



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PAÉZ

**PROPUESTA DE DISEÑO Y
SIMULACIÓN DE MÁQUINA
GRANULADORA DE UREA POR
TAMBOR ROTATIVO**

Autor(es):
Alberto Longatt
Ángel Sandoval

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 87123



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA GRANULADORA DE
UREA POR TAMBOR ROTATIVO**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor(es):

Alberto Longatt

Ángel Sandoval

Tutor:

Ing. Giovanni Pizzella Pierro

San Diego, Mayo 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la
evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:
PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA
GRANULADORA DE UJCA POR TAMBOR ROTATIVO

Realizado por el (la) Br. ÁNGEL SANDOVAL


C.I. N° 19320024 cursante de la carrera de INGENIERÍA MECÁNICA

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,
considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: GIOVANNI PIZZELLA
C.I.: 4455859


Jurado
Nombre: ALIDIA YANEZ
C.I.: 4598880


Jurado
Nombre: WINSTON ESPINOZA
C.I.: 9885895

Fecha 17/11/2023



17/11/2023



ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERIA para la
evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:
PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA
GRANULADORA DE UREA POR TALBOR ROTATIVO

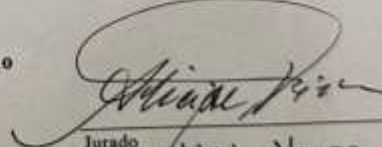
Realizado por el (la) Br. ALBERTO LONGATT
C.I. N° 18686939 cursante de la carrera de INGENIERÍA MECÁNICA
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,
considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

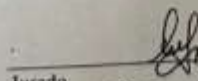
APROBADO

NO APROBADO


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: GIOVANNI PIZZELLA
C.I.: 4455899

El Jurado


Jurado
Nombre: ALICIA YANEZ
C.I.: 4598880


Jurado
Nombre: WILSON ESPINOZA
C.I.: 9885945

Fecha: 17/11/2023



17/11/2023



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, ing. Giovanni Pizzella Pierro, portador de la cédula de identidad N° 4.455.859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Alberto Longatt, portador de la cédula de identidad N° 18.686.939 y el ciudadano Ángel Sandoval, portador de la cédula de identidad N° 19.320.024, titulado **PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA GRANULADORA DE UREA POR TAMBOR ROTATIVO.**, presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO MECÁNICO, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 16 días del mes de octubre del año dos mil veintitrés.

ing. Giovanni Pizzella Pierro

C.I: 4.455.859



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FIN 002 2023-1CR TG

Valencia, 04 de octubre de 2023

Ciudadanos:
LONGATT RAMÍREZ, ALBERTO JOSÉ
18.686.939
SANDOVAL REYES, ANGEL JESUS
19.320.024

Presente -

Cumpro con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 09-2023 de fecha 14/06/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Propuesta de diseño y simulación de una máquina granuladora de urea por tambor rotativo.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Giovanni Pizzella Pierro, titular de la cédula de identidad V-4.455.859

Atentamente



Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería

e.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado, está dedicado principalmente a Dios, por haber iluminado mi sendero a lo largo de este recorrido académico. La sabiduría infinita y la constante guía que he recibido de Él me han brindado fortaleza en los momentos más desafiantes y me han infundido la confianza necesaria para superar cada obstáculo. Este logro es una prueba palpable de Su amor incondicional y Su misericordia. Además, quiero dedicar mi gratitud a mis padres, quienes nunca renunciaron a este sueño y me brindaron un apoyo incondicional en todo momento, así como valiosos consejos que me han ayudado a crecer como individuo. A mis hermanos, demás familiares, amigos y compañeros que han contribuido de diversas maneras para alcanzar esta meta. También, a mi novia, le dedico mi reconocimiento por sus palabras alentadoras, su amor constante y la confianza que depositó en mí, al brindarme el tiempo necesario para desarrollarme profesionalmente. Gracias a Dios y a todos ellos, hoy soy quien soy.

A todos ustedes les dedico este logro y los que están por venir.

¡Mucha Gracias!

Ángel Sandoval

DEDICATORIA

Este trabajo especial de grado está dedicado a mi esposa, Paola, y a mis tres hijos, quienes son la fuerza que me impulsa cada día. Desde el momento de su nacimiento, mi vida ha experimentado cambios positivos, y ellos son la razón principal detrás de todos mis objetivos. Agradezco a mis padres por su constante fe en mí y por brindarme su invaluable apoyo incondicional. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por todas sus enseñanzas y el amor que me han brindado a lo largo de mi vida. También quiero rendir homenaje a mi hermana, Nairim, quien ha sido y seguirá siendo mi máximo ejemplo de fortaleza, determinación, valentía y deseo de superación. Ella me ha enseñado a superar todos mis temores, a levantarme después de cada caída y a nunca perder la fe. Mi vida no sería la misma sin ti, incluso a pesar de la distancia que nos separa. ¡Te amo! Es gracias a ustedes que he alcanzado mi objetivo y he convertido en realidad mi sueño más grande.

A ustedes les dedico este logro y los que están por venir.

¡Mucha Gracias!

Alberto Longatt

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento principal a Dios por permitirme llegar a ser la persona que soy hoy en día. Agradezco a mi familia por su apoyo inquebrantable en todo momento. Mi reconocimiento especial al ingeniero y amigo Tomas González, quien puso su confianza en mí para llevar a cabo este proyecto. Le agradezco su paciencia y dedicación. Asimismo, deseo mostrar mi gratitud hacia mis estimados profesores, en particular, hacia mi tutor académico, Giovanni Pizzella, por todas las lecciones valiosas que me brindaron a lo largo de mi carrera. Aprecio profundamente su ejemplar ética, carácter y profesionalismo, a la Universidad José Antonio Páez merece mi reconocimiento por proporcionarme las herramientas necesarias para mi formación como Ingeniero. Quiero extender mi agradecimiento a mi amigo y ahora colega, Alberto Longatt, por estar siempre presente en los momentos en los que más lo necesitaba. A todos ustedes, les agradezco de corazón por todo lo que han hecho.

Ángel Sandoval

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por caminar conmigo paso a paso en este largo camino que se llama vida, por darme la fuerza, inteligencia, sabiduría, fe y esperanza para lograr todos y cada uno de mis propósitos, gracias por hacer de mí una persona de bien.

Agradecido con mis padres por haber confiado en mí y haberme brindado todo su apoyo incondicional, gracias por los buenos consejos y valores inculcados que hoy en día me definen como persona.

Agradezco a demás familiares, amigos y mi esposa. Gracias a mi tutor académico Giovanni Pizzella y tutora metodológica Alicia de Pizzella por compartir sus conocimientos docentes y profesionales, gracias por toda la paciencia y apoyo brindado, a la universidad José Antonio Páez por darme las herramientas para formarme profesionalmente.

