la carcaza*



**Nota:** el Autor

### Medidas

Área

$$A = B * H$$

$$2A1 = 2 * (30mm * 410mm) = 24600mm^2$$

$$A2 = 610mm * 90mm = 54900mm^2$$

$$At = 600mm * 435mm = 79500mm^2$$

donde:

$A1$  = Area frontal superior de la carcaza

$A2$  = Area frontal laterales de la carcaza

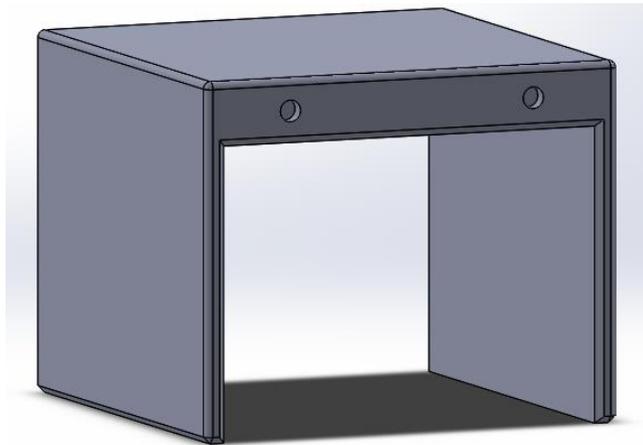
$At$  = Area frontal

$B$  = base

$H$  = Altura de la cuchilla

$\emptyset$  = Diametro de orificios

*Figura 24 Modelo 3d de la Carcaza*

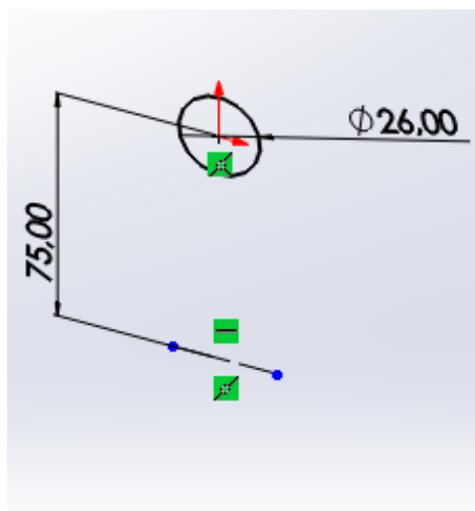


**Nota:** el Autor

#### 9.1.4 Volanta

Cuenta con la función de recibir la fuerza del operario, generando un movimiento lo que hace que se transmita la energía suficiente para el funcionamiento del mecanismo piñón-cremallera que a su vez genera la traslación de la compuerta.

*Figura 25 Medidas de la volanta*



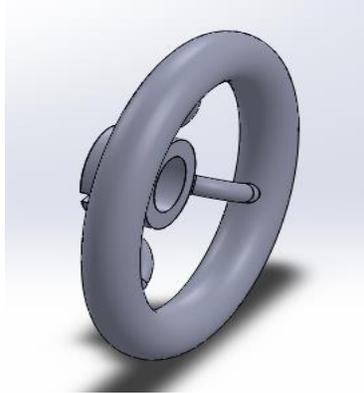
**Nota:** el Autor

## Medidas

*Diametro interno = 26mm*

*Radio externo = 75mm*

**Figura 26 Modelo 3d de la Volanta**

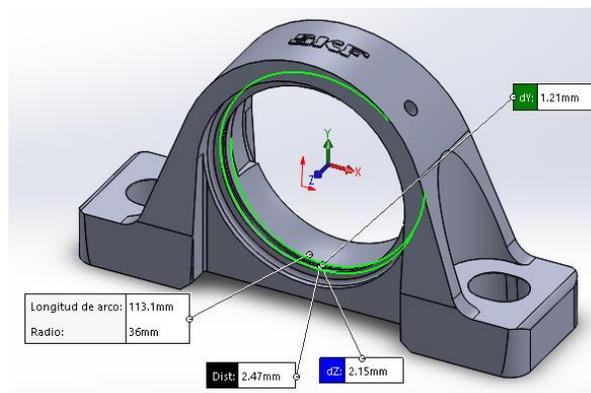


**Nota:** el Autor

### 9.1.5 Chumacera

Este cojinete permite el rodamiento y punto de apoyo al eje de rotación permitiendo graduar la altura de la compuerta al momento de hacer los cambios en las especificaciones del cemento que se desea realizar. Se utilizó la UKP 207 K/H, esta cuenta con soporte de pie con rodamientos de bolas.

**Figura 27 Modelo 3D Chumacera**

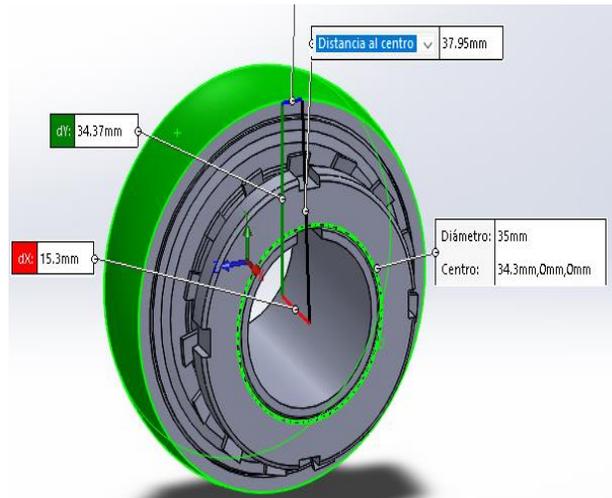


**Nota:** el Autor

*Longitud del arco = 113,1mm*

*Radio de eje = 36mm*

**Figura 28 Rodamiento de chumacera**



**Nota:** el Autor

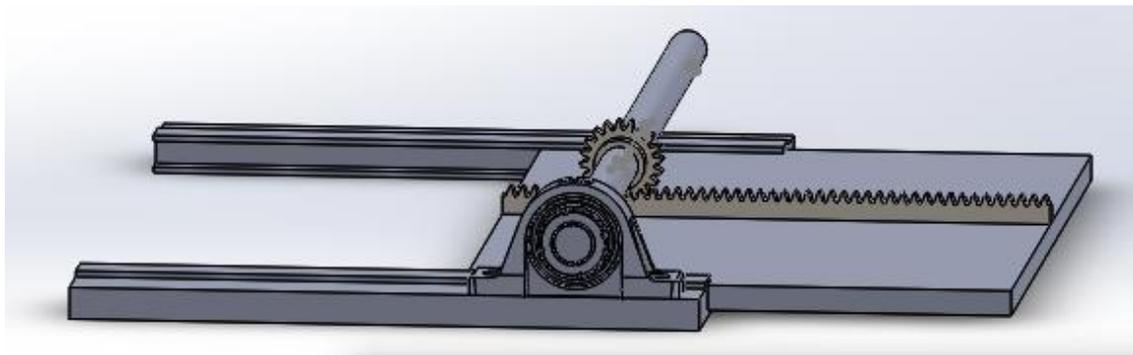
Medidas

*Diametro interior = 35mm*

*Diametro Exterior = 75,9mm*

*Espesor = 35,6mm*

**Figura 29 Modelo 2D de la chumacera**



**Nota:** el Autor

*desplazamiento angular*

*Al aplicar una velocidad angular:*

$$v_a = 20 \text{rpm}$$

$$\text{pasamos a } \frac{\text{rad}}{\text{s}}: v_a = 20 \text{rpm} * \frac{2\pi \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}{60} \frac{1}{1 \text{rpm}} = 2.09 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

$$v_a = 2.09 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

se consigue un desplazamiento completo en un tiempo:

$$t = 3 \text{s}$$

al aplicarse la velocidad usada su aceleración angular será:

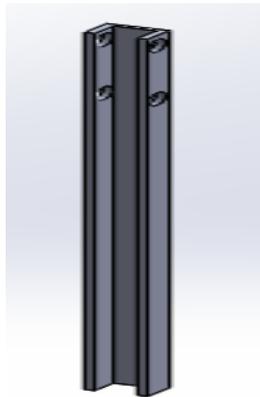
$$a = \frac{v_a}{t} = \frac{2.09 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}{3 \text{s}}$$

$$a = 0.7 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right)$$

### 9.1.6 Corredera

Se usa este canal para el deslizamiento de la computa o cuchilla restrictora, está establecida por medidas adaptadas al modelo del equipo.

