



**Propuesta de diseño de un separador  
dinámico para obtener cemento  
referencia ART en Planta  
Cementos del Oriente en Sogamoso**

**Edinson Jair Firigua Puyo**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.  
Ingeniería Electromecánica  
Tunja - Boyacá  
2020

# **Propuesta de diseño de un separador dinámico para obtener cemento referencia ART en Planta Cementos del Oriente en Sogamoso**

**Edinson Jair Firigua Puyo**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director  
PhD. Ing. Carlos R. Batista Rodríguez

Línea de Investigación:  
Mecánica

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Tunja, Colombia  
2021

# Nota de aceptación

Aprobado por el Comité de Grado en  
cumplimiento de los requisitos  
exigidos por la Universidad Antonio  
Nariño sede Tunja para optar al título  
de Ingeniero Electromecánico

---

Jurado

---

# **Dedicatoria**

En primera y más grande instancia a Dios y a el espíritu santo por guiarme a cumplir esta meta; a mi esposa Gloria, mis hijas Isabella y Nicole que han sido el soporte y razón para el desarrollo de todos mis proyectos, a mis padres Alba y Ángel que han trabajado hasta el cansancio por convertirnos en personas y profesionales con el fin de ser útil a la sociedad; a mi hermano Ángel que asido un apoyo incondicional durante toda mi vida.

# **Agradecimientos**

El autor expresa sus agradecimientos al personal docente de la facultad de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la Universidad Antonio Nariño, de la sede Tunja.

Al señor Ingeniero Carlos Batista Rodríguez por el acompañamiento y constante asesoría en procura del logro de los objetivos del proyecto.

## Resumen

Una de las preocupaciones más importantes que tiene en este momento la Planta Cementos del Oriente, sede Sogamoso, está relacionada con sostener la producción de cemento estructural de alta resistencia temprana ART que produce línea 1. Esta línea, está afectada por constantes fallas en el sistema de lubricación debido a la obsolescencia de la maquinaria, generan altos costos de mantenimiento y limitando la cantidad total de cemento producido que a la fecha es de solo seis toneladas por hora.

Teniendo en cuenta que la dificultad radica en que los equipos de la línea 2 aún no están adecuados para producir cemento tipo ART, se presenta la propuesta de diseño de un separador dinámico que permita a esta línea, asumir la producción de este tipo de cemento y dejar fuera del servicio de manera definitiva la línea 1. Para tal fin, se caracterizaron los procesos productivos del cemento especialmente la referencia ART, se consultó y analizó información sobre separadores dinámicos utilizados en la producción de cemento. De la misma manera, se definieron los cálculos que determinan los parámetros técnicos y funcionales requeridos para diseñar el separador dinámico de la línea 2 en la Planta Cementos del Oriente sede Sogamoso y mejorar la capacidad productiva de cemento ART.

Por lo anterior el proyecto contiene tres fases, la caracterización inicial del proceso productivo del cemento en la planta con los análisis de reportes de producción, posteriormente, una amplia verificación de información que facilitó la estructuración teórica, técnica, cálculos de ingeniería y de costos que permitieron el diseño del separador dinámico propuesto que será fabricado a criterio de las Junta Directiva de la Planta de Sogamoso.

**Palabras clave:** Separador dinámico, molienda, prueba blaine, compresión, permeabilidad, finesa, granulometría, ciclones, molinos de bola, separación de partículas, flujo de aire, ventiladores.

## Abstract

One of the most important concerns that Cementos del Oriente Plant, Sogamoso headquarters, has at this moment is related to sustaining the production of high early strength structural cement ART that produces line 1. This line is affected by constant failures in the lubrication system due to the obsolescence of the machinery, generating high maintenance costs and limiting the total amount of cement produced, which to date is only six tons per hour.

Taking into account that the difficulty lies in the fact that the equipment of line 2 is not yet adequate to produce ART type cement, a proposal is presented for the design of a dynamic separator that will allow this line to assume the production of this type of cement and leave line 1 out of service definitively. For this purpose, the cement production processes were characterized, especially the ART reference, and information on dynamic separators used in cement production was consulted and analyzed. In the same way, calculations were defined to determine the technical and functional parameters required to design the dynamic separator of line 2 at the Cementos del Oriente Plant in Sogamoso and improve the production capacity of ART cement.

Therefore, the project contains three phases, the initial characterization of the cement production process in the plant with the analysis of production reports, then, an extensive verification of information that facilitated the theoretical and technical structuring, engineering and cost calculations that allowed the design of the proposed dynamic separator to be manufactured at the discretion of the Board of Directors of the Sogamoso Plant.

Keywords: Dynamic separator, grinding, blaine test, compression, permeability, fineness, particle size, cyclones, ball mills, particle separation, air flow, fans.

# Contenido

	Pág.
Nota de aceptación.....	III
Resumen .....	VI
Abstract .....	VII
Contenido .....	VIII
Lista de figuras .....	X
Lista de tablas .....	XII
Lista de anexos .....	XIII
Glosario .....	XV
Introducción.....	17
1.Objetivos.....	19
1.1 Objetivo General .....	19
1.2 Objetivos Específicos .....	19
2. Marco Teórico.....	20
2.1 Separador Dinámico.....	20
2.1.1 Características de los separadores.....	20
2.2 Separadores en Circuitos de Molienda de Cemento.....	21
2.2.1 Separadores de primera generación .....	21
2.2.2 Separadores de segunda generación .....	22
2.2.3 Separadores de tercera generación.....	23
2.3 La Dispersión .....	23
2.4 Tipos de separadores.....	24
2.4.1 Los separadores estáticos .....	24
2.4.2 Separadores de aire dinámicos.....	26
2.4.3 Arreglo de separadores .....	32
2.5 Proceso productivo.....	33
3. Desarrollo metodológico .....	36
3.1 Descripción procesos ART .....	36
3.2 Requerimientos técnicos .....	39
3.2.1 Tabla de granulometría.....	40
3.3 Diseño conceptual.....	40
3.3.1 Dimensionamiento del separador.....	41
3.3.2 Características de un separador dinámico de alta eficiencia.....	42



3.3.3 Parámetros de operación.....	44
3.3.4 Carcasa principal .....	45
3.3.5 Distribuidor .....	46
3.3.6 Ciclones.....	46
3.3.7 Ventilador y clasificación.....	48
4. Cálculos.....	51
4.1 Datos de entrada a separador dinámico.....	51
4.2 Cálculo y Diseño Carcasa .....	52
4.2.1 Cálculos geometría carcasa .....	52
<u>4.2.2 Propuesta Diseño Carcasa .....</u>	<u>53</u>
4.3 Cálculo y diseño del distribuidor .....	55
4.4 Cálculo y diseño de ciclones .....	56
4.4.1 Cálculos ciclón .....	56
4.4.2 Eficiencia del ciclón.....	56
4.4.3 Cálculo de la caída de presión por ciclón.....	56
4.5 Cálculo y diseño rotor.....	58
4.5.1 Cálculo rotor .....	58
4.5.2 Rotor cilíndrico vertical.....	63
4.6 Ductos.....	66
4.6.1 Ductos de recirculación a ventilador .....	66
4.6.2 Ductos de salida ventilador a separador .....	67
4.6.3 Motoreductor.....	68
4.7 Resultados Diseño .....	70
4.8 Presupuesto .....	74
4.9 Conclusiones.....	76
Referencias .....	78

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-2.</b> Separador Estático de Aire. ....	25
<b>Figura 2-2.</b> Separador de aletas.....	26
<b>Figura 3-2.</b> Separador sturtevant. ....	28
<b>Figura 4-2.</b> Separador RE de F.L.Smith. ....	29
<b>Figura 5-2.</b> Separador Ciclopol de segunda generación de Polysius.....	30
<b>Figura 6-2.</b> Separador de tercera generación O-Sepa de Fuller.....	31
<b>Figura 7-2.</b> Fracción 0-30 micras en función del consumo específico de energía.....	33
<b>Figura 8-3.</b> Presentaciones de tipos de cemento de la planta Cementos del Oriente. ....	36
<b>Figura 9-3.</b> Molino de bolas.....	37
<b>Figura 10-3.</b> Diagrama de Flujo Cemento Línea 2 para Uso de Cemento tipo UG. ....	38
<b>Figura 11-3.</b> Molienda de cemento línea 2 y Área Disponible – Molino de Cemento .....	39
<b>Figura 12-3.</b> Pruebas de Laboratorio.....	40
<b>Figura 13-3.</b> Diagramas de Fuerzas de un Separador .....	43
<b>Figura 14-3.</b> Ajuste de la Posición de las Celosías del Estator y Componentes de la Velocidad de Entrada de las Partículas. ....	43
<b>Figura 15-3.</b> Imagen General de los Componentes.....	45
<b>Figura 16-3</b> Ciclones y sistema de descarga.....	46
<b>Figura 17-3</b> Dimensiones del Ciclón.....	47
<b>Figura 18-3.</b> Rodetes y Triángulos de Salida de los Ventiladores Centrífugos. ....	49
<b>Figura 19-3.</b> Formas de los Anillos.....	49
<b>Figura 20-3.</b> Cámara Espiral .....	50
<b>Figura 21-4</b> Pendiente Agregar Figura .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 22-4</b> Pendiente Figura.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 23-4</b> Pendiente Figura.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 24-4</b> Pendiente Figura.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 25-4</b> Pendiente Figura.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 26-4</b> General Carcasa Separador .....	53
<b>Figura 27-4</b> Deflector Interno .....	54
<b>Figura 28-4</b> Cono de Rechazo .....	54
<b>Figura 29-4</b> Distribuidor.....	55

<b>Figura 30-4.</b> Cálculo Ciclón.....	56
<b>Figura 31-4</b> Eficiencia del Ciclón.....	56
<b>Figura 32-4</b> Despiece Ciclón.....	58
<b>Figura 33-4</b> Cálculo Rotor.....	58
<b>Figura 34-4</b> Análisis Comportamiento de una Partícula Sobre el Cono.....	59
<b>Figura 35-4</b> Comportamiento Fuerza de Arrastre.....	62
<b>Figura 36-4</b> Comportamiento de la Energía Potencial.....	62
<b>Figura 37-4</b> Rotor Cilíndrico.....	63
<b>Figura 38-4</b> Eje.....	65
<b>Figura 39-4</b> Especificaciones Técnicas del Rodamiento.....	65
<b>Figura 40-4</b> Plato de Distribución.....	66
<b>Figura 41-4</b> Ducto de Recirculación a Ventilador.....	67
<b>Figura 42-4</b> Ducto de Salida Ventilador.....	68
<b>Figura 43-4</b> Diagrama de flujo. Propuesta Diseño Separador Dinámico.....	72
<b>Figura 44-4</b> Detalle Diagrama de flujo. Propuesta Diseño Separador Dinámico.....	73

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1</b> Comparación de Eficiencias .....	22
<b>Tabla 2-2</b> Especificaciones de Molienda de Cemento .....	35
<b>Tabla 3-3</b> Tabla de dosificación de materia prima para cemento tipo ART .....	36
<b>Tabla 4-4</b> <i>Comparativos Molienda Existente Y Proyección..</i> ¡Error! Marcador no definido.	
<b>Tabla 5-4</b> <i>Calculo del número pernos para brida</i> ..... ¡Error! Marcador no definido.	
<b>Tabla 6-4</b> Ficha Técnica reductor .....	68
<b>Tabla 7-4</b> Ficha Técnica Ventilador .....	69
<b>Tabla 8-4</b> Caída de Presión por Ciclón.....	56
<b>Tabla 9-4</b> Cálculo de Ciclón .....	57

## Lista de anexos

<b>Anexo 1</b> Línea de Producción 1 .....	80
<b>Anexo 2</b> Línea de Producción 2 .....	81
<b>Anexo 3</b> Especificaciones Molienda de Cemento.....	82
<b>Anexo 4</b> Especificaciones Materia Prima .....	82
<b>Anexo 5</b> Tabla de Granulometría .....	83
<b>Anexo 6</b> Características de los Separadores Dinámicos .....	84
<b>Anexo 7</b> Intervalos de Eficiencia .....	85
<b>Anexo 8</b> Características de los Ciclones de Alta Eficiencia y Convencionales .....	86
<b>Anexo 9</b> Características de los Ciclones Convencionales .....	87
<b>Anexo 10</b> Características de los Ciclones de Alta Capacidad .....	88
<b>Anexo 11</b> General Ciclón Separador.....	89
<b>Anexo 12.</b> General Carcasa Separador .....	90
<b>Anexo 13</b> Despiece Carcasa Separador .....	91
<b>Anexo 14</b> Despiece Cono y Deflector Interno Separador .....	92
<b>Anexo 15</b> Especificaciones Concreto Refractario.....	93
<b>Anexo 16</b> General Ciclón Separador.....	94
<b>Anexo 17</b> Especificaciones Acero Bonificado.....	95
<b>Anexo 18</b> Propiedades Acero AISI 304.....	96
<b>Anexo 19</b> General Ductos 1,2 y 3 .....	101
<b>Anexo 20</b> General Ducto Tipo 4.....	102
<b>Anexo 21</b> General Separador Dinámico y Otros Componentes.....	103
<b>Anexo 22</b> Análisis de Presupuesto.....	107



## Glosario

**CANGILONES.** Recipiente de formas y tamaños variados de diversos aparatos para el transporte, carga o elevación de materiales.

**CELOSÍAS.** Estructura de barras o listones que se cruzan en diagonal y que se coloca para separar espacios con la misma finalidad.

**CEMENTO.** Material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. Su nombre se deriva de caementum, que en latín significa "argamasa", y procede a su vez del verbo caedere (precipitar). Es considerado el conglomerante más importante en la actualidad.

**CEMENTO ART:** Cemento estructural de alta resistencia temprana

**CICLONES.** Aparato capaz de centrifugar un fluido para obtener las partículas sólidas que éste lleve en suspensión.

**CLINKER.** Principal componente del cemento Portland, el cemento más común y, por tanto, del hormigón. El clínker se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. El clínker es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland. El promedio del diámetro de las partículas (o granulometría) de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros. Hay cuatro compuestos principales en el clínker que totalizan el 90 % o más del peso del cemento Portland.

El material molido debe ser homogenizado para garantizar la efectividad del proceso de clinkerización mediante una calidad constante. Este procedimiento se efectúa en silos de homogenización. El material resultante constituido por un polvo de gran finura debe presentar una composición química constante.

**FINURA.** Una de las propiedades más importantes del cemento, ya que ella determina en gran medida la velocidad de hidratación, el desarrollo del calor de hidratación, la retracción y la adquisición de resistencia del cemento. Un cemento con grano fino se hidrata con mucha más facilidad.

Hay dos tipos de cementos dependiendo de su origen: arcilloso, logrado a partir de arcilla y piedra caliza; y puzolánico, que contiene puzolana, un material alúmino silíceo. La mencionada puzolana puede provenir de volcanes o de un origen orgánico. En la construcción se ha generalizado la utilización de la palabra cemento para designar un tipo de aglutinante específico que es el cemento hidráulico, de origen puzolánico, debido a que es el más comúnmente utilizado.

**MOLIENDA.** Proceso desarrollado con molinos de bolas o por prensas de rodillos, que producen un material de gran finura. En este proceso se efectúa la selección de los materiales, de acuerdo al diseño de mezcla previsto, para optimizar el material crudo que ingresará al horno, considerando el cemento de mejores características.

**PARTÍCULA.** Pequeño objeto al cual pueden ser atribuidas varias propiedades físicas y químicas tales como un volumen o una masa. Estas varían ampliamente tanto en tamaño como en cantidad

**ROTOR.** Componente que gira (rota) en una máquina eléctrica, ya sea un motor o un generador eléctrico. Junto con su contraparte fija, el estator, forma el conjunto fundamental para la transmisión de potencia en motores y máquinas eléctricas en general.

**SEPARADOR DINÁMICO.** Dispositivo que separa el material grueso del material fino, obteniendo así un material rechazado. El Separador Dinámico es utilizado en áreas industriales, tales como Cemento, Energía, Minería, Metales y Agricultura.

**SILO.** Construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel.



## Introducción

Cementos del Oriente es una empresa productora y comercializadora de cemento, fundada en el año 2000. A la fecha, según los informes de producción del año 2019, coloca en el mercado 17.520 toneladas de cemento referencia alta resistencia temprana - ART y 43.800 toneladas de cemento referencia Uso general UG, producción que es sostenida por dos líneas de producción ubicadas en la sede Sogamoso<sup>1</sup>.

La capacidad productiva de la planta en referencia esta soportada en 02 líneas de producción que de acuerdo al tipo de tecnología implementada sacan al mercado cemento tipo estructural ART y cemento UG de uso general.

La línea 1, detallada en el Anexo 1, con más de 15 años de servicio, produce a la fecha seis toneladas de cemento ART por hora y se caracteriza por contar estructuralmente con un molino cónico de bolas, horizontal, marca Harding, con un Ø1800 mm externo y 4200 mm de longitud de dos cámaras, transmisión por sistema de corona a reductor, con motor de serie G05-A11407-M1 y sistema de corona a reductor, con motor de serie G05-A11407-M1 y sistema de babbitts. Desarrolla una potencia de 200hp. En esta línea, la producción se obtiene mediante un proceso de recirculación de los granos más gruesos a través de un separador dinámico que los devuelve al molino, hasta obtener un grano más fino acorde con las características que se requieren para dicha referencia.

La línea 2, detallada en el Anexo 2, se caracteriza porque estructuralmente se conforma de un molino de bolas horizontal, marca Henan, de Ø2200 mm externo y 8500 mm de longitud, posee dos cámaras de 21,00 RPM que permiten producir 15 Ton/h de cemento clasificación uso general UG a una potencia de 500HP/450 KW, con un grano menos fino, pero con una producción horaria superior a la de la línea 1.

Las limitaciones que presenta para producir cemento de clasificación ART, radica en que esta línea no cuenta con un separador dinámico igual de la línea No.1 Es importante destacar que la función del separador dinámico es lograr que el cemento salga con un nivel de finesa superior al del cemento de uso general UG. A pesar de que la línea 1 produce cemento de calidad más fina, la maquinaria instalada a la fecha presenta un importante grado de obsolescencia que constantemente presenta fallas en los sistemas de lubricación, generando continuos reportes y altos costos de mantenimiento

El nivel de obsolescencia de la maquinaria en la línea 1, los altos costos de mantenimiento y la baja productividad por hora, se convierten en los factores de decisión para sacar del proceso productivo esta línea y analizar mediante estudios técnicos la posibilidad de mantener la producción de cemento tipo ART utilizando la maquinaria de la línea 2.

La primera dificultad se presenta en las características técnicas de la máquina de la línea dos, que solo esta acondicionada para producir cemento del tipo Uso General - UG y en los costos que el acondicionamiento para producir referencia ART pueda generar a la Planta de Sogamoso.

---

<sup>1</sup> CEMENTOS DEL ORIENTE. (2019). *Informe de producción 2019*. Sogamoso.

Por otra parte, los ciclones de separación tienen múltiples inconvenientes que afectan el proceso, problemas como, clasificación para un solo tipo de cemento, nula redirección del material más grueso e inadecuada eficiencia en el transporte. Adicionalmente estos ciclones, tienen un mecanismo para la clasificación y separación del material, pero no cuenta con las características que permitan obtener una óptima clasificación.

Todo lo expuesto permite concluir que, la Planta de Cementos del Oriente sede Sogamoso, requiere reacondicionar técnicamente la línea N.2 para mejorar el proceso productivo y sostener la producción de cemento ART que es de mejor calidad que el UG y que puede generar mejores rendimientos en la medida en que se incremente la producción de este.

Debido al nivel de obsolescencia y altos costos de mantenimiento que representa tener en servicio la línea 1, se ha realizado el presente estudio que tiene como objetivo general, proponer el diseño de un separador dinámico que mejore la capacidad técnica de la línea de producción 2 para la obtención de cemento tipo ART en la Planta Cementos del Oriente sede Sogamoso y la ejecución de objetivos específicos tales como, describir el proceso productivo de cemento tipo ART, construir el soporte teórico, conceptual, técnico y cálculos de ingeniería para la propuesta de diseño del separador dinámico de la línea 2 y diseñar el separador dinámico de la línea 2 acorde con los parámetros de diseño y cálculos de ingeniería.

Para tal fin, el proyecto se encuentra estructurado en tres fases, a saber: la primera corresponde la caracterización del proceso productivo y los reportes de producción que permitieron establecer el planteamiento y formulación del problema; la segunda consolida la estructura teórica del proyecto con información sobre los tipos de separadores dinámicos que existen en la actualidad, documentando el proceso de producción del cemento que se lograría con dicha adecuación a realizarse en la línea 2 y la tercera fase presenta los cálculos de ingeniería y de costos requeridos para el diseño del separador dinámico .

El proyecto es un aporte que realiza el autor a los procesos productivos de la industria del cemento en Colombia, con el respaldo y asesoría de la Universidad Antonio Nariño. El presente documento, por su contenido teórico y técnico, también puede ser considerado material de consulta académica.

El proyecto se elaboró en el software Autodesk Inventor, versión estudiantil.

# **1.Objetivos**

## **1.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de un separador dinámico que mejore la capacidad técnica de la línea de producción No.2 para la obtención de cemento tipo ART en la Planta Cementos del Oriente sede Sogamoso.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Describir el proceso productivo de cemento tipo ART que se produce en la Planta Cementos del Oriente sede Sogamoso.

Construir el soporte teórico, conceptual, técnico y cálculos de ingeniería para la propuesta de diseño del separador dinámico de la línea No.2 de la Planta Cementos del Oriente sede Sogamoso.

Diseñar el separador dinámico de la línea No.2 de la Planta Cementos del Oriente sede Sogamoso acorde con los parámetros de diseño y cálculos de ingeniería.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Separador Dinámico

De acuerdo con la compañía Dal Engineering Group en adelante DEG, el separador dinámico es un dispositivo que separa el material grueso del material fino, obteniendo así un material rechazado (Deg Dal Teknik Makina, 2020). El separador dinámico es utilizado en áreas industriales, tales como cemento, energía, minería, metales y agricultura.<sup>2</sup>

Una adecuada descripción sobre los separadores se encuentra en un estudio publicado en (Course Hero), donde se argumenta que aun cuando los separadores de aire usados en la industria del cemento se rigen por los mismos principios básicos, difieren en cuanto a su diseño y ámbito de aplicación<sup>3</sup>. Las principales diferencias se presentan en:

- ✓ Forma de introducir el material a separar y el aire de separación.
- ✓ Magnitud de la aceleración centrífuga.
- ✓ Forma de separar el producto acabado de la corriente de aire.

Además, en algunos separadores de aire el material puede someterse a tratamientos de secado o de enfriamiento.

De acuerdo al tipo de empresa fabricante, cada uno dentro de los catálogos de operación y componentes establecen las partes principales del separador dinámico, por ejemplo (Deg Dal Teknik Makina, 2020), se componen de: aspas (rotor, estática, vórtice), carcasa y caja de rechazo. Asimismo, definen que, según los principios de funcionamiento, estos pueden ser divididos en estáticos y dinámicos. De acuerdo con el diseño de la carcasa, estas pueden ser de dos tipos: espiral y carcasa cilíndrica.

Antes de comenzar a caracterizar teóricamente este dispositivo fundamental en el proceso de producción de cemento, es importante hacer un breve relato sobre las diferentes categorías que existen. Para tal fin se documenta a continuación información de (Sánchez Vázquez, 2016) y la compañía Cementos Mexicanos S.A en adelante (Cemex), sobre separadores en circuitos de molienda de cemento:

#### 2.1.1 Características de los separadores

Estructuralmente los separadores pueden contener partes estáticas o dinámicas y algunos ofrecen la posibilidad de ser ajustados según el tipo de operación. De la misma manera para

---

<sup>2</sup> DEG. (2020). El separador Dinámico. Obtenido de Dal teknik Makina: <http://www.dalteknik.com/separador-dinamico-deg-es#:~:text=El%20Separador%20Din%C3%A1mico%20es%20un,obteniendo%20as%C3%AD%20un%20material%20rechazado.&text=Los%20Separadores%20de%20acuerdo%20con,dos%20grupos%20est%C3%A1ticos%20y%20din%C3%A1micos.>

<sup>3</sup>COURSE HERO. (s.f.). *Tipos de separadores*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/43252341/Leccion16CEMENTOSSeparadoresAireTIPOSpdf/>

la generación del aire se puede utilizar un ventilador que ofrece la posibilidad de ser acoplado interna o externamente y ajustado a varios niveles de velocidad.

Con respecto a la colección de finos, estos se pueden realizar utilizando filtros, sistemas de ciclones exteriores e independientes o el cono exterior del separador. Adicional a un óptimo proceso de selección y separación de los granos, los separadores también deben proporcionar uniformidad del producto final resultante.

Teniendo en cuenta que en la molienda existen dos vías para obtener la separación (vía seca y vía húmeda). Mediante la primera, se utilizan los separadores mecánicos que básicamente hacen el barrido de las partículas mediante flujo de aire generado mediante componentes rotativos. Mediante la vía húmeda, el proceso de clasificación se realiza mediante hidrociclones. Vale la pena destacar, que, aunque hay variedad de separadores, todos operan según los mismos principios y solo varían respecto al diseño y el contexto en el que van a ser utilizados. Algunas de estas diferencias tienen que ver con la forma en que el material es inducido, el nivel de aceleración para el centrifugado y la forma como el producto final es sometido al proceso de separación.

Otras características importantes se hacen evidentes en la disminución del consumo de energía eléctrica, incremento en la capacidad de molienda y la posibilidad de obtener diferentes niveles de finura utilizando el mismo equipo de molienda. A los beneficios anteriores se agrega la posibilidad de obtener mejor calidad de producto, óptimos procesos de secado y enfriamiento y la posibilidad de generar cemento con finura superior a la obtenida en circuitos abiertos.

Con respecto a la forma como se alimenta el separador para la dispersión del material este se puede realizar mediante un plato rotativo interno o fuera del separador en un componente separado donde se mezcla el material con el aire. Los separadores utilizan aire frío y caliente para la separación de las partículas y este puede proceder del medio ambiente, de estufas u hornos o el mismo aire recirculado que es producido por el molino.

Otra característica propia de los separadores tiene que ver con el tipo de rotor utilizado del cual existen diferentes presentaciones, con alabes selectores de uno y dos niveles y de forma cilíndrica y que de acuerdo a la estructura definen la velocidad entre fija o variable. Asimismo, las aspas de los rotores podrían ser estáticos o modificables ya sea de forma horizontal o vertical.

## **2.2 Separadores en Circuitos de Molienda de Cemento**

En la industria cementera existen tres categorías de separadores dinámicos los cuales se describen a continuación.

### **2.2.1 Separadores de primera generación**

Esta primera generación de separadores comenzó a desarrollarse durante el año 1885 y una de las características principales radicaba en que la colección del grano fino/grueso y la generación del aire que se utilizaba para separar la mezcla se realizaba dentro del mismo componente.

El nivel de finura se realizaba mediante aletas selectoras que podían ser ajustadas de acuerdo a la calidad de grano que se requería obtener. Las casas fabricantes en procura de obtener mayor calidad en el producto final comenzaron a generar mejoras en dichos equipos logrando de primera mano aumentar la velocidad de la turbina mejorando la capacidad de esta. Otras mejoras están relacionadas con la aerodinámica en la zona de aspiración de la turbina que evita la caída de presión en todo el sistema, así queda descrito en el manual de capacitación de separadores publicado por la compañía (Cemex) <sup>4</sup>.

En un estudio sobre separadores en circuitos de molienda de cemento (Sánchez Vásquez, 2016) se presenta la comparación de las eficiencias que destaca a los separadores según la generación y que se resume en la Tabla 1-1.

**Tabla 1-1** Comparación de Eficiencias

CATEGORY	1 ST GENERATION	2 ND GENERATION	3 RD GENERATION
NAME	CONVENTIONAL SEPARATORS	SEPARATOR WITH CYCLONES	HIG EFFICIENCY SEPARATORS
EFFICIENCY	40-60%	60-80%	80-90%
BY PASS	20-70%	10-40%	0-30%
IMPERFECTION	0,35-0,75	0,2-0,5	0,15-0,4
BLAINE OF TAILS	1100-2000	800-1200	550-1200

Fuente: (Sánchez Vásquez, 2016) [www.thecementgrindingoffice.com](http://www.thecementgrindingoffice.com)

En el mismo documento publicado por la compañía CEMEX se describe pormenorizadamente la segunda y tercera generación, documento del cual se transcriben los aportes más importantes.

## 2.2.2 Separadores de segunda generación

En la industria cementera estos tipos de separadores fueron introducidos en el mercado durante los 60s. El concepto fundamental de diseño para este tipo de separadores consistía en ubicar la captación de finos en ciclones externos. De la misma forma fue ubicado el ventilador de impulsión de aire de manera externa colocándolo detrás de la separación de finos. El proceso de alimentación, separación y recolección de gruesos y control de finura siguió realizándose de la misma forma que los separadores de primera generación, a diferencia que los gruesos en esta generación eran lavados por tres corrientes de aire que circulaban en la parte inferior, proceso que mejoro la calidad del grueso. Con respecto al control de la finura.

Las dos generaciones anteriormente descritas presentaron importantes deficiencias de las cuales se pueden enunciar las siguientes:

✓ Los separadores no tenían la capacidad de impartir velocidad y aceleración centrifugada constante a las partículas debido a que la velocidad tangencial de la aleta selectora aumenta a medida que se acerca la periferia.

<sup>4</sup> CEMEX. (s.f.). Manual de capacitación Separadores. Capítulo 9.

✓ La capacidad del separador dinámico se veía afectada por un incremento de partículas en el aire de separación que ocasionaban mayor circulación de partículas finas entre las aletas clasificadoras y las zonas de entrada de aire.

✓ En la sección donde se encuentran situadas las paletas selectoras la velocidad del aire es muy alta. Arriba de estas paletas el área transversal de la cámara de separación aumenta y la velocidad del aire disminuye. La capacidad de acarreo del aire de separación también disminuye y parte del material que fue separado como finos desciende. De aquí el material es centrifugado hacia la parte externa y desciende hacia la zona de alta velocidad donde es levantado de nueva cuenta. Aquí también se presenta la recirculación interna que afecta la capacidad del separador. (Cemex).

### **2.2.3 Separadores de tercera generación**

Resumiendo, los aspectos técnicos de este tipo de separadores publicados por (Cemex), A pesar de que los separadores de primera y segunda generación no fueron sacados de mercado, a finales de los años 70s aparece un nuevo tipo de separador con el cual se buscaba mantener un mismo régimen de velocidad periférica en todos los puntos de separación, adicionalmente disminuir o eliminar en lo posible la recirculación del material del área interna. Otros aspectos que se buscaban lograr o mejorar con estos separadores era lograr una correcta separación de partículas y por ello eran necesario que el material que alimentaba el separador mantuviera más tiempo dentro de la zona de separación y lograr adicionalmente una distribución uniforme en esta zona<sup>5</sup>.

El consumo de energía también represento uno de los beneficios que se logró con los separadores de tercera generación. Técnicamente las paletas selectoras fueron ubicadas de forma vertical lo cual garantizo uniformidad en la velocidad periférica.<sup>6</sup>

## **2.3 La Dispersión**

Una de las características más importantes que presentan los separadores dinámicos está relacionada con el proceso de dispersión del material que existe en el aire; el cual se realiza a través de un disco giratorio el cual recibe este material que viene del molino y siendo transportado a través de elevadores hasta la boca de entrada del separador. Las fuerzas centrifugas generadas por el disco de distribución lanzan el material dentro de la corriente de aire para generar el proceso de separación de partículas.