Alberto Longatt

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------------|
| CONTENIDO..... | PP |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiv |
| RESUMEN INFORMATIVO..... | viii |
| INTRODUCCIÓN | |
| CAPÍTULO | |
| I EL PROBLEMA | |
| 1.1 Planteamiento del problema | 20 |
| 1.2 Formulación del problema | 22 |
| 1.3 Objetivos de la investigación | 22 |
| 1.3.1 Objetivo General | 22 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 22 |
| 1.4 Justificación de la investigación | 22 |
| 1.5 Alcance | 24 |
| 1.6 Limitaciones | 24 |
| II MARCO TEÓRICO | |
| 2.1 Antecedentes | 25 |
| 2.2 Bases teóricas | 26 |
| 2.2.1 Teoría central de Von Mises..... | 26 |
| 2.2.2 Descripción de las funciones del equipo..... | 26 |
| 2.2.3 Disco granulador..... | 27 |
| 2.2.4 Inclinación del disco..... | 28 |
| 2.2.5 Velocidad de rotación del disco..... | 28 |
| 2.2.6 Dosificador de material fino..... | 28 |
| 2.2.7 Dosificador del humectante..... | 28 |
| 2.2.8 Rascadores..... | 29 |
| 2.2.9 Estructura de soporte | 29 |
| 2.2.10 Tecnologías CAD/CAE..... | 30 |
| 2.2.12 Aglutinante | 31 |
| 2.2.13 Cinta transportadora | 32 |
| 2.2.14 Tolva..... | 32 |
| 2.2.15 Tornillo sin fin | 33 |
| 2.2.16 ángulo de inclinación de la banda | 33 |
| 2.2.17 Calculo capacidad de transporte volumétrica | 33 |

| | |
|---|--------------------------------------|
| 2.2.18 Capacidad de transporte teórica en volumen para una velocidad de 1 m/s | 34 |
| 2.2.19 Velocidad de giro de los rodillos | 35 |
| 2.2.20 Carga estática en las estaciones de ida..... | 35 |
| 2.2.21 Carga dinámica en la estación de ida..... | 36 |
| 2.2.22 Carga sobre el rodillo sometido a mayor esfuerzo | 36 |
| 2.2.23 Carga dinámica en la estación de retorno..... | 36 |
| 2.2.24 Esfuerzo tangencial de ida..... | 37 |
| 2.2.25 Peso del material transportado por metro lineal..... | 38 |
| 2.2.26 Peso de partes giratorias superiores..... | 38 |
| 2.2.27 Esfuerzo tangencial total | 38 |
| 2.2.28 Potencia absorbida..... | 39 |
| 2.2.29 <i>T2 Tension despues del tambor motriz (tramo flojo)</i> | 39 |
| 2.2.30 Tensión máxima después del tambor motriz | 40 |
| 2.2.31 Tensión unitaria de trabajo de la banda, <i>TUmax</i> | 40 |
| 2.2.32 Velocidad angular | 41 |
| 2.2.33 Resultante Cp de las tensiones y del peso del tambor | 41 |
| 2.2.32 Momento de flexión | 41 |
| 2.2.34 Momento de torsión..... | 42 |
| 2.2.35 Momento ideal de flexión | 42 |
| 2.2.36 Módulo de resistencia | 42 |
| 2.2.37 Diámetro de eje del tambor motriz..... | 43 |
| 2.3 Bases legales | 43 |
| 2.4 Definición de términos | ¡Error! Marcador no definido. |
| III MARCO METODOLÓGICO | |
| 3.1 Paradigma de la investigación | 45 |
| 3.2 Tipo de investigación | 46 |
| 3.4 Diseño de la investigación | 46 |
| 3.5 Población y muestra | 47 |
| 3.5.1 Población..... | 47 |
| 3.5.2 Muestra | 47 |
| 3.6 Técnicas de Recolección De Datos | 47 |
| 3.7 Técnicas de análisis de datos..... | 48 |
| 3.8. Validación del instrumento | 48 |
| 3.8Fases de la investigación | 49 |
| IV RESULTADOS | |

| | |
|---|------------|
| 4.1 Descripción de los cálculos teóricos de los principales elementos mecánicos que conforman las máquinas granuladoras de urea | 68 |
| 4.1.1 Diseño de cinta transportadora | 68 |
| 4.1.2 Búsqueda de ancho de banda y velocidad máxima | 70 |
| 4.1.3 Calculo capacidad de transporte volumétrica | 70 |
| V CAPÍTULO | |
| CONCLUSIONES | 115 |
| RECOMENDACIONES | 116 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 117 |
| APENDICE | |
| Apéndice 1..... | 113 |
| Apéndice 2..... | 114 |
| Apéndice 3..... | 115 |
| Apéndice 4..... | 116 |
| ANEXOS | |
| A Granulo base tg | 125 |
| B Moto de máquina granulada..... | 126 |
| C Acople | 127 |
| D Base de motor..... | 128 |
| E Base fija | 129 |
| F Tambor rotativo | 130 |
| G Tolva..... | 131 |
| H Cinta transportadora..... | 132 |
| I Rodamiento skf..... | 133 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | Sistema de granulado | 27 |
| 2 | Disco granulador de urea | 27 |
| 3 | Estructura de soporte maquina granuladora..... | 30 |
| 4 | Cinta transportadora..... | 32 |
| 5 | Tolva de alimentación..... | 33 |
| 6 | Tambor rotativo de maquina granuladora de urea con cargas aplicadas | 93 |
| 7 | Propiedades de tambor rotativo de maquina granuladora..... | 94 |
| 8 | Mallado del tambor rotativo de maquina granuladora..... | 94 |
| 9 | Tensiones del tambor rotativo de maquina granuladora | 96 |
| 10 | Deformación unitaria del tambor rotativo de maquina granuladora..... | 96 |
| 11 | Desplazamientos del tambor rotativo de maquina granuladora | 97 |
| 12 | Base móvil del motor | 98 |
| 13 | Propiedades de la Base móvil del motor..... | 98 |
| 14 | Mallado de la base móvil del motor..... | 99 |
| 15 | Tensiones aplicadas a la base móvil del motor | 99 |
| 16 | Deformación unitaria de la base móvil del motor..... | 100 |
| 18 | Tambor rotativo parte posterior | 103 |
| 19 | Tambor rotativo parte frontal..... | 104 |
| 20 | Motor..... | 104 |
| 21 | Acople..... | 105 |
| 22 | Base estática..... | 105 |
| 23 | Base móvil | 106 |
| 24 | Cinta transportadora..... | 106 |
| 25 | Rodamiento SKF..... | 107 |
| 26 | Tolva | 107 |
| 27 | Malla selectora | 108 |
| 28 | Sistema de granulado de urea | 109 |
| 29 | Sistema de granulado de urea | 110 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | Características del material | 69 |
| 2 | Selección de ángulo de sobrecarga dinámica..... | 70 |
| 3 | Velocidad máxima aconsejable..... | 71 |
| 5 | Ancho de banda..... | 73 |
| 6 | Paso máximo aconsejable de las estaciones..... | 73 |
| 7 | Diámetro de rodillo aconsejable | 74 |
| 8 | Peso de núcleo de banda | 75 |
| 9 | Espesores de la cubierta | 76 |
| 10 | Factor de choque | 77 |
| 11 | Factor de servicio | 77 |
| 12 | Factor ambiental..... | 78 |
| 14 | Factor de velocidad | 79 |
| 15 | Relación capacidad de carga | 80 |
| 16 | Coefficiente de resistencia | 81 |
| 17 | Coefficiente de resistencia pasiva | 81 |
| 18 | Coefficiente de rozamiento interior f | 82 |
| 19 | Peso de partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores..... | 82 |
| 20 | Motores trifásico | 84 |
| 21 | Factor de abrazamiento | 84 |
| 22 | Peso de núcleo de banda | 87 |
| 23 | Diámetros mínimos recomendados de los tambores..... | 87 |
| 25 | Catalogo LENTAX | 90 |
| 26 | Factor de servicio (Fs) | 91 |
| 27 | Características de motoreductor..... | 92 |
| 28 | Catalogo SKF de acoplamientos | 92 |
| 29 | Motores trifásicos..... | 102 |
| 30 | Tabla de boquilla rociador | 102 |