*Figura 30 Imagen de la corredera*

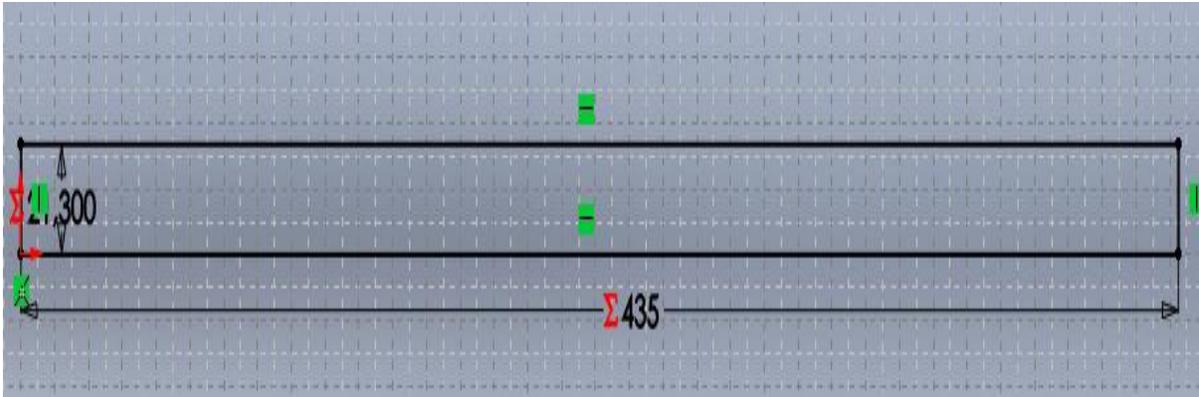


**Nota:** el Autor

### 9.1.7 Modelo 3d Cremallera

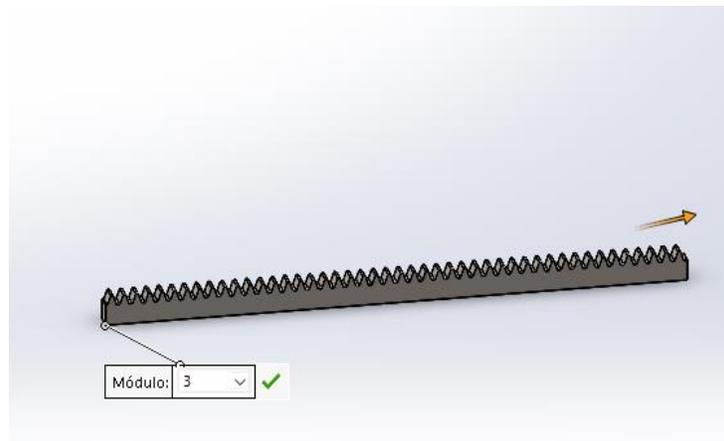
Se implementa este mecanismo para poder desarrollar el desplazamiento vertical necesario del modelo, permitiendo que el tren pueda subir y bajar la longitud necesaria que permitirá el control de la extrucción.

*Figura 31 Medidas Mecánicas de la Corredera*



Nota: el Autor

*Figura 32 Modelo 2d cremallera*



Nota: el Autor

Medidas Modelo 2d Cremallera

*Longitud = 435mm*

*Ancho = 21,3mm*

*Modulo = 3*

$$\text{Angulo} = 20^\circ$$

$$\text{Altura de paso} = 18,3$$

### 9.1.8 Piñón

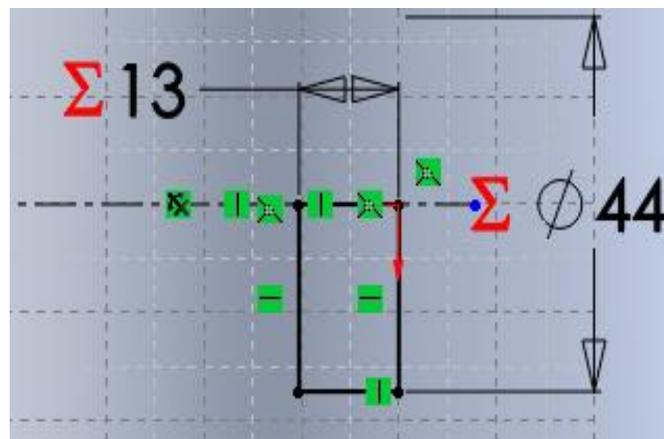
Es la otra parte necesaria de la transmisión que hace juego con la cremallera para que se ejecute el mecanismo piñón-cremallera.

*Figura 33 Modelo 3D Piñón*



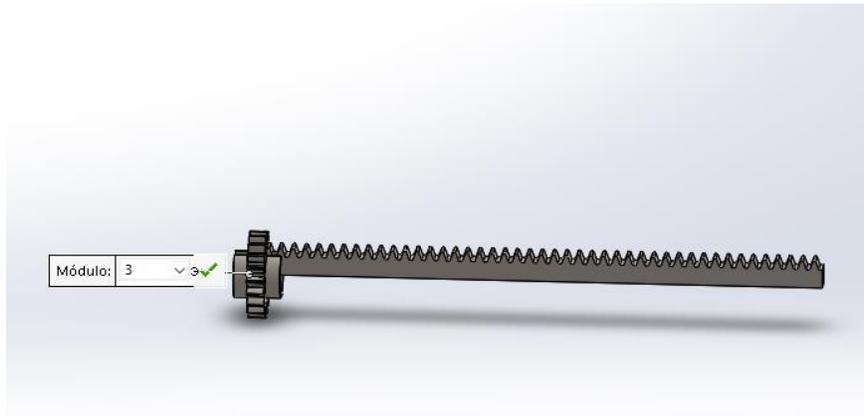
Nota: el Autor

*Figura 34 Medidas mecánicas del Piñón*



Nota: el Autor

**Figura 35 Modelo 2D piñón**



**Nota:** el Autor

### **Medidas**

*Longitud = 35,4mm*

*numero de dientes = 20*

*Modulo = 3*

*Angulo de presion = 20°*

*Diametro de eje normal = 30mm*

### **9.2 Simulaciones**

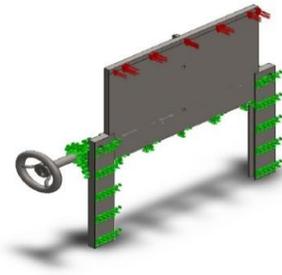
A continuación se procede a realizar las simulaciones de esfuerzo, deformación unitaria del modelo e información física de las piezas, con el fin de encontrar el factor de seguridad necesario para una vida útil deseada. Para esto se aplica una fuerza la cual simula el esfuerzo al que se ve expuesta en el plano real, esta fuerza es la ejercida por las cantidades de material (Clinker) extruido por los silos en el proceso

#### **9.2.1 Propiedades físicas**

En el siguiente cuadro se explican las propiedades físicas de cada pieza con su respectiva información donde se especifican las propiedades volumétricas de clinker en cada una de ellas, que permite analizar la capacidad de este modelo para mejorar la capacidad y optimización de los procesos de fabricación del cemento.

**Tabla 8 Propiedades Físicas de la cuchilla restrictora**

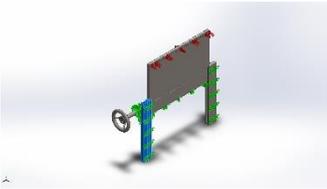
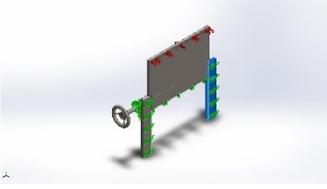
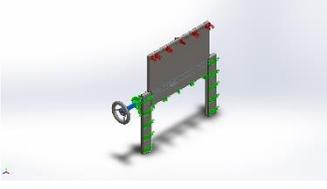
**Propiedades Físicas**

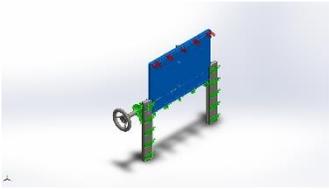
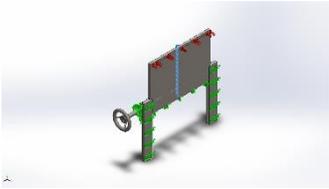
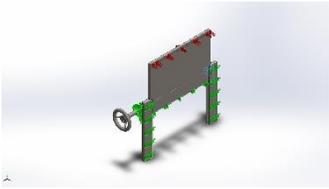
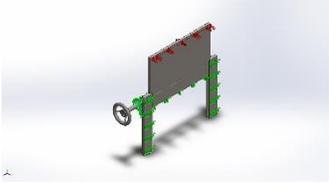
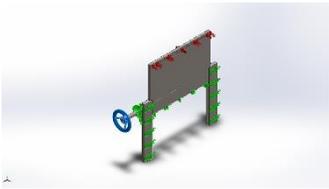


**Nombre del modelo: modelo para simulacion Cuchilla Restrictora**

**Configuración actual: Predeterminado**

**Sólidos**

Nombre de Pieza	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p><b>Corredera 1</b></p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:7,0135 kg  Volumen:0,00089344 m<sup>3</sup>  Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:68,7323 N</p>
<p><b>Corredera 2</b></p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:7,0135 kg  Volumen:0,00089344 m<sup>3</sup>  Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:68,7323 N</p>
<p><b>Eje</b></p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:4,78231 kg  Volumen:0,000609211 m<sup>3</sup>  Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup>  Peso:46,8666 N</p>

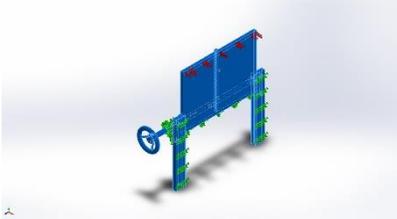
<p><b>Cuchilla</b></p> 	<p><b>Sólido</b></p>	<p><b>Masa:40,9415 kg</b>  <b>Volumen:0,00521548 m<sup>3</sup></b>  <b>Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup></b>  <b>Peso:401,227 N</b></p>
<p><b>Cremallera</b></p> 	<p><b>Sólido</b></p>	<p><b>Masa:0,783529 kg</b>  <b>Volumen:9,98126e-05 m<sup>3</sup></b>  <b>Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup></b>  <b>Peso:7,67859 N</b></p>
<p><b>Chumacera</b></p> 	<p><b>Sólido</b></p>	<p><b>Masa:0,574804 kg</b>  <b>Volumen:7,32235e-05 m<sup>3</sup></b>  <b>Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup></b>  <b>Peso:5,63308 N</b></p>
<p><b>Piñon</b></p> 	<p><b>Sólido</b></p>	<p><b>Masa:0,574804 kg</b>  <b>Volumen:7,32235e-05 m<sup>3</sup></b>  <b>Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup></b>  <b>Peso:5,63308 N</b></p>
<p><b>Timon</b></p> 	<p><b>Sólido</b></p>	<p><b>Masa:2,46882 kg</b>  <b>Volumen:0,000314499 m<sup>3</sup></b>  <b>Densidad:7.850 kg/m<sup>3</sup></b>  <b>Peso:24,1944 N</b></p>

**Nota:** el Autor

## 9.2.2 Propiedades del Material

En este apartado se observa todas las propiedades y características relevantes a tener en cuenta en todas las simulaciones aplicada, conociendo valores necesarios respecto al material los cuales serán necesarios para los valores pertinentes a estudiar.