Otro proceso de dispersión de material puede darse fuera del separador y en este caso intervienen molinos barridos por aire que se encargan de realizar el proceso cuando el material esta rumbo al separador. En este caso un plato fijo ayuda a descomponer las partículas que se aglomeran y posteriormente es transportado a las zonas de separación por el aire.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> CEMEX. Op. Cit. p.3

<sup>6</sup> CEMEX. Op. Cit. p. 4.

<sup>7</sup> CEMEX. Op. Cit. p.6

## 2.4 Tipos de separadores

De acuerdo a las características técnicas y de operación los separadores pueden ser clasificados en dos tipos, estáticos y dinámicos.

### 2.4.1 Los separadores estáticos

Son los más simples y se caracterizan porque no tienen partes mecánicas rotatorias, solo usan aire para el transporte del material, solo colectan partículas gruesas y el ajuste de granulométrico se hace mediante una válvula (Cemex, pág. 27). Los hay de ciclón simple y de separador estático de aire.<sup>8</sup>

Los de ciclón simple colectan la mayor parte del polvo reduciendo de esta manera la carga que recibe el filtro, también sirven para eliminar flujos de gas que aparecen en el horno de polvo antes que puedan ser reusados como fuentes de calor en molino. Para el caso del separador estático de aire técnicamente no tienen partes que generen movimiento mecánico y son utilizados en moliendas que utilizan barrido por aire y solamente colectan material grueso mientras que las partículas finas pasan con el aire. (Cemex, pág. 27).

Este tipo de separadores no poseen partes rotatorias y el material que requiere ser clasificado ingresa por la parte inferior a través de un tubo que igualmente recibe el aire que viene del molino. Una vez el material sale del tubo de alimentación se mueve entre la pared cónica exterior y el cono separador interno. Las partículas más pesadas se separan debido a la corriente de aire que fluye a través de la sección transversal disminuyendo su velocidad. El material que es recolectado en la cámara exterior es descargado por el fondo produciendo residuos o partículas de mayor tamaño (Course Hero, s.f.).

Todas las partículas que ingresan en el aire por la parte alta del separador y que no fueron seleccionadas son enviadas al interior de un cono por medio de un anillo de alabes ajustable. Allí el material sólido se somete a una fuerza centrífuga cuya magnitud depende de la posición de los álabes que producen aire para que las partículas asuman un movimiento descendente acelerado en forma espiral<sup>9</sup>. Este tipo de movimiento hace que las partículas mayores y pesadas sean enviadas contra las paredes del cono perdiendo velocidad y caen hacia la salida de residuos del separador para volver al molino y ser molidos nuevamente (Course Hero, s.f.).

En la figura 1-2 puede verse una representación esquemática de este tipo de separador, donde el material para clasificar entra en el separador por su parte inferior a través de un tubo, merced al arrastre que ejerce la corriente de aire que proviene del molino.

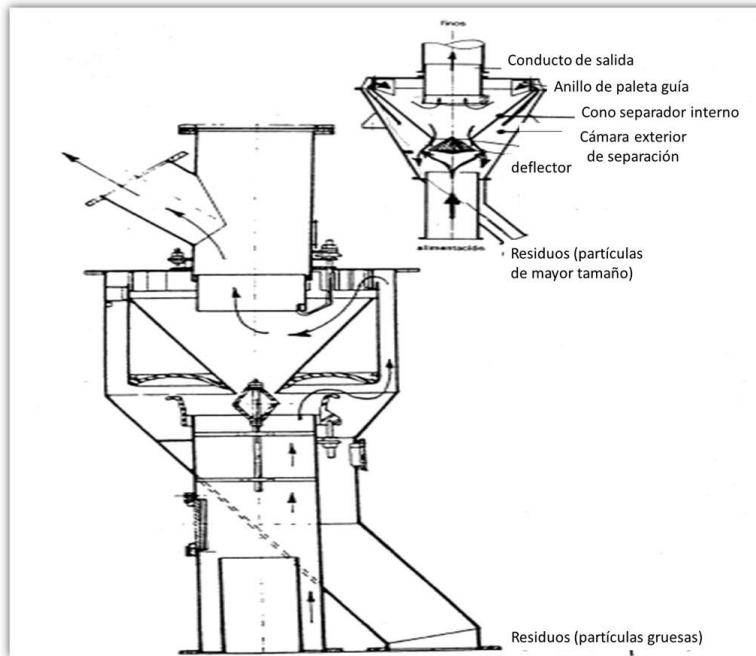
Mientras las partículas más pesadas retornan al proceso de molienda las más finas mantienen suspendidas en el aire y en movimiento de espiral son enviadas a la parte superior del separador donde se encuentra ubicado un colector de polvo, ciclón o filtro que logran la separación de estas partículas de la corriente de aire.

---

<sup>8</sup> CEMEX. Op. Cit. p.7

<sup>9</sup> COURSE HERO. (s.f.). *Tipos de separadores*. Obtenido de Lección 16 Cementos. Separadores aire: <https://www.coursehero.com/file/43252341/Leccion16CEMENTOSSeparadoresAireTIPOSpdf/>



**Figura 1-2.** Separador Estático de Aire.

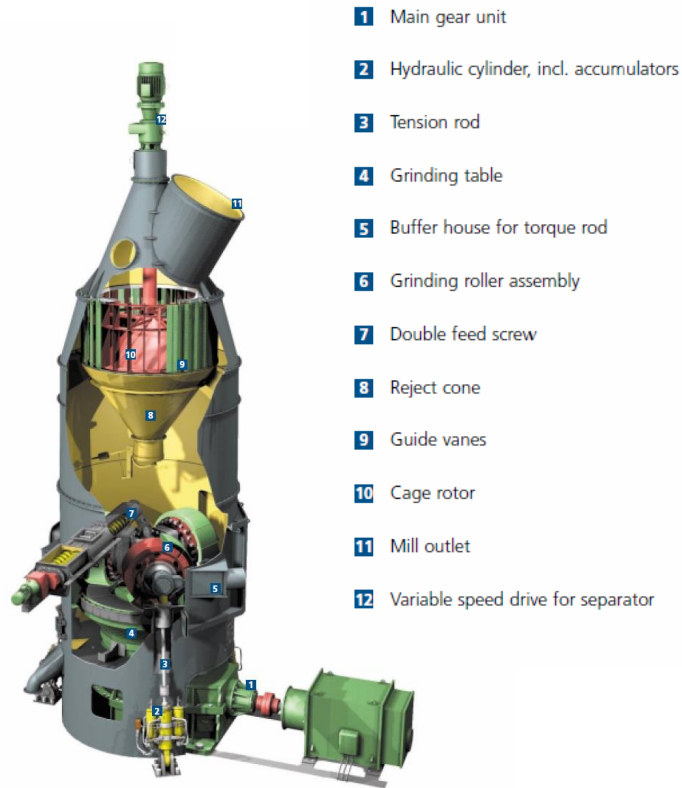
Fuente: <https://www.coursehero.com/file/43252341/Leccion16CEMENTOSSeparadoresAireTIPOSpdf/>

**Separador con rotor de aletas.** En la figura 2-2 presenta un separador de rotor de aleta, que está compuesto de un rotor de aletas en disposición cónica la cuales giran sobre un eje vertical al interior de una cubierta de tipo cónico. La corriente de aire cargada de material ingresa por la parte inferior del separador y distribuido lateralmente por deflexión. Entonces, las aletas rotativas comienzan a imprimir velocidad a la de corriente de aire que es succionado por las rendijas entre los álabes del rotor el cual desde que ingresa a la caja del separador ya posee un movimiento tipo espiral (Pleguezuelos , 2013, pág. 16).

Con respecto a material particulado pesado, es enviado hacia la parte exterior contra las paredes del separador, volviendo nuevamente al molino para reiniciar el proceso de molido. A su vez, Las partículas finas se desplazan a través del aire y se envían fuera del separador donde se separan de la corriente de aire mediante filtros o ciclones. (Pleguezuelos , 2013, pág. 16).

Es importante destacar que este tipo de separador con aletas se usa en conjunto con molinos de barrido por aire y muy particularmente con los molinos de rodillos, en los cuales el separador se acopla en un solo conjunto a la caja del molino prolongándose hacia arriba. Adicionalmente y como alterno, el aire que viene del molino y que contiene material particulado, ingresa al separador por medio de un tubo de posición ascendente, que puede ser utilizado, asimismo, como medio para procesos de separación de aire cargado de partículas de cualquier clase. Este tipo de separadores tiene la propiedad de ser modificados en la velocidad de rotación para sostener el flujo de aire constante.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> COURSE HERO. Op. Cit. p.7

**Figura 2-2.** Separador de aletas.

**Fuente:**

[https://ximang.vn/Upload/48/Nam\\_2014/Thang\\_12/Ngay\\_18/He%20thong%20nghien/Nghienthan.ATOXpdf.PDF](https://ximang.vn/Upload/48/Nam_2014/Thang_12/Ngay_18/He%20thong%20nghien/Nghienthan.ATOXpdf.PDF)

## 2.4.2 Separadores de aire dinámicos

Este tipo de separadores son los más usados en la industria cementera y tienen como función principal separar material particulado grueso de material fino. Estructuralmente se dividen en tres partes fundamentales, aspas, carcasa y caja de rechazo. Con respecto a los separadores estáticos estos presentan las siguientes diferencias:

- ✓ El material particulado se dispersa mediante la utilización de discos o platos giratorios.
- ✓ El flujo de aire requerido para la separación de las partículas es obtenido de ventiladores situados externamente o en la parte superior del separador.
- ✓ El ingreso del material particulado se realiza de manera mecánica por medio de transportadores continuos.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> COURSE HERO. Op. Cit. p.9

En las publicaciones de (Sánchez Vásquez, 2016), (Cemex) y el portal COURSE HERO y como ya se reseñó anteriormente, existe coincidencia en el sentido de que estos separadores a través de la historia han sido clasificados en tres tipos o generaciones. Los primeros estaban compuestos de un ventilador interno, los segundos constaban adicionalmente de ciclones planetarios y producto de la idea de mejorar los procesos de separación de partículas, fueron creados los de alta eficacia o tercera generación.

En la investigación sobre separadores en circuitos de molienda, (Sánchez Vázquez, 2016), argumenta que “en la primera generación, el flujo del aire es generado por un ventilador contenido en el cuerpo del clasificador. La segunda generación, el flujo de aire es generado por un ventilador externo y posee ciclones y la tercera generación tiene una caja rotatoria que reemplaza la de contracuchilla.”<sup>12</sup>

Para ampliar la presentación teórica preliminar que sobre las tres categorías de separadores se hizo en páginas anteriores, a continuación, se presenta el desarrollo teórico sobre separadores en circuitos de molienda de cemento publicado por (Sánchez Vásquez, 2016) y las investigaciones realizadas en la compañía CEMEX.

**Separadores de 1RA. Generación.** Estos separadores se utilizan en molinos de materia prima y de cemento; entre los más importantes se pueden ubicar, el estándar de Sturtevant, Raymond, Polysius, el CV de FLS, etc., destacándose las siguientes características (Cemex):

- ✓ Tienen ventilador interno tipo paletas y la separación de material particulado es realizado por alabes o aspas selectoras que son ajustables para controlar el tamaño de la finura
- ✓ El material particulado que llega al separador por medio de un plato distribuidor para que la colección de finos y gruesos se realice en el cuerpo del mismo.
- ✓ En eficiencia Vs promedio tienen valores hasta de 25 - 40 % (para cemento).
- ✓ El valor promedio de By-pass en la curva Tromp tiene un promedio de 40-70% para cemento (aunque en caso de estar produciendo cementos de baja finura se han encontrado valores de 30%).
- ✓ La mayoría de ellos tienen velocidad constante en el plato distribuidor, excepto el separador Turbopol de Polysius. (Cemex, pág. 29).

De igual manera las desventajas o deficiencias están relacionadas con ineficiencia en la distribución del material en la sección transversal del separador y la pobre dispersión del mismo en el aire de separación. Asimismo, cuando hay grandes cargas de material fino circulando en el aire, incrementa la cantidad de estos con la salida de los gruesos, fenómeno que crece al aumentar la finura del producto y el tamaño del separador<sup>13</sup> (Cemex, pág. 29).

De igual manera en la investigación de (Sánchez Vásquez, 2016), se referencia ventajas y desventajas de los separadores de la primera generación. Destaca que estos separadores, tienen la posibilidad de realizar ajustes mecánicos, procesar material particulado a grandes

---

<sup>12</sup> SÁNCHEZ VÁSQUEZ. Op. Cit. p.1

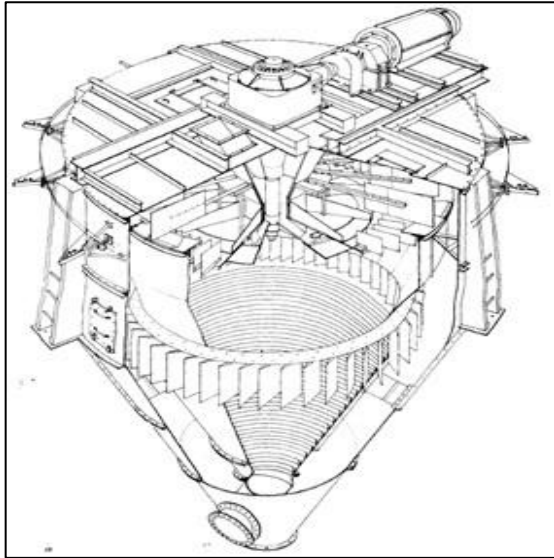
<sup>13</sup> CEMEX. Op. Cit. p.9

ritmos de flujo y adicionalmente producir productos de variadas características. Respecto a las desventajas, considera una pobre deficiencia distribución de material en la sección transversal del separador, lo cual desencadena baja eficiencia en la circulación de altas cargas de material particular. También, baja dispersión de material en el aire separador e importante cantidad de material fino que circula en el aire, incrementando la cantidad de finura que viene con las colas restando la posibilidad de un enfriamiento o secado del material de manera optima<sup>14</sup>

Con respecto a los separadores sturtevant, Polysius y Raymond, en la figura 3-2 registra características tales como; los tres trabajan con velocidad fija, la cantidad y tamaño de las paletas del rotor son las que establecen el índice de finura, mientras que el diafragma establece la exactitud de la misma. A diferencia del separador Sturtevant los Polysius y Raymond, tienen alabes selectores dobles ubicados en dos niveles, superior e inferior (Cemex, pág. 30)., <sup>15</sup>:

**Separadores con ventilador externo y ciclones planetarios o segunda generación.** Este grupo de separadores se identifica por una mayor eficacia respecto a los separadores de primera generación. Cuentan en su estructura con un sistema de ventilación externo y los finos son recolectados en ciclones o colectores externos. Adicionalmente, el proceso de selección del material particulado se realiza mediante alabes o aspas selectoras lo cual da un valor de eficiencia de 50-60% para el caso de producción cementera (Cemex, pág. 32).

**Figura 3-2.** Separador sturtevant.



Fuente <https://www.coursehero.com/file/43252341/Leccion16CEMENTOSSeparadoresAireTIPOSpdf/>

Otros aspectos referenciados en las publicaciones reseñan que a diferencia de los separadores de primera generación el consumo de energía es mayor y los costos de

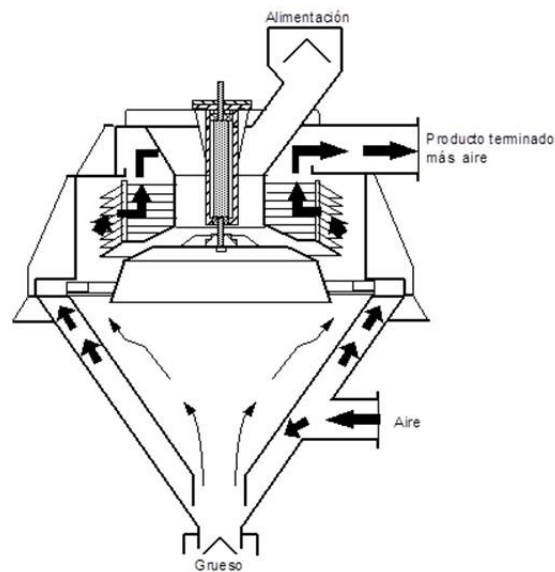
<sup>14</sup> SÁNCHEZ VELÁSQUEZ. Op. Cit. p.9

<sup>15</sup> CEMEX. Op. Cit. p.9

instalación son superiores. A este grupo pertenecen separadores rotatorios FLS los cuales utilizan para el proceso de selección de partículas un ventilador y ciclón por separado. En este tipo de separadores las partículas finas son separadas en un ciclón producto del arrastre que genera la corriente de aire llevándolas fuera del separador mientras que las partículas gruesas se dispersan contra la pared exterior del recipiente donde se lleva el proceso de dispersión<sup>16</sup> (Cemex, pág. 32).

Existen separadores producidos por la empresa FLSmidth del tipo RE, que de acuerdo a las características técnicas y de diseño permiten que el material particulado ingrese al separador por medio de elevadores, y el aire es enviado por la parte inferior del separador utilizando un ventilador ubicado en esta sección tal como se ilustra en la figura 4-1 (Cemex, pág. 32).

**Figura 4-2.** Separador RE de F.L.Smith.



**Fuente.** CEMEX.(s.f.). Manual de capacitación Separadores. p.11.

En los separadores de segunda generación tipo REC el material también ingresa al separador por medio de un elevador pero el aire es producido por un ventilador ubicado al lado de una toma cilíndrica alimentando cuatro ciclones planetarios. Una característica importante en este separador es que el rotor se integra con el disco de distribución y posee una transmisión que genera una velocidad variable para el proceso de separación de partículas. (Cemex, pág. 32).

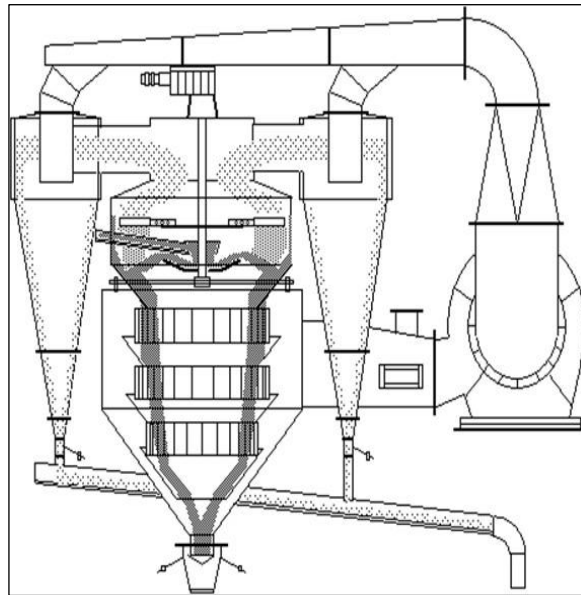
También existen los separadores de segunda generación tipo CARAPOL que, a pesar de solucionar el problema de distribución propios de esta generación, presenta como desventaja, la aparición de desgastes en sus piezas y escaso tiempo para el proceso de dispersión, adicional a la alta pérdida de presión. En los separadores de segunda generación tipo CICLOPOL, la finura del producto se realiza mediante un plato dispersor de velocidad variable compuesto por 24 alabes o aspas.

<sup>16</sup> COURSE HERO. Op. Cit. p.15

Cuenta también, con tres series de anillos de alabes deflectores que orientan el aire dentro del separador. Adicionalmente, poseen un cono externo para soportar la estructura y acoplar un conjunto de seis ciclones donde se realiza la separación del material utilizando aire de un ventilador montado externamente. (Cemex, pág. 32).

Tal como se evidencia en la figura 5-2, el material particulado, ingresa por la parte inferior del plato dispersor que, con la acción rotativa crea corrientes de aire que se dirigen hacia las aspas deflectoras del cono interno y el conjunto de seis ciclones. Una vez realizado el proceso de separación, el aire desempolvado es recirculado por un ventilador externo, el cual envía el flujo de aire nuevamente al interior del separador (Cemex, pág. 33).

**Figura 5-2.** Separador Ciclopol de segunda generación de Polysius.



**Fuente.** CEMEX.(s.f.). Manual de capacitación Separadores. p.13.

**Separadores de tercera generación (alta eficiencia).** Continuando con la evolución, este tipo de separadores es utilizado en la industria cementera por la capacidad que tiene de generar altos contenidos de finos y la facilidad de alternar con diferentes tipos de material. Estas dos importantes características, han revolucionado la industria y ya en muchas plantas, se adelantan procesos de modificación en circuitos antiguos de molienda para reemplazar los separadores viejos. Entre otras características vale la pena destacar que la separación del material particulado se realiza mediante un rotor cilíndrico de velocidad variable. Adicionalmente poseen un sistema de ventilación externa. La eficiencia de estos separadores está en el rango del 70-85% y en la curva de Tromp el By-pass registra valores entre 0-10% de (Cemex, pág. 33).

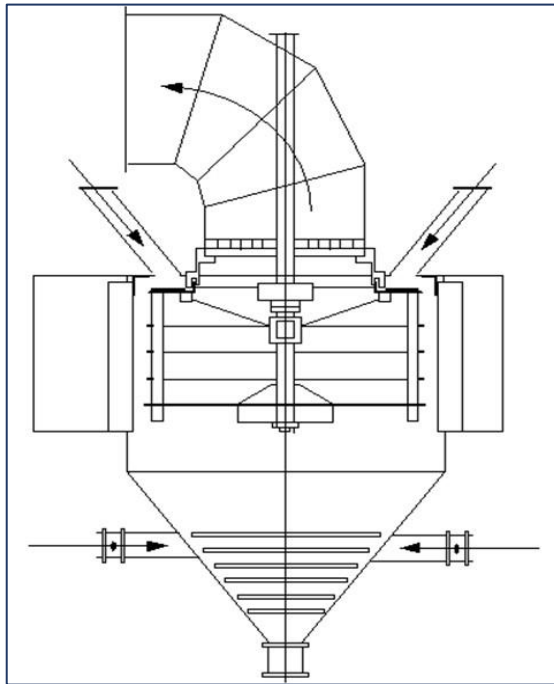
Entre los separadores de tercera generación se pueden encontrar las siguientes referencias: el separador Raymond High Efficiency que aún conserva el concepto de disco de distribución y un rotor con paletas selectoras. Las mejoras consistieron en la modificación de ingreso y salida del aire de separación y el control de velocidad del ventilador y el rotor (Cemex, pág. 34).

El separador de tercera generación Sturtevant SD, se diferencia del resto de separadores por la ubicación del disco de distribución que queda ubicado sobre el rotor cilíndrico, posee barras verticales y no paletas como los otros, en este tipo de separador los finos se desplazan desde el centro del rotor para salir por la parte inferior del separador y la finura del grano se controla por la velocidad del rotor y la cantidad de aire que es regulado por una válvula en el circuito (Cemex, pág. 34).

En los separadores de la línea Humbolt/Wedag-Zub-J. Los índices de finura del material se controlan por la velocidad que genera el rotor y la cantidad de aire que es igualmente regulada por una válvula instalada en el circuito. Como característica importante este tipo de separadores solo presenta dos modificaciones, la primera un rotor cilíndrico y la segunda una entrada de aire tangencial al rotor que se realiza a través de celosías (Cemex, pág. 34).

En los separadores de la línea Fuller/Onoda O-Sepa, el proceso de separación de partículas utiliza aire que se obtiene de tres fuentes: un aire primario que viene del molino en un rango de 30-50% de frío, un segundo aire frío y de despolvamiento que proviene del elevador, estas dos fuentes de aire ingresan a la zona de dispersión/separación de manera tangencial por las paletas verticales y luego al rotor que arrastra los finos y los dirige a los ciclones o filtro y finalmente, una tercera fuente de aire que siempre va a ser fría e ingresa por los tubos en el cono de gruesos tal como evidencia en la figura 6-2 (Cemex, pág. 34).

**Figura 6-2.** Separador de tercera generación O-Sepa de Fuller.



**Fuente.** CEMEX.(s.f.). Manual de capacitación Separadores. p.35.

Los separadores de la línea FLS-SEPAX. Fueron desarrollados en 1982 por la compañía FLSMIDTH con el fin de mejorar los tiempos de fabricación y eficiencia durante los procesos de separación de partículas. Por estas razones, en el diseño se tuvo en cuenta que el

separador estuviera compuesto de dos partes, una el separador y la otra, la zona de dispersión del material que debían estar comunicadas entre sí a través de un tubo de ascensión vertical. De esta manera el material que proviene del molino ingresa a la zona de dispersión y se mezcla con una corriente de aire ascendente. De esta manera, el material que queda suspendido en el aire, llega al rotor a través de un sistema de celosías verticales que tienen como función, regular la velocidad del aire asegurando una distribución homogénea con la que se pueda obtener exactitud en la separación de partículas.

Otra función de las celosías es lograr que el aire tenga rotación previa lo cual, beneficia el proceso de separación de partículas. La otra función de las celosías consiste en recolectar el material grueso rechazado por el rotor y que sale del separador a través de un ducto establecido para tal fin, mientras que el material fino se recolecta en la parte superior del separador. El aire utilizado en el proceso de separación puede recircularse total o parcialmente a la entrada del separador (Cemex, pág. 36).

En los separadores tipo Sepol de Polysius, se garantiza una distribución uniforme del material gracias a que la alimentación, se realiza por medio de aerodeslizadores y campanas distribuidoras. En estos separadores, el aire es producido por un ventilador externo y, el caudal de aire se puede adaptar por medio de compuertas ajustables para que fluya en cada nivel del separador.

La división del material en finos y gruesos sucede por la acción que genera la fuerza de las masas y el flujo. En este proceso, los alabes se utilizan para mantener el efecto de rotación de la corriente de aire e impiden que ingrese partículas gruesas que puedan estar adheridas al material fino. Es importante aclarar que el material grueso cae o es recolectado en el respectivo cono para ser devueltos al molino mientras que el material fino es dirigido a la parte inferior del colector de polvos y el aire desempolvado retorna nuevamente al ventilador (Cemex, pág. 37).

### **2.4.3 Arreglo de separadores**

Como en cualquier empresa, dentro de los objetivos más importantes, es común encontrar el desarrollo de estrategias técnicas, logísticas y productivas que permitan la optimización de los recursos con los que la compañía opera en los mercados. Por lo anterior, dichas estrategias están orientadas a reducir costos y tiempos de operación. Para las plantas productoras de cemento, no es ajeno el hecho de incursionar en los procesos de planeación que involucran este tipo de estrategias, más si se tiene en cuenta que los principales costos productivos se dan en el consumo de energía, mercadeo, transporte y almacenamiento de materia prima y producto final.

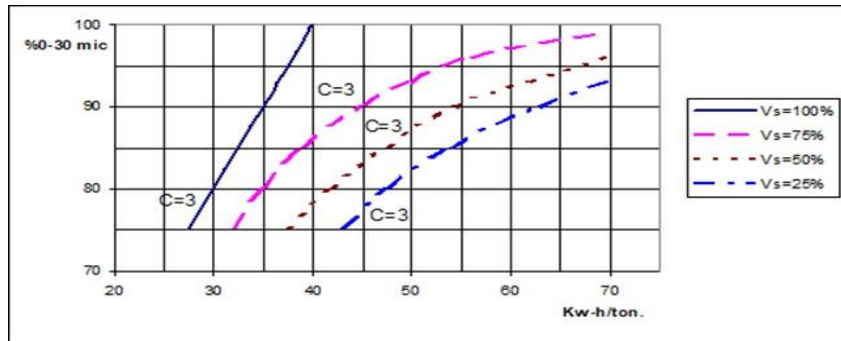
Es por eso que las plantas productoras de cementos a la fecha realizan estudios para lograr implementar la producción de cemento en circuitos cerrados con la utilización de separadores de alta eficiencia que ofrecen ventajas relacionadas con el ahorro en el consumo de energía.

El documento de CEMEX detalla, "si el cemento se muele hasta cierto residuo de tamizaje que, para una calidad de clinker dada, por lo general, está correlacionado con las



resistencias del cemento. El ahorro de energía que se puede obtener moliendo en circuito cerrado en vez de circuito abierto hasta ciertos residuos de tamizajes es, para una cifra de circulación determinada directamente proporcional al grado de eficiencia del separador tal como se muestra en la figura 7-2<sup>17</sup> (Cemex, pág. 38).

**Figura 7-2.** Fracción 0-30 micras en función del consumo específico de energía.



**Fuente.** CEMEX.(s.f.). Manual de capacitación Separadores. p.19.

Otras mejoras que se pueden obtener al disponer de separadores de esta índole están dadas en el aprovechamiento del aire que utiliza el separador para la clasificación de material particulado que adicionalmente a ser fresco puede ser recirculado nuevamente, mediante la utilización de filtros para desempolvarlo y evitar que este regrese al separador, así se obtiene entonces un máximo de enfriamiento en el producto final con temperatura del material entre los 70 a 75°C esta temperatura contribuye a la estabilidad de almacenaje del cemento y no haría falta usar un enfriador adicional para el polvo de cemento.

Lograr enfriar el material grueso reduce la necesidad de enfriamiento al interior del molino ya sea con agua o con aire. Aunque desde el punto de vista de eficiencia de molienda se puede justificar no enfriar el material grueso que es retornado al separador del molino, y entonces el calor de este material puede ser utilizado para el secado de la alimentación que se hace con agregados húmedos. (Cemex, pág. 39).

## 2.5 Proceso productivo

Para la producción de cemento se requieren cuatro elementos básicos: el Clinker, la caliza, la puzolana y la arcilla. Estos dos últimos elementos corresponden a los aditivos minoritarios. En el caso del cemento tipo ART, el nivel de Clinker es mayor que el cemento de especificación UG en porcentaje con un promedio de 65 a 70% de Clinker.

Esta materia prima es almacenada en tolvas, de allí son transportadas por una banda al elevador encargado de alimentar el molino, el cual internamente lleva dos cámaras que contienen cuerpos molidores parecidos a esferas que realizan la operación de molido del material. Hasta este punto, el proceso productivo para los dos tipos de cemento es idéntico.

<sup>17</sup> CEMEX. Op. Cit. p.18.

En el caso de la línea 1, el molino es cónico y más pequeño que el de la línea 2 que tiene forma de cilindro. Este molino cónico cuenta con dos salidas, una que va en la parte superior y conecta directamente al filtro del molino y que, por medio de un ventilador de tiro, succiona el material más fino que queda atrapado en las mangas. El material por efecto de los tiros de pulsión cae a un deslizador que lo envía al elevador, que a su vez, lo dirige al silo de empaque. La otra salida que queda en la parte inferior del molino, recoge también material que es dirigido por un elevador hasta un aereo que alimenta el separador dinámico.

El separador dinámico, posee en la parte superior un rotor compuesto de motor, eje y aspas. Cuando el material cae al separador, las aspas generan un circuito de aire provocando una fuerza centrífuga que envía el material hacia los lados, desintegrando más la partícula para enviarlo posteriormente a los ciclones.

Es importante aclarar que la línea 1, posee cuatro ciclones. Los ciclones generan la turbulencia, el material más fino cae a un aereo y luego pasa a una válvula rotativa que por medio de un tornillo sinfín lo dirige a un elevador para ser descargado en el filtro. El material que no alcanza a cumplir todo el proceso de desintegración por parte del rotor en el separador dinámico, sigue recirculando dentro de este hasta que la misma fuerza del aire lo saque del separador, teniendo en cuenta que este cuenta con dos ventiladores, el de tiro que es el que hace la recirculación del material y el del rotor que genera la fuerza centrífuga. Durante la operación se produce importante cantidad de aire de exceso con contenido de material fino. Esta cantidad de aire excedente es enviada al filtro del separador dinámico y el material fino resultante es enviado igualmente al silo.