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA GRANULADORA DE UREA POR TAMBOR ROTATIVO

Autor(es): Alberto Longatt
Ángel Sandoval

Tutor(a): Ing. Giovanni Pizzella Pierro

Fecha: junio 2023

RESUMEN INFORMATIVO

La presente investigación propone realizar el diseño y simulación de una máquina granuladora de urea por tambor rotativo, con el propósito de incrementar la eficiencia y calidad del proceso de granulación de este tipo de fertilizante. La investigación está enmarcada dentro del tipo de proyecto factible, respaldada por un diseño de campo y documental y un nivel descriptivo. bajo la Línea de Investigación: Ciencias Cognitivas y Aplicadas. Para alcanzar los objetivos propuestos, las técnicas e instrumentos de recolección de datos se basarán en la observación directa por medio de listas de control y registros anecdóticos; y entrevistas no estructuradas por medio de libretas de notas y guiones no estructurados, junto con las herramientas de análisis de datos, la revisión documental y los instrumentos necesarios para alcanzar los fines establecidos. El propósito del diseño de la máquina granuladora de urea es promover avances en la tecnología de producción de fertilizantes y fomentar prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Se desarrollará una simulación mediante un software comercial.

Descriptor(es): Fertilizante, Máquina, Diseño, Tambor Rotativo.

INTRODUCCIÓN

En las décadas de 1960 y 1970 se llevó a cabo una amplia investigación para desarrollar técnicas de granulación eficientes. Esto implicó investigar diferentes métodos de granulación y adaptar las tecnologías existentes para la producción de urea granulada. Con el desarrollo y la mejora de la tecnología de granulación, las empresas y los fabricantes comenzaron a transferir este conocimiento a la industria de fabricación de maquinaria. Esto dio origen a empresas especializadas en la fabricación de granuladores de urea, dedicadas a la producción y mejora continua de estos equipos.

Por otro lado, el progreso y constante desarrollo de los métodos de producción a nivel mundial y específicamente en lo que respecta a la producción agrícola en América Latina, ha conllevado a avances estratégicos y significativos en los diferentes procesos de producción. La agricultura se constituye en un pilar estratégico dentro de la economía de los países latinoamericanos, en donde las exportaciones anuales corresponden a productos agrícolas sin mencionar que dicha producción satisface también las necesidades internas de un país; esto significa, que se deben mantener métodos eficientes de producción que le permitan al agricultor mantener niveles de producción óptimos, generando productos de calidad para el consumo nacional o para el mercado extranjero.

Del mismo modo es importante indicar que la primera máquina granuladora de urea fue creada en Alemania en la década de 1960. Durante ese período, se realizaron investigaciones y desarrollos significativos en el país para convertir la urea en gránulos más convenientes para su uso en aplicaciones agrícolas. Estos avances tecnológicos dieron lugar al desarrollo de la primera máquina granuladora de urea, estableciendo así las bases para la producción de urea granulada a gran escala. A partir de ahí, se han realizado mejoras continuas en la tecnología y el diseño de las máquinas granuladoras de urea en diferentes países alrededor del mundo.

Es por lo antes planteado que la propuesta se encamina a ampliar la visión de las empresas, enfocándose en los requerimientos de los mercados actuales, estableciendo parámetros que permitan medir la eficiencia en los procesos de producción para de esta manera buscar alternativas que ayuden a alcanzar los objetivos propuestos. Considerando las formalidades establecidas por la institución para la presentación del proyecto, éste se encuentra estructurado por cuatro capítulos en los que cada uno dispone del siguiente contenido.

El Capítulo I, se plantea el problema y objetivos de la investigación, así como la formulación, justificación, alcance y delimitaciones de la misma. Su objetivo es describir el objeto de estudio.

El Capítulo II, abordara el marco teórico que encierra los antecedentes de la investigación, los cuales son estudios realizados que guardan relación directa con el perfil metodológico del trabajo de investigación. También se establecen las bases teóricas sobre la cual se soporta este trabajo, bases legales y se definen los términos básicos que se usaran para el desarrollo de del presente trabajo.

El Capítulo III, explica todo lo relacionado con el marco metodológico, estableciendo el tipo y diseño de la investigación, definiendo la población y muestra, instrumentos y técnicas de recolección de datos para obtener la información deseada, adicionalmente se detalla cada una de las fases.

El Capítulo IV, por último, se mencionan los aspectos administrativos utilizados para realizar el trabajo de grado, como lo son: los recursos humanos, recursos materiales y el cronograma de actividades donde se refleja la distribución de cada una de las tareas realizada

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La urea es un compuesto químico cristalino e incoloro que orgánicamente se encuentra en la orina y la materia fecal, esta se usa como fertilizante en la agricultura, se produce en grandes cantidades a nivel industrial de manera artificial por medio de una reacción química entre el amoníaco y el dióxido de carbono, el proceso se caracteriza por verificarse la reacción en dos pasos, donde en el primer paso es donde los reactivos amoníaco y dióxido de carbono forman un producto intermedio llamado carbonato de amonio y una segunda etapa donde el carbonato se deshidrata para formar la urea. Este fertilizante es un elemento importante para el crecimiento de las plantas, esta se absorbe rápidamente por medio de las raíces de las plantas. La urea también ayuda a mejorar la calidad del suelo, cuando esta se descompone libera amoníaco y ayuda a aumentar la capacidad del suelo a retener nutrientes y agua, sin embargo, para su aplicación se debe de tener mucho cuidado en las dosis de suministro ya que si es muy alta puede dañar las plantas.