**Tabla 9 Referencia del modelo de la cuchilla**

Referencia de modelo	Propiedades
	<p><b>Nombre:</b> AISI 1045 Acero estirado en frío</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> 5,3e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 6,25e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 2,05e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0,29</p> <p><b>Densidad:</b> 7.850 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 8e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Resistencia de fluencia:</b> 1,15e-05 /Kelvin 310 Mpa</p>
<p><b>Datos de curva:</b>N/A</p>	

## Unidades

Las unidades a tratar están especificadas a continuación:

**Tabla 10 Información de las unidades utilizadas**

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	Mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>
Esfuerzo	Mpa

Nota: el Autor

## Fuerzas Aplicadas

**Tabla 11 Fuerzas de reacción**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
<b>Todo el modelo</b>	N	76.715,9	1,06201	0,00366211	76.715,9

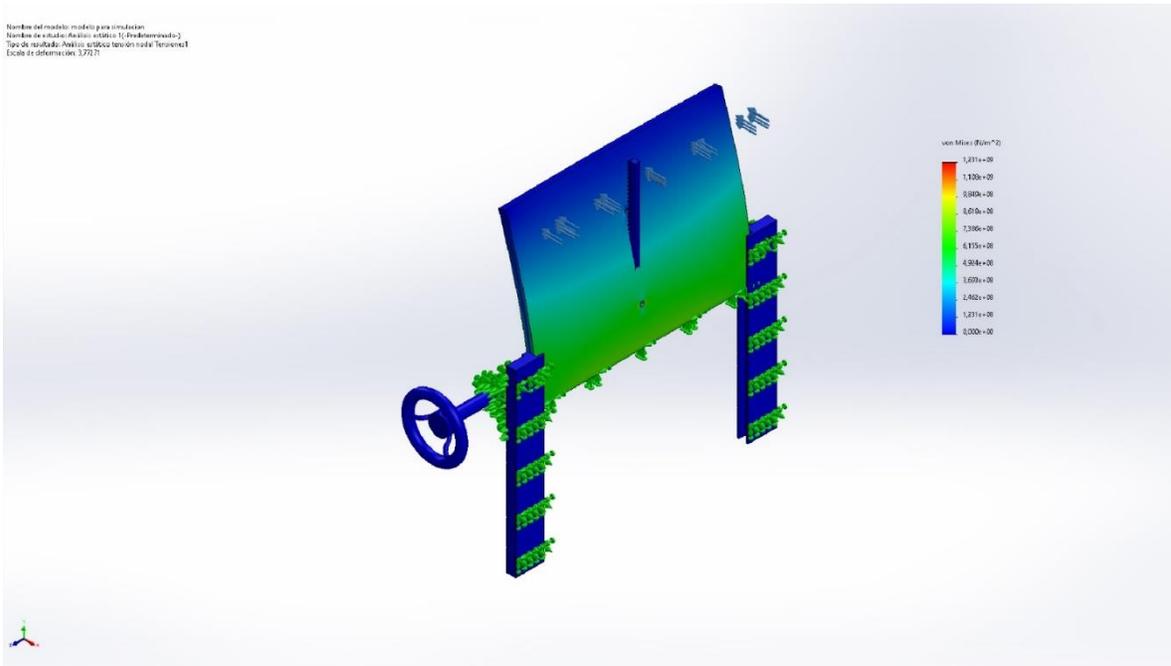
Nota: el Autor

**Tabla 12 Fuerzas de cuerpo libre**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
<b>Todo el modelo</b>	N	-0,433805	0,876867	0,0240483	0,978602

Nota: el Autor

**Figura 36 Tensión de Von Mises**



Nota: el Autor

### 9.2.3 Simulación de Esfuerzo Von Mises

Se aplica una fuerza definida para ver el comportamiento del modelo y ver sus puntos críticos donde se presente deformación y buscar el punto máximo de esfuerzo. En este caso el punto máximo y mínimo de esfuerzo es:

Calculo factor de seguridad teórico

Según el criterio de energía de distorsión señala que:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Tomamos el esfuerzo maximo

$$n = \frac{1231Mpa}{310Mpa} = 3,97$$

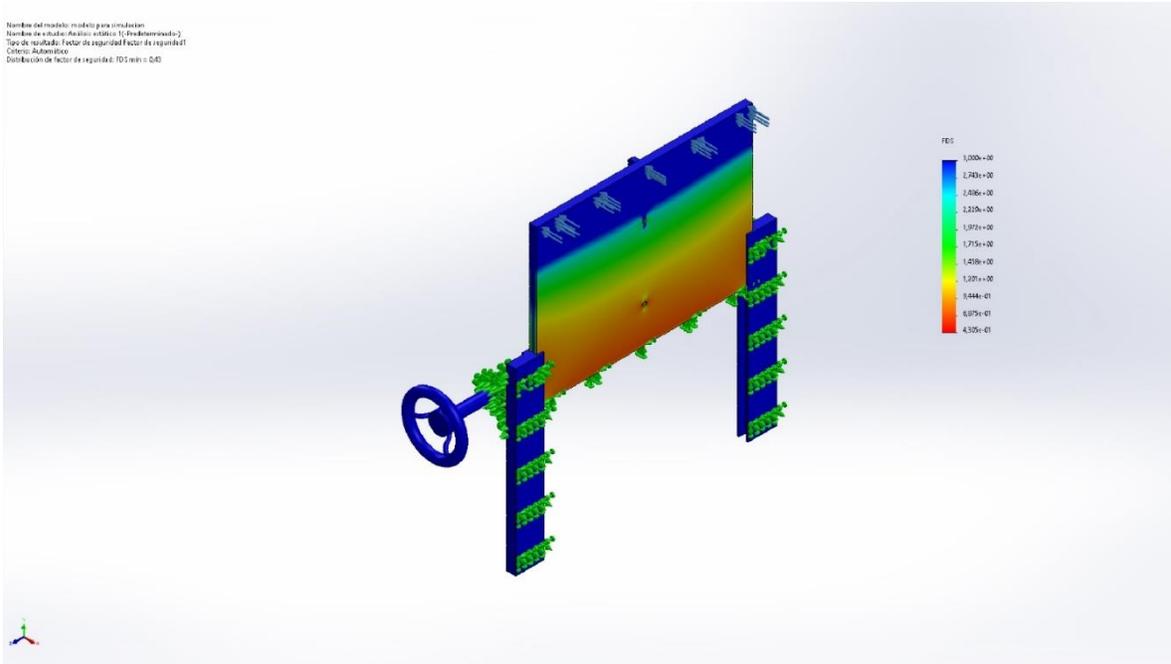
El valor de factor de seguridad teorico es 3,97

donde

$S_y = \text{Resistencia de Fluencia}$

$\sigma = \text{Esfuerzo de Von - Mises}$

**Figura 37 Factor de seguridad**



Nota: el Autor

### 9.2.4 Simulación Factor de Seguridad

El factor de seguridad generado por la simulación dando un valor práctico del comportamiento del modelo con respecto a los esfuerzos y el material utilizado para su elaboración es de:

$$ne = 3$$

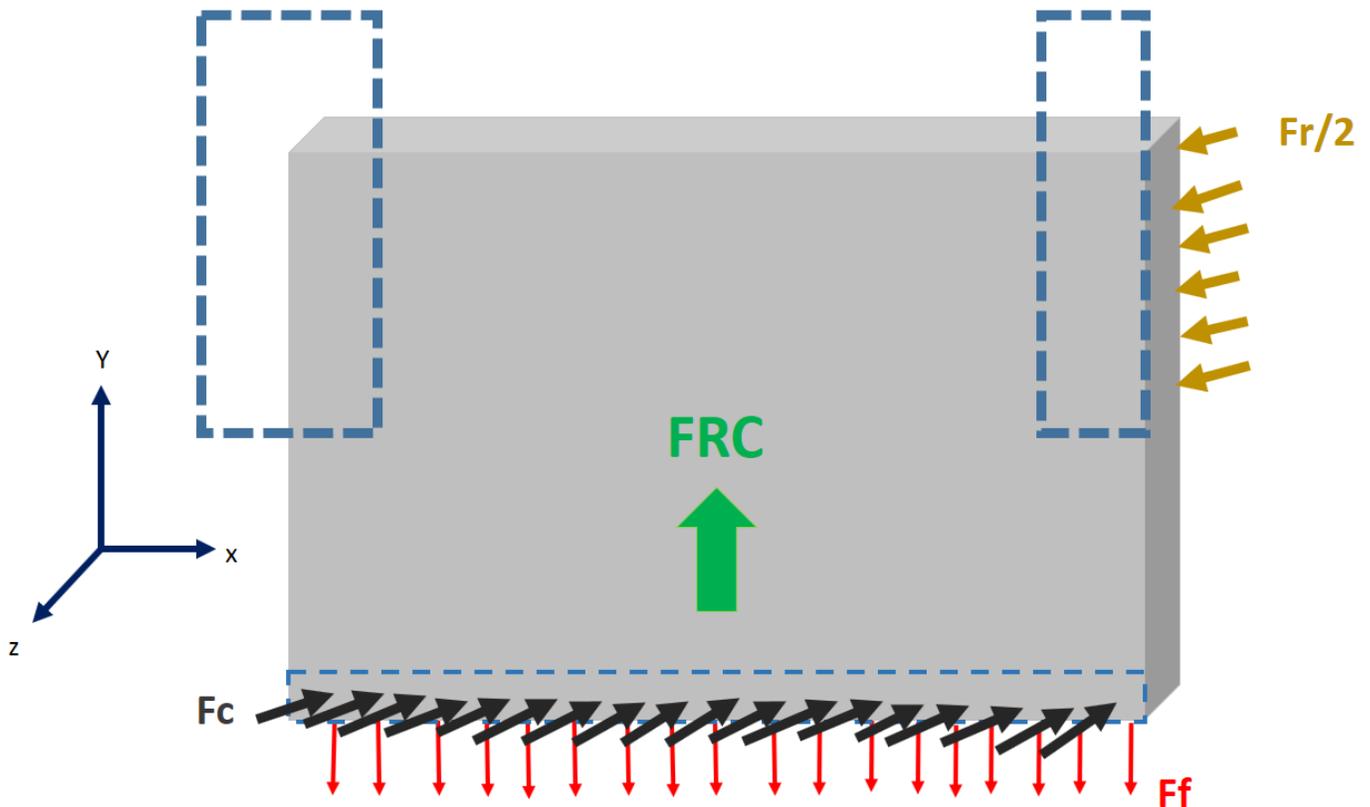
Se puede decir que es un valor muy bueno en su resistencia con relación a las fuerzas que se verá sometido, sin embargo está por debajo del valor teórico, por lo que es necesario

tomar el valor menor para poder alargar la vida útil del mecanismo y poder conseguir un funcionamiento óptimo.

### 9.2.5 Cálculos de resistencia de la cuchilla restrictora

A continuación se puede observar donde la cuchilla ejerce mayor resistencia.

*Figura 38 Cálculos de resistencia de la nueva cuchilla restrictora*



**Nota:** el Autor

### 9.2.6 Suposiciones

- El Clinker tiene una velocidad de 5m/min y se detiene completamente en la compuerta.
- Toda la fuerza de detección de Clinker se transporta a la compuerta.
- Se genera una fuerza de fricción entre el Clinker y el acero de la compuerta, con un coeficiente de Estudio estático.

$$\sum F_x = 0$$

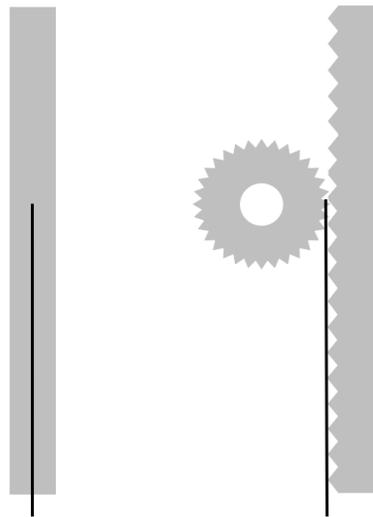
$$\sum F_y = 0$$

$$-F_f + F_{rc} = 0 \quad \rightarrow F_f = F_{rc} \quad F_f = NNS = PALMS = 28800 \times 0,97 = 27,936$$

$$\sum F_z = -F_c + F_r = 0 \quad F_r = F_c = \dot{M} \Delta u = P.A. (v_0 - v_f)$$

$$= 3,20 \text{ g/cm}^3 * 1 \text{ Kg/1000Kg} * 109 \text{ cm}^3 * 50 * 10^{-3} \text{ m} * 97,3 \text{ TON/H} * 1 * 103 \text{ Kg/1TON} * 1 \text{ H/3600} = 1946 \text{ KN}$$

**Figura 39 Diagrama de la cremallera y el piñon de la cuchilla**



Nota: el Autor

**Frc**

**+W<sub>compuerta</sub>**

**+W<sub>cremallera</sub>**

$$F_{rc} = 27936 \text{ N}$$

$$W_{\text{compuerta}} = 15 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/seg}^2 = 147,15 \text{ N}$$

$$W_{\text{cremallera}} = 2 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/seg}^2 = 19,62 \text{ N}$$

$$\text{Total} = 28102,77 \text{ N}$$

Selección módulo

$$P = T \cdot W = F_{\text{total}} \cdot dp / 2 \cdot 2\pi / 60 = F_{\text{total}} \cdot \text{rpm} \cdot \pi / 60 \cdot \text{RPM} =$$

Se eligió un engranaje recto de potencia máxima lo que indica que se alzarían la compuerta y la cremallera con las fuerzas de fricción los 50 mm en 0,38 seg mínimo.

$$D_p = 4 \text{ pul}$$

$$D_e = 4,5 \text{ pul}$$

$$Z = 16$$

$$B_p = 1 - 1/8 \text{ pul} - 2 - 1/8 \text{ pul}$$

$$L = 3 - 1/2 \text{ pul}$$

$$D_{\text{maza}} = 3 - 17/64 \text{ pul}$$

$$W = 13,3 \text{ lb}$$

$$D = 20 \text{ pul}$$

$$M = 6,35 \text{ mm/z}$$

### 9.2.7 Cálculo de resistencia de la Cremallera

A continuación se realiza el cálculo de la cremallera analizando cada componente con la finalidad de saber cuál es la fuerza total real a la que puede ser sometida.

R209x2

$$D_p = 4''$$

$$W = 3 \frac{1}{2}$$

$$e = 2''$$

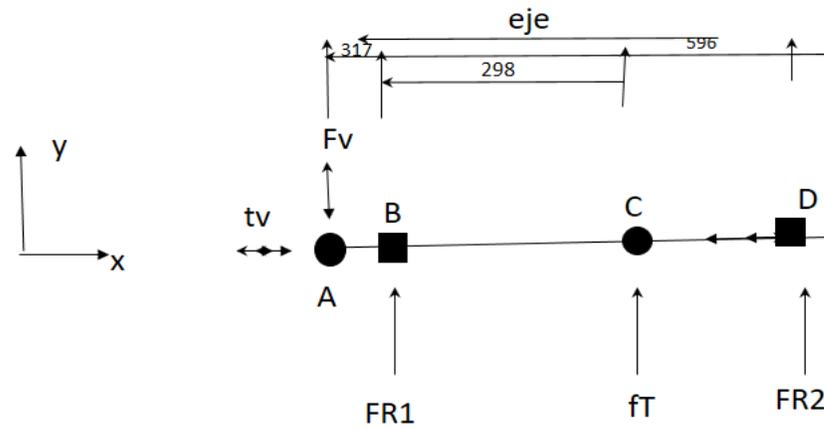
Peso = 41 Lb

#### Fuerza total real

$$f_{Rc} + W_{\text{componente}} + W_{\text{cremallera}} \rightarrow 27936 \text{ N} + 147,15 \text{ N} + \left( 41 \text{ Lb} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{2,2 \text{ Lb}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$f_T = 28265,6 \text{ N}$$