En la línea 2, el separador dinámico tiene la misma cantidad de salidas: una superior y otra inferior. A diferencia del molino de la línea 1, el material que sale por la parte superior antes de llegar al filtro, debe pasar primero por un separador estático que cumple la función ciclón. Durante este paso, el material que no alcanza a pasar al filtro es devuelto nuevamente al molino. El material que sale por la parte inferior del molino 2, cae directamente a un elevador que lo envía a un aereo y de allí, a un separador estático que tiene al lado dos ciclones y un motor. A diferencia del motor de la línea 1, este no tiene el rotor que provoca la fuerza centrífuga que desintegra más consistentemente el material.

Así como en el sistema de la línea 1, en el proceso también se produce exceso de aire y material que es enviado a un filtro; de allí, el material fino pasa hacia el silo y el excedente grueso regresado al molino.

Sobre las especificaciones del cemento, es importante destacar que, para determinar su especificación, se tiene en cuenta el factor granulométrico que se rige por un estándar definido mediante una prueba de prueba llamada Blaine, que consiste en tomar 2.8 gramos de material y hacerlos pasar por un cámara de compresión, para después ejecutar un ensayo de permeabilidad, que da como resultado el tipo de cemento que se aspira comercializar con las referencias que establece la Planta Cementos del Oriente en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2** Especificaciones de Molienda de Cemento

Especificaciones Molienda Cemento					
Cemento	RM 325	Blaine m <sup>2</sup> /kg	% Humedad	% SO3	Prod/hr /ton
Ug / topex	Máy. 12,0	Min. 381	Máy. 1,0	1,9 – 2,2	15
Art	Máy. 2,0	Min. 400	Máy. 1,0	2,4 – 2,8	06
Estructural	Máy. 2,0	Min. 400	Máy. 1,0	2,4 – 2,8	

**Fuente.** Estándar CEMOR

### 3. Desarrollo metodológico

Para dar cumplimiento a los objetivos, se desarrollaron las siguientes actividades.

#### 3.1 Descripción procesos ART

La planta Cementos del Oriente sede Sogamoso, posee dos líneas de producción, clinker y molienda que producen dos tipos de cemento: ART (alta resistencia temprana) producido en la molienda línea 1, utilizado para elaboración de concretos, morteros y demás elementos estructurales y el tipo de cemento UG (Uso General) producido en la línea 2, utilizado en mampostería, pisos, pañetes entre otros. Se comercializan en sacos de 50 y 42.5 kg, tal como se muestra en la Figura 8-2.

**Figura 8-3.** Presentaciones de tipos de cemento de la planta Cementos del Oriente.



Fuente: <https://ladeca.co/index.php/lineas-de-produccion/orientte>

El proceso de molienda de cemento ART, inicia en los silos de materias prima que contienen clinker, caliza, yeso y puzolana con proporciones que se muestran en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3** Tabla de dosificación de materia prima para cemento tipo ART

ESPECIFICACIÓN MOLIENDA DE CEMENTO						
PRODUCTO	RM 325		Blaine m <sup>2</sup> /Kg		% Humedad	% SO <sub>3</sub>
Cemento UG	Max	12.0	Min	360	Max 1.0	1.9-2.2
Cemento ART	Max	2.0	Min	400	Max 1.0	2.4-2.8

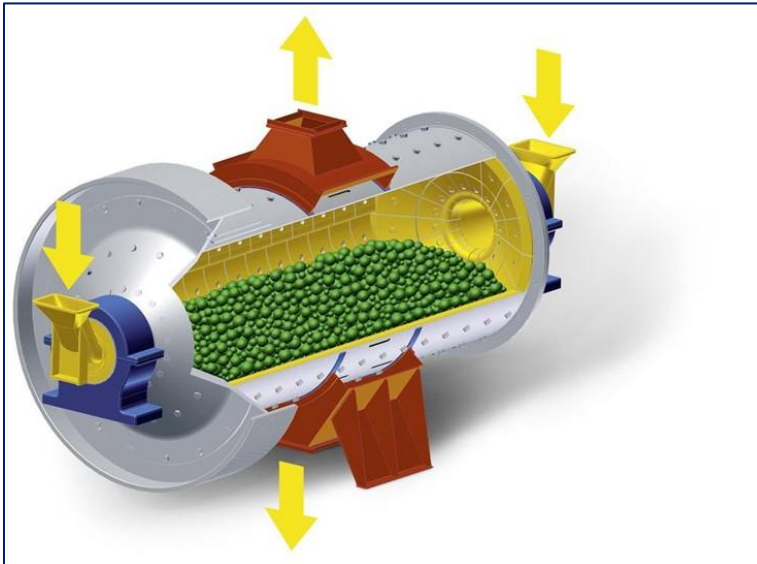
Fuente: Ficha Técnica Estándar CEMOR: GT-CC FT-03

Este material se regula por una banda dosificadora que lo descarga a la caja láminas que alimenta un molino de bolas, el cual reduce el tamaño y homogeniza las partículas mediante la percusión con los cuerpos molidores de diferentes diámetros en las cámaras internas. En la que descarga inferior del molino de cemento, este alimenta a un elevador de cangilones que, a su vez, dirige el material hasta el separador dinámico, el cual es descargado en la parte superior del plato de recepción del rotor.

El plato de recepción del rotor, se encarga de dispersar el material por fuerza centrífuga hasta el borde del mismo y el material cae entre el rotor y los deflectores; esto genera el choque de partículas entre las aspas del rotor y el deflector, dándole mayor finura al producto; este al mezclarse con las corrientes de aire ascendentes generadas por el ventilador, es arrastrado hasta el anillo de distribución que cuenta con cuatro salidas hacia los ciclones, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga

A la salida del molino, como se muestra en la Figura 9-3, se encuentran ubicadas dos salidas: la superior que es la salida de polvo y gases que son succionados por el ventilador de tiro, hasta el filtro principal de mangas donde se elimina el exceso de aire, gases y material particulado, alcanzando hasta un 99% de filtración. El material captado por las mangas es enviado al elevador de cangilones que alimenta el silo de cemento donde es almacenado y dirigido a la zona de empaque.

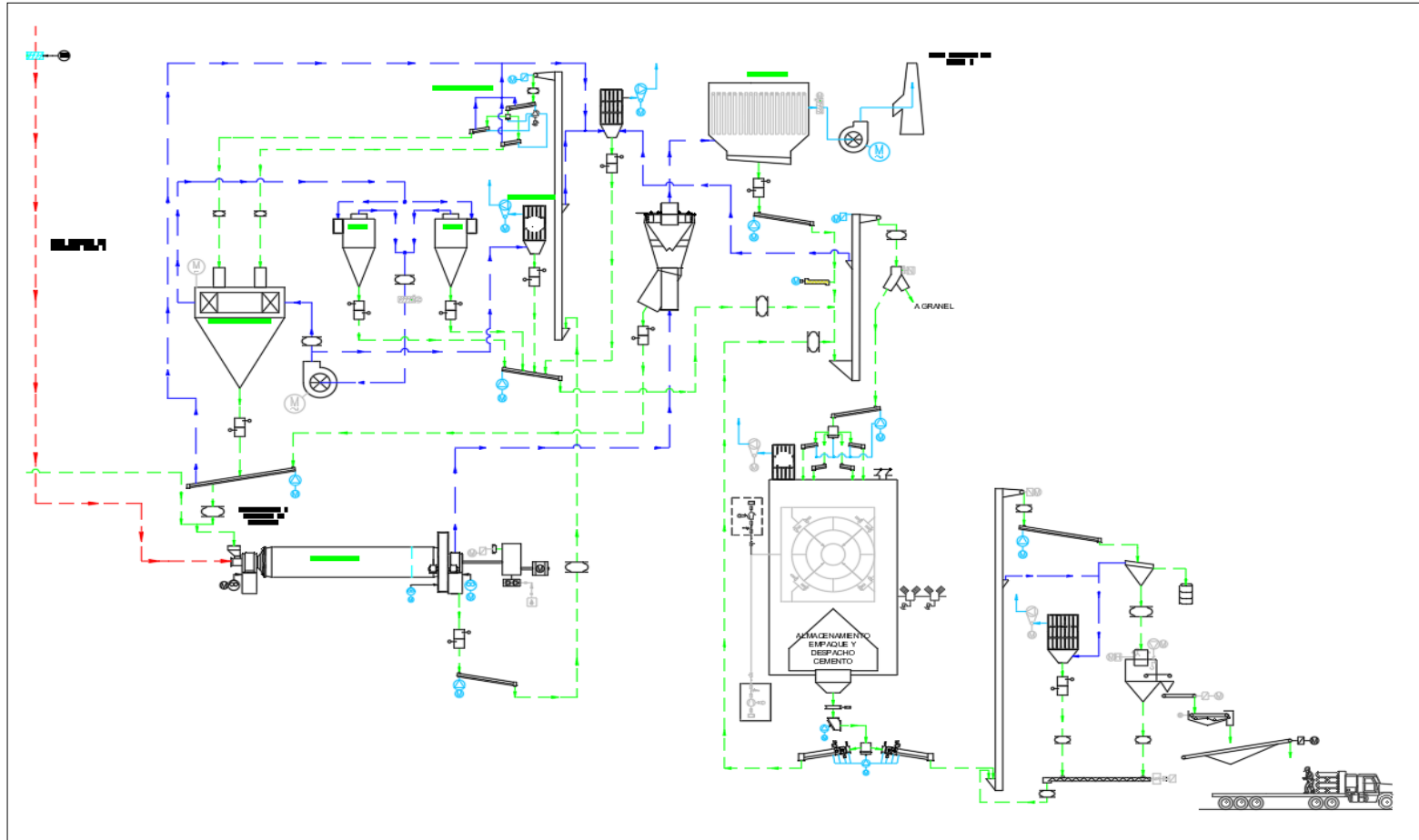
**Figura 9-3.** Molino de bolas.



**Fuente.** GENR.PFEIFFER. <https://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-de-bolas-mrdmre/>

Aproximadamente el 96% del fino, sale por la parte inferior del ciclón por gravedad, para continuar el proceso. Como producto final, este es dirigido hasta el elevador de silo para unirse con el material de la descarga del filtro principal y continuar con el proceso. En la Figura 10-3 se muestra el plano diagrama de dicho proceso. El otro 4%, es arrastrado por los ductos hasta el ventilador donde nuevamente es dirigido por la corriente de aire hacia la carcasa principal. El material grueso, es dirigido nuevamente al molino para así iniciar de nuevo el ciclo de separación.

Figura 10-3. Diagrama de Flujo Cemento Línea 2 para Uso de Cemento tipo UG.

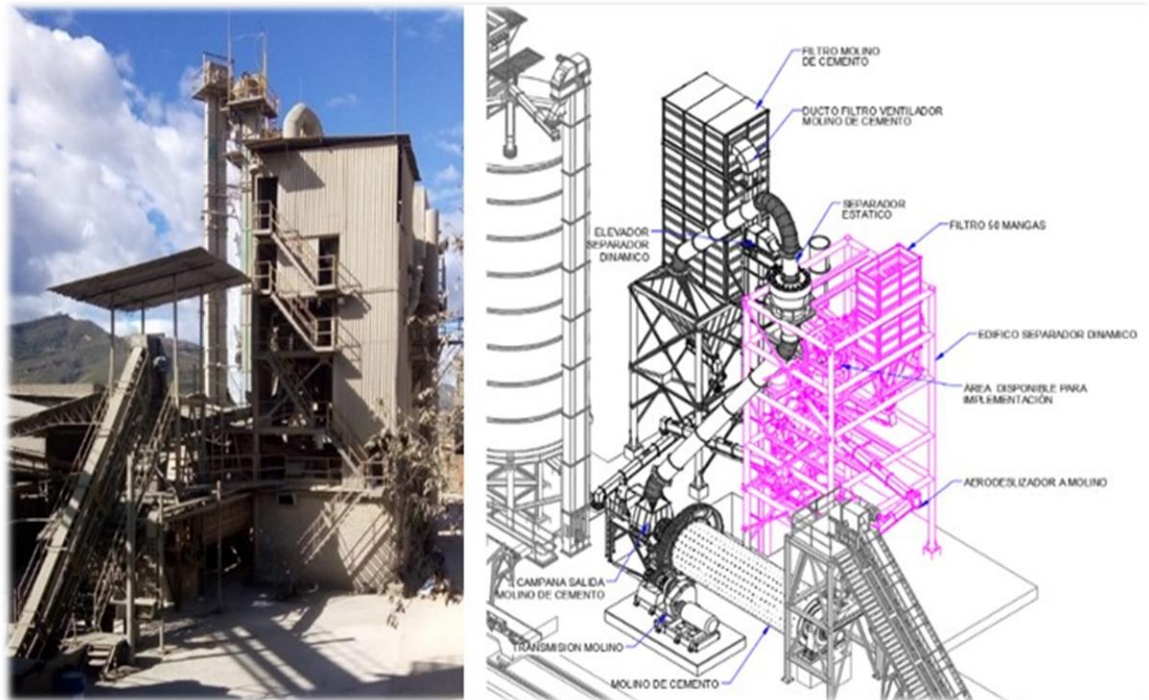


Fuente. Planoteca de CEMOR

### 3.2 Requerimientos técnicos

Teniendo en cuenta que línea 1, solo produce cemento tipo ART y que está generando bajo rendimiento, sobrecostos en mantenimiento y constantes fallas por ser un molino de bolas cónico, fabricado en 1909, se prevé finalizar dicha línea de producción e implementar sistema de clasificación de partículas que cumpla con los estándares de calidad. Para tal fin se puede aprovechar el espacio y los equipos donde actualmente funciona el sistema que clasifica cemento tipo UG, como se muestra en la figura 11-3

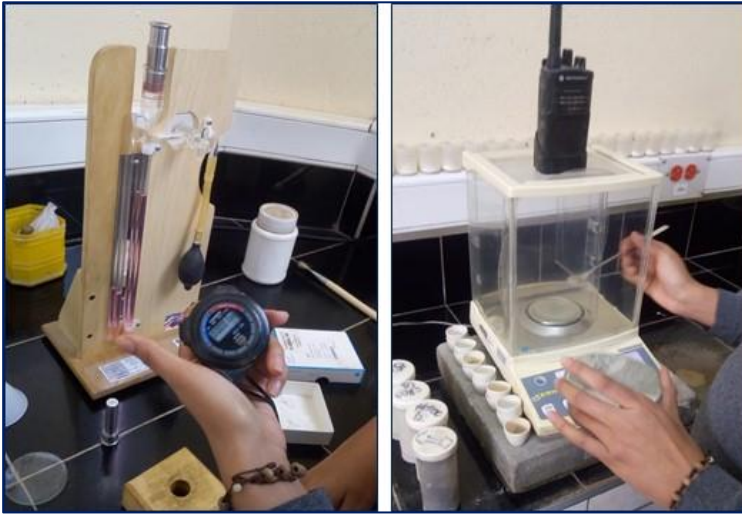
**Figura 11-3.** Molienda de cemento línea 2 y Área Disponible – Molino de Cemento



**Fuente.** Fotografía tomada por el autor sobre el estado actual del edificio separador e imagen de la Planoteca de CEMOR

La molienda de cemento línea 2 con una capacidad de 15 ton/h, cuenta con un molino multicámara de bolas montado en el año 2009. Es importante destacar que, en la descarga del molino, las partículas no cuentan con la finura suficiente como para considerarse producto terminado. Esta consideración fue comprobada y validada mediante pruebas Blaine, con un resultado de **137.9 m<sup>2</sup>/kg** evidenciado en la figura 12-3, demostrando que aún no cumple con los estándares de clasificación de la norma NTC 33 donde se registra la base fundamental para el control de calidad del cemento en la planta. Es por ello que con el sistema actual de clasificación solo produce cemento tipo UG. Estas especificaciones de material y molienda se presentan en los anexos 3-4.



**Figura 12-3.** Pruebas de Laboratorio

**Fuente.** Fotografías tomadas en el Laboratorio CEMOR

Los requerimientos técnicos están soportados en las ventajas que ofrecen los separadores dinámicos de alta eficiencia de las cuales se enumeran las siguientes:

1. La separación de partículas se realiza mediante rotor y deflector vertical.
2. Poseen cuatro ciclones de clasificación.
3. Poseen un ventilador externo que permite un circuito que aumenta la velocidad y tiene mayor arrastre de partículas.
4. Ofrecen una eficiencia alrededor del 96% y poseen un rotor con velocidad variable.
5. Aumento en producción de cemento tipo ART.

### 3.2.1 Tabla de granulometría

Para los parámetros de control en la calidad de cada tipo de cemento, las empresas productoras se ciñen a tablas de granulometría que definen los estándares de operación en los equipos instalados en las plantas de producción. Ver anexo 5.

## 3.3 Diseño conceptual

La estructuración teórica y conceptual de la investigación está soportada en aportes documentales del Manual de Capacitación de Separadores de la Empresa CEMEX dirección técnica con el código PE -1.1 del 2006. Una molienda de cemento consta de dos equipos principales, el molino y el separador, los cuales trabajan de forma conjunta y en circuito; todas las demás máquinas son máquinas auxiliares. El molino muele el material a cierto tamaño, este material es alimentado al separador que selecciona la parte que dé el producto deseado, el resto retorna al molino para ser molido otra vez (Cemex, p.5).<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> CEMEX. Op. Cit.p5



### 3.3.1 Dimensionamiento del separador

Existen variables de carácter técnico que influyen en el diseño e identificación de la tecnología que se debe implementar en la fabricación del separador tales como: la relación material/aire que inciden en el proceso de separación de partículas y el transporte del material que alimenta el proceso. El separador es más selectivo si esta relación es menor, aunque, el consumo de energía que requiere el ventilador se incrementa. Es importante aclarar que en los separadores de tercera generación el máximo valor oscila entre 2.0 kg de material por cada m<sup>3</sup>. En separadores de generaciones anteriores se requiere para un mayor arrastre de partículas un diámetro más amplio del ventilador por la dificultad de medir el caudal de aire en estos, lo cual genera un producto más grueso. (Cemex, p.29).

Otro aspecto que incide en el diseño de identificación de tecnología para el separador es la dispersión del material donde la homogeneidad de la mezcla influye en el proceso de descomposición y selección de las partículas. Este proceso de dispersión se logra mediante la utilización de un plato distribuidor que alimenta el separador. (Cemex, p.29). La velocidad del aire importante en el proceso de colección y transporte del material fino es una variable importante en el diseño de separadores de tercera generación.

Así mismo, es considerado el proceso de colección de polvos que, en los separadores de primera generación, se hace dentro del componente y en los de tercera se hace de forma externa adaptando un colector a una batería de ciclones. Otro factor es el intercambio de calor requerido para enfriar o secar el material. Así mismo el choque de las partículas contra las paredes del separador hace que los diseñadores prevean la utilización del material anti-desgaste en la fabricación de los separadores (Cemex, p.29)<sup>19</sup>.

En la fabricación de los separadores de primera generación, la altura que debían tener los conos para material grueso y fino, buscaban la permanencia del aire ascendente durante más tiempo con el material que es dispersado por el plato. Esta característica permite que el material fino seleccionado, sea enviado a la parte superior del cono interior (de gruesos) para pasar al cono de finos y ser colectados, proceso que debe realizarse de una manera rápida. El óptimo funcionamiento de estos separadores depende entonces de la relación de alturas que debe ser como máximo de 1:1. Para mejorar el proceso de selección la relación debe establecerse de 1:<1 hasta 1:0.55. Una insuficiencia en el proceso de separación de partículas se registra cuando la relación es de 0.8:1 a 0.5:1. (Cemex, p.29)

Otras características dimensionales que tienen que ver directamente con el diámetro del cono de finos están relacionadas con: <sup>20</sup>

- Altura de las aspas del ventilador = 10%  $\Phi$
- Diámetro del cono de gruesos = 70%  $\Phi$
- Diámetro del ventilador = 70%  $\Phi$
- Diámetro de las aspas selectoras = 50%  $\Phi$
- Diámetro del plato de distribución = 30%  $\Phi$

---

<sup>19</sup> CEMEX. Op. Cit. p.29

<sup>20</sup> CEMEX. Op. Cit. p.33

### 3.3.2 Características de un separador dinámico de alta eficiencia

El separador se alimenta por la parte superior del mismo, permitiendo que el material caiga a un plato distribuidor ubicado encima del rotor cilíndrico y lo envía a las celosías del estator y del rotor. Este material mediante un movimiento espiral es sometido a la acción del aire que fluye de afuera hacia dentro. Así las partículas pequeñas luego de alcanzar velocidad pasan por entre las aspas del rotor y debido a que las partículas gruesas enviadas al estator precipitándose al cono de rechazo. La cantidad de material que logra pasar entre las aspas es expulsada con la corriente de gases y colectada en ciclones<sup>21</sup>. (Cemex, p.33).

En la figura 13-3, se ve un diagrama de cuerpo libre de una partícula en la zona de separación (entre estator y rotor). Sobre ella actúan tres fuerzas:

La fuerza centrífuga **F<sub>c</sub>**, que es aquella fuerza aparente de una masa que la mueve hacia afuera cuando gira y se genera por la acción del plato distribuidor y la corriente de aire en espiral. El peso **W** que corresponde a la fuerza con que la tierra atrae un cuerpo. Se presenta por la acción de la gravedad sobre la masa de la partícula. Y la fuerza de arrastre **F<sub>a</sub>**, es una fuerza que actúa opuesta al movimiento relativo de cualquier objeto en movimiento. Se manifiesta debido a la corriente de aire hacia el interior del rotor cilíndrico.

La fuerza resultante **F<sub>r</sub>**, corresponde a la diferencia entre la fuerza de arrastre y la fuerza centrífuga. Se presenta cuando el plano horizontal que acelera a la partícula hacia el interior del rotor, entonces **F<sub>r</sub> = F<sub>a</sub> – F<sub>c</sub>**.

La aceleración **a**, indica una magnitud de cambio de velocidad de un objeto en una unidad de tiempo. Se presenta cuando una partícula recibe la fuerza que actúa sobre ella y de su masa. Para este caso, la aceleración de una partícula se incrementa cuando aumenta **F<sub>r</sub>** y se reduce al aumentar **m** y viceversa. Entonces: **a = F<sub>r</sub> / m**.

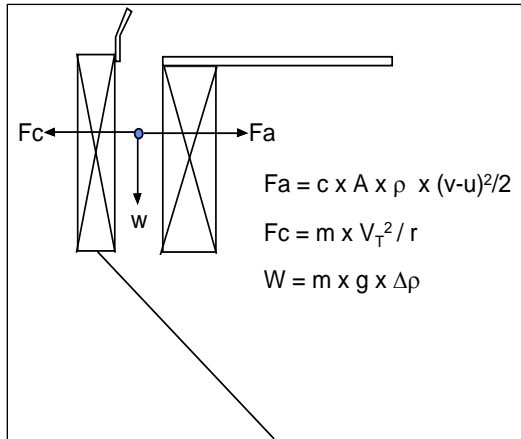
**F<sub>c</sub>** y **W**, dependen de **m** y por lo tanto del volumen de la partícula. Esto significa que varían de acuerdo a la tercera potencia de la magnitud media de la partícula (diámetro). Por otra parte, **F<sub>a</sub>** depende del área proyectada por la partícula en el plano perpendicular al flujo de aire **A**. Esto significa que varía de acuerdo a la segunda potencia de la magnitud media de la partícula (diámetro) (Cemex, pág. 34).

Las partículas de mayor tamaño, cuando salen del plato de distribución asumen trayectoria normalmente hacia abajo por el peso **W** que se incrementa aceleradamente de acuerdo al cubo del diámetro.

La fuerza centrífuga **F<sub>c</sub>** que crece más rápidamente que su fuerza de arrastre hacia el centro **F<sub>a</sub>**, por lo que el resultante **F<sub>r</sub>** en sentido radial es muy pequeño. Esto hace que las partículas grandes sean movidas por efecto del peso precipitándose hacia el cono de rechazos.

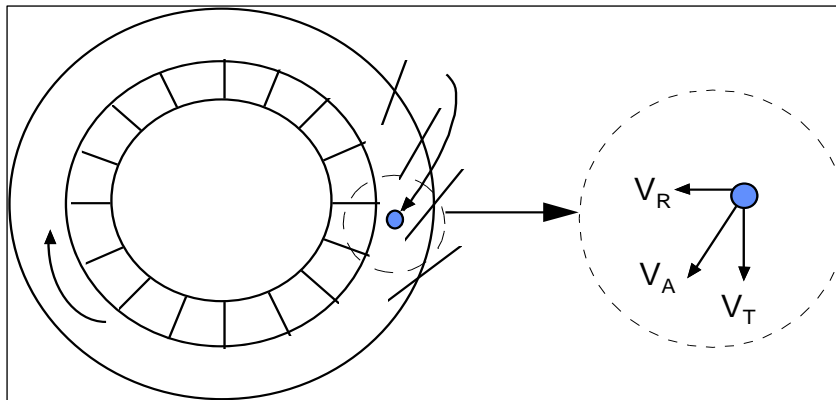
---

<sup>21</sup> Ibíd. p.33

**Figura 13-3.** Diagramas de Fuerzas de un Separador

**Fuente.** Manual de capacitación separadores – CEMEX. p.32

De la misma forma como disminuye el tamaño de la partícula crece hacia el centro la fuerza resultante horizontal donde el rotor es el medio utilizado para la separación de estas partículas. Gracias a las características de diseño en los separadores de tercera generación se pueden modificar las condiciones de separación de partículas con ajustes realizados a las celosías durante la puesta en marcha del proceso o cuando se requieren cambios en las consignas de finura, efecto que se explica en la figura 14-3 y del cual se transcribe textualmente el concepto matemático de estos ajustes así. (Cemex, p.14).

**Figura 14-3.** Ajuste de la Posición de las Celosías del Estator y Componentes de la Velocidad de Entrada de las Partículas.

**Fuente.** Manual de capacitación separadores – CEMEX. p.14

La figura 14-2, muestra la velocidad de entrada de la partícula  $V_A$ , el componente radial  $V_R$  y el componente tangencial  $V_T$ . Se define que la fuerza centrífuga depende del cuadrado del componente tangencial, se representa con la fórmula:  $F_c = m \times V_T^2/r$

La fuerza centrífuga y la velocidad tangencial VT crecen cuando las celosías fijas son acercadas a la línea de circunferencia del cono de gruesos con la misma velocidad de entrada VA, incrementando la posibilidad de que una partícula sea rechazada mientras no se realicen otro tipo de ajustes. Sostener el mismo porcentaje de finura requiere que la velocidad del rotor sea reducida. Vale la pena destacar que los ajustes que se realizan en la posición de las celosías requieren también modificación en el paso y la velocidad del aire (Cemex, p.36)<sup>22</sup>.

### 3.3.3 Parámetros de operación

Las partículas que ingresan al separador son sometidas fuerzas relacionadas con velocidad y aceleración que definen si las mismas son rechazadas o no, sumándose la frecuencia con que las paletas del rotor se atraviesan en su trayectoria. La fuerza centrífuga, la frecuencia del selector y el flujo de aire son las únicas fuerzas que pueden ser modificadas dependiendo del tipo del separador. A continuación, se explica el efecto que genera modificar las variables, como el efecto en condiciones externas (CEMEX, p.36)<sup>23</sup>.

**Flujo de aire.** Si solo se aumenta el flujo de aire a través del separador, se incrementa la fuerza de arrastre sobre las partículas porque la velocidad del aire crece facilitando el paso de partículas más grandes que antes no lograban pasar por los dispositivos selectores. El proceso también funciona de forma inversa, esto quiere decir que si se reduce el flujo de aire dichas partículas no podrán pasar resultando un producto más fino.

**Frecuencia del selector.** Solo partículas menores lograrán pasar a los finos incrementando el paso del elemento selector en la trayectoria de las partículas, generando producto más fino. Este defecto se logra en separadores de primera generación aumentando el número de aspas en el selector o incrementando las revoluciones por minuto del rotor en el caso de los separadores de tercera generación. El proceso inverso da como resultado un producto más grueso.<sup>24</sup>.

**Fuerza centrífuga.** Un producto más grueso resulta cuando la fuerza centrífuga que se ejerce sobre el material particulado se reduce y más fino cuando dicha fuerza es incrementada. En separadores de primera generación la fuerza centrífuga se puede variar aumentando el flujo de aire, cambiando de posición las celosías. En los de tercera generación, este efecto se puede lograr con las celosías fijas<sup>25</sup>.

**Relación material/aire.** En la relación material/aire, la variable eficiencia es el de mayor incidencia. Se interpreta como la contundencia del separador para identificar los finos de los gruesos de manera acertada.<sup>26</sup> Varía según la cantidad de material particulado que exista en el aire, a mayor cantidad, menor eficiencia porque el material fino quedaría atrapado con el grueso, siendo regresado con los rechazos.

---

<sup>22</sup> CEMEX. Op. Cit. p.34

<sup>23</sup> Ibíd. p.34

<sup>24</sup> CEMEX. Op. Cit. p.36

<sup>25</sup> Ibíd. p.35

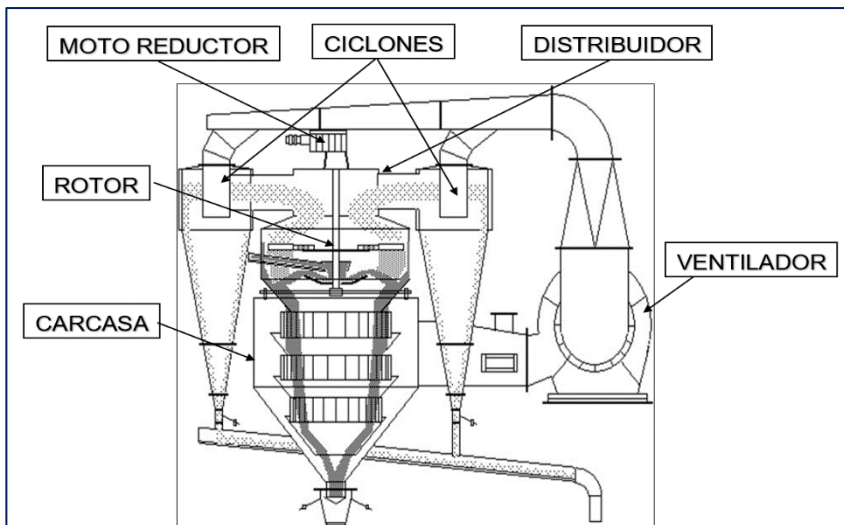
<sup>26</sup> Ibíd. p.35

**Rango de distribución granulométrica al separador.** Se define que cuando este rango es limitado, el separador tendrá mayor dificultad para seleccionar el fino del grueso afectando la eficiencia del separador. Se aconseja que la alimentación que se realice al separador, sea la que ofrezca el producto deseado con el fin de no exceder los límites.

**Agregación de partículas.** La formación de partículas mayores por efectos electrostáticos, afectan el nivel de eficiencia del separador. Una vez estas partículas se unen, semejan un comportamiento de material grueso, confundiéndolo en el proceso de selección generando que las partículas retornen al molino como material grueso.<sup>27</sup>

**Temperatura y densidad del aire de separación.** Para un adecuado nivel de eficiencia en la separación de partículas, la relación material/aire definida en un rango de 2 Kg de material / m<sup>3</sup> de aire debe mantenerse, a pesar que cuando la temperatura del aire se incrementa, la densidad de dicho aire se reduce, afectando la fuerza de arrastre hacia las partículas dentro de esta misma relación de material/aire (Cemex, p.38). En el anexo 6, se presentan las características de los separadores dinámicos. Teniendo en cuenta las especificaciones de espacio, geometría, capacidad los parámetros, características y parámetros de operación mencionados, en la figura 15-3, se presenta el siguiente diseño conceptual.