En una primera fase de producción la urea viene en forma de cristales, siendo esta forma de fertilizante más polvorienta, dificultando el proceso de secado, manipulación y aplicación. Debido al alto consumo de fertilizantes, las empresas privadas se están sumando a la producción de fertilizantes para satisfacer la demanda del mercado nacional e internacional que existe actualmente.

Por otro lado, uno de los retos más grandes de la empresa privada es el proceso de granulado del fertilizante donde al menos el 90% de este producto debe de comprender un tamaño de al menos 2 mm a 4 mm de tamaño aproximadamente, teniendo como principales ventajas un manejo más cómodo, un mejor funcionamiento a la hora de abonar, una dosificación más eficiente y precisa sobre el suelo a fertilizar, además de poseer más tamaño se puede mantener en el sitio establecido sin mayor difusión en suelos vecino, se desvanece lentamente proporcionando al suelo el nutriente en forma racionada; mientras que cuando se encuentra en forma polvorienta su aplicación es un poco complicada debido a que el viento dificulta la distribución uniforme, otro punto en contra es que durante su almacenamiento se producen grandes cantidades de terrones en los sacos o envases donde se encuentra el producto, haciendo difícil y poco viable el transporte a larga distancia. Por este motivo los fertilizantes con geometría granulada añaden altos beneficios tanto a los fabricantes como a los consumidores.

Es importante indicar que en Venezuela actualmente no se fabrican este tipo de máquinas debido quizás al desconocimiento de la necesidad de granular la urea, actualmente a nivel internacional uno de los países que más ha requerido de máquinas granuladora de urea es Argentina ya que este cuenta con una empresa llamada Profertil, que se inauguró en septiembre del año 2000 una fábrica de amoníaco y urea granulada, abasteciendo totalmente el mercado interno, solventado así una alta demanda de 750 mil toneladas anuales de urea granulada en la República de Argentina, luego de satisfacer su demanda también se dedica a la exportación de un 30% de su producción anual. Esta planta es una de las más grandes en cuanto a tamaño y producción de fertilizante que junto con Pequiven forman dos de las productoras de urea más importantes de Sudamérica.

Así mismo, la empresa Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos homologada a PDVSA en Bolivia también produce grandes cantidades de urea y exporta una parte al occidente de Brasil mediante un convenio que se logró en la “Exposoya 2016”, realizada en la capital de Bolivia, donde se habló sobre los beneficios de la urea como fertilizante más popular y de mayor uso a nivel mundial, se espera que esta planta alcance altos niveles de producción a la fecha para lograr exportar a otros países de la región sudamericana. A nivel nacional los grandes productores de urea son Pequiven que en el año 2014 incrementó su producción en un 40%, para atender la demanda del mercado interno y satisfacer en gran cantidad el mercado de los países de la región (exportación a Brasil, los países del Alba y Petrocaribe), ya que la urea es el principal compuesto que usa la industria de la agricultura para su producción, usados mayormente en el cultivo de hortalizas y cereales, fuente fundamental del cono alimenticio de la población.

Actualmente en Venezuela también tienen presencia otras empresas dedicadas a la producción de urea granulada que en su mayoría son filiales a Pequiven como lo son Fertinitro (fertilizantes nitrogenados de oriente) que es una de las empresas de fertilizante más grande de Venezuela fabricando 1.5 millones de toneladas de urea al año, fue nacionalizada en el año 2010 el 35% de las acciones de esta empresa pertenecen a Pequiven el otro restante pertenece a la empresa privada. También tenemos a Serviferil que se encuentra ubicada en Carabobo y se encarga de producir fertilizante, pero su mayoría ofrece servicios de agricultura. También en una minoría empresas del sector privado que se dedican a comprar la urea en cristal o polvo para luego granularla y empacarla para su posterior comercialización.

Es por esto que la falta de maquinaria y tecnología adecuada para la producción de urea ha llevado a una dependencia de importación de maquinaria especializada, esto ha generado un problema que trae como consecuencia el incremento de costos de producción lo que afecta de manera directa la competitividad del producto en el mercado.

1.2 Formulación del problema

Teniendo presente la problemática presentada anteriormente, surge la necesidad de dar una solución asertiva y de carácter inmediato al mercado nacional, haciendo frente a los inconvenientes que pueden presentar a la hora de importar maquinas granuladora de urea, por lo cual se plantea la siguiente interrogante: ¿De qué manera se puede minimizar los costos de importación y de producto terminado relacionado con las maquinas granuladoras de urea que llegan a Venezuela?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Propuesta de diseño de una máquina granuladora de urea por medio de un tambor rotativo

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir los parámetros más importantes que intervienen en el diseño de la maquina para obtener un granulado de urea optimo
- Describir los cálculos teóricos del diseño, de los principales elementos mecánicos que conforman las máquinas granuladoras de urea.
- Modelar y ensamblar los elementos mecánicos en 3D de la máquina granuladora de urea, usando el software comercial CAD Solidwork.
- Simular el diseño de la máquina granuladora de urea de tambor rotativo, usando herramientas modernas de diseño mecánico.
- Desarrollar el estudio de la viabilidad económica, social, técnica y operativa del proyecto

1.4 Justificación de la investigación

Por los motivos antes mencionados se pretende ofrecer una propuesta de diseño para la fabricación de máquinas granuladoras que cumpla técnicamente con los estándares de calidad y tecnológicos en el mercado venezolano. Los esfuerzos van dirigidos a incentivar la empresa privada para la creación de este tipo de máquinas, utilizando todas las herramientas de ingeniería para de esta manera garantizar que el producto final sea de la calidad esperada. El proyecto toma importancia dentro del campo industrial debido a las

grandes ventajas económicas cuando se fabrica en el país, en referencia a los costos de importación de las mismas, el impacto que genera la fabricación de estas máquinas en el país se ve reflejado de manera directa en los costos del producto terminado.

Es clave recalcar que el adecuado uso de los métodos de ingeniería presentes en los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto es de suma importancia ya que un mal dimensionamiento en el diseño trae como consecuencia grandes pérdidas, ya que se elevaría el costo de producción de las máquinas y dificultaría su comercialización en el país.

Es por esto que la investigación se justifica ya que con él se pretende dar una solución tecnológica para la producción industrial de urea en forma granulada y con esto bastecer la demanda del mercado interno de fertilizantes, aprovechando los lubricantes y aglomerantes naturales de nuestro país, que beneficiará a la agricultura y el impacto que estos producen en el medio ambiente.

A nivel científico se justifica ya que con el diseño de una máquina granuladora de urea por medio de un tambor rotativo, así como los conceptos de que su fabricación conlleva, se concibe las bases para futuras investigaciones con la cual podrían diseñarse máquinas utilizando tecnologías modernas de diseño mecánico para la industria farmacéutica, minera, alimenticia, energía y reciclaje.