**Figura 40 Diagrama de cuerpo libre del eje del casino**



**Nota:** el Autor

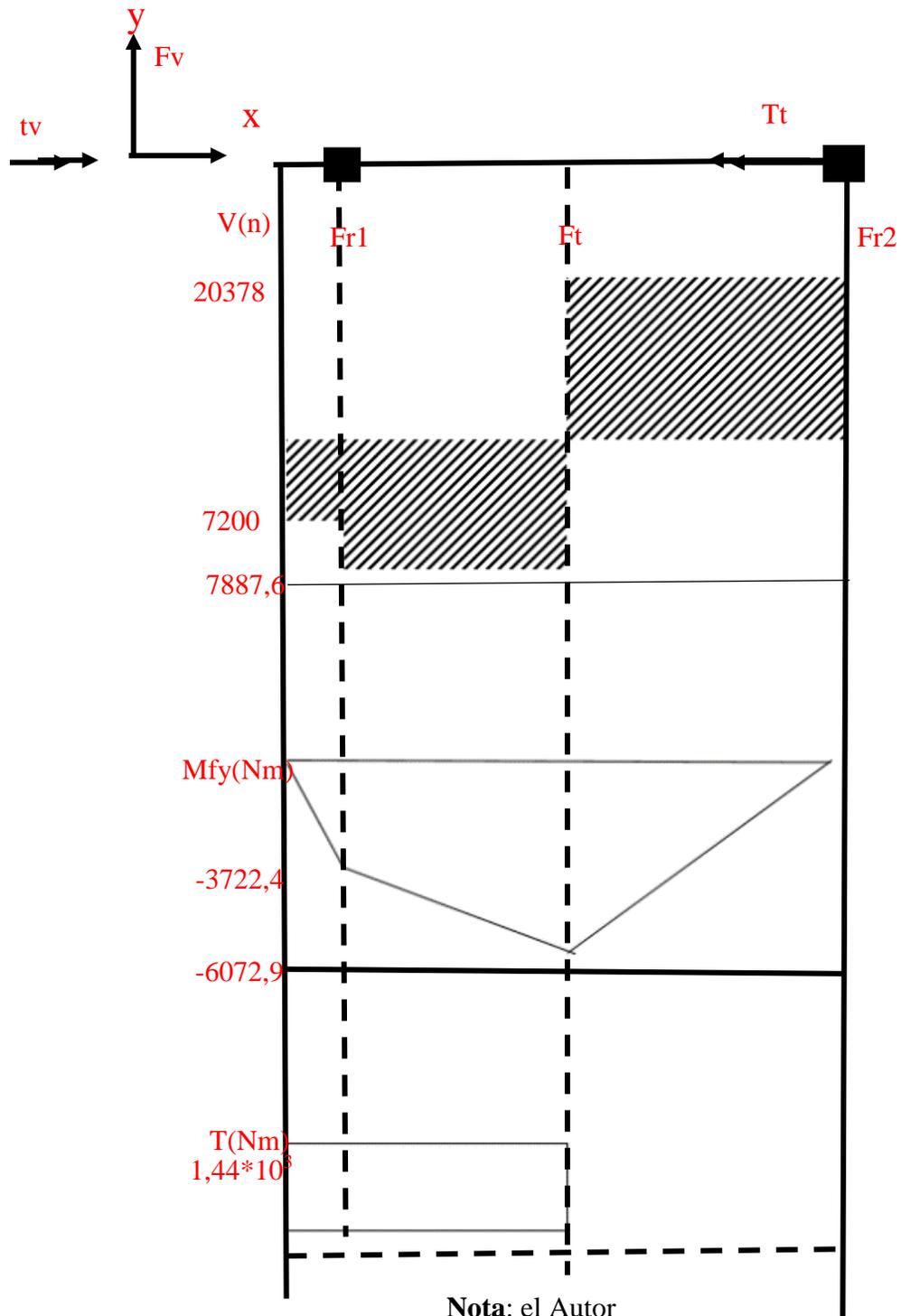
$$\sum T_x = 0 = T_r - T_t = 0 \rightarrow T_v = T_t \rightarrow f_t \cdot dp/2 = \boxed{t_v = 1,44 \cdot 10^3 \text{ n.m}}$$

$$\sum T_{yB} = 0 = L_{ab} \cdot F_v + L_{bc} \cdot F_t + L_{bd} \cdot F_r2 = 0$$

$$= (L_{ab} \cdot 2T_v/dv) + (L_{bc} \cdot F_t) + (L_{bd} \cdot F_r2) = 0$$

$$F_r2 = (-L_{ab} \cdot 2T_v/dv) - \frac{(L_{bc} \cdot F_t)}{L_{bd}} = -20378N \rightarrow F_r1 = 687,6N$$

Figura 41 Diagrama de corte



Se definió el diámetro de la volanta en 40cm

Punto crítico: C

Factor de seguridad 1,5

Materiales AISI 4140 templado y revenido  $s_u = 1770 \text{ Mpa}$   $S_y = 1640 \text{ mpa}$   $HB = 510$

$$O_m = M_c / I$$

$$O_m = (T \cdot d / 2) / J$$

$$K_{fs} = 1 + q_s (K_{ts} - 1)$$

$$K_f = 1 + q (k_t - 1)$$

$$q_s = 1$$

$$q = 0,98$$

$$K_{es} = 1,2$$

$$K_{fs} = 1,2$$

$$K_e = 2,2$$

$$K_f = 2,18$$

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S_u$$

$$K_a = a \cdot S_u^b$$

Suponiendo el eje esmerilado

$$A = 1,58$$

$$B = -0,085$$

$$K_a = 1,58 \cdot 1770^{-0,085} = 0,84$$

$$K_b = 124d^{-1,107}$$

$$379 \leq d < 508 \text{ mm}$$

Suponemos  $d = 50,8$

$$K_b = 0,81$$

$$K_c = 1$$

$$K_d = 1,010 \text{ temperatura (50 c)}$$

$$K_c = 0,92 \text{ (confiabilidad = 80\%)}$$

$$S_e = 559,5 \text{ Mpa}$$

$$d = (16 \cdot n / \pi [1 / S_e \{4(K_f \cdot M_a)^2 + 3(K_{fs} \cdot T_a)^2\}^{1/2} + 1 / S_{ut} \{4(K_f \cdot M_m)^2 + 3(K_{fs} \cdot T_m)^2\}^{1/2}])^{1/3}$$

$$d = (16 \cdot n / \pi [1 / S_e \{4(K_f \cdot M_a)^2\}^{1/2} + 1 / S_{ut} \{3(K_{fs} \cdot T_m)^2\}^{1/2}])^{1/3}$$

$$d = 72 \text{ mm}$$

### 9.2.8 Resultados de los cálculos

El factor de seguridad que arrojo 1,5. Con una confiabilidad de 80%. Esta cuchilla se mueve manualmente y el movimiento no es repetido tampoco estará en movimiento rotativos, el eje tampoco tendrá movimientos constantes y el esfuerzo de fatiga no es alto por esta razón no presentara daños altos en componentes.

Se pide según los cálculos disminuir la distancia entre las chumaceras, en este diseño para reducir el esfuerzo flector, este esfuerzo según los cálculos disminuirán acortando la distancia entre chumaceras; además se escogió un material 4140 templado y revestido de alta resistencia para que pueda resistir la operación de la restricción de materia saliente del silo.

## **10 DESARROLLO METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO 3**

### **10.1 Análisis de control y calidad**

Mediante el estudio de calidad y cumplimiento a través de gráficos de control como el X y R media, los cuales muestran el comportamiento de la variable a estudiar con la finalidad de observar el funcionamiento y rendimiento, del proceso de producción del cemento por medio de muestras extraídas de la empresa argos.

#### **10.1.1 Especificación del cemento**

Las Especificaciones del cemento UG (uso general) usado por la empresa Argos para la elaboración se tienen en cuenta para el análisis de control y calidad, donde se determina si la aplicación de la nueva cuchilla restrictora mejora el proceso de producción en términos de especificaciones técnicas. Las especificaciones usadas en esta prueba fueron suministradas por la empresa y son las establecidas en la maquina a la hora de producir.

#### **10.1.2 Variable de estudio**

Se establece como variables de estudio el porcentaje de clinker proporcionado por cada ciclo ya que la cuchilla restrictora obstruye la cantidad de material necesario para la elaboración del cemento. Según las especificaciones suministradas por la empresa Argos Colombia es de un 48,70% de Clinker para el cumplimiento de la norma NTC121.

#### **10.1.3 Muestras obtenidas**

Se seleccionaron 15 subgrupos con dos muestras por cada uno de forma aleatoria, esto con el fin de realizar análisis gráficos y estadísticos del control que generó la implementación de la cuchilla y si se logró la calidad necesaria.

**Tabla 13 Datos sobre el porcentaje de clinker en la producción**

Muestra	Porcentaje de Clinker (%)	Media de los datos	Varianza	Rango
1	49,1	49,35	0,125	0,5
	49,6			
2	48,51	48,505	5E-05	0,01
	48,5			
3	48,8	48,65	0,045	0,3
	48,5			
4	49,1	49,1	0	0
	49,1			
5	49,6	49,3	0,18	0,6
	49			
6	48,5	48,5	0	0
	48,5			
7	49,1	49,1	0	0
	49,1			
8	49,1	48,95	0,045	0,3
	48,8			
9	48,4	48,7	0,18	0,6
	49			
10	48,5	48,5	0	0
	48,5			
11	48,8	48,8	0	0
	48,8			
12	49	48,79	0,0882	0,42
	48,58			
13	48,6	48,6	0	0
	48,6			
14	49,1	49,36	0,1352	0,52
	49,62			
15	48,5	48,8	0,18	0,6
	49,1			

**Nota:** el Autor

Se obtuvo los promedios de cada subgrupo y sus respectivos rangos, de esta forma se proceden a calcular los valores de control para cada gráfico y realizar su respectivo análisis.

#### 10.1.4 Cálculos de gráficos y varianzas

Los cálculos se efectuaron partiendo de la normalidad de los datos y teniendo un  $\alpha$  de 0,05 con una distribución normal dando una seguridad del 95% en el tratamiento de los datos.