**Figura 15-3.** Imagen General de los Componentes



**Fuente.** CEMEX.(s.f.). Manual de capacitación Separadores. p.13.

### 3.3.4 Carcasa principal

Tal como se evidencia en la figura 15-3, es la sección de mayor volumen donde se encuentra alojado el rotor vertical y el cono de rechazo por donde salen por gravedad las partículas gruesas y las partículas finas que son arrastradas por las corrientes de aire generadas por el ventilador. Con respecto a la geometría de la carcasa, cuenta con tres entradas, la primera conecta con el distribuidor en la parte superior, la segunda una entrada

<sup>27</sup> Ibíd. p.36

rectangular por donde ingresa el flujo de aire generado por el ventilador y la tercera entrada de tipo interior para la salida de las partículas gruesas.

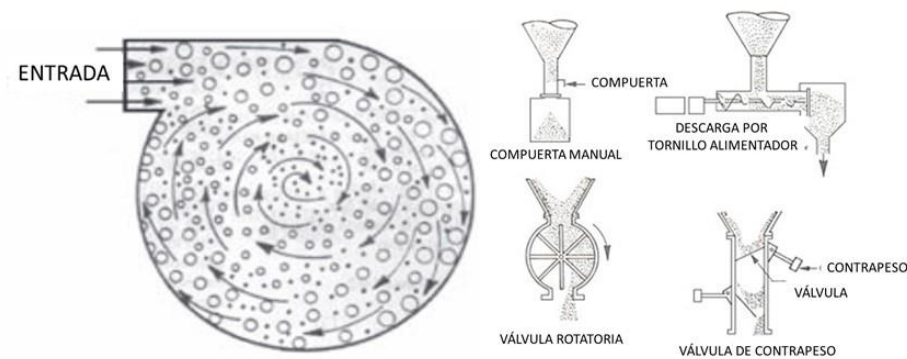
### 3.3.5 Distribuidor

Ubicado en la parte superior del separador sobre la carcasa principal, como se muestra en la figura 15-3, da estabilidad a la base del rotor y marca la salida para los ciclones, su geometría está proyectada con intersección en cuatro tangentes permite suavizar la salida del aire el cual pasa con material fino.

### 3.3.6 Ciclones

Es el equipo más utilizado para procesos de recolección de polvo. Remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga tal como lo evidencia la figura 16-3. (Echeverry Londoño, 2006, p.124).

**Figura 16-3** Ciclones y sistema de descarga



**Fuente.** Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. p. 124 y 134  
<https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/239>

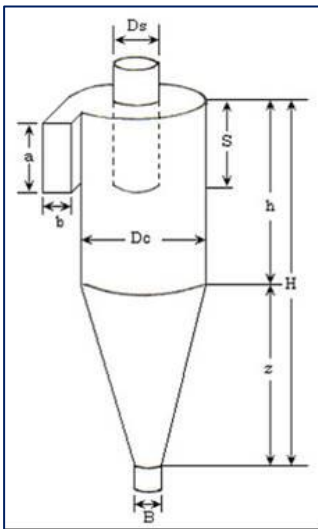
Así mismo (Echeverry Londoño, 2006), argumenta que estos elementos son de construcción sencilla, no poseen partes móviles y pueden ser fabricados de diferentes materiales que sean resistentes a las altas temperaturas y presiones de operación. Adicionalmente, son más eficientes que las cámaras de sedimentación gravitacional, pero inferiores respecto a los precipitadores electroestáticos. La eficiencia de un ciclón depende directamente de la velocidad y cantidad de entrada de material particulado pues a velocidades altas se presenta resuspensión de material en las paredes del ciclón reduciendo su eficiencia e incrementa el consumo de energía. Con respecto a la operación los ciclones utilizan válvulas rotatorias tipo estrella, válvulas de doble cierre y contrapeso, tornillo sin fin y compuertas deslizantes manuales.

**Familias de ciclones.** Según (Echeverry Londoño, 2006), los rangos de eficiencia dependen del tipo de familia entre las cuales se destacan, los ciclones de alta eficiencia, convencionales y de alta capacidad. De esta manera los ciclones de alta ofrecen mayor eficiencia respecto a los convencionales, porque pueden remover partículas de 5  $\mu\text{m}$  con

eficiencias hasta del 90%. De acuerdo con registros históricos, se ha reportado eficiencias de recolección de 80 a 95% en partículas de 5  $\mu\text{m}$ . (p.125).<sup>28</sup>. Ver anexo 7. Tienen como desventaja un alto consumo de energía cuando se presentan caídas de presión y requiere mover gas sucio a través del ciclón. En el caso de los ciclones de alta capacidad, se utilizan únicamente para movilizar partículas mayores de 20  $\mu\text{m}$ . En los anexos 8-10, se presenta las características de las principales familias de ciclones de entrada tangencial.<sup>29</sup>

**Dimensiones de un ciclón.** En la figura 17-3 se presentan las dimensiones del ciclón de entrada tangencial. El diámetro del ciclón identifica la dimensión básica de diseño, todas las demás dimensiones simplemente son una proporción del diámetro del ciclón.

**Figura 17-3** Dimensiones del Ciclón



**Fuente.** Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. p. 127

<https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/239>

Para lograr el máximo de eficiencia en el uso de los ciclones, la corriente de emisión debe cumplir las siguientes características (Echeverry Londoño, 2006, p.134)<sup>30</sup>.

✓ **Caudal de aire:** el rango del caudal debe ser de 0.5 a 12 m<sup>3</sup>/s a condiciones de referencia cuando se trata de un solo ciclón. Para rangos superiores hasta aproximadamente 50 m<sup>3</sup>/s se requiere utilizar multiciclones.

✓ **Temperatura:** La temperatura del gas que ingresa al ciclón depende específicamente del material en el que ha sido fabricado el ciclón, algunos han sido operados a 540°C.

<sup>28</sup> ECHEVERRI LONDOÑO, C. A. Op. Cit. p. 127

<sup>29</sup> ECHEVERRI LONDOÑO, C. A. Op. Cit. p. 127

<sup>30</sup>Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. p. 127

✓ <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/239>

✓ **Concentración de partículas en el gas:** Estas están dadas para un rango de 2.0 a 230 g/m<sup>3</sup>. En aplicaciones especializadas, estas cargas pueden ser tan altas como 16000 g/m<sup>3</sup> y tan bajas como 1.0 g/m<sup>3</sup>.

En el anexo 11, se indican aspectos de geometría del ciclón: una entrada de tipo rectangular de 240 x 400 mm conectando al distribuidor que da paso al material para iniciar el proceso. En la parte superior, el ciclón tiene la primera salida con diámetro de Ø400 mm, lugar que evacua el aire hacia los ductos que comunican con el ventilador. En la parte inferior, se encuentra ubicada la otra salida que con diámetro de Ø180 mm por donde cae el material.

### 3.3.7 Ventilador y clasificación

Existen tres tipos generales de ventiladores, centrífugos, axiales y de hélice. Se utilizan para dirigir aire hacia diferentes espacios o para introducirlos a los mismos. Pueden ser ajustables en el sentido de dirección y según el diseño, la rotación de la hélice puede darse en sentido de las manecillas del reloj o de manera contraria (Fernández Diez, 2000, p.108)<sup>31</sup>.

**Ventilador de tipo hélice.** Consta de una hélice acoplada en un anillo o marco de montaje. El aire que producen se puede utilizar para generar frescura en ambientes interiores o para sistemas de extracción. Puede manejar altos volúmenes de aire a baja presión estática. Con respecto a los ventiladores que se usan para extracción estos pueden tener desde 2 a 16 aspas dependiendo el uso que se les dé. (Fernández Diez, 2000, p.108).

**Ventilador axial.** Estos ventiladores pueden alcanzar presión estática más alta que los del tipo de hélice de aspas rectas. Adicionalmente pueden operar en rangos de alto volumen de aire con presiones que oscilan en rangos bajos y medios. También el sistema de álabes en la zona de succión o descarga, sirven para orientar el flujo de aire hacia la parte exterior. El diseño consiste específicamente en de una hélice acoplada en una envolvente cilíndrica con estilo aerodinámico, son de fácil instalación y los coeficientes de presión  $\Psi$  oscilan entre 0,05 ÷ 0,6 logrando alcanzar diseños hasta de 1. (Fernández Diez, 2000, p.108).

**Ventilador centrífugo.** De entrada, doble o sencilla. Es un rotor encajado en un envolvente tipo espiral. El flujo de aire ingresa forma paralela a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y enviado hacia la envolvente de descarga que es de ángulo recto a la flecha. Los hay de aspas radiales, inclinadas hacia adelante o hacia atrás y tal como se evidencia en la figura 18-3 presentan las siguientes peculiaridades. (Fernández Diez, 2000, p.1093).

✓ **Alabes curvados hacia adelante,**  $\beta_2 > 90^\circ$ . Son usados por el bajo nivel de ruido que generan y la buena cantidad de álabes que van desde 48 a 60.

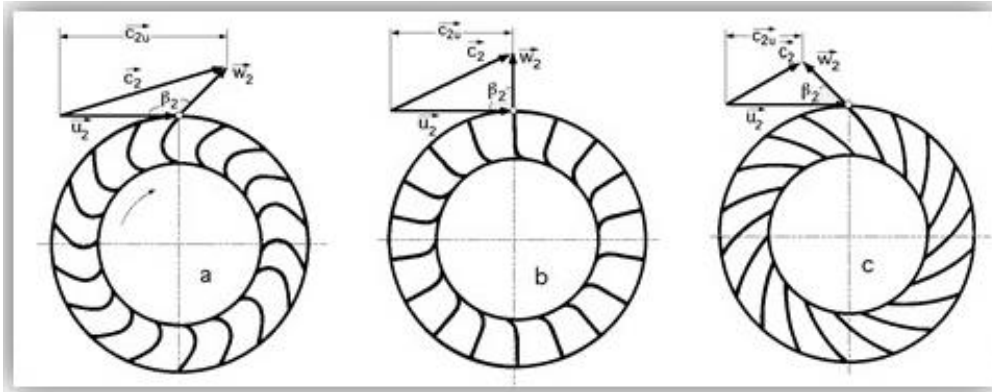
✓ **Alabes de salida radial.**  $\beta_2 = 90^\circ$ . Son utilizados para movilizar aire o gas sucio con altas temperaturas debido a que tienen menor número de álabes facilitando la eliminación de los depósitos sólidos por efecto de la fuerza centrífuga.

<sup>31</sup> FERNÁNDEZ DIEZ, P. (2000). Ventiladores. Obtenido de Biblioteca sobre ingeniería energética: <https://docplayer.es/24851435-Vi-ventiladores-pfernandezdiez-es.html>



✓ **Alabes curvados hacia atrás**,  $2 < 90^\circ$ . Presentan rendimiento del 90% mejor que otros ventiladores debido al ángulo de salida. El ruido, la presión y el gasto másico son inferiores.

**Figura 18-3.** Rodetes y Triángulos de Salida de los Ventiladores Centrífugos.

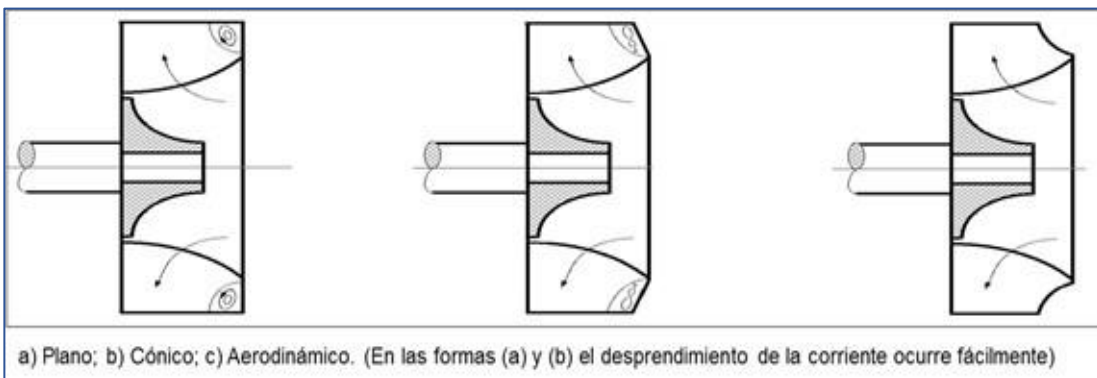


a) Con álabes curvados hacia adelante; b) Con álabes de salida radial; c) Con álabes curvados hacia atrás.

**Fuente.** (Fernández Diez, 2000. p.109). <https://docplayer.es/24851435-Vi-ventiladores-pfernandezdiez-es.html>

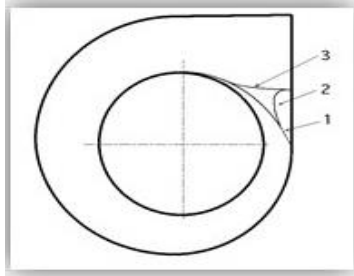
Otros aspectos relacionados con el diseño y disposición de los ventiladores tienen que ver con los anillos que sujetan los alabes, los hay de tres tipos, aerodinámicos, cónicos y planos como se muestra en la figura 19-3. Sólo los anillos de conformación aerodinámica logran evitar desprendimiento de la corriente de aire a la entrada.

**Figura 19-3.** Formas de los Anillos



**Fuente.** (Fernández Diez, 2000. p.111). <https://docplayer.es/24851435-Vi-ventiladores-pfernandezdiez-es.html>

Para la caja espiral, la gráfica 20-3 muestra la forma de la lengua que puede ser larga, corta o no existir, estas condiciones se generará ruido en los ventiladores. Vale la pena destacar adicionalmente, que los ventiladores de alta presión en este aspecto son más sensibles a la variación de rendimiento. (Echeverry Londoño, 2006, p.111)

**Figura 20-3.** Cámara Espiral

1. Sin lengua
2. Con lengua poco pronunciada;
3. Con lengua pronunciada

**Fuente.** (Fernández Díez, 2000. p.111). <https://docplayer.es/24851435-Vi-ventiladores-pfernandezdiez-es.html>

## 4. Cálculos

### 4.1 Datos de entrada a separador dinámico

Dando solución a la problemática planteada que se presenta en la línea uno de producción, y recordando que está es dedicada exclusivamente a la molienda de cemento tipo ART; y que la línea dos solo produce cemento UG pero cuenta una mayor capacidad de molienda por hora y teniendo en cuenta los datos de la siguiente tabla (ver tabla 4-4) se plantea como solución el diseño de un separador dinámico para dicha línea con el fin de centralizar la molienda de cemento y el aprovechamiento de equipos, he infraestructura existentes.

**Tabla 4-4** Comparativos Molienda Existente Y Proyección

COMPARACION CAPACIDAD TECNICA LINEA DE PRODUCCION					
DESCRIPCION		ESTADO ACTUAL		PROYECCION	
		LINEA L1	LINEA L2	LINEA L2 CON SEPARADOR DINAMICO	
TIPO DE CEMENTO		ART	UG	ART	UG
DOSIFICACION	CLINKER	70 %	50 %	70 %	50 %
	CALIZA	3 %	10 %	3 %	25 %
	YESO	12 %	8 %	12 %	17 %
	PUZOLANA	15 %	32 %	15 %	8 %
MOLINO	CAPACIDAD	5 Ton/h	15 Ton/h	15 Ton/h	15 Ton/h
	RENDIMIENTO	2 Ton/h	12.5 Ton/h	9 Ton/h	12.5 Ton/h
	TON / MES REQ.	100 Ton	1000 Ton		
TIPO DE SEPARADOR		DINAMICO	ESTATICO	DINAMICO	
CALIDAD CEMENTO	BLEINE	400 m <sup>2</sup> /Kg	360 m <sup>2</sup> /Kg		
	RENDIMIENTO MAX.	1.5 %	12 %		
	MALLA	325	325		
POTENCIA MOLINO		111.85 Kw	372.84 Kw	372.84 Kw	372.84 Kw
		150 hp	500 hp	500 hp	500 hp

Fuente. Elaboración propia

Los datos suministrados por el laboratorio de CEMOR referencian los siguientes resultados: densidad de 3.06, blaine 137.9 m<sup>2</sup>/Kg, retenido en malla 325 - 44.30, capacidad 15 Ton/h y temperatura: 36 °C a la entrada.

## 4.2 Cálculo y Diseño Carcasa

Dentro de los estándares utilizados por fabricantes de separadores dinámico con la capacidad del molino que se muestra en la tabla 4-4 y la disponibilidad de área existente se proyecta el separador. (ver anexo 6)

### 4.2.1 Cálculos geometría carcasa

Tomando como referencia lo anterior nombrado como punto de partida y aclarando que la función principal de la carcasa es la conexión entre la parte inferior con el distribuidor manteniendo la hermeticidad del conjunto y evitando la acumulación de material que pueda atascar el proceso de clasificación, con unión mediante bridas atornillada.

**Tabla 5-4** Calculo del número pernos para brida

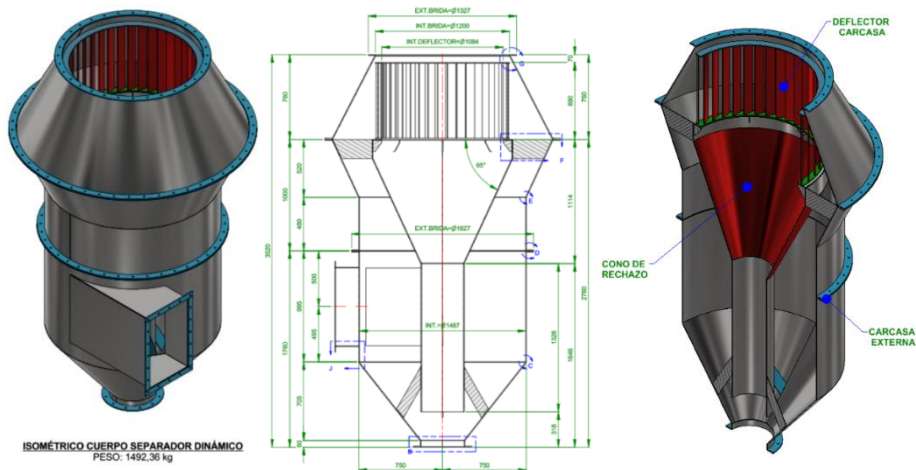
CALCULO DEL NÚMERO DE PERNOS PARA BRIDAS		
Diámetro =	0.5	in
Par de Torsión =	18907.5	in-lb
Momento Flexionante =	2444	in-lb
Distancia Centro a Eje Tornillo =	25	in
Esfuerzo de fluencia tornillos ( $\sigma_{yp}$ ) =	55000	psi
Esfuerzo de fluencia cortante ( $\tau_{yp}$ ) =	27500	psi
Espesor brida =	0.375	in
Factor de seguridad =	5	
Necesarios para Cortante =	0.7	un
Necesarios para Aplastamiento =	0	un
Necesarios para Tracción =	0	un
Pernos necesarios =	32	un

Fuente. Elaboración propia

## 4.2.2 Propuesta Diseño Carcasa

Tal como aparece en la figura 26-4, La carcasa está compuesta por tres elementos:

**Figura 21-4** General Carcasa Separador



**Fuente.** Autor, elaborada software Inventor 2018 Versión estudiantil.

Ver anexos 12-13 SPD-L2-JF-200

**4.2.2.1 Diseño Carcasa externa.** Como se puede apreciar en la figura 26-3, la geometría de la carcasa posee los parámetros establecidos por la industria para optimizar el flujo y transporte de material al interior de esta con ángulos superiores a 60° para evitar acumulación de material. Cuenta con tres entradas, la primera con un diámetro de Ø 1200 mm mayor respecto a las otras que sirve conectar con el distribuidor. Una segunda entrada rectangular de 450 mm x 700 mm por donde ingresa el flujo de aire generado por el ventilador y una tercera entrada de tipo interior de Ø 400 mm para la salida de las partículas gruesas las dimensiones generales son ancho 2100mm alto 3520.

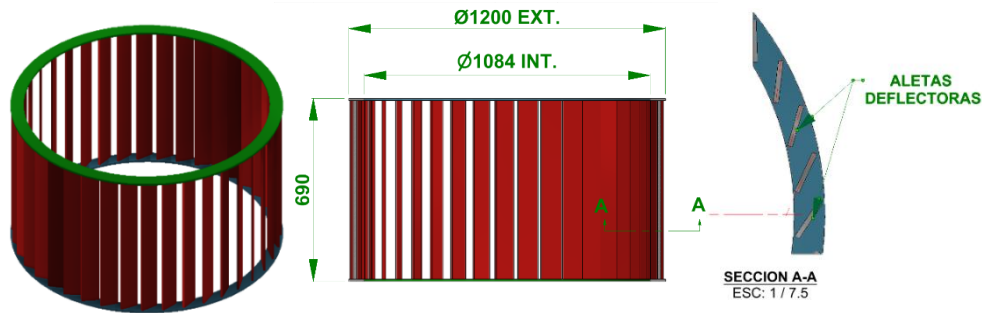
El cuerpo principal de la carcasa está diseñado en lámina 1/4" ASTM A-36 y las bridas en a 3/8" ASTM A-36 y un peso de 1012 Kg.

**4.2.2.2 Cálculo y diseño deflector.** El deflector es un elemento estático y primordial para el proceso de clasificación de material, el plato de distribución lanza el material este es impactado entre sí y contra el deflector debido a que está constituido por un conjunto de paletas verticales, las cuales generan una barrera a las partículas y produce que choquen entre si reduciendo el tamaño de la misma.

Debe cumplir con condiciones de fabricación como, montaje para cambio y mantenimiento de fácil manipulación. Las dimensiones son: diámetro exterior  $\varnothing 120$  mm y interno  $\varnothing 1084$  mm, altura 690 mm y peso 192 kg, ver figura 27-4. Diseñado totalmente en lámina 3/8'

MAXDUR 400 anti desgaste y dureza de 425 y 540 HB. La ubicación y espaciamiento en las aletas fue dadas según el cálculo. Ver anexo 14, SPD-L2-JF-200.

**Figura 22-4** Deflector Interno

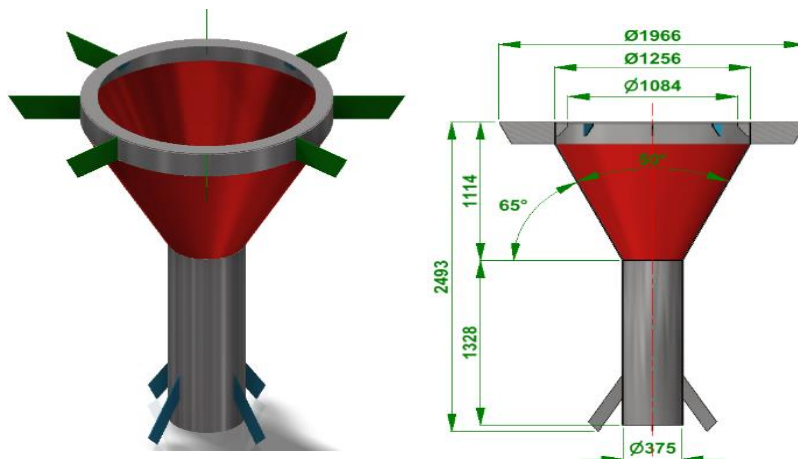


**Fuente.** Autor, elaborada software Inventor 2018 Versión estudiantil.

**4.2.2.3 Cálculo y diseño cono de rechazo.** Es el recinto donde son recolectadas las partículas que se precipitan por la acción del flujo de aire, producto del residuo del choque del material con en deflector. En condiciones ideales, el cono debe ser resistente al efecto abrasivo por tal razón, en la cara externa suelen llevar una capa de concreto que garantiza que la pieza dure más tiempo.

Para el diseño cuentan dos factores, el primero es el ángulo de caída que es mayor al del ángulo de reposo del cemento, garantizando que no se presente atascamiento; el segundo es extender la vida útil de la pieza por lo cual, la cara externa tiene un recubrimiento en concreto refractario CONCRAX 1300 anti-desgaste, cuya ficha técnica se puede apreciar en el anexo 15. Las dimensiones están representadas en la figura 28-4 con un diámetro de Ø1256 mm y una salida de Ø387 mm, altura de 2493 mm y un peso total de 290 kg.

**Figura 23-4** Cono de Rechazo



**Fuente.** Autor, elaborada software Inventor 2018 Versión estudiantil.

### 4.3 Cálculo y diseño del distribuidor

$$v_t = w \cdot r = 151.84 \text{ rad/s} (0.9\text{m}) = 136.66 \text{ m/s}$$

Calculando perdida a partir de la de ecuación de Darcy -Weisbach

$$h = \left(\frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g} = 0.005 \left(\frac{0.65}{0.2328}\right) \left(\frac{136.66^2}{2(9.81)}\right)$$

donde h es tomado de la ecuación anterior

$$h = 132.88 \text{ m P} = \gamma \cdot h =_{\text{jaire}} g h$$

$$P = \frac{1.12 \text{ kg}}{\text{m}^3} (9.81 \text{ m/s}^2)(132.88)$$

$$P = 1459.97 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \rightarrow 1.4594 \text{ Pa}$$

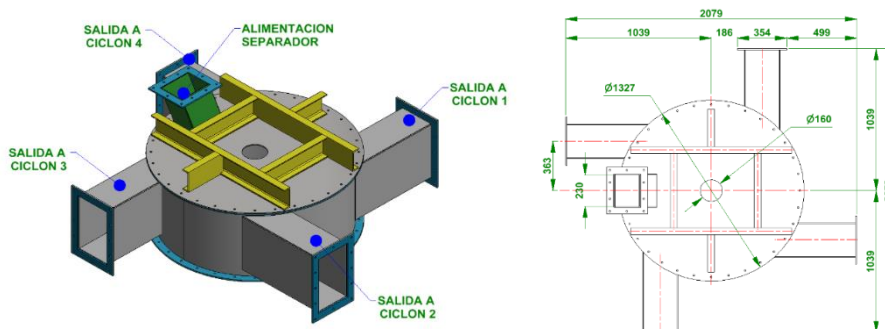
$$P = \frac{\dot{v}}{u} = \frac{1.459(7.409)}{136.66 \text{ m/s}} = 0.07909 \text{ m}^2$$

$$a = 0.281\text{m} \rightarrow 281\text{mm}$$

A criterio dejo el lado ancho de .24 cm y el alto .33 cm cumpliendo con la área requerida de 0.07909 m<sup>2</sup>.

Se caracteriza por dirigir el fluido hacia los ciclones. Tal como se presenta en la figura 29-4, se especifican las siguientes dimensiones, diámetro de entrada dado por la salida de la carcasa de Ø1214mm, altura 725mm, en la parte superior cuenta con un chute para alimentación del material al separador de 200mm x 175mm, tangencialmente tiene 4 salida para los ciclones de 240mm y 330 mm, el material de la carcasa está proyectada en lámina de 1/4" ASTM A-36 y las bridas en a 3/8" ASTM A-36 y con un peso de 315 Kg.