A nivel académico esta investigación se justifica ya que se propone la utilización de tecnologías modernas de diseño mecánico como el CAD y el CAE, que muestran un nuevo enfoque en el diseño de máquinas, obteniéndose una ventaja en la reducción de tiempo y costos de los procesos de diseño, dando la posibilidad de corregir errores en las etapas iniciales del diseño; disminuyendo de esta manera la cantidad de prototipos físicos.

A nivel económico esta investigación se justifica ya que se pretende disminuir el costo del producto terminado, ya que al fabricar las máquinas localmente, se evitan los costos de importación, los aranceles y los gastos de transporte, lo que lleva a una reducción de costos y una menor dependencia de proveedores extranjeros

A nivel social esta investigación se justifica ya que aporta un fortalecimiento a la industria nacional de fabricación de máquinas granuladoras de urea, generando empleo y promoviendo el crecimiento económico sostenible

Y por último esta investigación se justifica a nivel ambiental ya que esta máquina granuladora de urea funciona con energía eléctrica y no genera emisiones que contaminen el ambiente.

1.5 Alcance

Considerando que los ingenieros mecánicos están capacitados para diseñar e instalar equipos mecánicos o térmicos, esta investigación está enfocada en simular el diseño de una maquina granuladora de urea, además de hacer una buena selección de los elementos que conforman este tipo de máquinas, especificar cada uno de los materiales con que se va a fabricar, los costos de producción y duración de la ejecución del proyecto

1.6 Limitaciones

Es esencial tener en consideración y ser conscientes de las posibles limitaciones que podrían presentarse en un proyecto de grado enfocado en el diseño y simulación de una máquina granuladora de urea mediante un tambor rotativo. Estas limitaciones pueden abarcar restricciones en recursos disponibles, la necesidad de llevar a cabo validaciones experimentales, desafíos relacionados con la evaluación económica, limitaciones teóricas y de modelado, así como la variabilidad en las condiciones operativas. Es de suma importancia abordar estas limitaciones de manera transparente y buscar soluciones alternativas en caso de que sean necesarias.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Con el propósito de sustentar teóricamente la presente propuesta de diseño, se procedió a realizar una revisión de trabajos realizados anteriormente, sobre proyectos de análisis y simulación de máquinas para la industria agrícolas con fines similares al de la presente investigación. Las investigaciones mencionadas sentaron las bases para llevar a cabo el diseño de una maquina granuladora de urea en Venezuela

Castro (2019), realizó la investigación titulada **“Investigación del efecto de los principales parámetros del proceso de granulación vía húmeda usando la tecnología de alto corte en una formulación de metronidazol tabletas 500mg”** presentado para optar por título de Pregrado en Química Farmacéutica, por lo tanto el presente proyecto evalúa el efecto de los principales parámetros del proceso de granulación vía húmeda usando la tecnología de alto corte sobre una formulación de metronidazol en tabletas 500mg, los parámetros seleccionados para la investigación son el tiempo de aglutinación y mezclado en seco, velocidades del quebrantador y las cuchillas y el tiempo de adición del líquido aglutinante. Para esto se realizó el proceso de granulación vía húmeda empleando el equipo HIGH SHEAR, variando las velocidades descritas anteriormente.

El los resultados obtenidos en la investigación mencionada con anterioridad, nos permite conocer factores importantes como lo es el aglutinante para formar el granulo de urea, el tiempo y la cantidad con exactitud que debe de durar el roció de aglutinante para formar los gránulos de manera eficiente, además nos aporta información sobre el control de parámetros como el tamaño y la forma de los gránulos, la densidad, la resistencia mecánica, la homogeneidad de la mezcla, y la retención de propiedades nutricionales o fertilizantes .

Pérez (2018), realizo una investigación titulada **“Diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña”**. Presentado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, este proyecto está orientado al diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña la cual se está dando solución a la problemática de como por parte de la universidad llegar a producir su propio alimento peletizado, la máquina se encarga de transformar la materia prima en este caso harinas en pellets mediante un proceso

mecánico donde intervienen varios factores como lo es la temperatura, la presión de compactación y la humedad de la mezcla.

Del trabajo mencionado anteriormente pudimos obtener un aporte significativo en relación a los estudios experimentales o simulaciones para evaluar y optimizar el proceso de producción, esto puede incluir pruebas en el diseño de la máquina para maximizar la eficiencia y calidad del proceso

De la misma manera, Vargas (2018), realizó una investigación que se tituló "**Diseño de una máquina procesadora de pellets en base a merma de arroz con capacidad de 200kg/h para la empresa escaly s.r.l. – lambayeque**". Presentado para optar por el título de Ingeniero Mecánico Electricista, el presente trabajo fue realizado con el propósito de estudiar y determinar la capacidad de producción que la empresa tiene que generar la materia prima que utiliza la máquina y las características que debe tener el granulo de merma que en este caso es de 6mm el diámetro que tendrá el pellet según las normas europeas indicadas en 1496. Por otra parte, nos apoyamos en este trabajo para analizar la capacidad de producción de granulado y todas las variables involucradas en este proceso como lo son la velocidad, capacidad de producción por hora y los componentes en la mezcla para formar la granulación

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Teoría central de Von Mises

Es un criterio utilizado en la mecánica de materiales para predecir el límite fluencia o deformación plástica de un material sometido a esfuerzos multiaxiales. Según este criterio, un material comenzará a deformarse plásticamente cuando la energía de deformación equivalente alcance un valor crítico. El criterio de Von Mises es ampliamente utilizado en el diseño de estructuras y componentes para garantizar la integridad y seguridad de los materiales.

Una máquina granuladora de urea es un equipo especializado diseñado específicamente para la producción de gránulos de urea. La urea es un tipo común de fertilizante nitrogenado ampliamente utilizado en la agricultura debido a su capacidad para liberar gradualmente nutrientes en el suelo.

2.2.2 Descripción de las funciones del equipo

La máquina granuladora de urea por tambor rotativo estará compuesto principalmente por tres partes, un dosificador de material fino (polvo), un dosificador del humectante y el disco granulador junto a su soporte. Cada uno interviene en el proceso

de granulación y su funcionamiento están íntimamente relacionados entre sí. En la figura 1 se puede observar la representación esquemática del sistema de granulado.