*Tabla 14 Datos extraídos para cálculo estadístico*

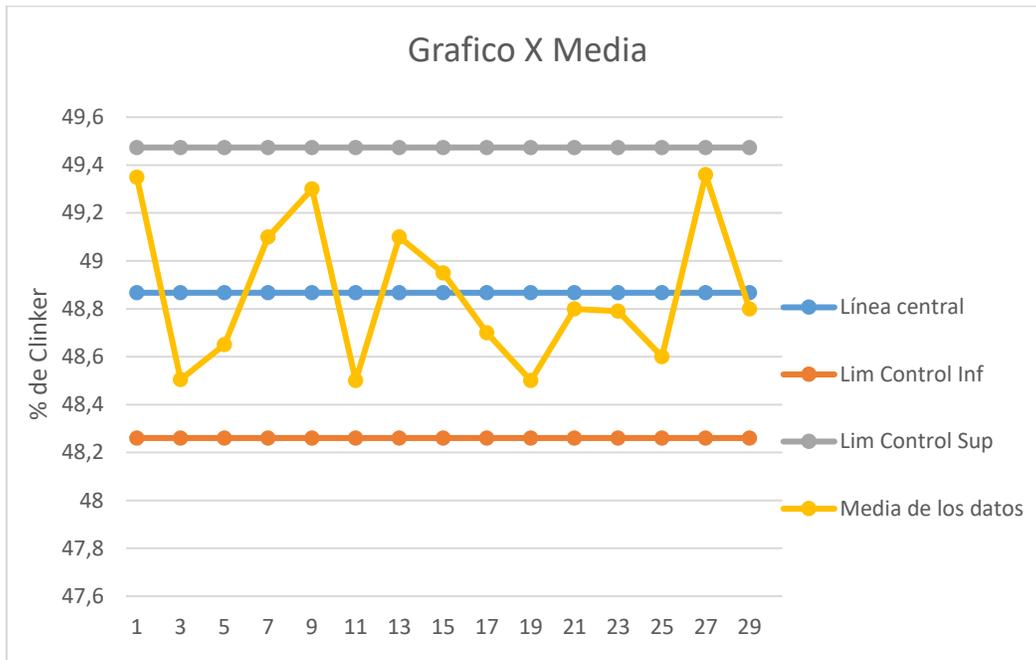
Desviación Estand Promedios	0,309479979
Lim. Control Sup (Xmedia)	49,47356961
Línea Central (Xmedia)	48,867
Lim Control Inf (Xmedia)	48,26043039
Desviación Estand Rangos	0,263049878
Lim. Control Sup (Rango)	0,772234953
Línea Central Sup (Rango)	0,256666667
Lim. Control Inf. (Rango)	-0,25890162
Desviación total	0,355267262
Desviación conjunta	0,255401644

**Nota:** el Autor





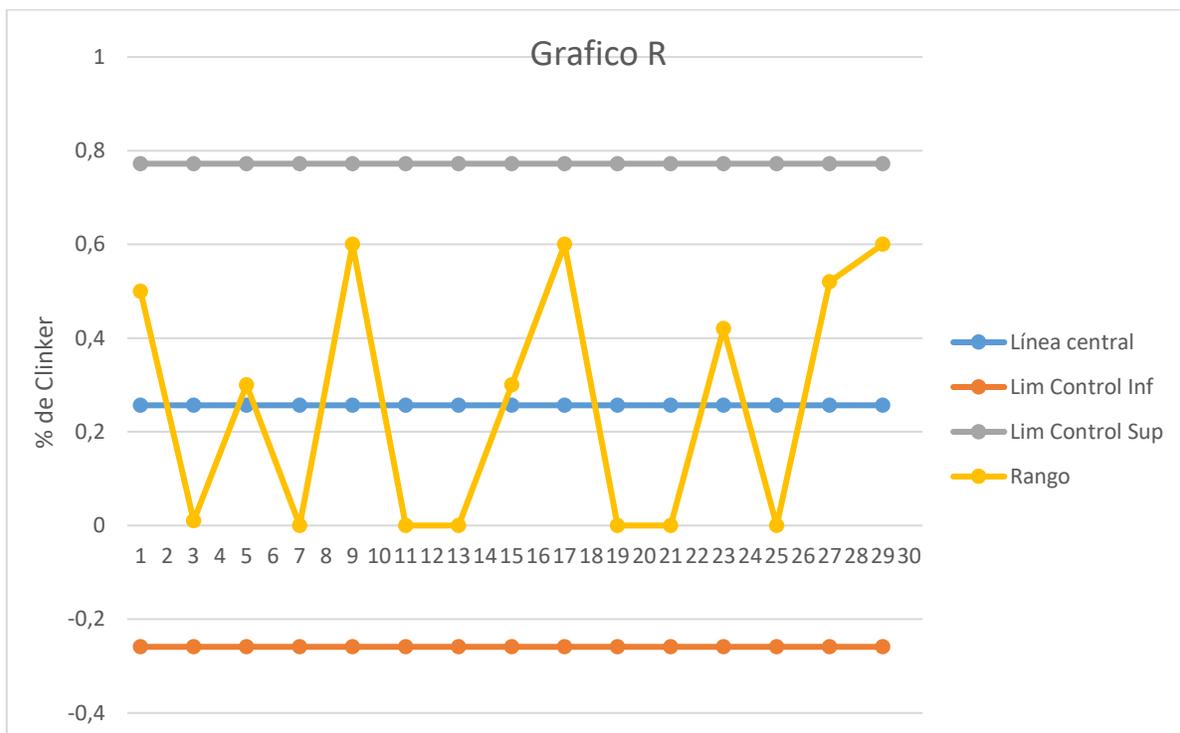
**Figura 42 Grafica de control de medias**



**Nota:** el Autor

Se puede observar que este grafico X media tiene un Límite central de control de 48,8, límite superior de 49,4 y límite inferior de 48,2. Los promedios de las muestras de clinker por subgrupo sometidos a estudio no sobrepasan los límites de control y cuenta con variaciones entre la línea central que no se alejan más de 3 desviaciones estándar, por lo que se puede decir que este proceso está controlado ya que el porcentaje de clinker obstruido por la cuchilla se mantiene en los niveles de control óptimo del proceso.

**Figura 43 Gráfico de control de rangos**



**Nota:** el Autor

Se puede observar que este gráfico R Rangos tiene un Límite central de control de 0,25, límite superior de 0,77 y límite inferior de -0,25. Los rangos en las muestras por cada subgrupo de clinker que se sometieron a estudio no sobrepasan los límites de control y cuenta con variaciones entre la línea central sin alejarse más de 3 desviaciones estándar de la línea central, por lo que se puede decir que las variaciones o diferencias entre cada ciclo de producción está controlado.

### 10.1.5 Cumplimiento de las especificaciones

Luego se realiza una prueba de hipótesis usando el estadístico T, para corroborar si los límites de control generados por las muestras concuerdan con las especificaciones establecidas por la empresa.

**H<sub>0</sub>:** La Especificación es igual al límite central de control

**H<sub>1</sub>:** La Especificación es diferente al límite central de control

**Tabla 17 Resultado de la Hipótesis**

Prueba de hipótesis	
Cuando L. Central	
LE=	48,7
LC	48,87
H <sub>0</sub> :LC=LE	
H <sub>i</sub> : LC ≠LE	
T <sub>α/2</sub>	2,62
n=	15
T <sub>cal</sub> =	2,089919425
T <sub>tab</sub>	2,62
Se Acepta la H <sub>0</sub>	

Nota: el Autor

Al inspeccionar los datos arrojados por el análisis, se puede ver que el valor T calculado cae en la zona de aceptación, por lo tanto con un nivel de confianza del 95% se acepta la hipótesis nula y se afirma que el proceso de producción cumple con las especificaciones establecidas.

#### **10.1.6 Análisis del modelo Hombre-Máquina después de la aplicación de la nueva cuchilla restrictora**

Se realizó un nuevo análisis hombre máquina, con el fin de identificar la mejora en tiempo, recursos y procesos que la implementación del nuevo diseño de cuchilla restrictora que generó en el proceso de descargue de silos para la producción de cemento Argos.

**Tabla 18 Información del tiempo de producción actual**

<b>Producción actual</b>		
<b>Hombre</b>	<b>Maquina</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>técnico encargado del proceso</b>	<b>Banda Transportadora</b>	
Descarga	Descarga	0
Cierre	Cierre	0,5
Posicionamiento	Inactivo	0,66
Apertura		0,33
Tareas requeridas por el Procesos	Maquinado y descargue automático	450,33

**Nota:** el Autor

Arrojando un tiempo de ciclo de 450,33 minutos en cada producción de 900 toneladas de cementos, dándonos un tiempo menor a la jornada laboral establecida por la empresa, lo que nos lleva a una reducción de costos por horas extras de \$150,000 puesto que el tiempo antes de la reforma era de 555 minutos.

Calculo de datos después de instalación del nuevo modelo:

**Tabla 19 Datos del proceso de producción Antes y Después De la reforma**

<b>Cuadro comparativo Hombre-Maquina</b>		
	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
Tiempo de ciclo (min)	555	451,49
Tiempo de ciclo (horas)	9,25	7,52483333
Producción toneladas por hora	97,2972973	119,603978
Tiempo extra (horas)	1,25	-0,4751667
Costo total por horas extras por ciclo	150000	0
Tiempo Maquina inactiva (min)	40	0,99
Tiempo hombre inactivo (min)	40	0

**Nota:** el Autor

### **10.1.7 Análisis del modelo Hombre-máquina antes y después de la mejora**

Con esta información se observa que la empresa por ciclo no debe pagar por horas extras, lo que indica que no hay pérdidas de tiempo en la producción y contaría con una mejora en los recursos.