**Figura 24-4** Distribuidor

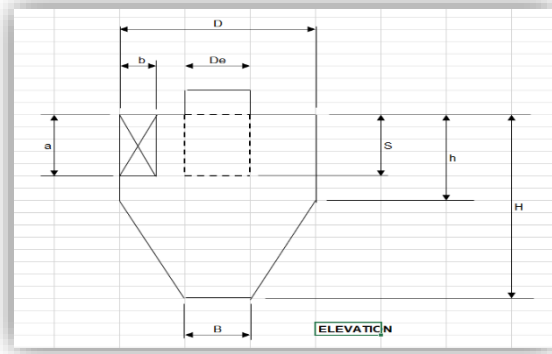


**Fuente.** Autor, elaborada software Inventor 2018 Versión estudiantil.

## 4.4 Cálculo y diseño de ciclones

### 4.4.1 Cálculos ciclón

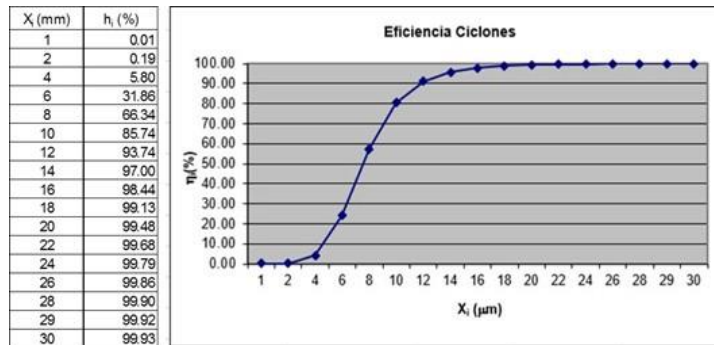
Figura 25-4. Cálculo Ciclón



Fuente. Elaboración propia

### 4.4.2 Eficiencia del ciclón

Figura 26-4 Eficiencia del Ciclón



Fuente. Elaboración propia

### 4.4.3 Cálculo de la caída de presión por ciclón

Tabla 5-4 caída de Presión por Ciclón

$Dp_{body}$	318	kg/m <sup>2</sup> (Pa)	1	"H <sub>2</sub> O
$Dp_x$	1495	kg/m <sup>2</sup> (Pa)	6	"H <sub>2</sub> O
$Dp$	1813	kg/m <sup>2</sup> (Pa)	7	"H <sub>2</sub> O

Fuente. Elaboración propia



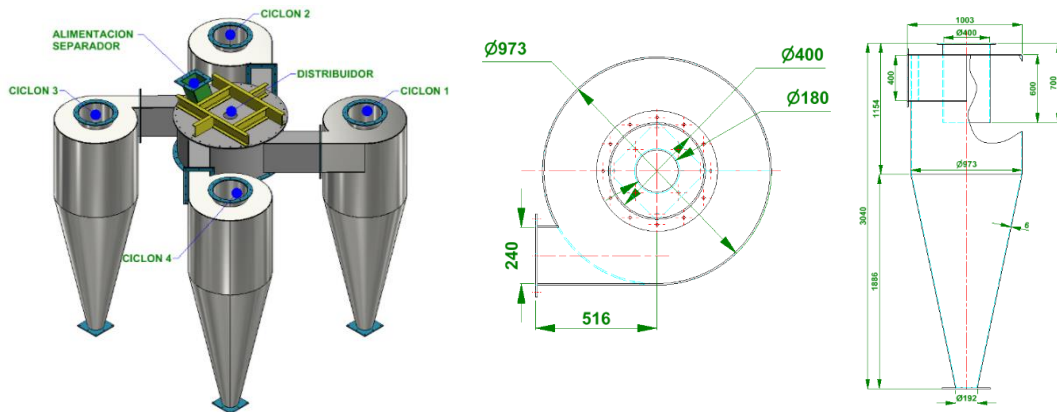
Tabla 6-4 Cálculo de Ciclón

Cálculo ciclones					
D	960	mm	R	0.75	m
a	400	mm	a	0.6	m
b	240	mm	b	0.4	m
D <sub>x</sub>	400	mm	R <sub>x</sub>	0.3	m
S	600	mm	S	0.75	m
H	2940	mm	H	3.533	m
H-Hc	1054	mm	H-Hc	1.275	m
Hc	1500	mm	Hc	2.258	m
H <sub>i</sub> = H <sub>cs</sub>	2783	mm	H <sub>i</sub> = H <sub>cs</sub>	2.783	m
D <sub>d</sub>	236	mm	R <sub>d</sub>	0.118	m
Finos	15	T/h	Finos	416.667	kg/s
Caudal (Q)	10500	cfm			
Caudal (Q)	5	m <sup>3</sup> /s	Caudal por ciclón	5	m <sup>3</sup> /s
T <sup>o</sup>	36	°C	Temperatura medio (aire)		
T <sup>o</sup>	309	°K	Temperatura medio (aire)		
R	29.2	N <sup>o</sup> m/N <sup>o</sup> K	Constante del gas (aire)		
p	86660	Pa	Presión atmosférica (Sogamoso)		
p	2488	Pa	Depresión en el ciclón		
ρ	0.9509	kg/m <sup>3</sup>	Densidad del aire (medio)		
μ	2.26E-05	Pa s	Viscosidad absoluta del aire (medio)		
ρ <sub>p</sub>	2679	kg/m <sup>3</sup>	Densidad material a separar		
X <sub>med</sub>	35	μm	Diámetro medio partícula de cemento		
m	5		Pendiente para la curva de eficiencia		
C <sub>o</sub>	0.884	kg <sub>finos</sub> /kg <sub>aire</sub>	Relación masa finos/masa caudal		
ξ <sub>s</sub>	0.5000				
α	0.780		Coefficiente de constricción		
V <sub>in</sub>	21	m/s	Velocidad de entrada al Ciclón		
R <sub>in</sub>	0.550	m	Radio de entrada de los gases		
V <sub>0w</sub>	19.40	m/s	Velocidad en la pared		
R <sub>m</sub>	0.474	m	Radio medio geométrico		
V <sub>zw</sub>	4.206	m/s	Velocidad axial en la pared		
			Tomando (V <sub>z</sub> x/V <sub>om</sub> ) <sup>2</sup> <<1, se puede obviar		
Re <sub>R</sub>	13070		Número de Reynolds del cuerpo del ciclón		
k <sub>s</sub>	0.0460	mm	Rugosidad estándar del acero. Hoffman, pág. 101		
k <sub>g</sub> /R	6.13E-05	mm/mm	Rugosidad relativa		
f <sub>air</sub>	0.0055		Rozamiento del aire en el cilindro. Hoffman, fig. 6.3		
f <sub>air</sub>	0.0045		Rozamiento del aire en el cono. Hoffman, fig. 6.3		
ρ <sub>str</sub>	1072	kg/m <sup>3</sup>	Densidad del material en las paredes, aprox. 0.4 de la densidad normal		
V <sub>x</sub>	17.53	m/s	Velocidad a la salida del tubo vórtice.		
g	9.81	m <sup>2</sup> /s	Aceleración de la gravedad		
Fr <sub>x</sub>	7.224		Número de Froude		
h	0.9500		Eficiencia estimada. Hoffman, pág. 102		
f	0.015		Rozamiento total del aire más el de las partículas		
V <sub>qCS</sub>	28.18	m/s	Velocidad tangencial en el centro interno 'inner core' de radio R <sub>cs</sub>		
A <sub>R</sub>	15.18	m <sup>2</sup>	Área interna del ciclón que contribuye a el arrastre por fricción		
X <sub>50</sub>	6.99	mm	Tamaño tentativo de la partícula que tiene 50% de probabilidad de ser capturada		
U' <sub>150</sub> = V <sub>CS</sub>	0.945	m/s	Velocidad última de la partícula capturada que rota en la superficie CS.		
Re <sub>p</sub>	0.278		Número de Reynolds de la partícula para un X <sub>50</sub>		
X <sub>50</sub>	6.99	mm	Tamaño final de la partícula que tiene 50% de probabilidad de ser capturada		
C <sub>oL</sub>	0.0069	kg <sub>finos</sub> /kg <sub>aire</sub>	Límite de carga para saturación		

## 4.4.4 Diseño Ciclones

Los ciclones reciben la alimentación de forma tangencial por una entrada de 240mm x 400mm, con una altura total de 3040mm, ancho de 1003 mm; la salida superior que va dirigida por medio de ducto al ventilador de  $\text{Ø}400\text{mm}$ ; en la parte inferior tiene la salida de  $\text{Ø}192\text{mm}$  que descarga en tonillos sinfín existentes para continuar proceso de salida; el cuerpo de los ciclones está *proyectado* en lámina 1/4" ASTM A-36 y las bridas en a 3/8" ASTM A-36 y con un peso de 427 Kg. Cada uno con una cantidad total de cuatro ciclones, tal como se ve en la figura 32-4. Ver anexo16, SPD-L2-JF-600.

**Figura 27-4** Despiece Ciclón

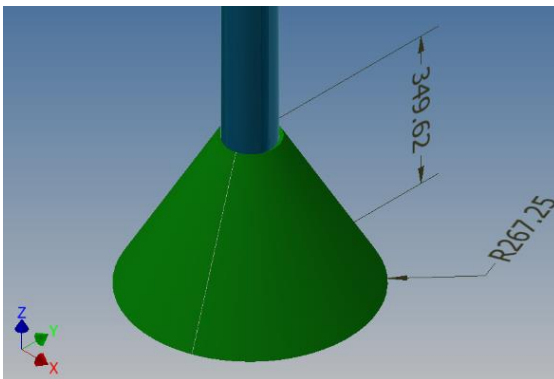


Fuente. Elaboración propia. (Generado en software inventor Versión estudiantil)

## 4.5 Cálculo y diseño rotor

### 4.5.1 Cálculo rotor

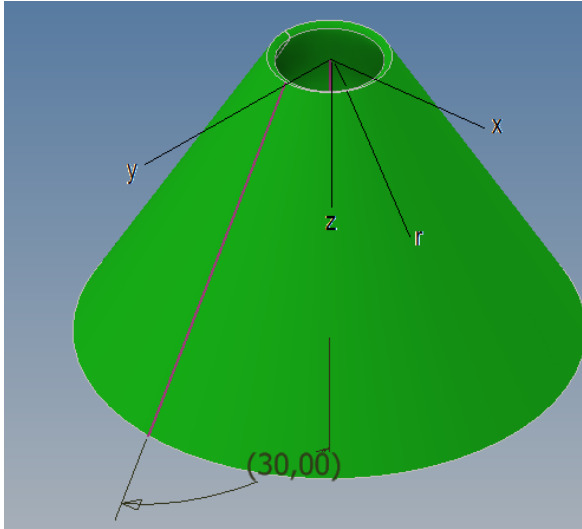
**Figura 28-4** Cálculo Rotor



Fuente. Elaboración propia. (Generado en software inventor Versión estudiantil)

**4.5.1.1 Análisis del comportamiento de una partícula sobre el cono.** Como se muestra en la figura 34-4, para este análisis se utiliza la ecuación paramétrica del movimiento de una partícula sobre un cono, demostrando que cuando esta choca sobre el cono, describe un movimiento en espiral con caída en tres dimensiones, que de acuerdo a la ecuación ésta se encontrará en una posición particular de coordenadas:

**Figura 29-4** Análisis Comportamiento de una Partícula Sobre el Cono



**Fuente.** Elaboración propia. (Generado en software inventor Versión estudiantil)

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \varphi \\ y = r \sin \theta \sin \varphi \\ z = r \cos \theta \end{cases}$$

Derivando con respecto al tiempo tenemos las componentes de la velocidad

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dr}{dt} \sin \theta \cos \varphi - r \sin \theta \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dr}{dt} \sin \theta \sin \varphi + r \sin \theta \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dr}{dt} \cos \theta$$

La energía cinética es:

$$T = \frac{1}{2} m \left( \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 \right) = \frac{1}{2} m \left( \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 + r^2 \sin^2 \theta \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right)$$

La energía potencial es

$$V = mgz = mgr\cos\theta$$

A partir de la conservación de la energía

$$\Delta E_1 = \Delta E_2$$

$$L = T - V$$

$$L = \frac{1}{2}m \left( \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 + r^2 \sin^2\theta \left( \frac{d\phi}{dt} \right)^2 \right) - mgr\cos\theta$$

$$L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2 \sin^2\theta \dot{\phi}^2) - mgr\cos\theta$$

El segundo término de la ecuación de conservación, dentro del paréntesis, será la componente z del momento angular, que denotaremos como K, por lo tanto:

$$L_z = m \left( x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right) = mr^2 \sin^2\theta \frac{d\phi}{dt}$$

Ahora, la ecuación del movimiento, aceleración en la dirección radial se convierte en

$$\frac{d^2r}{dt^2} - \frac{k^2}{r^3 \sin^2\theta} + g\cos\theta = 0$$

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{k^2}{r^3 \sin^2\theta} - g\cos\theta = a_r \quad [1]$$

Esta ecuación al derivarla con respecto al tiempo se tiene:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{d^2r}{dt^2} - \frac{k^2}{r^3 \sin^2\theta} + g\cos\theta \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{k^2}{2r^2 \sin^2\theta} + g\cos\theta$$

La conservación de la energía se expresará como:

$$\frac{1}{2} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{k^2}{2r^2 \sin^2\theta} + g\cos\theta = \Delta E$$

La energía potencial efectiva sobre una partícula estará dado por:

$$E_p(r) = \frac{k^2}{2r^2 \sin^2\theta} + g\cos\theta \quad [2]$$

A partir del recorrido que realizará la partícula, partimos de  $r=r_1$  en donde claramente se observa que  $dr/dt = 0$ , determinamos la constante de arrastre del separador, k

$$E_p(r) = \frac{k^2}{2r^2 \sin^2 \theta} + gr_1 \cos \theta = \frac{k^2}{2r^2 \sin^2 \theta} + gr_2 \cos \theta$$

$$k^2 = 2g \frac{r_1^2 r_2^2}{r_1 + r_2} \sin^2 \theta \cos \theta$$

Para los valores de  $r_1 = 130,78$  mm y  $r_2 = 534,5$  mm se obtiene:

$$k^2 = 2(9,81 \text{ m/s}^2) \frac{(0,13078)^2 (0,5345)^2}{0,13078 + 0,5345} \sin^2 30^\circ \cos 30^\circ$$

$$k^2 = 3,12$$

Al retomar la ecuación 1 se reemplazar el valor calculado para obtener:

$$a_r = \frac{3,12}{r^3 \sin^2 30} - 9,81 \cos 30 \quad [1]$$

Multiplicando por el flujo másico, se tendrá la fuerza de arrastre neta sobre el material:

$$F_r = 4,16 \text{ kg/s} \left( \frac{3,12}{r^3 \sin^2 30} - 9,81 \cos 30 \right)$$

$$F_r = \frac{51,912}{r^3} - 35,342 \quad [N/s]$$

Igualmente, con el fin de evaluar el movimiento indirecto del material con respecto a la energía potencial, se tendrá de la ecuación 2:

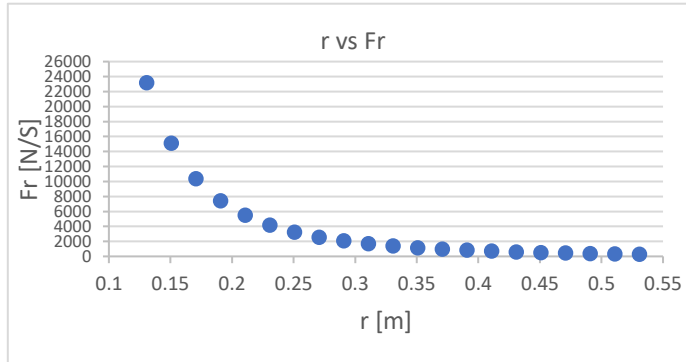
r [m]	Fr [N/s]	Ep [kJ]
0,13078	23172,9811	356,34956
0,15078	15108,5165	265,981409
0,17078	10386,7939	205,459153
0,19078	7440,65688	162,952662
0,21078	5508,10067	131,961308
0,23078	4188,16535	108,672398
0,25078	3256,12168	90,729902
0,27078	2579,33478	76,6142839
0,29078	2076,07573	65,3098578
0,31078	1694,11024	56,1168348
0,33078	1398,99114	48,5403588
0,35078	1167,37456	42,2224908
0,37078	983,059103	36,8991437
0,39078	834,560894	32,3720295
0,41078	713,585692	28,4899235
0,43078	614,041374	25,1358697
0,45078	531,384921	22,2182672
0,47078	462,18167	19,6645494
0,49078	403,802242	17,4166273
0,51078	354,210602	15,4275572
0,53078	311,813548	13,6590697

$$E_p(r) = \frac{3,12}{2r^2 \sin^2 30} + 9,81 r \cos 30$$

$$E_p(r) = \frac{6,24}{r^2} + 8,49 \quad [kJ]$$

La figura 35-3 muestra el comportamiento de la fuerza de arrastre con respecto al radio a lo largo del cono. La medida de 0,130 m del radio es tomada en la parte superior, mientras que la medida de 0,534 m, es tomada en la parte baja del cono. Se puede apreciar que la fuerza de arrastre de la partícula decae a medida que la partícula pasa por el cono.

**Figura 30-4** Comportamiento Fuerza de Arrastre



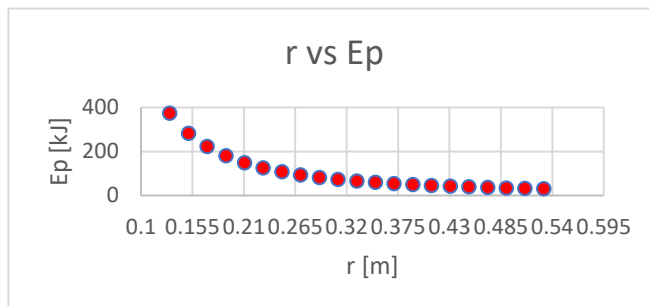
**Fuente.** Elaboración propia

En los primeros valores del radio, la partícula tiene alta posibilidad de arrastre, ya que para un valor de  $r = 0,130$  m, la fuerza de arrastre fue de 23172,98 N/s, mientras que para  $r=0,534$  m la fuerza es de 311,813 N/s. Este es un factor importante para la funcionalidad del separador.

No obstante, el flujo de material es de 15000 kg/h, es decir 4,16 kg/s, que, al multiplicar por la gravedad, tendría una carga de 40,875 N/s. Para este valor se puede observar que en todo momento el material particulado es arrastrado.

En la figura 36-4 se observa el comportamiento de la energía potencial con respecto al radio del cono. Se graficó la energía potencial con respecto al radio, con el fin de observar cómo varía la energía potencial, la cual, a partir de la conservación de la energía, indicaría incremento de energía cinética.

**Figura 31-4** Comportamiento de la Energía Potencial



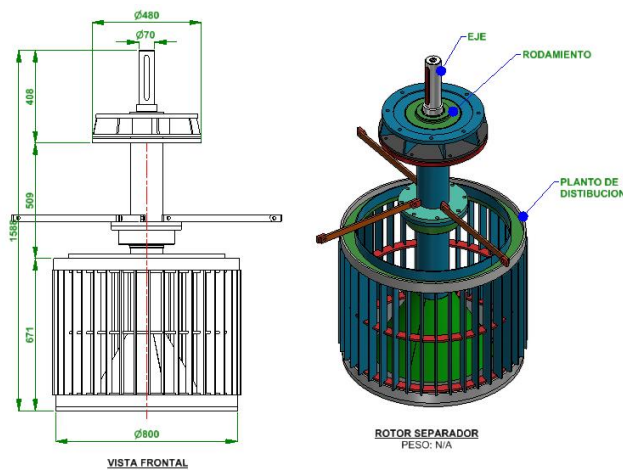
**Fuente.** Elaboración propia

En este contexto, para el valor  $r=0,130$  m, hay 356,56 kJ de energía potencial, mientras que para  $r=0,534$  m, existen 13,65 kJ de energía potencial. Esto indica que la energía cinética de la partícula aumenta a medida que desciende por el cono, provocando mayor velocidad hacia la parte baja del mismo. Este efecto de arrastre es motivado por el efecto centrífugo que genera el movimiento del rotor provocando el arrastre de la partícula.

## 4.5.2 Rotor cilíndrico vertical

Tal como se muestra en la figura 37-4, es un conjunto de componentes giratorio el cual se encarga de transmitir la fuerza centrífuga al material que cae para iniciar así la clasificación de la materia que será dirigido a los ciclones.

**Figura 32-4** Rotor Cilíndrico



**Fuente.** Elaboración propia

**4.5.2.1 Cálculo y diseño del eje.** Es el elemento principal del rotor el cual va desde la salida del reducto sostenido el plato de distribución, dadas las características y condiciones de trabajo al cual será sometido el eje; se elige el ACERO AISI/SAE 4340 BONIFICADO, el cual es el que mejor se ajusta a los requerimientos planteados, debido a las aleaciones con cromo, níquel y molibdeno, lo convierte en un acero altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. (Ver anexo 17, ficha técnica).

Acordes a las especificaciones de diseño del separador dinámico para la Planta Cementos de Sogamoso, se presentan los cálculos para la fabricación del eje así:

### Materiales

Tipo de material		User material
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa
Modulus of Rigidity	G	80000 MPa
Density	$\rho$	7860 kg/m <sup>3</sup>

### Cálculo de Propiedades

Include			
Yes	Density	$\rho$	7860 kg/m <sup>3</sup>
Yes	Shear Displacement Ratio	$\beta$	1.188 ul
	Number of Divisions		1000 ul
	Mode of reduced stress		HMH

### Cargas

Index	Location	Radial Force				Bending Moment				Continuous Load				Axial Force	Torque	Deflection				Deflection Angle				
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction			Length	Y	X	Size		Direction			
1	1153 mm	86.603 N	50.000 N	100.000 N	30.00 deg															-24.238 microm	-1.724 microm	24.299 microm	184.07 deg	0.00 deg

### Apoyos

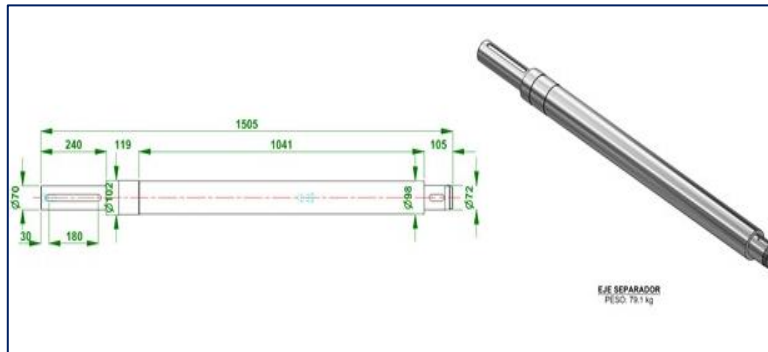
Index	Type	Location	Reaction Force					Axial Force	Yielding	Type	Deflection				Deflection Angle
			Y	X	Size	Direction	Y				X	Size	Direction		
1	Free	120 mm	429.722 N	12.572 N	429.906 N	1.68 deg			User	-0.000 microm	0.000 microm	0.000 microm	180.00 deg	0.00 deg	
2	Fixed	1500 mm	438.376 N	37.428 N	439.971 N	4.88 deg			User	-0.001 microm	-0.000 microm	0.001 microm	180.04 deg	0.00 deg	

### Resultados

Length	L	1505.000 mm
Mass	Mass	79.690 kg
Maximal Bending Stress	$\sigma_B$	1.642 MPa
Maximal Shear Stress	$\tau_s$	0.128 MPa
Maximal Torsional Stress	$\tau$	0.000 MPa
Maximal Tension Stress	$\sigma_T$	0.000 MPa
Maximal Reduced Stress	$\sigma_{red}$	1.642 MPa
Maximal Deflection	$f_{max}$	33.202 microm
Angle of Twist	$\varphi$	0.00 deg

Teniendo como base los cálculos antes mencionados y cumpliendo las necesidades de forma y tamaño, nos da como resultado un eje con una longitud total de 1507 mm y un ancho máximo de 101.6 mm, tal como se evidencia en la figura 38-4. En cuanto a las características de del material debemos resaltar la resistencia a la tracción, la fatiga y límite elástico/fluencia que este nos ofrece, por tal razón se recomienda fabricar el eje en acero AISI/SAE 4340 Bonificado



**Figura 33-4** Eje

**Fuente.** Elaboración propia

**4.5.2.2 Rodamiento.** los rodamientos está ubicado en la parte superior del rotor, la función principal es permitir la rotación del equipo; alargando la durabilidad del eje, evitando la fricción entre los componentes, para este caso, el rodamiento que más se acopla a los requerimientos del proyecto, es el rodamiento de rodillos esféricos tipo 22320 E de SKF, ya que cuenta con una excelente capacidad para soportar cargas radiales y cuyas especificaciones se presentan continuación en la figura 39-4.

**Figura 34-4** Especificaciones Técnicas del Rodamiento

DIMENSIONES	
d	100 mm
D	215 mm
B	73 mm
d <sub>2</sub>	≈ 130 mm
D <sub>1</sub>	≈ 184 mm
b	11.1 mm
K	6 mm
r <sub>1,2</sub>	min. 3 mm

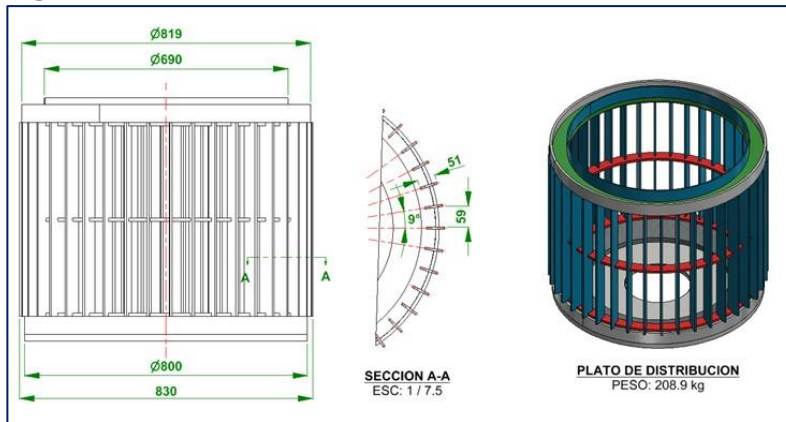
**Fuente.** Ficha técnica SKF

### 4.5.2.3 Plato de distribución.

Se ubica en la parte inferior del rotor, dicho elemento es la base principal donde el material cae y es arrastrado hacia las tangentes por la fuerza centrífuga, obligándolas a separarse del centro de rotación. Debido a la abrasión la base del plato tiene una capa de concreto refractaria razón y las aspas verticales. Por esta causa, dichas partículas son proyectadas hacia los lados para que impacten con los deflectores.

Dado el alto grado de fricción que va a estar expuesto el elemento, el material que mejor se acopla es el INOXIDABLE 304 austenítico, el cual, por su aleación con níquel, cromo y bajo contenido de carbono, presenta una buena resistencia a la corrosión y a la fricción que va a estar expuesta la pieza. De acuerdo a los cálculos y como se muestra en la figura 40-4, tiene un volumen de diámetro de  $\varnothing 827$ , una altura de 687 y un peso de 204 kg. (Ver anexo 18 ficha técnica)

**Figura 35-4** Plato de Distribución



Fuente. Elaboración propia

## 4.6 Ductos

Los ductos permiten la conexión de punto a punto garantizando la hermeticidad, el área y el caudal el cual debe ser 18m/s.

### 4.6.1 Ductos de recirculación a ventilador

Este ducto conecta la salida de los ciclones hasta el ventilador, a través de ellos circula aproximadamente el 4% de material fino que no alcanza a ser clasificado por los ciclones planetarios; es de vital importante garantizar el flujo laminar y una velocidad de 18 m/s.

Estos ductos en general son fabricados en acero ASTM A-36. Una vez establecido la potencia del ventilador mencionados en el apartado de cálculos y teniendo como referente el área disponible para la proyección del ducto, tal como se muestra en la figura 41-4, tienen una altura de de 3548 mm y una longitud de 5740mm en su totalidad está fabricado en acero ASTM A-36 de 1/4" y las bridas 3/8". (Ver anexos 19-20 SPD-L2-JF-700)

$$v_t = w \cdot r = 151.84 \text{ rad/s} (0.9m) = 136.66 \text{ m/s}$$

Calculando perdida a partir de la de ecuación de Darcy -Weisbach

$$h = \left(\frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g} = 0.005 \left(\frac{5.80}{0.2328}\right) \left(\frac{136.66^2}{2(9.81)}\right)$$

donde h es tomado de la ecuación anterior

$$h = 132.88 \text{ m } P = \gamma \cdot h =_{\text{jaire}} g h$$

$$P = \frac{1.12 \text{ kg}}{\text{m}^3} (9.81 \text{ m/s}^2) (132.88)$$

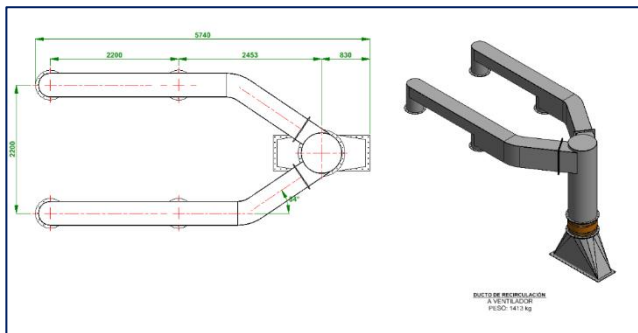
$$P = 1459.97 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \rightarrow 1.4594 \text{ Pa}$$

$$P = \frac{\dot{v}}{u} = \frac{1.459(33.750)}{136.66 \text{ m/s}} = 0.3603 \text{ m}^2$$

$$a = 0.3603 \text{ m}$$

A criterio de diseño se dejó el lado ancho de .43 cm y el alto .51 cm cumpliendo con la área requerida de 0.3603 m<sup>2</sup>.

**Figura 36-4** Ducto de Recirculación a Ventilador



**Fuente.** Autor, elaborada software Inventor 2018 Versión estudiantil.

#### 4.6.2 Ductos de salida ventilador a separador

Como se muestra en la figura 42-4, el ducto comunica la salida del ventilador a la parte inferior del separador, al igual que el ducto de recirculación, importante garantizar el flujo laminar y una velocidad de 18 m/s.

$$v_t = w \cdot r = 151.84 \text{ rad/s} (0.9\text{m}) = 136.66 \text{ m/s}$$

Calculando pérdida a partir de la de ecuación de Darcy -Weisbach

$$h = \left(\frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g} = 0.005 \left(\frac{0.99}{0.2328}\right) \left(\frac{136.66^2}{2(9.81)}\right)$$

donde h es tomado de la ecuación anterior

$$h = 132.88 \text{ m } P = \gamma \cdot h =_{\text{jaire}} g h$$

$$P = \frac{1.12 \text{ kg}}{m^3} (9.81 \text{ m/s}^2)(132.88)$$

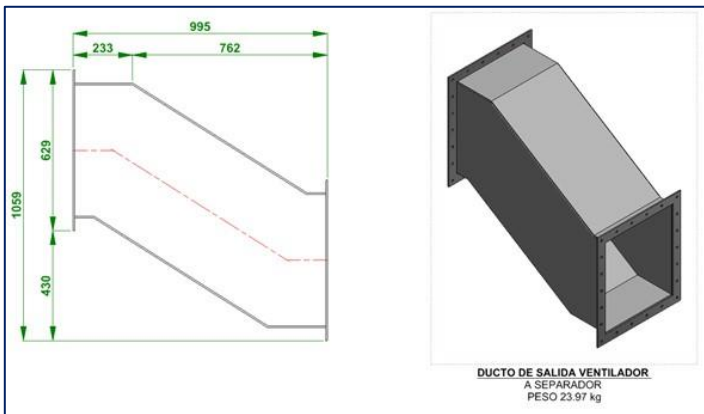
$$P = 1459.97 \frac{N}{m^2} \rightarrow 1.4594 \text{ Pa}$$

$$P = \frac{\dot{v}}{u} = \frac{1.459(20.266)}{136.66 \text{ m/s}} = 0.2163 \text{ m}^2$$

$$a = 0.225 \text{ m}$$

A criterio de diseño se dejó el lado ancho de .43 cm y el alto .51 cm cumpliendo con la área requerida de 0.2163 m<sup>2</sup>.

**Figura 37-4** Ducto de Salida Ventilador



**Fuente.** Autor, elaborada software Inventor 2018 Versión estudiantil.

### 4.6.3 Motorreductor

Es un mecanismo que se compone de un motor eléctrico y varios engranes que conforman una secuencia cinemática, encargado de regular la velocidad la cual va a girar el rotor, debido a la gran gama de motorreductores que existen en el mercado se opta por un paralelo mono bloque.

**Tabla 6-4** Ficha Técnica Ventilador

FICHA TÉCNICA REDUCTOR			
Reductor Helicoidal	Flender	Tamaño reductor	EF108
Toque nominal	456 Nm	Relación nominal	2.11/1

**Fuente.** Elaboración propia

#### 4.6.4 Ventilador

Se opta por elegir un ventilador centrífugo de hélice curva hacia atrás debido a su alta eficiencia ante altas presiones.

$$P = \frac{Q \ell g h}{n} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \left[ \frac{N}{m^3} \right] [m] = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{J}{n} = \rightarrow W$$

$$Q = V = 7.409 \text{ m}^3/s$$

$$\ell_{\text{aire}} = 4.5 \text{ Kg/m}^3$$

$$h = 132.33 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$\ell = 0.80$$

$$P_{ot} = \frac{Q \ell g 7.409 \text{ m}^3/s \left( 4.5 \text{ Kg/m}^3 \right) (9.81 \text{ m/s}) (132.33 \text{ m})}{0.80}$$

$$h = 54326,38 \text{ W} \rightarrow 54.32 \text{ Kw}$$

**Tabla 7-4** Ficha Técnica Ventilador

FICHA TÉCNICA VENTILADOR				
DESCRIPCIÓN	VALOR	UND	VALOR	UND
Temperatura	423.15	K	150	°C
Caudal	12948	CFM	6.110775	m <sup>3</sup> /s
Presión del aire requerida	24	in H2O	5972.16	Pa
Presión atmosférica	0.737	atm	74676.53	Pa
Velocidad del rotor	1450	rpm		
Diámetro del rotor	1.222152	m	48.11622	in
Potencia	72.415	HP	54.3273	kW

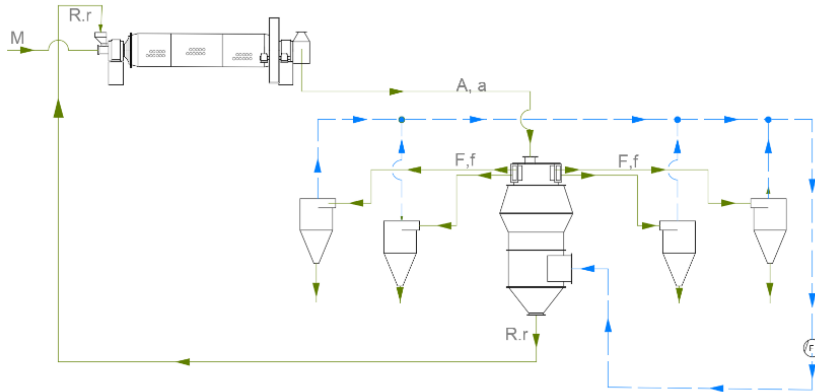
Fuente. Elaboración propia

## 4.7 Resultados Diseño

Como se muestra en las figuras 43-4 y 44-4, en este apartado se hace mención al resultado de la propuesta de diseño del separador dinámico para la segunda línea de producción de cementos del oriente con un rendimiento de

Finalmente se presenta en el Anexo la imagen general del separador dinámico propuesto

**Figura 43-4** Ducto de Salida Ventilador.



**Fuente.** Autor, elaborada software Autocad 2018 Versión estudiantil.

M: alimentación molino.