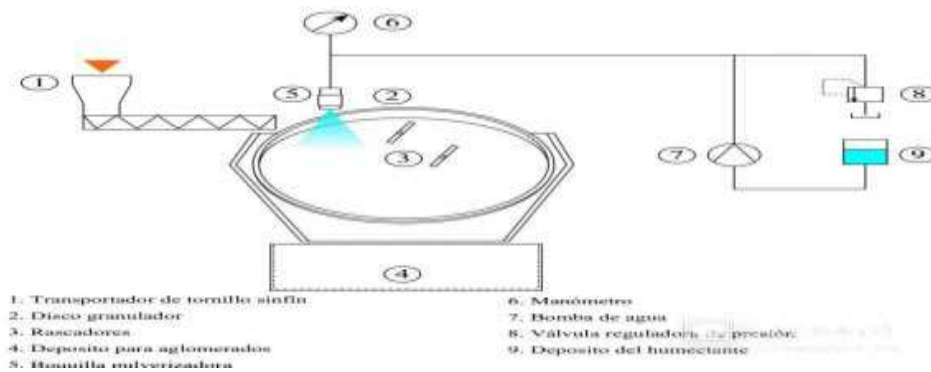


Figura1 sistema de granulado

Fuente: Baldeon f. (2022) tesis de diseño de un equipo de aglomeración por rodadura para el laboratorio de investigación carbón biomasa pucp.

2.2.3 Disco granulador

El disco granulador es un componente crucial del equipo, ya que desempeña un papel fundamental en el proceso de granulación. A diferencia de los granuladores de tambor utilizados en procesos por lotes, los discos se utilizan en procesos continuos. En el disco, el cristal proveniente del alimentador y las gotas de humectante suministradas por la bomba de agua se combinan y son transportadas por la rotación del disco hacia los rascadores, cuya función es eliminar las partículas que llegan a la parte superior y luego caen rodando sobre la base, lo que contribuye al aumento de su tamaño durante el proceso. En la figura 2 se muestra el tambor rotativo de una máquina granuladora.



Figura 2. Disco granulador de urea

Fuente: tongda heavy industry (2017)

2.2.4 Inclinación del disco

La inclinación del disco está relacionada con el ángulo dinámico de reposo específico del material. Este ángulo determina el apilamiento de los gránulos y para que un pellet completamente formado salga del disco, el diámetro alcanzado por el mismo y las fuerzas que se generan en la rotación deben permitirle superar este ángulo. La inclinación es una variable importante, pues si el ángulo es demasiado empinado, los gránulos ya no se elevarían por fricción. El ángulo de inclinación para altas tasas de producción con un diámetro mínimo de 4 mm varía entre 45-48°, dependiendo del coeficiente de fricción del mineral y el coeficiente de elevación, así también la altura del borde del disco está determinada por el ángulo de inclinación y por su parte el volumen de llenado en el disco depende tanto de la inclinación como de la altura del borde.

2.2.5 Velocidad de rotación del disco

Durante el movimiento regular y estable de los gránulos estos van aumentando de tamaño, cuando la velocidad de rotación del disco es menor se forman pellets de mayor tamaño, debido a que la velocidad es insuficiente para lanzarlos del plato, por otra parte, cuando la velocidad es excesiva los gránulos pueden llegar a mantenerse en la parte superior sin rodar por acción de la fuerza centrífuga. El disco granulador será accionado y controlado por medio de un variador de frecuencia el cual permite cambiar la velocidad del motor eléctrico al variar la frecuencia del mismo.

2.2.6 Dosificador de material fino

Para mantener un flujo de alimentación constante de cristales de urea mezclado con el aglomerante es necesario contar con sistema transportador de velocidad ajustable. Entre los sistemas más usados están los transportadores de tornillo sin fin y las fajas transportadoras. Las fajas transportadoras generalmente están constituidas por unos tambores que son accionados por un motor y que arrastran la faja llevando a su vez a material deseado, estos sistemas se usan para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales y hasta se usan en las cadenas de montaje en algunos procesos de fabricación. Entre las ventajas que poseen esta la capacidad de transportar materiales a gran distancia, permiten una gran capacidad de transporte y carecen de materiales de rápido desgaste

2.2.7 Dosificador del humectante

Al utilizar bentonita como aglomerante, que es un polvo arcilloso, se requiere agregar una cantidad adecuada de agua para iniciar el proceso de granulación. La cantidad de agua a añadir depende del porcentaje de humedad necesario para producir los pellets

deseados. El sistema encargado de añadir agua a la mezcla de cristales de urea y bentonita consta de una boquilla, una bomba de agua, una válvula reguladora de presión y un manómetro. La ubicación estratégica de la boquilla tiene un impacto significativo en la efectividad de la humectación y se determinará experimentalmente. Por lo tanto, se deben tener en cuenta el área cubierta por el agua pulverizada, el sentido de rotación del disco y la ubicación de los rascadores. Es común situar las boquillas cerca de los rascadores, y se pueden utilizar múltiples boquillas según el diámetro del disco. La potencia de la bomba depende principalmente del caudal de agua, el cual debe ser determinado en función del porcentaje de humedad deseado para los pellets.

2.2.8 Rascadores

Los rascadores desempeñan un papel crucial al evitar que los gránulos se adhieran a las paredes del disco granulador. Durante la rotación del disco, las partículas son llevadas hacia la parte superior, donde colisionan con los rascadores, alterando su trayectoria y dirigiéndolas de vuelta hacia la parte inferior. A velocidades bajas, las partículas no alcanzan la parte superior y no entran en contacto con los rascadores. Por otro lado, a velocidades altas o con ángulos de inclinación bajos, las partículas logran llegar a la parte más alta del disco, donde son barridas por los rascadores y caen de regreso a la parte inferior. La presencia de los rascadores favorece el aumento del tamaño de los pellets, ya que permiten que recorran la máxima distancia durante su caída desde los rascadores.

2.2.9 Estructura de soporte

La estructura del equipo se divide en dos secciones, una parte estática y la otra se mueve en relación a la primera. La sección móvil sostiene el disco granulador, su motor y los rascadores, permitiendo ajustar el conjunto según sea necesario para el proceso de granulación. La sección fija está apoyada en el suelo y se diseña considerando el centro de gravedad de todo el equipo a diferentes ángulos de inclinación, esto se hace para evitar cualquier inestabilidad mecánica. También se debe tener en cuenta que la estructura debe ser lo suficientemente sólida para reducir la vibración y sus dimensiones deben cumplir con los requisitos del laboratorio. Ver figura 3.



Figura 3 Estructura de soporte maquina granuladora

Fuente: Zhengzhou Hanghui Machinery Equipment Co., Ltd. (2000)

2.2.10 Tecnologías CAD/CAE

1. **CAD:** computer-aided design¹⁶ (diseño asistido por computador) Es el uso de programas informáticos para crear representaciones gráficas de los objetos físicos en dos o tres dimensiones (2D o 3D). El software CAD se utiliza para diseñar productos físicos en una amplia gama de industrias, donde el software realiza los cálculos para determinar la forma y tamaño óptimos para una variedad de productos y aplicaciones de diseño industrial. Entre los beneficios del CAD se incluyen

- Menores costos de desarrollo de productos al acelerar el proceso de diseño.
- Una mejor visualización del producto final, subconjuntos y componentes, así como la documentación del diseño que incluye geometrías, dimensiones, lista de materiales, entre otros.
- Ofrece una mayor precisión, por lo que los errores se reducen.
- Ofrece fácil reutilización de los datos de diseño y las mejores prácticas.