Se logró reducir a 0,99 minutos el tiempo inactivo de la máquina y eliminar el tiempo de ocio que contaban los trabajadores puesto que antes se tenía un tiempo de 40 minutos para ambos, gracias a la eliminación de varios procesos innecesarios que solo generaban una pérdida de recursos.

Gracias a los resultados del proceso, eliminamos las operaciones poco favorables, optimizando el tiempo y reduciendo los recursos necesarios para la realización de esta operación, logramos un proceso más controlado puesto que el posicionamiento de la cuchilla es más preciso con el sistema piñón-cremallera instalado, eliminando el riesgo que presentaban los operarios en la graduación de altura de esta.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se explican los resultados obtenidos en cada uno de los objetivos específicos luego del análisis preciso lo cual permitió tener una información clara sobre la viabilidad del diseño de la cuchilla restrictora.

**11.1 Resultado Objetivo 1:** Analizar el comportamiento del sistema de cuchillas y procesos implicados en la descarga de Clinker hacia el silo para mejorar la producción.

Luego de aplicar el modelo Hombre Maquina se obtuvo la información para analizar el tiempo invertido por el operario antes de aplicar el diseño para encontrar inconsistencias en el proceso de fabricación del cemento.

Se obtuvo como resultado la identificación del tiempo empleado en la jornada laboral establecida por la empresa ya que está muy por encima del rango permitido, lo que conlleva a un aumento de costos adicionales pagando horas extras a los técnicos encargados de estas actividades en la etapa de adición de los aditivos; lo que genera disminución y baja precisión de la cuchilla, dificultando el control de la misma y que posiblemente podría ocasionar accidentes y riesgos para los trabajadores al manipular la maquina ubicada a una altura considerable.

La problemática interna en la producción de cemento gira en torno al diseño poco óptimo de la cuchilla que ocasionaba mayor consumo de electricidad y baja calidad del producto, siendo este el factor clave tenido en cuenta al momento de ejecutar el diseño particularmente en los puntos débiles para adaptar la mejora al equipo.

**11.2 Resultado Objetivo 2:** Desarrollar el diseño y análisis mecánico de la nueva cuchilla restrictora en la descarga del silo, para aumento de adiciones en la fabricación del cemento.

A través de los softwares utilizados se logró realizar el diseño óptimo de la cuchilla restrictora teniendo en cuenta diversos factores que permitieran el mejoramiento en la producción. En esta fase se plasmaron las correspondientes adaptaciones, ofreciendo una breve explicación de cada pieza con su respectiva imagen y medidas; donde puede observarse el sistema de Piñón-cremallera para una mejor manipulación y control en el posicionamiento de la cuchilla.

Luego de obtener el diseño de la cuchilla restrictora de clinker a través de los softwares con todas las adaptaciones correspondientes se procedió a ejecutar la aplicación de las simulaciones en esfuerzo, deformación unitaria del modelo e información física de las piezas; siendo esta la siguiente fase antes de la puesta en marcha en el plano real.

Se obtuvo mediante la simulación de Esfuerzo Von Mises el comportamiento del modelo de la cuchilla, donde arrojó el punto máximo y mínimo al que puede ser sometido. Mediante el factor de seguridad arrojó que el comportamiento del modelo con respecto a los esfuerzos y el material empleado cuentan con una buena resistencia lo que garantiza que se alargue la vida útil del mecanismo y un buen funcionamiento adaptado al nuevo diseño.

**11.3 Resultado Objetivo 3:** Analizar datos extraídos de la producción para determinar la mejora en la calidad del proceso.

Como resultado del análisis estadístico de las variables estudiadas se obtuvo que Los promedios de las muestras de clinker por subgrupo sometidos a estudio no sobrepasan los límites de control y cuenta con variaciones entre la línea central que no se alejan más de 3 desviaciones estándar, por lo que se puede decir que este proceso está controlado ya que el porcentaje de clinker obstruido por la cuchilla se mantiene en los niveles de control óptimo del proceso.

Los rangos en las muestras por cada subgrupo de clinker que se sometieron a estudio no sobrepasan los límites de control y cuenta con variaciones entre la línea central sin alejarse más de 3 desviaciones estándar de la línea central, por lo que se puede decir que las variaciones o diferencias entre cada ciclo de producción está controlado.

Finalmente se realizó un nuevo análisis del modelo Hombre-máquina después de la puesta en marcha del nuevo diseño de la chuchilla y determinar la viabilidad que se obtuvo luego de las mejoras en la maquinaria y directamente en la producción del cemento.

La comparación del antes y después de la aplicación del diseño dio como resultado la reducción en el tiempo inactivo de la maquina eliminando el tiempo de inactividad de los trabajadores, mostrando gran diferencia en el comportamiento de la producción; ya que se logró eliminar varios procesos innecesarios que ocasionaba gran pérdida de recursos y aumento de costos.

Gracias a los resultados del proceso de investigación se obtuvo un mayor control de la cuchilla siendo este más preciso ahora, ya que el nuevo sistema Piñón-cremallera instalado cumplió con el objetivo deseado; eliminando el riesgo de accidentes que presentaban los operarios al graduar la altura de la misma.

#### **11.4 Beneficios de la nueva cuchilla restrictora**

Cabe resaltar que el diseño de la nueva cuchilla restrictora ofrece más beneficios tales como:

- La optimización de los tiempos de parada ocasionó un cambio positivo debido a que se redujeron de 45 minutos a 0 minutos, ya que no se para el molino mientras se hace el cambio a otro tipo de cemento.
- Mejor calidad logrando un tipo de cemento de alta calidad según los estándares de las normas colombianas en cuanto a la producción.
- Mejor operación y manipulación del equipo debido a la reducción del consumo de energía eléctrica, ya que esto permitió que la maquina no experimentara esfuerzo en la operación y trabajara con una mayor eficiencia. Además de ofrecer una mejor rentabilidad en el material usado ya que no hay derrames de clinker y lo más importante se pueden cumplir las metas de producción.

## CONCLUSIONES

Durante toda la investigación y análisis de cada aspecto del diseño de la cuchilla restrictora como solución a la problemática de la empresa Argos Zona Franca- Cartagena, particularmente enfocado en el tema de producción y cambios de políticas internas donde la planta sufrió unas modificaciones para adaptarlas a diversas condiciones y el tipo de cemento adaptable al mercado nacional ocasionando derrames en la producción.

Se puede concluir que el diseño de la cuchilla Restrictora brindó la solución pertinente en la producción, ya que esta permitió tener mejor control de materia prima en la producción de cemento para minimizar la cantidad de clinker y aumentar la cantidad de volumen de adiciones que necesita el molino. Además de plantear soluciones para la mejora en la producción se ratificó la viabilidad en la parte de seguridad.

Por otro lado se modificaron los tiempos de paro del molino de cemento al colocar la Volanta, lo que ayudó a minimizar el riesgo de que algún trabajador se subiera a cierta altura considerable para controlar manualmente el sistema y surgiera un posible accidente.

### **1.1 Conclusión del objetivo 1**

En este objetivo se pudo concluir que la cuchilla antigua tenía problemas en la operación ya que estaba atornillada a la estructura, y para graduarse se tenía que medir la altura que se necesitada según el tipo de cemento siendo este un mecanismo muy tedioso; por otro lado la figura que tenía no ayudaba a controlar la cantidad de aditivos ,ya que si se bajaba la cuchilla para quitarle la adición con las puntas que quedaban maltrataban las bandas transportadoras desgastando la bandejas hasta llegar a deformarlas.

El problema se logró identificar debido al análisis que se realizó, para llegar al punto exacto donde el equipo estaba mostrando inconsistencias; analizando el comportamiento de la cuchilla en el sistema, era necesario detener la banda luego bloquear el equipo para poder graduar la cuchilla y por último se quedaba mal graduada se tenía que repetir el mismo procedimiento.

### **1.2 Conclusión del objetivo 2**

Se puede concluir en este objetivo que el diseño de la nueva cuchilla restrictora ofrece mayor facilidad al momento de graduar la altura promedio, en la cual se debe dejar a la parte inferior de la banda transportadora y debido a una figura plana, esta no toca con ningún punto por el modelo que tiene, además gracias a la volanta ya no se detiene la banda para subir o bajar la cuchilla y se puede continuar con el equipo en movimiento eliminando el tiempo extra utilizado.

Como resultado de las simulaciones realizadas se pudo obtener una mejor información sobre la viabilidad de la cuchilla, analizando los puntos donde ejerce mayor fuerza y resistencia, esto quiere decir que es idóneo este nuevo diseño en el proceso de fabricación del cemento.

### **12.3 Conclusión del objetivo 3**

Se concluye en este objetivo que luego de la puesta en marcha del nuevo diseño se logró mejorar la calidad del cemento, ya que la producción se pudo adaptar a las condiciones requeridas según el tipo de cemento UG teniendo en cuenta la normatividad colombiana; reduciendo al máximo el derrame de material durante el proceso para así encontrar la solución a la problemática inicial.