A, R, F: tph de alimentación, rechazo y finos del separador.

a, r, f: % de Tamaño de distribución de alim, rechazo y finos.

$$CF = \frac{A}{F}$$

$$CF = \frac{f - r}{a - r} \sigma$$

$$CF = \frac{\sum f - \sum r}{\sum a - \sum r}$$

En estado estacionario la alimentación fresca alimentada al molino (M) es igual a el producto fino

(F).

$$CF = A / F$$

$$M = F = 15. \text{ tph}$$

$$CF = A / M$$

donde, M = 24.1 tph ; CF = 1.81

$$A = 15 \text{ tph} \times 1.81$$

$$A = 27.15 \text{ tph}$$

Cálculo de las tph retorno del separador.

$$A = F + R$$

$$R = 27.15 \text{ tph} - 15 \text{ tph}$$

$$R = 12.5 \text{ tph}$$

Con esto datos calculamos la eficiencia del separador de 32 micras

$$\mu = f / (a \times CF)$$

$$CF = \frac{(100 - 28.8)}{(100 - 52.2)} \times 100$$

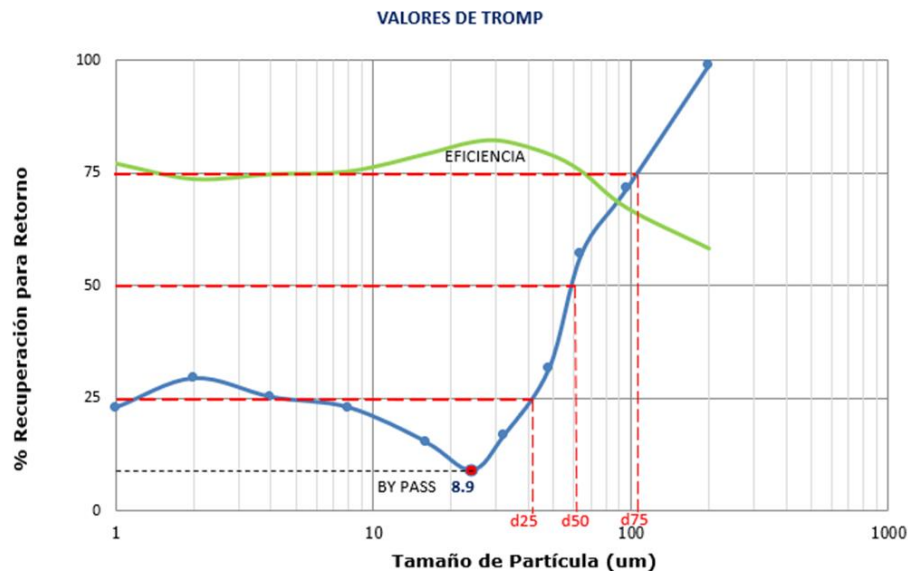
$$\mu = 82.3\%$$

$$T = \frac{(r1 - r2)}{(a1 - a2)} \times \left[ 1 - \frac{1}{CF} \right]$$

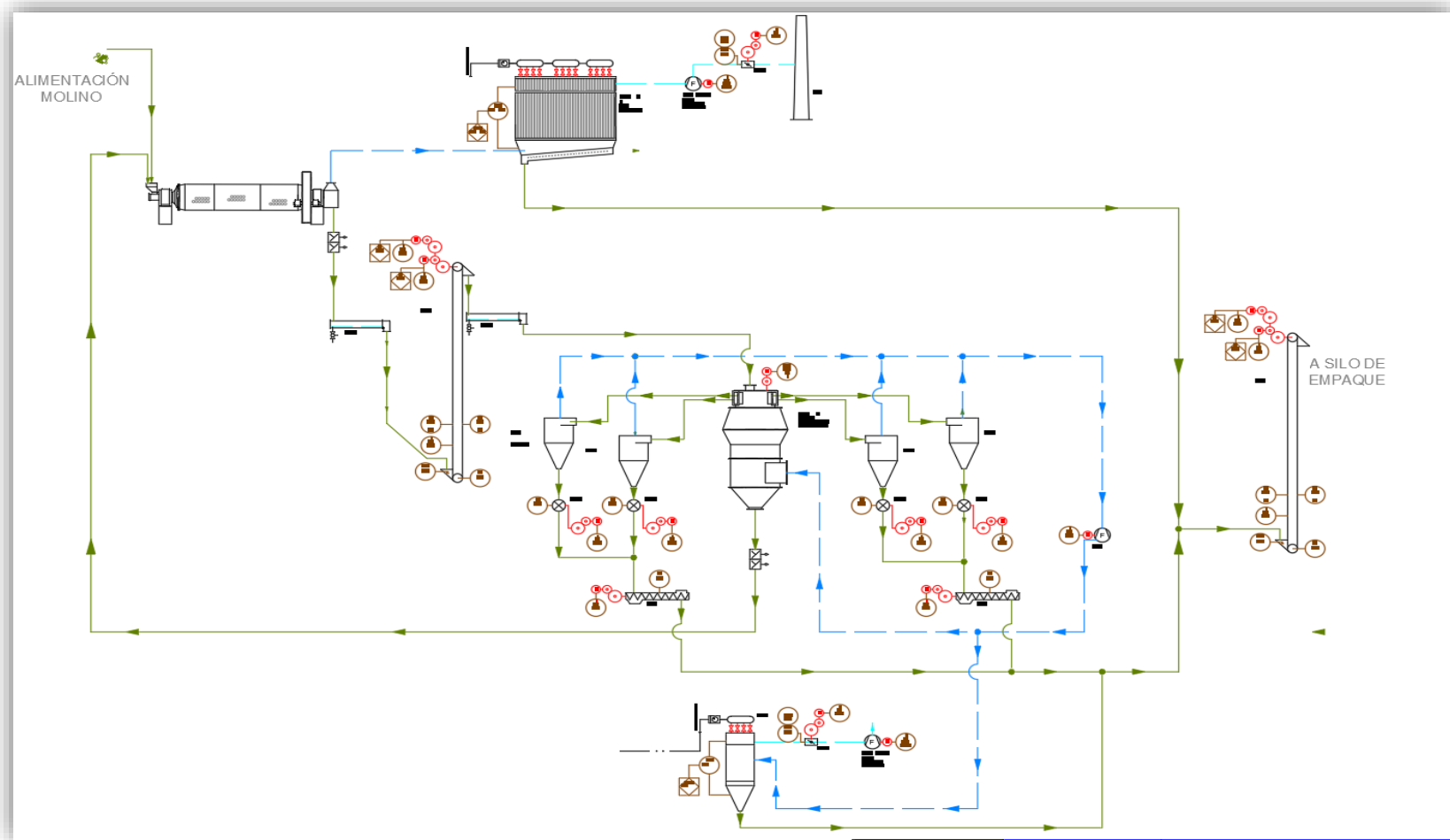
$$T = \frac{(80.9 - 71.9)}{(52.2 - 39.6)} \times \left[ 1 - \frac{1}{1.81} \right]$$

$$T = 31.2\%$$

**Figura 44-4** Valores de  $T_{omp}$  % de eficiencia



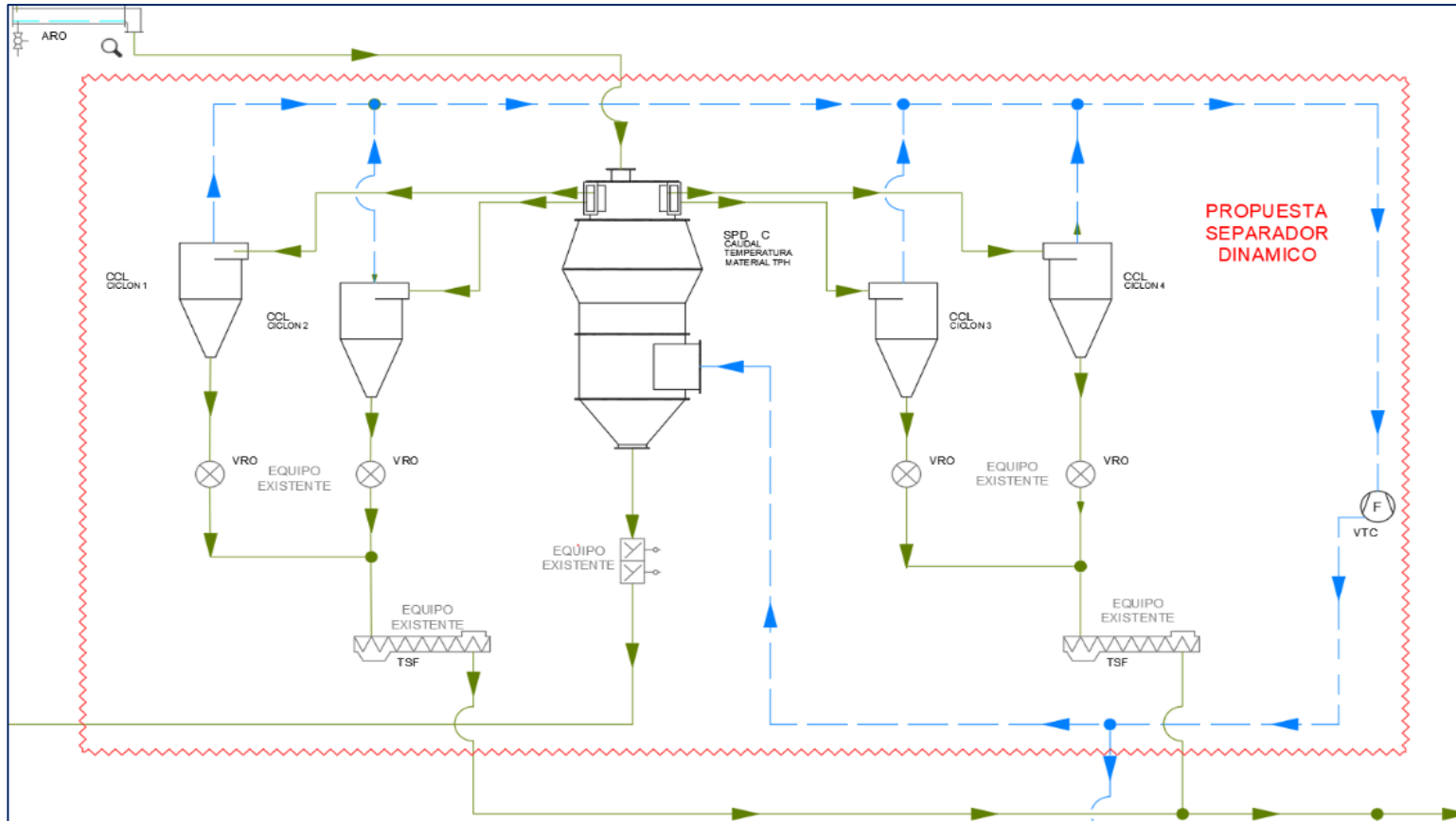
Fuente. Autor, propia.

**Figura 45-4** Diagrama de flujo. Propuesta Diseño Separador Dinámico

**Fuente.** Autor, en software AutoCAD 2018 Versión estudiantil.



Figura 46-4 Detalle Diagrama de flujo. Propuesta Diseño Separador Dinámico



Fuente.  
Autor,  
en  
software

## 4.8 Presupuesto

El objetivo al presentar es el presupuesto del separador dinámico es tener una referencia aproximada de su valor y esta pueda ser comparada con las diferentes opciones que ofrece el mercado, también he de aclarar que el valor por kilogramos de acero se hace con base al precio de finales del mes de abril del 2021 debido que su valor a estado fluctuando como consecuencia de la pandemia. (Ver anexo 22)

<b>I. MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>
Lamina 1/4" Astm A-36	Kg	4,000	\$ 3,450	\$ 13,800,000
Lamina 3/8" Astm A-36	Kg	2,000	\$ 3,450	\$ 6,900,000
Lamina 3/8" Maxdur 450 (ver Ficha tecnica)	Kg	200	\$ 4,800	\$ 960,000
Lamina 3/8" Antidesgaste Inox 304 (ver Ficha tecnica)	Kg	250	\$ 4,800	\$ 1,200,000
Lamina 3/8" Antidesgaste Hardox 450	Kg	200	\$ 4,800	\$ 960,000
Barra circular de Ø 4" Acero 4340 x 2000mm	ml	1	\$ 450,000	\$ 450,000
Barra circular de Ø 4" Acero 1045 x 500mm	ml	1	\$ 120,000	\$ 120,000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 24,390,000.00</b>

<b>II. HERRAMIENTAS Y CONSUMIBLES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>
Caja herramienta fabricante y soldador	Caja / día	45	\$ 95,000	\$ 4,275,000
Servicio de roladora	Und	15	\$ 90,000	\$ 1,350,000
Servicio de mecanizado	Und	1	\$ 300,000	\$ 300,000
Concreto refractario CONCRAX 1500 X 25 Kg	Und	5	\$ 150,000	\$ 750,000
Tornilleria	Und	1,000	\$ 850	\$ 850,000
Silicona y empaques	Gl	12	\$ 36,200	\$ 434,400
Soldadura	Kg	320	\$ 14,500	\$ 4,640,000
				\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 12,599,400.00</b>

<b>III. EQUIPO Y MAQUINARIA PESADA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA DÍA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>
Ventilador Centrifugo (ver ficha Tecnica)	1	\$ 35,000,000	1.00	\$ 35,000,000.00
Motoreductor flender (ver ficha Tecnica)	1	\$ 5,000,000	1.00	\$ 5,000,000.00
				\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 40,000,000.00</b>

<b>IV. MANO DE OBRA</b>				
<b>TRABAJADOR</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA/DÍA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>
Ingeniero residente	1	\$ 105,000	60	\$ 6,300,000
Oficial Armador	1	\$ 90,000	45	\$ 4,050,000
Ayudante Montaje	2	\$ 50,000	45	\$ 4,500,000
Soldador	1	\$ 100,000	30	\$ 3,000,000
Hse	1	\$ 80,000	60	\$ 4,800,000

<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 22,650,000</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>		<b>\$ 99,639,400.00</b>
<b>V. COSTOS INDIRECTOS</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valor Total</b>
ADMINISTRACIÓN	10%	\$ 9,963,940
IMPREVISTOS	5%	\$ 4,981,970
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 14,945,910.00</b>
<b>PRECIO TOTAL FABRICACION SEPARADOR DINAMICO</b>		<b>\$ 114,585,310</b>

## 4.9 Conclusiones

Con el diseño del separador dinámico para los procesos productivos de cemento en la Planta Cementos del Oriente ubicada en la ciudad de Sogamoso, se mejora la capacidad técnica en la línea de producción No. 2 para obtener cemento tipo ART, permitiendo a la empresa ofrecer un producto de mayor calidad y ser más competitivos en el mercado.

En la tesis se presenta las características para producción de cemento tipo UG y ART con sus usos a nivel comercial, elaborados por la planta de cementos del oriente; debido a que la capacidad de producción en la línea dos es mayor que se optó por proponer un separador dinámico en dicha línea lo cual permitirá producir las dos referencias de cemento en una misma línea de producción.

De igual forma, el desarrollo del proyecto permitió caracterizar el proceso productivo de la referencia tipo ART que se produce en la Planta Cementos del Oriente ubicada en la ciudad de Sogamoso, facilitando el establecimiento de las características técnicas, operacionales y proyección de costos que se requieren para el diseño del separador dinámico propuesto en la investigación.

Una vez establecidos los parámetros técnicos, cálculos de ingeniería y costos, se diseñó el separador dinámico propuesto en la investigación, el cual queda para la fabricación a criterio de las directivas de la Planta Cementos del Oriente ubicada en la ciudad de Sogamoso.

La investigación también permitió acceder a publicaciones técnicas y documentos relacionadas con los procesos productivos de cemento y el diseño y fabricación de separadores, aportando información valiosa que el autor utilizó para construir el soporte documental y cálculos de ingeniería que se requiere para estructurar la propuesta de diseño

del separador dinámico en la Planta Cementos del Oriente ubicada en la ciudad de Sogamoso de tal forma que se pueda obtener cemento tipo ART en la línea de producción No.2.

en la tesis también se presenta el diseño del separador dinámico tomando los parámetros de producción y calidad requeridos; convirtiendo las limitantes presentes en sitio en soluciones al momento de proyectar para el equipo requerido.

El resultado de este arduo trabajo se ve reflejado en el diseño y presupuesto expuesto en este documento, con el fin de dar solución a lo planteado en la problemática que presenta la empresa Cementos del oriente, y que sirva de referencia para cualquier determinación que tome en empresa.

### **4.9.1 Recomendaciones**

-Es de vital importancia que la empresa cementos de oriente analicé el tema estructural del edificio de molino y que un ingeniero civil avalé el tema debido al aumento de peso y vibraciones que genera el separador dinámico a la edificación existente.

- con las características del diseño y el presupuesto planteado en la tesis la empresa puedes hacer el estudio de factibilidad para ver como implementan el proyecto y en cuanto tiempo recuperan la inversión.

-otra posibilidad que tiene la empresa con base a diseño planteado en esta tesis se puede evaluar la compra de un equipo que cumplan las mismas características en el mercado asiático.

## Referencias

Cementos del oriente. (2019). *Informe de producción 2019*. Sogamoso.

Cemex. (s.f.). *Separadores manual de capacitación*. Cementos Mexicanos S.A.

Course Hero. (s.f.). *Tipos de separadores*. Lección 16 Cementos. Separadores aire: <https://www.coursehero.com/file/43252341/Leccion16CEMENTOSSeparadoresAireTIPOSpdf/>

CRAI. (2018). *Propósito de la investigación aplicada*. Obtenido de Centro de recursos para el aprendizaje y la investigación: <http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/definicion-y-proposito-de-la-investigacion-aplicada>

DEG. (2020). *El separador dinámico*. Dal teknik Makina: <http://www.daltechnik.com/separador-dinamico-deg-es#:~:text=El%20Separador%20Din%C3%A1mico%20es%20un,obteniendo%20as%C3%AD%20un%20material%20rechazado.&text=Los%20Separadores%20de%20acuerdo%20con,dos%20grupos%20Cest%C3%A1ticos%20y%20din%C3%A1ticos.>

Echeverri Londoño, C. A. (22 de Agosto de 2006). *Diseño óptimo de ciclones*. Revista ingenierías universidad de Medellín: <https://www.redalyc.org/pdf/750/75050911.pdf>

Echeverry Londoño, C. A. (22 de Agosto de 2006). *Diseño optimo de Ciclones*. (U. d. Medellín, Ed. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 17. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/239>

Fernández Diez, P. (2000). *Ventiladores*. Biblioteca sobre ingeniería energética: <https://docplayer.es/24851435-Vi-ventiladores-pfernandezdiez-es.html>

Grupo Bancolombia. (06 de febrero de 2020). *Señales de alerta en los precios del cemento colombiano*. Dirección de investigaciones económicas, sectoriales y de mercados: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/actualidad-economica-sectorial/sector-cemento/informe-especial-riesgos-precios-cemento-colombia-2020>

NTC 33. (26 de Noviembre de 1997). *Introducción a la ciencia de materiales*. Studocu.com: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-nacional-de-colombia/introduccion-a-la-ciencia-de-materiales/practica/ntc-33-se-explican-ensayos-de-laboratorio/9417108/view>

Pinzón Sánchez, A. M. (2019). *Materiales más usados para la construcción en Colombia*. <https://contratistas.co/noticias/los-materiales-mas-usados-en-construccion-colombia/#:~:text=Este%20estudio%20reune%20en%20ocho,y%20acero%2C%20las%20pinturas%20y>

Pleguezuelos , D. (18 de Junio de 2013). *Planificación del mantenimiento de un molino de rodillos en una industria dedicada a la fabricación de estroncio*.  
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3356/pfc5100.pdf?sequence=1>

Sánchez Vásquez, J. L. (2016). *Separadores en circuito de molienda de cemento*.  
Separadores dinámicos: [www.thecementgrindingoffice.com](http://www.thecementgrindingoffice.com)

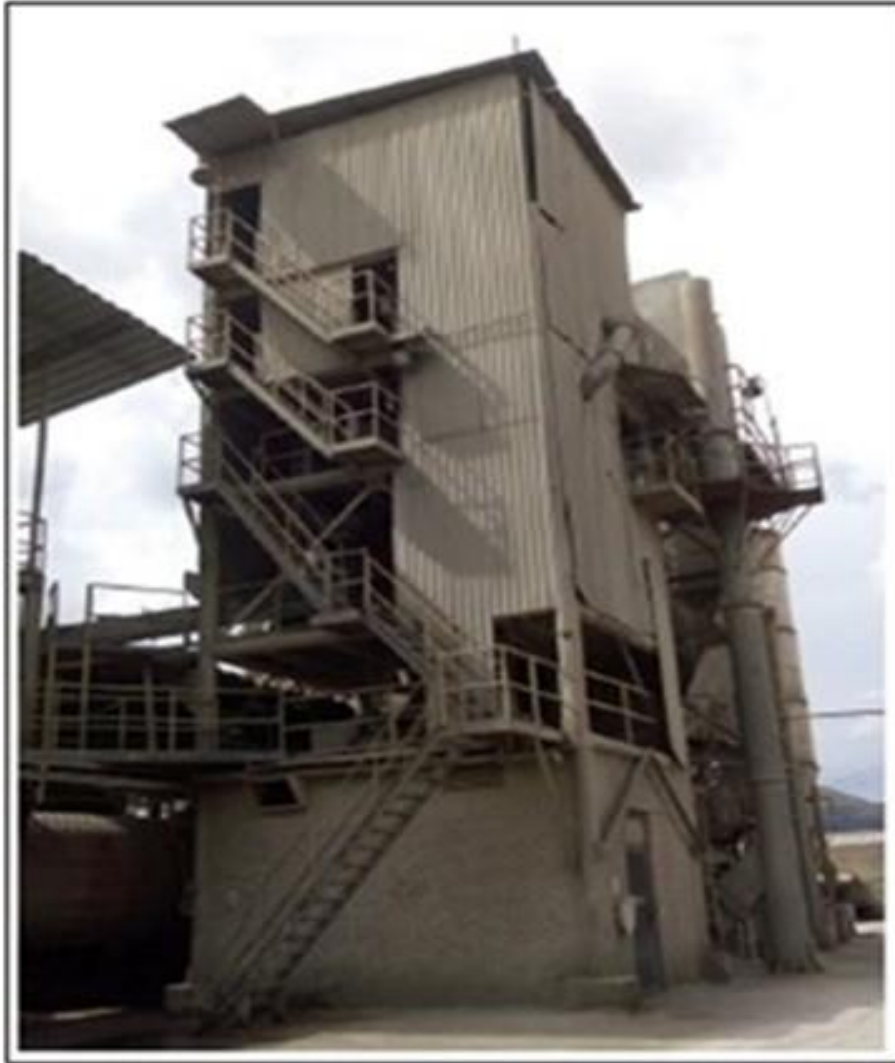
scribid. (06 de Noviembre de 2019). *Separadores de aire*. Lección 16:  
<https://studylib.es/doc/6039716/leccion16.cementos.separadoresaire>

**Anexo 1** Línea de Producción 1





**Anexo 2** Línea de Producción 2



**Anexo 3** Especificaciones Molienda de Cemento

<b>Especificaciones Molienda Cemento</b>					
<b>Cemento</b>	<b>RM 325</b>	<b>Blaine m<sup>2</sup>/kg</b>	<b>% Humedad</b>	<b>% SO<sub>3</sub></b>	<b>Prod/hr /ton</b>
Ug / topex	Máx. 12,0	Min. 381	Máx. 1,0	1,9 – 2,2	15
Art	Máx. 2,0	Min. 400	Máx. 1,0	2,4 – 2,8	06
Estructural	Máx. 2,0	Min. 400	Máx. 1,0	2,4 – 2,8	

**Anexo 4** Especificaciones Materia Prima

<b>ESPECIFICACIÓN MATERIAS PRIMAS</b>					
<b>PRODUCTO</b>	<b>CLINKER C3S</b>	<b>% ADICIONAL</b>			
		<b>PUZOLANA</b>	<b>CALIZA</b>	<b>YESO</b>	<b>FACTOR</b>
Cemento UG	Min 50%	30 - 35	6 - 10	4 - 6	60 ± 2
Cemento ART	Min 60%	5 - 10	5 - 10	6- 11	85 ± 2

**Anexo 5** Tabla de Granulometría

<b>PARÁMETRO DE CONTROL</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN NTC 121</b>	<b>ESPECIFICACIÓN ASTM C 1157</b>
Contenido de Aire en volumen, %	NTC 224	Máx. 12,0	Máx. 12,0
Finura (permeabilidad al aire), cm <sup>2</sup> /g	NTC 33	-----	-----
Finura en Tamiz N° 325 (45 m), %	NTC 294	-----	-----
Expansión en autoclave, %	NTC 107	Máx. 0,80	Máx. 0,80
Expansión Barra de mortero, 14 días, %	NTC 4927	Máx. 0,020	Máx. 0,020
<b>TIEMPO DE FRAGUADO (Met. Vicat)</b>			
Tiempo inicial de fraguado, minutos	NTC 118	Mín. 45	Mín. 45
Tiempo final de fraguado, minutos	NTC 118	Máx. 420	Máx. 420
<b>RESISTENCIA DE LA COMPRESIÓN</b>			
1 Día MPa (psi)	NTC 220	Mín. 11,0 (1595)	Mín. 12,0 (1740)
3 Días MPa (psi)	NTC 220	Mín. 22,0 (3191)	Mín. 24,0 (3480)
7 Días MPa (psi)	NTC 220	-----	-----
28 Días MPa (psi)	NTC 220	-----	-----

Anexo 6 Características de los Separadores Dinámicos

SEPARADORES			CICLON DE GRUESOS	TUBO TELESC.		PALETAS			VENTILADOR		ALIMENTA. VIA		COLECCION DE FINOS EN :				AIRE DE SEPARACION				TIPO DE ROTOR		DAMPERS CONTROL		PALETAS RETORNOS DE AIRE			
TIPO	DISEÑO	TIPO - NOMBRE		FLUC	AJUSTABLE	FLUC	AJUSTABLE	AJUSTABLE	VELOCIDAD FUA	VELOCIDAD VARIABLE	VALVULA DE AIRE	DISCO DE DISTRIBUCION	DISPERCION	CICLON INTERNO	CICLONES PLANETARIOS	CICLONES INDEPENDIENTES	FILTRO(S)	MOLINO (DESPOUJAMIENTO)	AIRE FRO ( ENFRIAMIENTO)	AIRE CALIENTE ( CALENTAMIENTO)	AIRE DE CIRCULACION	PALETAS SELECTORAS SINGULARES	PALETAS SELECTORAS DOBLES	CILINDRICO		VELOCIDAD VARIABLE	VERTICAL	HORIZONTAL
	VARIOS	CICLON ESTATIC.	X	X																								
	F L S	ST / STJ	X		X	X																						
	POLYSIUS	GRIT.	X		X	X																						
	FULLER	HEYD	X		X			X			X		X									X					X	X
	STURTEVANT	STURT. STAND.	X		X		X	X			X		X									X				X	X	
	RAYMOND	RAYMOND STAND.	X		X		X	X			X		X									X				X		
	POLYSIUS	POLYSIUS. STAND.	X		X		X	X			X		X									X						
	F L S	C. V.	X		X	X		X			X		X									X						
	F L S	R E C	X		X				X		X			X								X		X				X
	F L S	R T	X			X				X		X			X	X	X					X	X					
	F L S	R E	X			X				X	X				X	X			(X)	(X)		X	X					
	F L S	R T E	X			X					X	X			X	X	X					X	X					
	HUMBOLT /	Z U B	X		X					X	X			X		X			(X)			X	X					X
	WEDAG	Z U B - J	X		X					X	X			X		X			(X)			X		X	X			X
	STURTEVANT	S. D.	X		X					X	X			X		X			(X)			X		X	X			
	RAYMOND	HIGH EFF.	X		X					X	X			X		X			(X)			X		X				
	HUKK	LAROX	X	X					X			X		X								X						
	POLYSIUS	CAROPOL	X							X	X			X		X			(X)			X	X		X			
	POLYSIUS	CYCLOPOL	X		X					X	X			X		X			(X)			X	X					X
	FULLER	O - SEPA	X		X					X	X			X	X	X			(X)						X	X		
	F L S	SEPAX - 1C	X		X				X			X												X	X			
	F L S	SEPAX - 2C	X		X				X			X		X								X		X	X			
	F C B	T S V A	X		X				X															X	X			
	F C B	T S V B	X		X				X		X													X	X			
	F C B	T S V C	X		X				X		X													X	X			
	POLYSIUS	SEPOL	X			X			X		X			(X)	X				(X)			X		X	X			
	ONODA	O K	X		X				X		X				X	X			X	X				X	X			
	C. PFEIFFER	Q D K	X			X			X		X				X				X					X	X			

Fuente. Manual de capacitación – Separadores p. 29

**Anexo 7** Intervalos de Eficiencia

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

**Fuente.** Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. P. 125.

**Anexo 8** Características de los Ciclones de Alta Eficiencia y Convencionales

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

**Fuente.** Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. P. 126.

**Anexo 9** Características de los Ciclones Convencionales

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	S/Dc	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/Dc	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

**Fuente.** Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. P. 126.

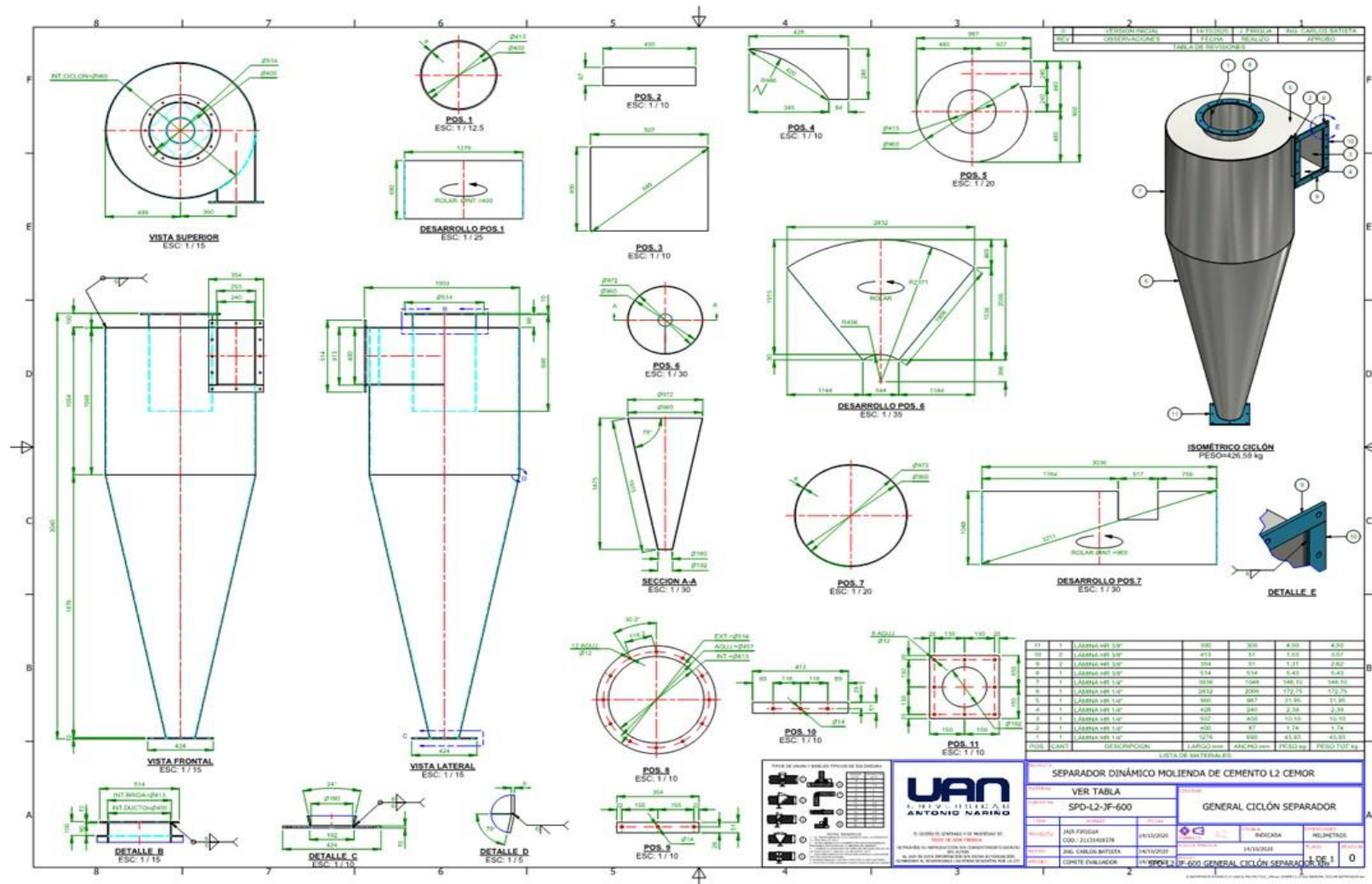
**Anexo 10** Características de los Ciclones de Alta Capacidad