2. **CAE: computer-aided Engineering (ingeniería asistida por computador)**

Es el uso de software computacional para simular el desempeño y así poder mejorar los diseños de los productos o bien apoyar a la resolución de problemas de ingeniería para una amplia gama de industrias. Esto incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación. Un proceso típico de CAE consta de pre-procesamiento, resolución de problemas, y las medidas post-procesamiento. En la fase de pre-procesamiento, los ingenieros modelan la geometría y las propiedades físicas del diseño, así como el medio ambiente en forma de cargas aplicadas o limitaciones.

A continuación, el modelo se resuelve mediante una formulación matemática adecuada de la física subyacente. En la fase de post-procesamiento, los resultados se presentan al ingeniero para su revisión. Entre las ventajas del sistema CAE tenemos:

- Los diseños pueden ser evaluados y refinados mediante simulaciones por ordenador en lugar de ensayos con prototipos físicos, ahorrando tiempo y dinero.
- CAE puede ofrecer antes una perspectiva de rendimiento en el proceso de desarrollo, cuando los cambios de diseño son más baratos de hacer.
- CAE ayuda a los equipos de ingeniería a gestionar el riesgo y comprender las implicaciones del rendimiento de sus diseños.
- La gestión de datos CAE integrada y de procesos, amplía la capacidad para aprovechar eficazmente las ideas de rendimiento y mejorar los diseños para una comunidad más amplia.

2.2.11 SolidWorks

Es un software de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) que permite a los ingenieros y diseñadores crear modelos 3D de piezas y ensamblajes. Es ampliamente utilizado en diversas industrias, como la manufactura, la ingeniería mecánica y la arquitectura, para desarrollar diseños y realizar simulaciones virtuales de manera precisa y eficiente. SolidWorks ofrece una interfaz intuitiva y potentes herramientas de modelado, lo que facilita la creación y modificación de diseños complejos. Además, cuenta con funcionalidades avanzadas, como análisis de elementos finitos, simulación de movimiento y generación de planos de fabricación, que ayudan a optimizar los diseños y agilizar el proceso de desarrollo de productos. En resumen, SolidWorks es una herramienta integral para el diseño y la ingeniería que permite visualizar, analizar y comunicar ideas de manera efectiva en entornos virtuales tridimensionales.

2.2.12 Aglutinante

En el proceso de granulación de urea, se utiliza un aglutinante para ayudar a mantener unidas las partículas de urea y formar gránulos. El aglutinante utilizado más comúnmente para la urea es el agua. El agua actúa como agente aglutinante al proporcionar la humedad necesaria para que las partículas de urea se adhieran entre sí y formen gránulos más grandes. Durante el proceso de granulación, se agrega agua en la cantidad adecuada para lograr la cohesión de las partículas y la formación de gránulos de tamaño deseado. Es importante controlar cuidadosamente la cantidad de agua agregada, ya que un exceso de humedad puede provocar la aglomeración de gránulos o dificultar su posterior secado, mientras que una falta de humedad puede resultar en una mala formación de gránulos.

2.2.13 Cinta transportadora

Una cinta transportadora, también conocida como banda transportadora o transportador de banda, es un sistema mecánico utilizado para mover materiales a lo largo de una trayectoria determinada. Consiste en una banda continua, fabricada generalmente de caucho resistente, que se desplaza sobre rodillos o tambores motorizados. Su principal función es el transporte eficiente de materiales a granel, productos envasados o componentes a lo largo de una línea de producción, un almacén o un área de carga y descarga. En la figura 4 se puede observar un modelo universal de cinta transportadora.



Figura 4 cinta transportadora
Fuente: jegerings.com

2.2.14 Tolva

Una tolva de alimentación de urea es un componente utilizado para almacenar y suministrar urea de manera controlada en procesos agrícolas o industriales, garantizando un flujo uniforme y dosificado del fertilizante. Estas tolvas suelen estar equipadas con dispositivos de seguridad, como sensores de nivel para controlar la cantidad de urea presente en la tolva y evitar situaciones de sobrecarga o falta de suministro. También pueden contar con sistemas de agitación o mezclado para evitar la formación de grumos o la segregación de la urea almacenada. Ver figura 5.

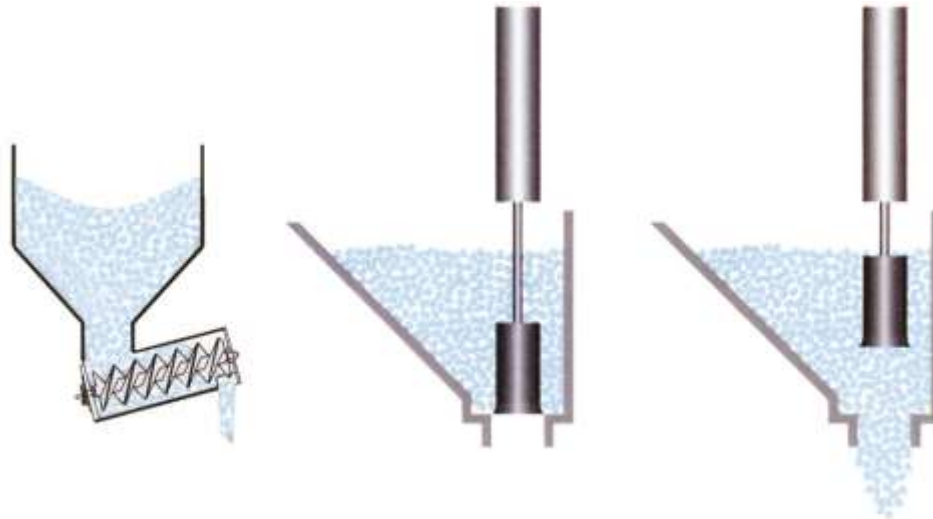


Figura 5 tolva de alimentación

Fuente: tecnología de plástico

2.2.15 Tornillo sin fin

También conocido como transportador helicoidal, es un dispositivo mecánico utilizado para el transporte y la manipulación de materiales a granel. Consiste en un eje con una hélice en espiral continua, llamada "sin fin", que se extiende a lo largo de la longitud del eje. El tornillo sin fin gira sobre su eje central, lo que provoca el desplazamiento del material a lo largo del tornillo.

2.2.16 ángulo de inclinación de la banda

En el diseño de cintas transportadoras, es esencial considerar el ángulo de inclinación para determinar el motor y los componentes necesarios, así como para calcular la capacidad de transporte y la potencia requerida. Un ángulo de inclinación inapropiado puede llevar a problemas de rendimiento y mantenimiento en el sistema de transporte.