Además se mejoró la calidad del clinker saliendo compactado gracias a la presión que ejerce la cuchilla permitiendo graduar adecuadamente la cantidad de volumen requerida; cabe resaltar que luego de las adecuaciones se evitó que la persona encargada del proceso se suba a bloquear el equipo de forma manual, eliminando así cualquier riesgo de accidente. Por otro lado se notó el cambio en la optimización del uso de energía eléctrica, menos contaminación por derrames del material, reducción de los costos de producción, cumplimiento con los tiempos de entrega y permitió ofrecer mejores precios competitivos en el mercado.

Por último se llegó a la conclusión de que se pueden hacer diferentes tipos de cemento teniendo en cuenta los porcentajes de clinker y de aditivos graduando la cuchilla a diferentes alturas.

## RECOMENDACIONES

Se puede mejorar el sistema de uso de la cuchilla para que pueda bajar más para reducir la cantidad de clinker y aumentar el volumen de las adiciones ya que el equipo puede resistir más cambios. Además se puede diseñar distintos tipos de cara de cuchilla en la parte inferior, para sacar provecho del equipo y aumentar la producción mediante la reducción de costos y optimización de los procesos.

La cuchilla restrictora puede modificarse y cambiarse de ser manual para ser totalmente automatizada, posicionándola en puntos exactos y estratégicos que regule el tipo de material que se necesita de manera calibrada con todo el sistema , además podría ofrecer la máxima eficiencia de todo el equipo , eliminando así las horas hombre y el riesgo de accidentes laborales.

Este nuevo prototipo puede ser diseñado para la parte de molienda de la materia prima en las etapas donde se agreguen adiciones o materiales, en el cual se controle el flujo de material en bandas móviles y trituradoras que influyen directamente en la detención del material.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizabal, C. & Gonzáles, J. (2021). Revisión de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial. Recuperado de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/11194/11342>
- Armas, W. (2020) “Propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de cemento en la empresa Mixercon S.A Callao-2020. Recuperado de: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54502/Armas\\_MW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54502/Armas_MW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Argos (2020).Cemento Gris Uso General. Recuperado de: <https://colombia.argos.co/wp-content/uploads/2020/09/FT-CEMENTO-GRIS-USO-GENERAL-2019-2.pdf>
- Campo, J., Lora, E. & Meriño, L. (s.f.). Ahorro de Energía en la Industria del Cemento. Recuperado de: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/cemento.pdf>
- Chipana, L. & Luna, C. (2018). Mejora de las propiedades mecánicas de adhesión en la elaboración de cemento cola según norma UNE- en 12004 y análisis de costos de producción. Recuperado de: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18242/PG2047.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Decreto 901 de 1997 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas. 1 abril de 1997.

Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/10/DECRETO-901-DE-1997.pdf>

DANE, (2021) “Boletín Técnico, Estadísticas Cemento Gris “  
[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento\\_gris/Bol\\_cemen\\_gris\\_ene21.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_ene21.pdf)

DANE. (2021) Boletín Técnico. Estadísticas de Cemento Gris (EGG) agosto. Recuperado de:  
[file:///C:/Users/Yeinnis%20Diaz/Desktop/TESIS%20DE%20INGENIERIA/Nueva%20carpeta/Bol\\_cemen\\_gris\\_ago21.pdf](file:///C:/Users/Yeinnis%20Diaz/Desktop/TESIS%20DE%20INGENIERIA/Nueva%20carpeta/Bol_cemen_gris_ago21.pdf)

Decreto 2811 de 1974 [Republica de Colombia]. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 18 de diciembre de 1974. Recuperado de:  
[https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)

Decreto 2222 de 1993 [Republica de Colombia]. Por el cual se expide el Reglamento de Salud Ocupacional en Labores Mineras a Cielo Abierto. Recuperado de:  
<https://www.arlsura.com/index.php/decretos-leyes-resoluciones-circulares-y-jurisprudencia/51-decretos/1049-decreto-numero-2222-de-1993>

Decreto 1356 de 1984 [Republica de Colombia]. Por el cual se dictan disposiciones sobre protección a la industria y al trabajo nacional. 05 junio 1984. Recuperado de:  
<https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1272750>

Decreto 2222 de 1993 [Republica de Colombia]. Por el cual se expide el Reglamento de Salud Ocupacional en Labores Mineras a Cielo Abierto. Recuperado de:  
<https://www.arlsura.com/index.php/decretos-leyes-resoluciones-circulares-y-jurisprudencia/51-decretos/1049-decreto-numero-2222-de-1993>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [INCONTEC]. (1982). Ingeniería Civil y Arquitectura.Cemento.Definiciones (NTC 31). Recuperado de: [file:///C:/Users/Yeinnis%20Diaz/Desktop/TESIS%20DE%20INGENIERIA/antecedentes/pdfcoffee.com\\_ntc-31-cementos-definicionespdf-pdf-free.pdf](file:///C:/Users/Yeinnis%20Diaz/Desktop/TESIS%20DE%20INGENIERIA/antecedentes/pdfcoffee.com_ntc-31-cementos-definicionespdf-pdf-free.pdf)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [INCONTEC]. (2014). Especificación de Desempeño para Cemento Hidráulico (NTC 121). Recuperado de: <file:///C:/Users/Yeinnis%20Diaz/Desktop/TESIS%20DE%20INGENIERIA/Marco%20teorico/ntc-121-nuevapdf.pdf>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [INCONTEC]. (2008). Concretos. Aditivos Químicos para Concreto (NTC 1299). Recuperado de: [https://www.academia.edu/41298666/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_NTC\\_COLOMBIANA\\_1299](https://www.academia.edu/41298666/NORMA_T%C3%89CNICA_NTC_COLOMBIANA_1299)

Ley 99 de 1993.Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. 22 de diciembre de 1993. D.O. No. 41.146. Recuperado de: [https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia\\_99-93.pdf](https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf)

Machado López R., (s.f). "Carbonatación vs. Aluminosis", en Kimia ibérica, [www.kimiaiberica.es](http://www.kimiaiberica.es), Valencia, España. Ramírez de Alba H.; Vera Noguez R.; Mejía López M., "Materiales cementantes y concretos en las antiguas culturas americanas", Ingeniería, Revista Académica de la FIUADY, 141, pp 6774, ISSN: 1665529X.

Osorio, David. (s.f.).Cemento en Colombia: Historia de Cementos Argos. Recuperado de:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/cemento-en-colombia-historia-de-cementos-argos>

Peña, Jennifer & Ari, Moisés (2016). “Innovación en el sector cementero de Colombia:

estudio de caso cementos Tequendama”. M10 N° O31. (Sao Paulo, Brasil.

Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2015), visitado en Agosto de 2021.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S012359231500008X?token=7600F0D05E>

[8D1F2FC2B7727266DAB8B480EA95D30A2BF1EE204BEEB95B2A572E663279](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S012359231500008X?token=7600F0D05E)

[2576DAA6A92BD34E87E66BB805&originRegion=useast1&originCreation=2021](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S012359231500008X?token=7600F0D05E)

[0822021851](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S012359231500008X?token=7600F0D05E)

Resolución 1173 de 1999 [Ministerio del Medio Ambiente.]. Por el cual se establecen los

términos de referencia genéricos para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental

para minería de materias primas y/o los procesos para la fabricación de cemento 27

de diciembre de 1991. Recuperado de:

[https://www.redjurista.com/Documents/resolucion\\_1173\\_de\\_1999.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_1173_de_1999.aspx#/)

Resolución 2309 de 1986 [Ministerio de Salud]. Por el cual se dictan normas para el

cumplimiento del contenido del Título III de la Parte 4 del Libro 1 del Decreto Ley

número 2811 de 1974 y de los Títulos I, III Y XI de la Ley 9 de 1979, en cuanto a

Residuos Especiales. 24 de febrero 1986. Recuperado de:

[https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-](https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-2309-de-1986.aspx)

[de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-2309-de-1986.aspx](https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-2309-de-1986.aspx)

Sanabria, M. (2018). Propuesta de mejora para el proceso productivo de la empresa cementos

Tequendama.

Recuperado

de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22447/1/PROPUESTA%20DE%20MEJORA%20PARA%20EL%20PROCESO%20PRODUCTIVO%20DE%20LA%20EMPRESA%20CEMENTOS%20TEQUENDAMA..pdf>

Silva, Omar. (s.f.). Generalidades y tipos de Aditivos Para El Concreto la Según la NTC 1299 (360 en Concreto. Argos). Recuperado de:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto>

Vera, P. (2019). Cadenas de valor y sostenibilidad en Latinoamérica, México DF, México. (1ra Edición, p.66). D.R Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de:

<https://books.google.com.co/books?id=CQunDwAAQBAJ&pg=PA2019IA67&dq=industria+cementera+en+el+mundo&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwi3iN2uycPyAhWIRDABHVksDvUQ6AEwBHoECAsQA#v=onepage&q=industria%20cementera%20en%20el%20mundo&f=false>

Vélez, J. (2017). Crecer con audacia: Innovación como estrategia de Argos (1° ed., p.73) Editorial Plante Colombiana. Recuperado de:

[https://books.google.com.co/books?id=mEU\\_DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sostenibilidad+de+la+industria+de+cemento+en+el+mundo&hl=en&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=mEU_DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sostenibilidad+de+la+industria+de+cemento+en+el+mundo&hl=en&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