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swift
Diámetro del ciclón	$D_c/D_c$	1.0	1.0
Altura de entrada	$a/D_c$	0.75	0.8
Ancho de entrada	$b/D_c$	0.375	0.35
Altura de salida	$S/D_c$	0.875	0.85
Diámetro de salida	$D_s/D_c$	0.75	0.75
Altura parte cilíndrica	$h/D_c$	1.5	1.7
Altura parte cónica	$z/D_c$	2.5	2.0
Altura total del ciclón	$H/D_c$	4.0	3.7
Diámetro salida partículas	$B/D_c$	0.375	0.4
Factor de configuración	G	29.79	30.48
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	7.95
Número de vórtices	N	3.7	3.4

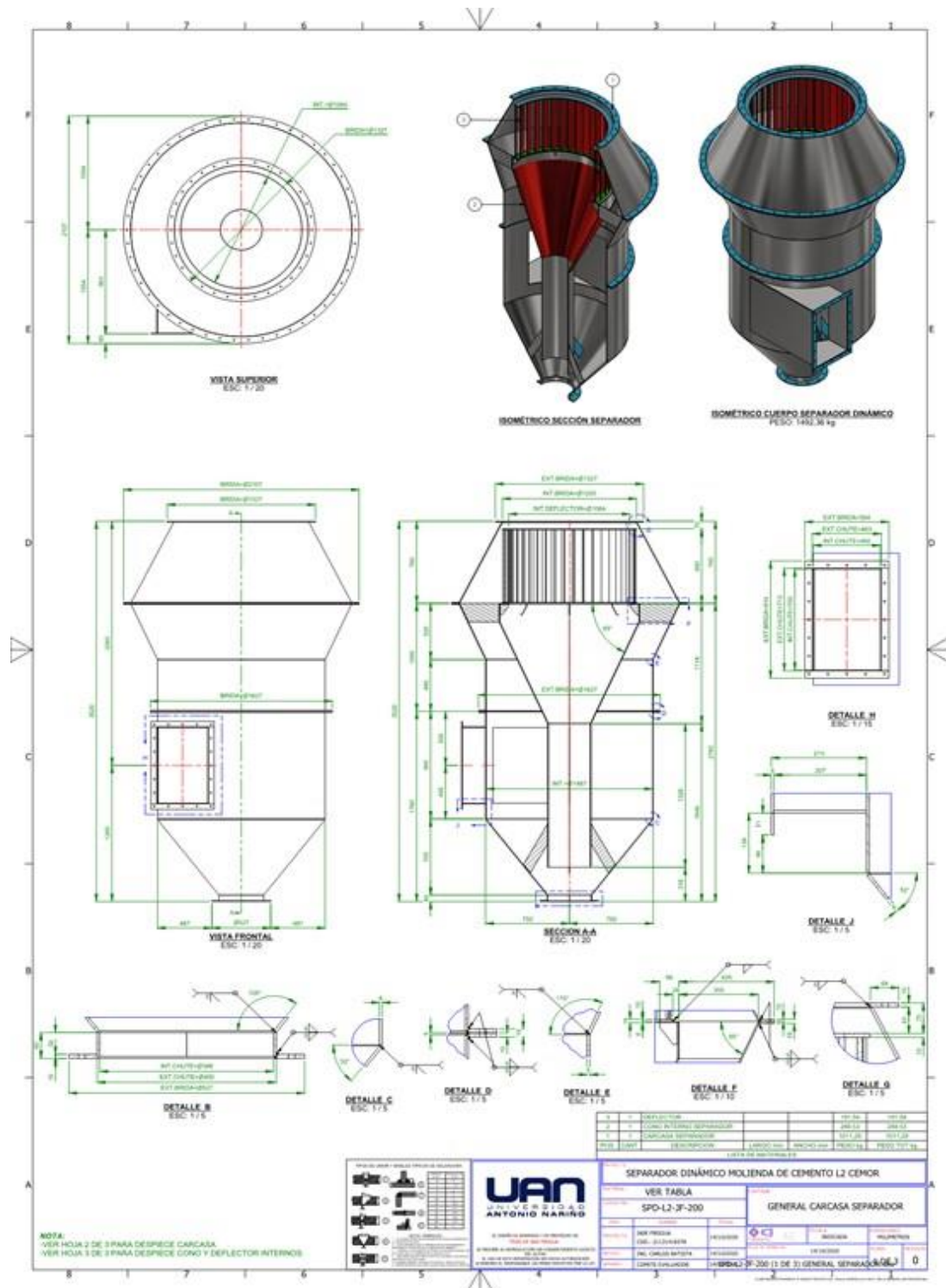
**Fuente.** Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín. P. 127.



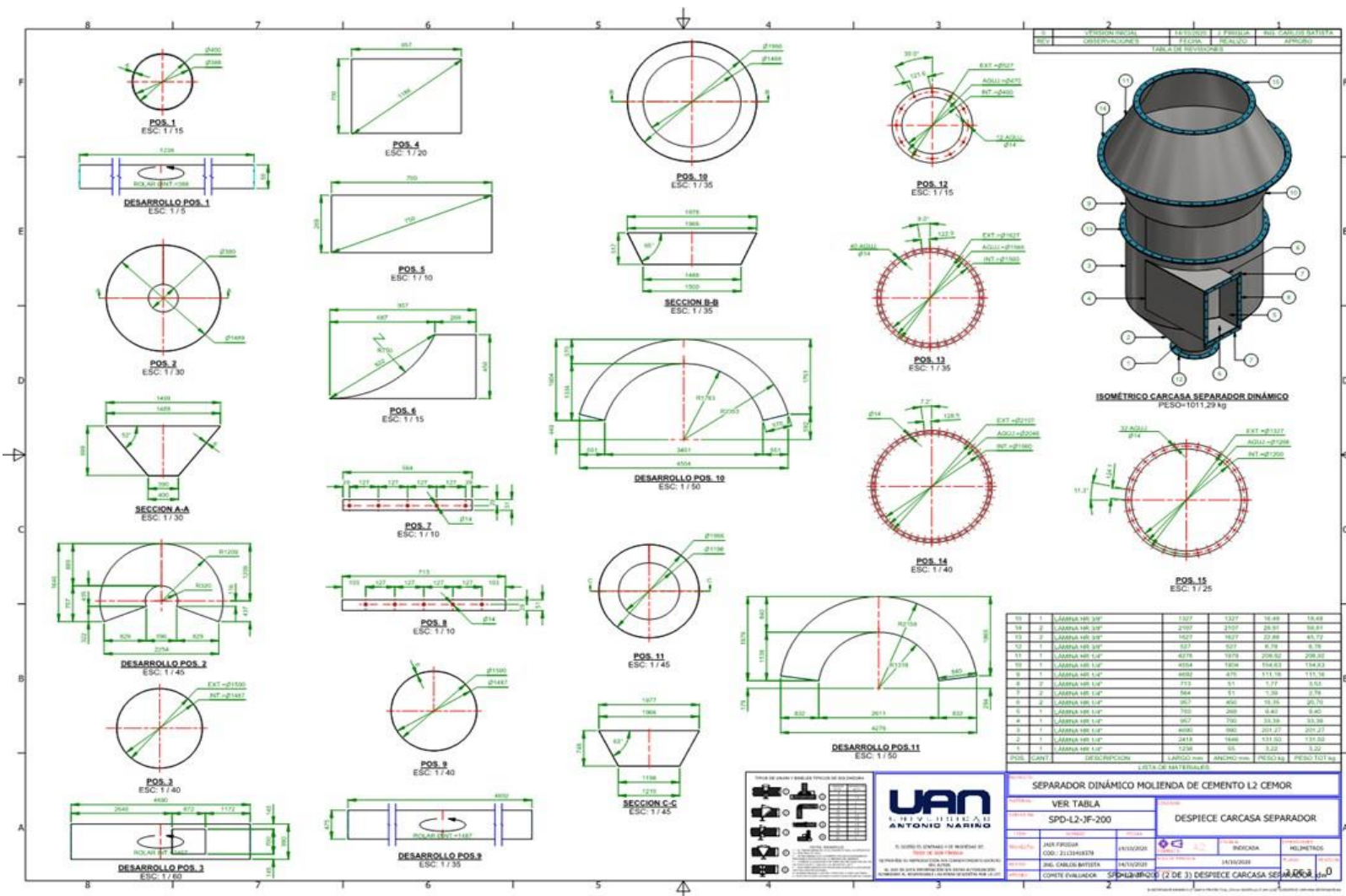
Anexo 11 General Ciclón Separador



Anexo 12. General Carcasa Separador

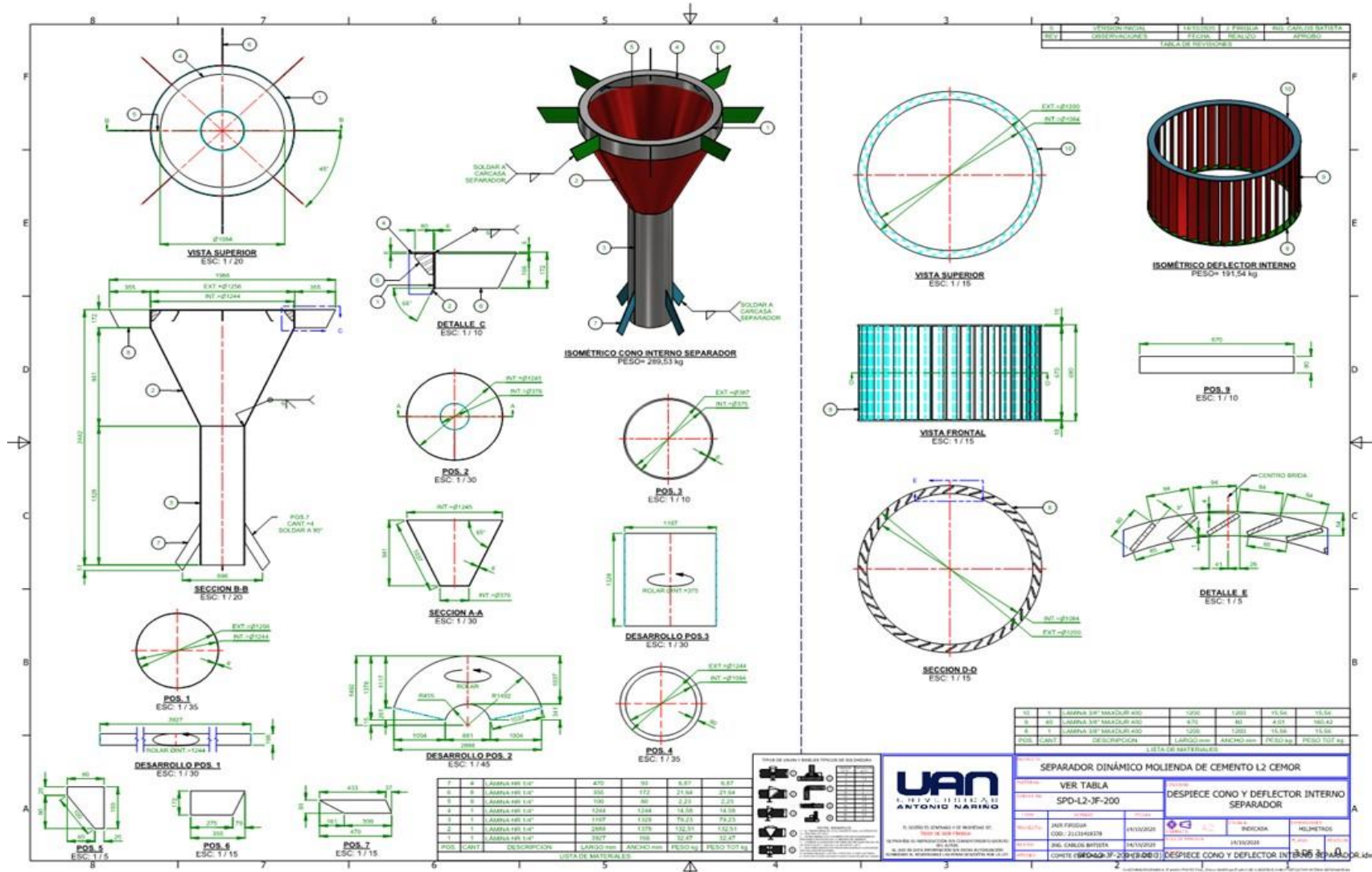


Anexo 13 Despiece Carcasa Separador





Anexo 14 Despiece Cono y Deflector Interno Separador



POS. CANT.	DESCRIPCIÓN	LARGO mm	ANCHO mm	PESO kg	TOT kg
7	1 LAMINA 5mm LIT	470	92	5.87	5.87
8	1 LAMINA 5mm LIT	350	172	21.66	21.66
9	1 LAMINA 5mm LIT	100	96	2.21	2.21
4	1 LAMINA 6mm LIT	1264	1264	18.38	18.38
5	1 LAMINA 6mm LIT	1104	1104	19.23	19.23
6	1 LAMINA 6mm LIT	2008	1376	18.38	18.38
1	1 LAMINA 6mm LIT	1027	102	32.47	32.47

POS. CANT.	DESCRIPCIÓN	LARGO mm	ANCHO mm	PESO kg	TOT kg
10	1 LAMINA 5mm MALLADO 400	1200	1200	15.54	15.54
11	1 LAMINA 5mm MALLADO 400	470	80	4.01	10.43
12	1 LAMINA 5mm MALLADO 400	1200	1200	15.56	15.56

POS. CANT.	DESCRIPCIÓN	LARGO mm	ANCHO mm	PESO kg	TOT kg
13	1 LAMINA 5mm MALLADO 400	1200	1200	15.54	15.54
14	1 LAMINA 5mm MALLADO 400	470	80	4.01	10.43
15	1 LAMINA 5mm MALLADO 400	1200	1200	15.56	15.56



SEPARADOR DINÁMICO MOLINERA DE CEMENTO L2 CEMOR	
VER TABLA	DESPIECE CONO Y DEFLECTOR INTERNO SEPARADOR
SPD-L2-JF-200	
INGENIERO	INDICADA
ING. CARLOS BUSTEZA	INGENIERO
COMP. (BUSTEZA) 21/03/2023	DESPIECE CONO Y DEFLECTOR INTERNO SEPARADOR

## Anexo 15 Especificaciones Concreto Refractario

GAMMA

ERECOS®

CORONA  
Negocio de EnergíaCarrera 49 No. 67 Sur 680  
Sabaneta, Colombia - 055450

Teléfono : [574] 305 8000

ventas@erecos.com

Nit: 890.900.121-4

## Concretos Refractarios

Los concretos refractarios convencionales densos son mezclas de materiales refractarios molidos con una granulometría adecuada y aditivos ligantes. Los concretos desarrollan una liga hidráulica, que les confiere buenas propiedades mecánicas en frío. Con el incremento de la temperatura se desarrolla la liga cerámica, que les confiere alta resistencia mecánica en el uso.

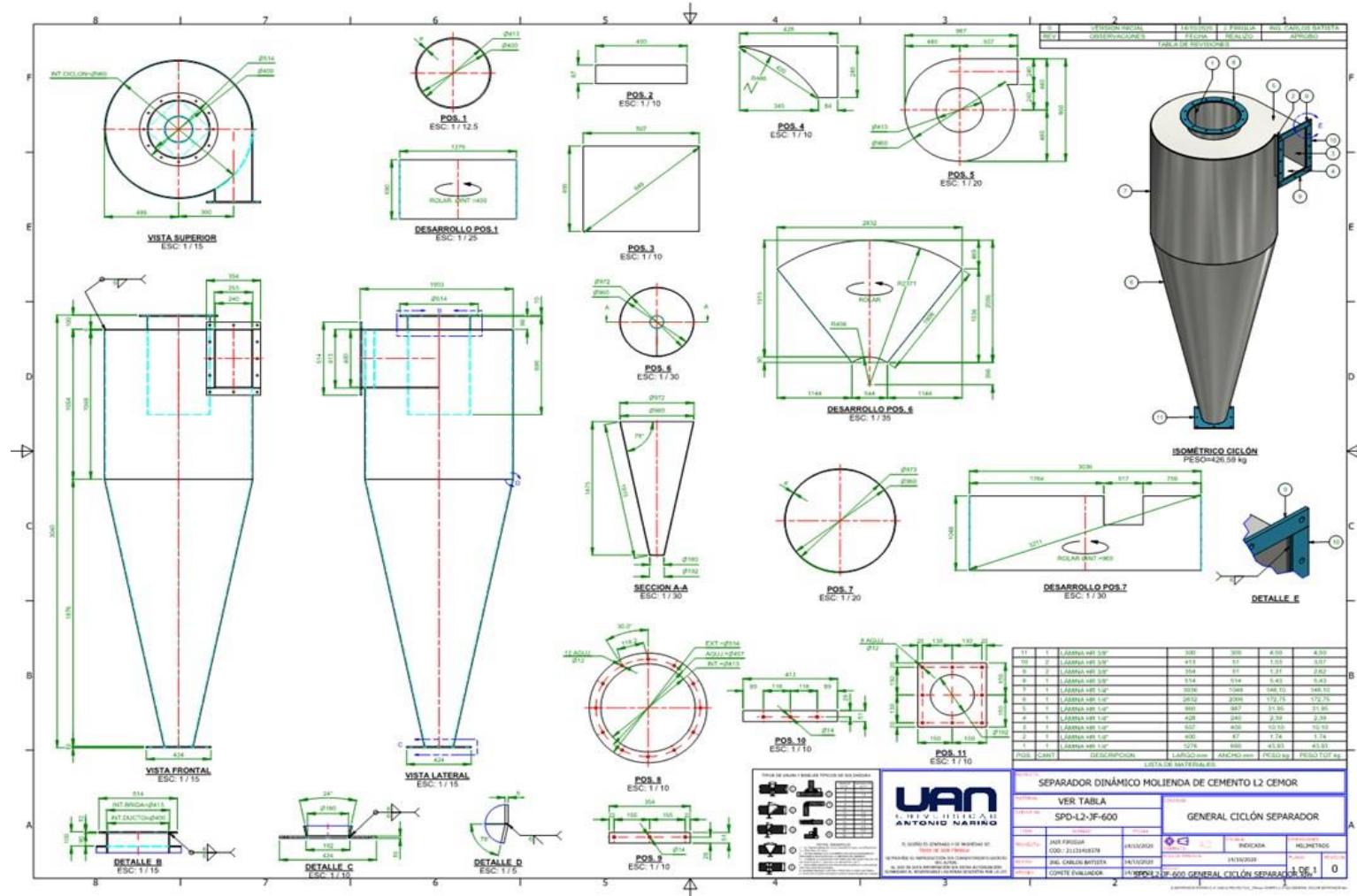
CONCRAX 1300	Propiedades	Aplicaciones
Clasificación NTC - 814 , ASTM C – 401	Clase B	Concreto refractario sílico aluminoso denso, para aplicaciones generales en zonas cuya temperatura de trabajo no exceda de 1300°C. Indicado para la construcción de bloques para quemadores, plataformas de carros de hornos túneles, revestimiento de calderas, etc.
ANÁLISIS QUÍMICO (%)		
AL2O3	43.4	
SiO2	42.8	
Fe2O3	4.1	
TiO2	1.6	
CaO	7.0	
MgO	0.3	
Alcalis	0.8	
CPE	14	
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24	1398	
Máxima temperatura de servicio	1300	
Máximo tamaño del grano (mm)	10	
Material seco requerido por metro cúbico (kg)	2000-2150	
Agua de preparación (cm <sup>3</sup> de agua/kg de material seco) NTC - 988 , ASTM C - 860	130-140	
DENSIDAD VOLUMETRICA (gr/cm <sup>3</sup> )		
ASTM C – 134		
110°C	2.05-2.20	
1000°C	2.00-2.10	
1260°C	2.00-2.10	
MÓDULO DE RUPTURA EN FRÍO (MPa)		
NTC - 988 , ASTM C-133		
110°C	5.0-8.0	
1000°C	2.0-5.0	
1260°C	5.0-8.0	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO (MPa) NTC - 988 , ASTM C-133		
110°C	25.0-50.0	
1000°C	20.0-30.0	
1260°C	20.0-30.0	
CAMBIO LINEAL PERMANENTE (%)		
NTC - 988 , ASTM C - 401 y ASTM C – 865		
1000°C	0.0-0.2C	
1260°C	0.5C-0.5E	
Presentación kg	25	

Las propiedades descritas en este documento se basan en los resultados promedio de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables, y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.

29-04-18

**Fuente.** Corona, Portafolio de Productos Gamma. Erecos.

Anexo 16 General Ciclón Separador



## Anexo 17 Especificaciones Acero Bonificado

EJES

EJES

ACERO 705

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 4340 (705)

Descripción: Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

Aplicaciones: Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigueñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bomba, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.

Largo: 6 metros

DIMENSIONES	
DIÁMETRO	
12 mm	
19 mm	
25 mm	
32 mm	
38 mm	
45 mm	
50 mm	
60 mm	
70 mm	
90 mm	




---

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1 - 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

PROPIEDADES MECÁNICAS				
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
16 o MENOS	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Fuente. Tomado de Dipacmanta. p. 52



## Anexo 18 Propiedades Acero AISI 304



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

## FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ <sub>1/10<sup>5</sup>/t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

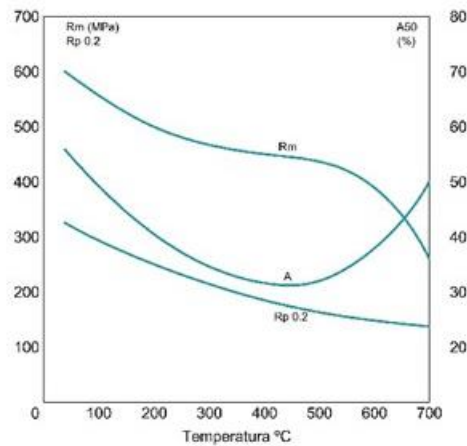
\* Son aceptables tolerancias de un 1%



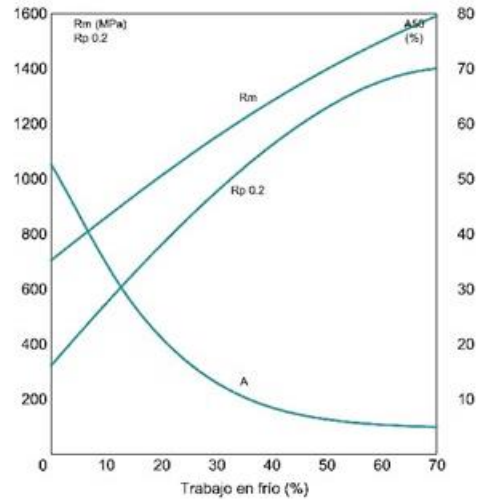


FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

### Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas



### Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas



## PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE AISI 316

### APLICACIONES

Acero resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300°C bajo condiciones de operación continua. Con la adición de molibdeno se le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidables y corrosión por picado. El acero AISI 316 es utilizado en piezas y elementos de la industria de la celulosa, textiles, seda artificial, equipos para el desarrollo de fotografía, ejes de hélices, acoples. Usualmente utilizado en industria química y farmacéutica. Ideal para ser usado en piezas y elementos expuestos a la corrosión localizada originada por el ácido sulfuroso, baños de pinturas con ácido sulfúrico, baños clorados, etc.

### CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 316

El acero AISI 316 corresponde a un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas que los de la familia 304, debido principalmente a que se disminuye de forma importante la susceptibilidad a la corrosión por picado, dado que la capa pasiva formada es mucho más resistente.

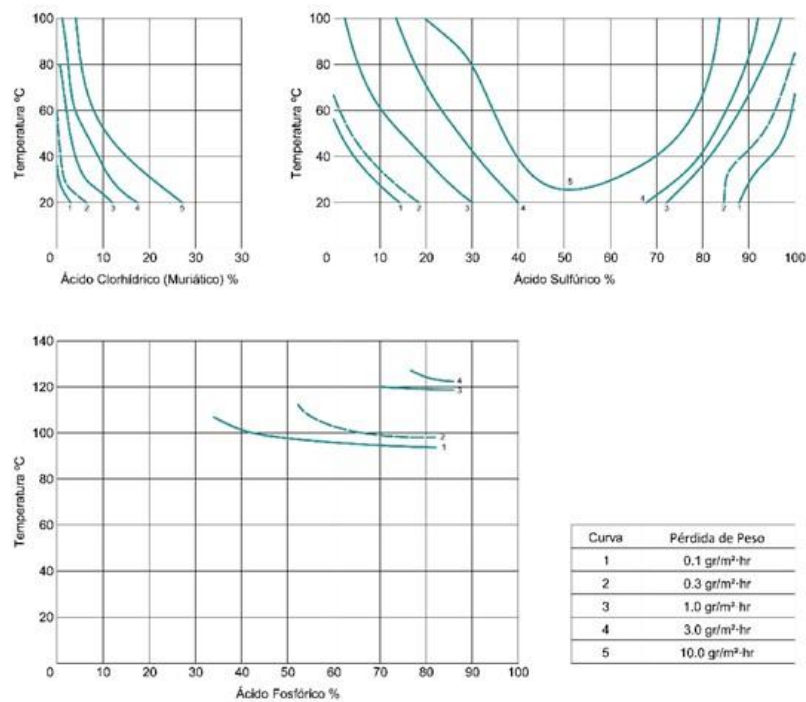


## FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

Presenta una muy buena resistencia a la oxidación en condiciones intermitentes a temperaturas superiores a 870 °C y en continuo a 930 °C. No se recomienda el uso de este acero en temperaturas que oscilen en el rango 420/860 °C, pero en valores por debajo y por encima de estos, su comportamiento es bueno, esto principalmente debido a la posibilidad de precipitaciones de carburos de cromo en los bordes de grano, lo que lo vuelve sensible y por ende su resistencia a la corrosión se ve drásticamente comprometida. Este acero no puede ser endurecido mediante templado. Presenta buenas condiciones de soldabilidad y se recomienda que en las secciones soldadas se realice recocido posterior con el objetivo de obtener la más alta resistencia a la corrosión.

**Resistencia a la corrosión**

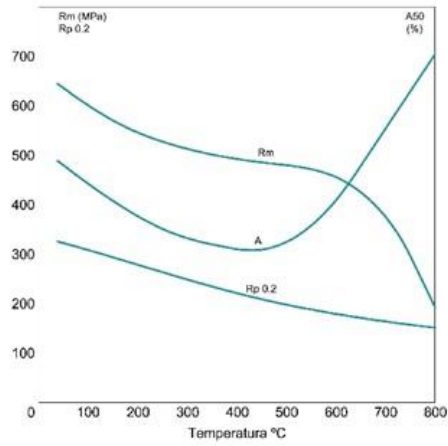
En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0 gr/m<sup>2</sup>-hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m<sup>2</sup>-hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.



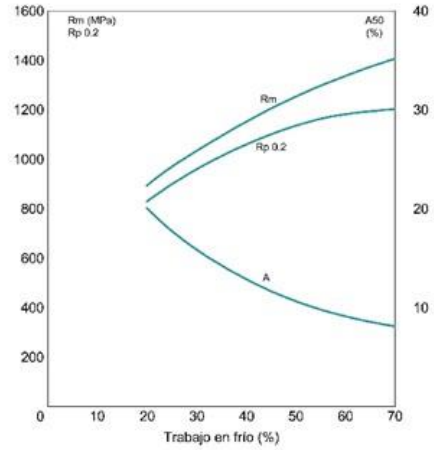


FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

**Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas**



**Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas**





FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

**RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR ACERO AISI 304 Y 316****TRATAMIENTO TÉRMICO**

Trabajo en caliente (°C)	Enfriamiento	Tratamiento térmico (°C)	Enfriamiento	Estructura
1150 – 850	Aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado	Austenítica con un contenido menor de ferrita

**RECOMENDACIONES SOBRE MECANIZADO**

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales

**Taladro con broca HSS**

Díámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min	200	200	200
Avance (f) mm/r	0.01	0.12	0.15

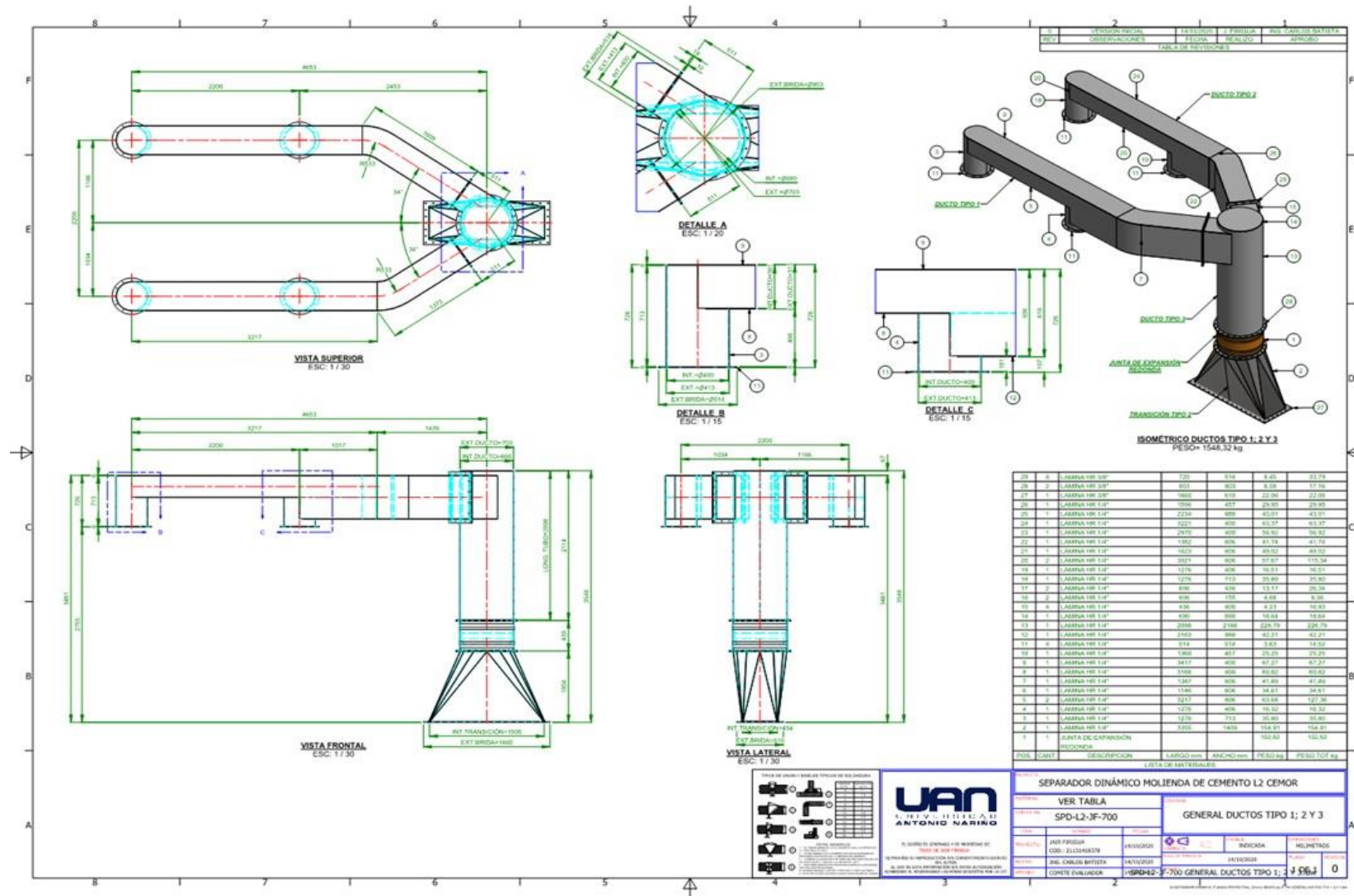
**Torneado**

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min	170 – 145	160 – 210	25 – 45
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.4	0.1 – 0.2	0.1 – 0.5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 – 4	0.5 – 1	0.5 -3
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10	-

**Fresado con metal duro**

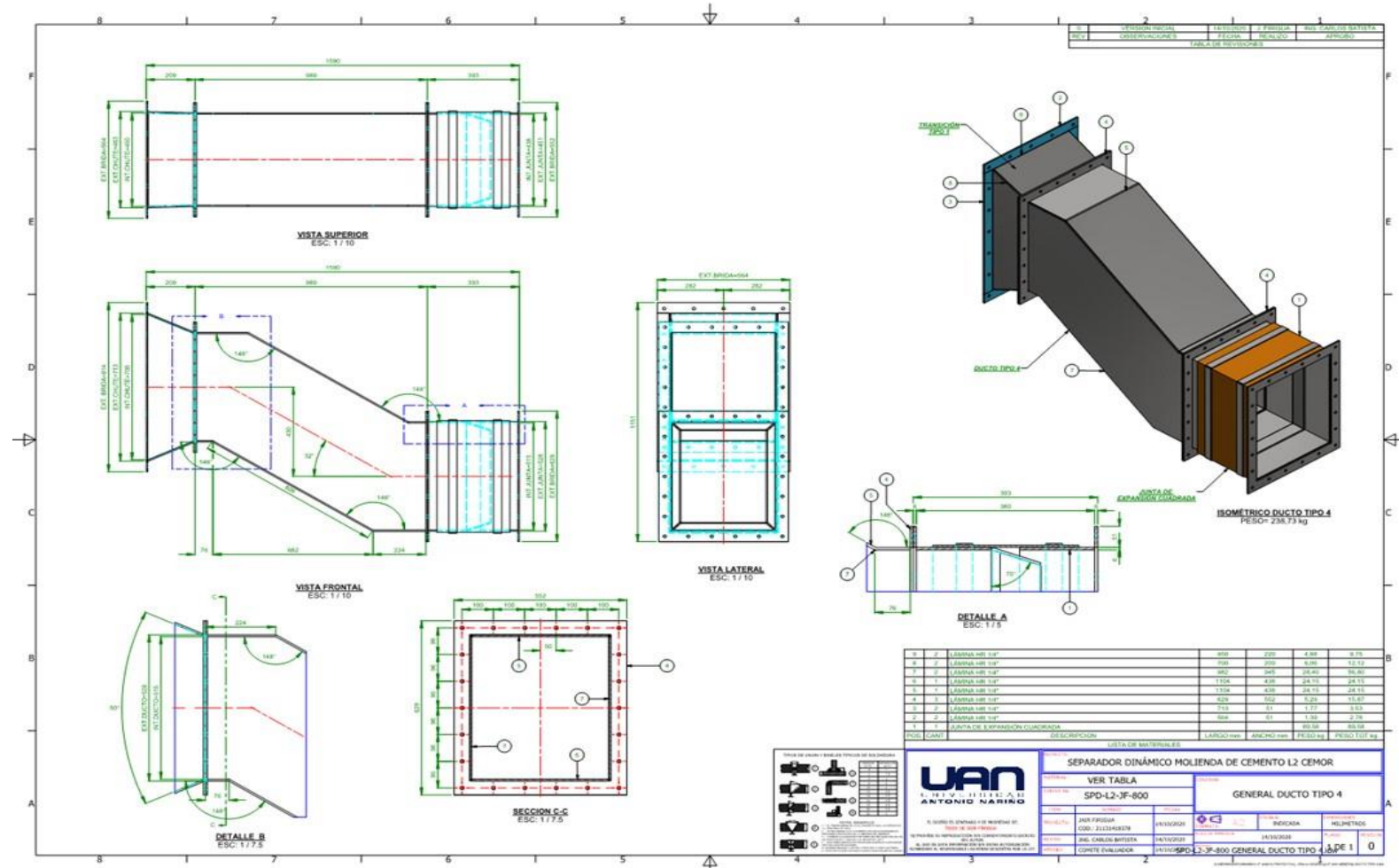
Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado fino
Velocidad de corte (vc) m/min	60 – 120	100 – 155
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.3	0.2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0.6
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10

Anexo 19 General Ductos 1,2 y 3

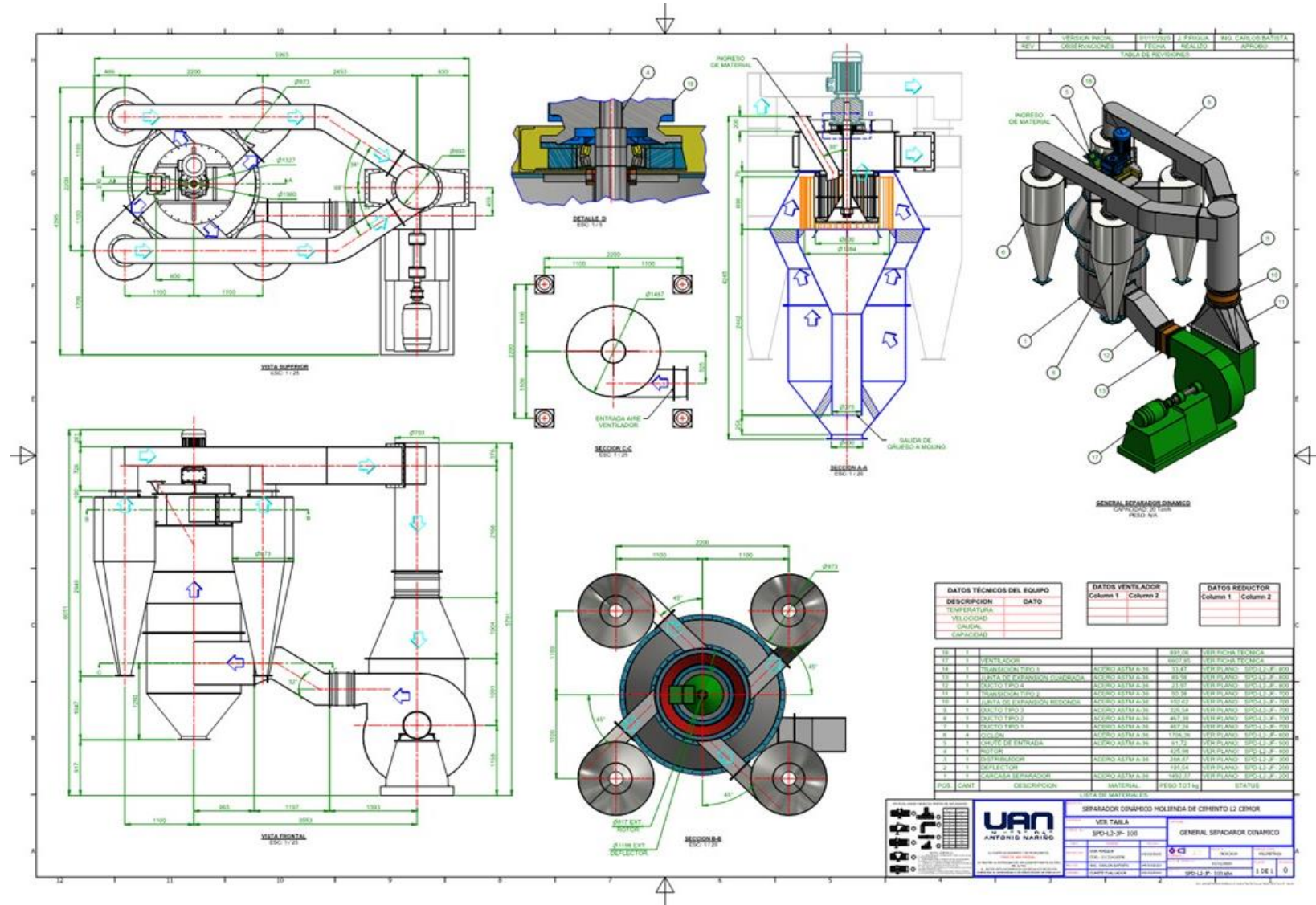


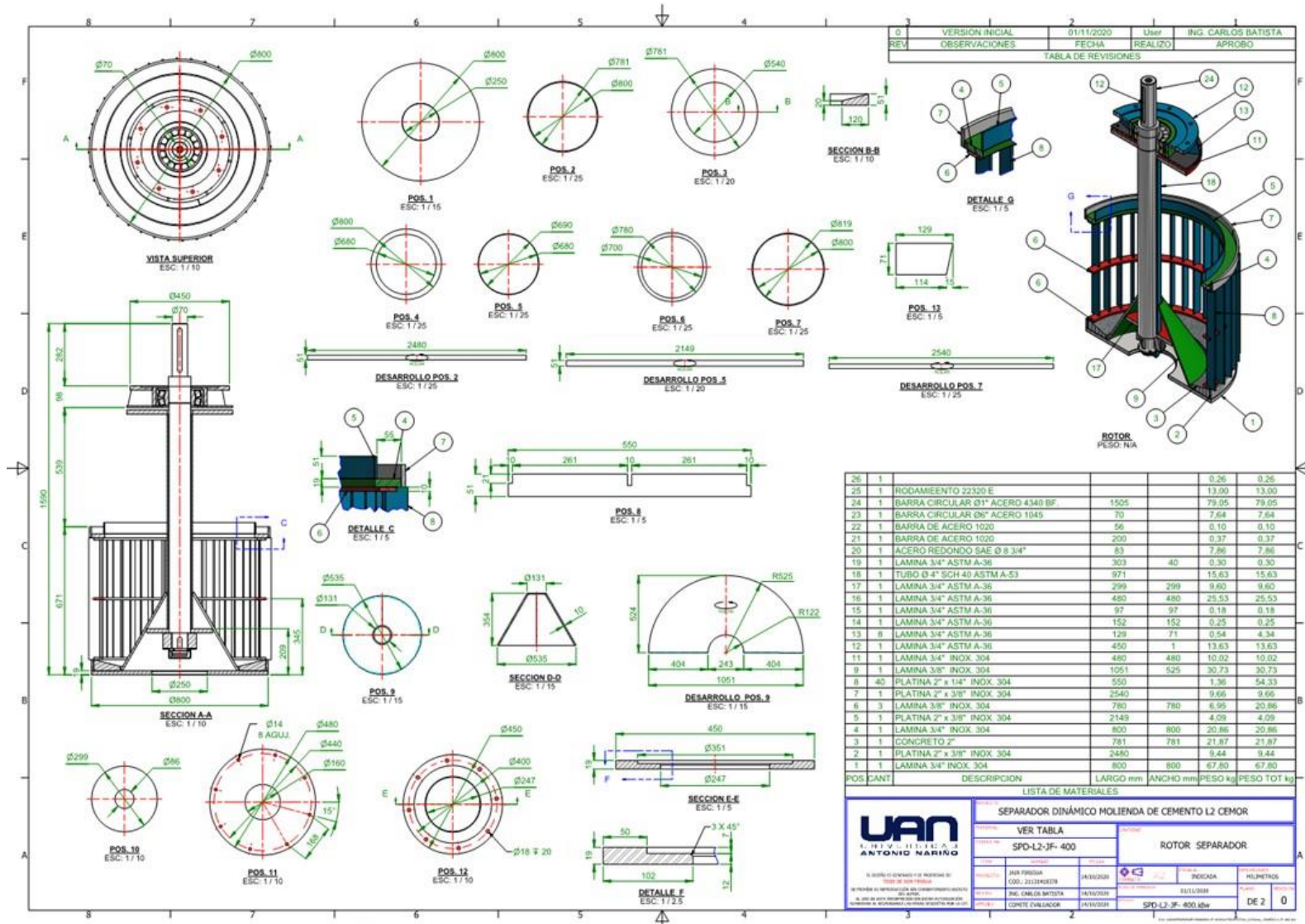


Anexo 20 General Ducto Tipo 4



Anexo 21 General Separador Dinámico y Otros Componentes





0	VERSION INICIAL	01/11/2020	User	ING. CARLOS BATISTA
REV	OBSERVACIONES	FECHA	REALIZO	APROBO

TABLA DE REVISIONES				
---------------------	--	--	--	--

ITEM	CANT	DESCRIPCION	LARGO mm	ANCHO mm	PESO kg	PESO TOT kg
26	1				0,26	0,26
25	1	RODAMIENTO 22320 E			13,00	13,00
24	1	BARRA CIRCULAR Ø1" ACERO 4340 BF.	1505		79,05	79,05
23	1	BARRA CIRCULAR 3/8" ACERO 1045	70		7,64	7,64
22	1	BARRA DE ACERO 1020	56		0,10	0,10
21	1	BARRA DE ACERO 1020	200		0,37	0,37
20	1	ACERO REDONDO SAE Ø 3/4"	83		7,86	7,86
19	1	LAMINA 3/4" ASTM A-36	303	40	0,30	0,30
18	1	TUBO Ø 4" SCH 40 ASTM A-53	971		15,63	15,63
17	1	LAMINA 3/4" ASTM A-36	299	299	9,60	9,60
16	1	LAMINA 3/4" ASTM A-36	480	480	25,53	25,53
15	1	LAMINA 3/4" ASTM A-36	97	97	0,18	0,18
14	1	LAMINA 3/4" ASTM A-36	152	152	0,25	0,25
13	8	LAMINA 3/4" ASTM A-36	129	71	0,54	4,34
12	1	LAMINA 3/4" ASTM A-36	450	1	13,63	13,63
11	1	LAMINA 3/4" INOX. 304	480	480	10,02	10,02
9	1	LAMINA 3/8" INOX. 304	1051	525	30,73	30,73
8	40	PLATINA 2" x 1/4" INOX. 304	550		1,36	54,33
7	1	PLATINA 2" x 3/8" INOX. 304	2540		9,66	9,66
6	3	LAMINA 3/8" INOX. 304	780	780	6,95	20,86
5	1	PLATINA 2" x 3/8" INOX. 304	2149		4,09	4,09
4	1	LAMINA 3/4" INOX. 304	800	800	20,86	20,86
3	1	CONCRETO 2"	781	781	21,87	21,87
2	1	PLATINA 2" x 3/8" INOX. 304	2480		9,44	9,44
1	1	LAMINA 3/4" INOX. 304	800	800	67,80	67,80

LISTA DE MATERIALES

**SEPARADOR DINAMICO MOLINERA DE CEMENTO L2 CEMOR**

VER TABLA

SPD-L2-JF-400

ROTOR SEPARADOR

UAN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLIMA  
ANTONIO NARIÑO

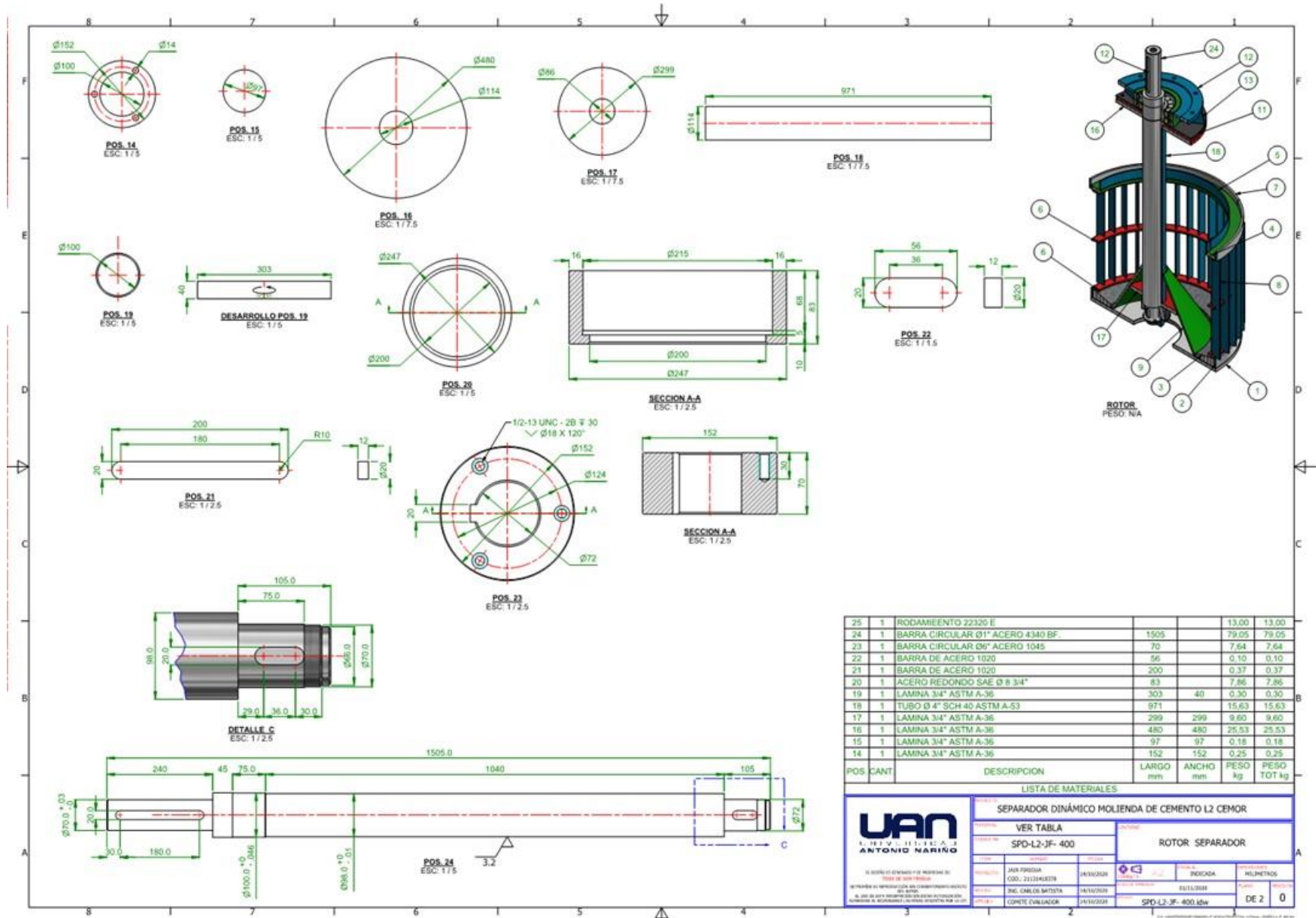
PAR PROYECTO: QROJ\_20200402078  
FECHA: 14/10/2020  
DISEÑADO: ING. CARLOS BATISTA  
FECHA: 14/10/2020  
COMITE EVALUADOR: 14/10/2020

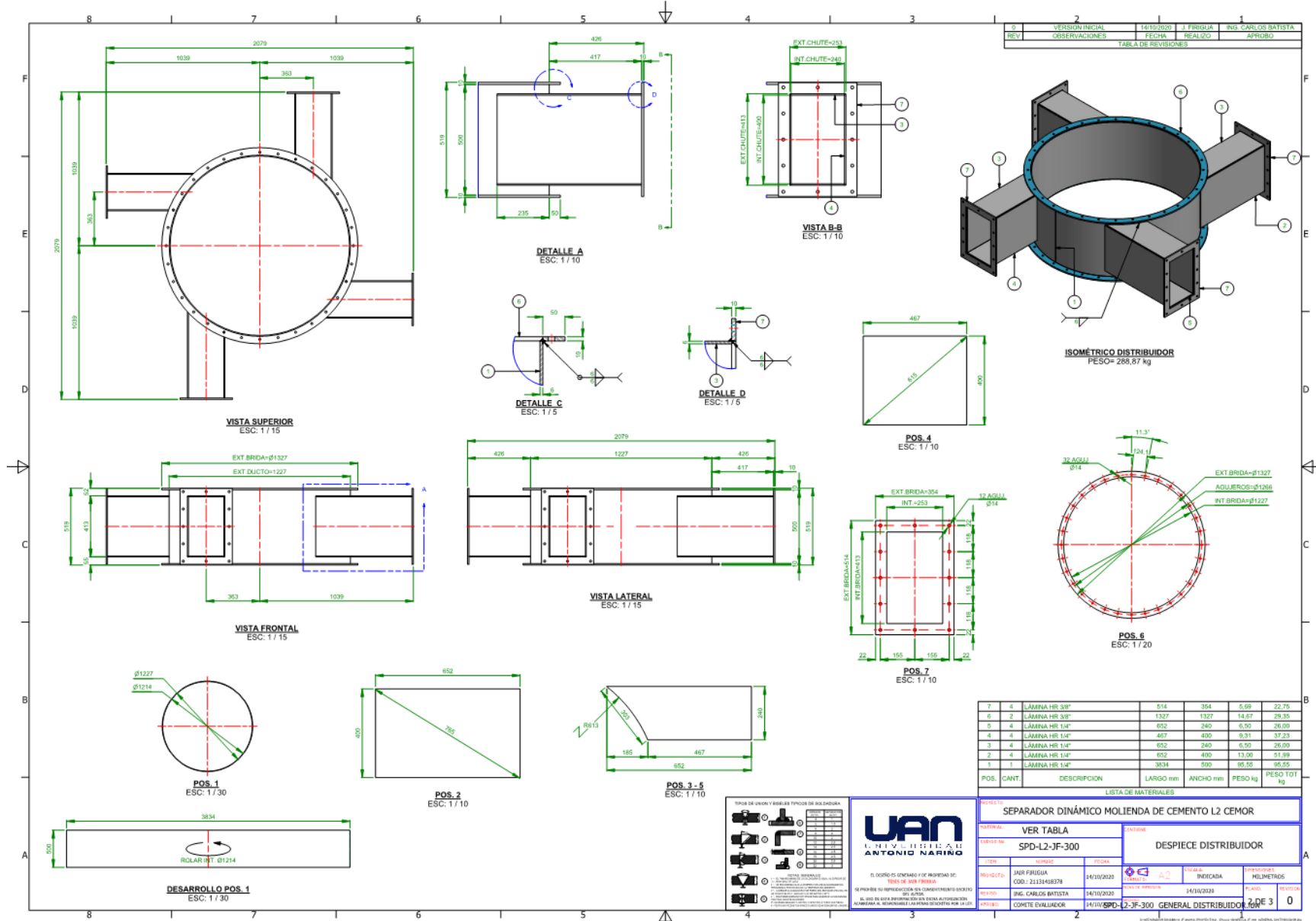
REVISADO: INGENIERO  
FECHA: 14/10/2020  
DISEÑADO: INGENIERO  
FECHA: 14/10/2020  
COMITE EVALUADOR: 14/10/2020

SPD-L2-JF-400,00w

DE 2 0







ANÁLISIS DE PRECIOS INGENIERIA				
FECHA		3	11	2020
		(Día)	(Mes)	(Año)
ITEMS DE LA PROPUESTA ECONÓMICA p				
OBJETO DEL CONTRATO:		INGENIERIA SEPARADOR DINAMICO PARA LINEA 2 CEMENTOS DEL ORIENTE SOGAMOSO		
CONTRATISTA:		JAIR FIRIGUA		
INTERVENTOR:		CEMOR		
FECHA CIERRE PROCESO DE SELECCIÓN CONTRATO DE OBRA:				
		(Día)	(Mes)	(Año)
DATOS ESPECÍFICOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	
1.00	INGENIERIA DE DETALLE SEPARADOR DINAMICO	und	1	

I. EQUIPO ESPECIALIZADO DE INGENIERIA				
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA/DÍA	RENTO	VALOR UNITARIO
Computador Work Station (Especializada para diseño) DELL	2	\$ 12,500.00	8.00	\$ 200,000
Licencia Product Design	2	\$ 44,416.67	8.00	\$ 710,667
				\$ -
SUBTOTAL				\$ 910,666.67

II. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	VALOR UNITARIO
Ingeniería Basica	und	1.000		\$ -
Ingeniería De Detalle Separador Dinamico	und	1.00		\$ -
				\$ -
				\$ -
				\$ -
				\$ -
SUBTOTAL				\$ -

III. MANO DE OBRA				
TRABAJADOR	CANTIDAD	TARIFA/DÍA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
INGENIERO CALCULISTA	1.00	\$ 60,000.00	120.00	\$ 7,200,000
PROYECTISTA	1.00	\$ 35,000.00	120.00	\$ 4,200,000
				\$ -
				\$ -
SUBTOTAL				\$ 11,400,000

<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 12,310,666.67</b>
----------------------------	--	--	--	-------------------------

V. COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Porcentaje	Valor Total	
ADMINISTRACIÓN	12%	\$ 1,477,280.00	
IMPREVISTOS	3%	\$ 369,320.00	
UTILIDAD	5%	\$ 615,533.33	
SUBTOTAL		\$ 2,462,133.33	

<b>Precio Unitario Total Aproximado al Peso</b>				<b>\$ 14,772,800.00</b>
---	--	--	--	-------------------------

<b>OBSERVACIONES CONTRATISTA:</b>				
<b>OBSERVACIONES INTERVENTORÍA:</b>				
<b>APROBACIÓN POR INTERVENTORÍA</b>				
Nota 1: Cuando se trate de Análisis de precios unitarios correspondientes a ítems de la propuesta económica aprobada, el Interventor aprueba el desglose de los componentes manteniendo el mismo precio unitario de cada ítem, cumpliendo con las especificaciones vigentes para el proyecto.				
exigiendo la aplicación de los costos correspondientes a insumos y tarifas de la propuesta económica inicial cuando estén contemplados, cumpliendo con las especificaciones vigentes para el proyecto.				

ANÁLISIS DE PRECIOS FABRICACION					
FECHA		9	5	2021	
		(Día)	(Mes)	(Año)	
ITEMS DE LA PROPUESTA ECONÓMICA					
<b>OBJETO DEL CONTRATO:</b>		INGENIERÍA SEPARADOR DINÁMICO PARA LINEA 2 CEMENTOS DEL ORIENTE SOGAMOSO			
<b>CONTRATISTA:</b>		JAIR FIRIGUA			
<b>INTERVENTOR:</b>		CEMOR			
<b>FECHA CIERRE PROCESO DE SELECCIÓN CONTRATO DE OBRA:</b>					
		(Día)	(Mes)	(Año)	
DATOS ESPECÍFICOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD		
1.00	FABRICACION SEPARADOR DINAMICO	und	1		
I. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO	
Lamina 1/4" Astm A-36	Kg	4,000	\$ 3,450	\$ 13,800,000	
Lamina 3/8" Astm A-36	Kg	2,000	\$ 3,450	\$ 6,900,000	
Lamina 3/8" Maxdur 450 (ver Ficha tecnica)	Kg	200	\$ 4,800	\$ 960,000	
Lamina 3/8" Antidesgaste Inox 304 (ver Ficha tecnica)	Kg	250	\$ 4,800	\$ 1,200,000	
Lamina 3/8" Antidesgaste Hardox 450	Kg	200	\$ 4,800	\$ 960,000	
Barra circular de Ø 4" Acero 4340 x 2000mm	ml	1	\$ 450,000	\$ 450,000	
Barra circular de Ø 4" Acero 1045 x 500mm	ml	1	\$ 120,000	\$ 120,000	
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 24,390,000.00</b>	
II. HERRAMIENTAS Y CONSUMIBLES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO	
Caja herramienta fabricante y soldador	Caja / día	45	\$ 95,000	\$ 4,275,000	
Servicio de roladora	Und	15	\$ 90,000	\$ 1,350,000	
Servicio de mecanizado	Und	1	\$ 300,000	\$ 300,000	
Concreto refractario CONCRA X 1500 X 25 Kg	Und	5	\$ 150,000	\$ 750,000	
Tornillería	Und	1,000	\$ 850	\$ 850,000	
Silicona y empaques	Gl	12	\$ 36,200	\$ 434,400	
Soldadura	Kg	320	\$ 14,500	\$ 4,640,000	
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 12,599,400.00</b>	
III. EQUIPO Y MAQUINARIA PESADA					
DESCRIPCIÓN	VALOR MES	CANTIDAD	TARIFA DÍA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO
Ventilador Centrifugo (ver ficha Tecnica)		1	\$ 35,000,000	1.00	\$ 35,000,000.00
Motoreductor flender (ver ficha Tecnica)		1	\$ 5,000,000	1.00	\$ 5,000,000.00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 40,000,000.00</b>
IV. MANO DE OBRA					
TRABAJADOR	CANTIDAD	TARIFA/DÍA	RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO	
Ingeniero residente	1	\$ 105,000	60	\$ 6,300,000	
Oficial Armador	1	\$ 90,000	45	\$ 4,050,000	
Ayudante Montaje	2	\$ 50,000	45	\$ 4,500,000	
Soldador	1	\$ 100,000	30	\$ 3,000,000	
Hse	1	\$ 80,000	60	\$ 4,800,000	
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 22,650,000</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 99,639,400.00</b>	
V. COSTOS INDIRECTOS					
Descripción	Porcentaje	Valor Total			
ADMINISTRACIÓN	10%	\$ 9,963,940			
IMPREVISTOS	5%	\$ 4,981,970			
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 14,945,910.00</b>	
<b>PRECIO TOTAL FABRICACION SEPARADOR DINAMICO</b>				<b>\$ 114,585,310</b>	
OBSERVACIONES CONTRATISTA:					
OBSERVACIONES INTERVENTORIA:					
APROBACIÓN POR INTERVENTORIA					
Nota 1: Cuando se trate de Análisis de precios unitarios correspondientes a ítems de la propuesta económica aprobada, el Interventor aprueba el desglose de los componentes manteniendo el mismo precio unitario de cada ítem, cumpliendo con las especificaciones vigentes para el proyecto.					
Nota 2: Cuando se trate de Análisis de precios unitarios de ítems no previstos, el Interventor aprueba el desglose y precio unitario de cada ítem no previsto, exigiendo la aplicación de los costos correspondientes a insumos y tarifas de la propuesta económica inicial cuando estén contemplados, cumpliendo con las especificaciones vigentes para el proyecto.					