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Altura}}{\text{Longitud}} \right)$$

2.2.17 Calculo capacidad de transporte volumétrica

La capacidad de transporte volumétrica en el contexto del diseño de una cinta transportadora se refiere a la cantidad máxima de material que la cinta puede mover en un período de tiempo específico, generalmente expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por hora o toneladas por hora. En otras palabras, es la cantidad de material que la cinta transportadora puede llevar desde un punto de origen a un punto de destino en un período de tiempo dado.

$$I_M = \frac{I_V}{q_s} \quad [m^3/h]$$

Donde:

$I_V = \text{capacidad de transporte de la banda } T^{on}/h$

$q_s = \text{peso específico del material}$

2.2.18 Capacidad de transporte teórica en volumen para una velocidad de 1 m/s

La capacidad de transporte teórica en volumen para una velocidad de 1 metro por segundo en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la cantidad máxima de material que teóricamente podría ser transportada por la cinta en una unidad de tiempo, generalmente expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por hora o toneladas por hora, cuando la cinta se está moviendo a una velocidad constante de 1 metro por segundo.

Esta cifra teórica se calcula tomando en cuenta el ancho de la banda transportadora y otros factores que pueden influir en la capacidad de transporte, pero no tiene en cuenta consideraciones prácticas o limitaciones del mundo real, como la eficiencia del sistema, la fricción, la capacidad del motor y otros factores que afectarán el rendimiento real del sistema.

La capacidad de transporte teórica a 1 metro por segundo se utiliza como una referencia inicial en el diseño de la cinta transportadora y, a menudo, se ajusta en función de las condiciones específicas de la aplicación y los factores prácticos para asegurar un rendimiento eficiente y confiable del sistema de transporte en la vida real. Es importante tener en cuenta que esta cifra teórica proporciona una base inicial para el diseño, pero no necesariamente refleja la capacidad real de transporte en un entorno operativo.

$$I_{VT} = \frac{I_M}{V \cdot K \cdot K_1}$$

Donde:

K = Factor de inclinación

Im = Capacidad de transporte volumétrica

$V =$ velocidad de 1 m/s

$K_1 =$ Factor de corrección debido a la irregularidad de alimentación

2.2.19 Velocidad de giro de los rodillos

La velocidad de giro de los rodillos en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la velocidad a la que los rodillos que soportan la banda transportadora giran o rotan. Estos rodillos se encuentran a lo largo de la cinta transportadora y son esenciales para facilitar el movimiento suave de la banda y, por lo tanto, el transporte eficiente de materiales.

La velocidad de giro de los rodillos es un parámetro crítico en el diseño de la cinta transportadora, ya que afecta directamente la velocidad de desplazamiento de la banda y, por lo tanto, la capacidad de transporte de material

$$n = \frac{V \cdot 1000 \cdot 60}{D \cdot \pi}$$

Donde

$D =$ diámetro del rodillo [mm]

$V =$ velocidad de la banda [m/s]

2.2.20 Carga estática en las estaciones de ida

La carga estática en las estaciones de ida en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o peso constante ejercido sobre la banda transportadora en la zona donde los materiales ingresan al sistema de transporte, es decir, en la estación de carga o entrada. Esta carga estática se produce debido al peso de los materiales depositados en la cinta antes de que comience su movimiento y también puede incluir otros elementos estáticos como las estructuras de soporte y los componentes de la cinta.

$$C_a = a_o \cdot \left(q_b + \frac{I_V}{3,6 \cdot V} \right) \cdot 0,981 \text{ [daN]}$$

Donde

$a_o =$ paso de las estaciones de ida [m]

$q_b =$ peso de la banda por metro lineal $\left[\frac{kg}{m} \right]$

$$I_V = \text{capacidad de transporte de la banda} \left[\text{Ton/h} \right]$$

$$V = \text{velocidad de la banda} \left[\text{m/s} \right]$$

2.2.21 Carga dinámica en la estación de ida

La carga dinámica en las estaciones de retorno en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o peso variable ejercido sobre la banda transportadora en la zona donde los materiales ingresan al sistema de transporte, es decir, en la estación de carga o entrada. Esta carga dinámica se produce debido al peso de los materiales depositados en la cinta antes de que comience su movimiento.

$$C_{a_1} = C_a \cdot F_d \cdot F_s \cdot F_m$$

Donde

$F_d = \text{factor de choque}$

$F_s = \text{factor de servicio}$

$F_m = \text{factor ambiental}$

2.2.22 Carga sobre el rodillo sometido a mayor esfuerzo

La carga sobre el rodillo sometido a mayor esfuerzo en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o el peso ejercido sobre el rodillo que experimenta la mayor presión o esfuerzo en un tramo particular de la cinta. Este rodillo específico suele encontrarse en una posición crítica, generalmente en la zona en la que la cinta transportadora tiene que soportar cargas pesadas o experimenta una tensión significativamente mayor en comparación con otros tramos de la cinta.

El rodillo central es quien experimenta el mayor esfuerzo, esto por tratarse de una combinación de tres rodillos de igual longitud

$$ca = C_{a_1} \cdot F_p$$

Donde

$F_p = \text{factor de participacion}$

2.2.23 Carga dinámica en la estación de retorno

La carga dinámica en la estación de retorno en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o el peso en movimiento ejercido sobre la banda transportadora en la

zona donde los materiales regresan desde el punto de descarga hacia la estación de retorno. Esta carga dinámica es generada por la acción del movimiento de los materiales sobre la cinta y puede variar en intensidad dependiendo de la cantidad, el tipo y la velocidad de los materiales transportados.

$$C_{r1} = C_r \cdot F_s \cdot F_m \cdot F_v$$

Donde

$F_v = \text{factor de velocidad}$

2.2.24 Esfuerzo tangencial de ida

El esfuerzo tangencial de ida en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o tensión que se ejerce en la dirección del movimiento de la banda transportadora cuando los materiales se desplazan desde el punto de carga o entrada hacia el punto de descarga o destino. Este esfuerzo tangencial es el resultado de la resistencia que debe vencerse para que la banda y los materiales asociados avancen a lo largo de la cinta transportadora.

El esfuerzo tangencial de ida es un parámetro fundamental en el diseño de cintas transportadoras y se relaciona con factores como el tipo de material transportado, la velocidad de la cinta, la inclinación de la cinta, la fricción entre la banda y los rodillos, así como otros elementos del sistema de transporte. Debe ser calculado y tenido en cuenta para seleccionar el motor, los rodillos, los rodamientos y otros componentes adecuados para garantizar que la cinta funcione de manera eficiente y segura.

$$F_a = [L \cdot C_q \cdot C_t \cdot f (q_b + q_G + q_{RO}) \pm (q_G + q_b) \cdot H] \cdot 0,981 \quad [daN]$$

Donde

$L = \text{Distancia entre ejes del transportador [m]}$

$C_q = \text{Coeficiente de las resistencias fijas (accesorio de banda)}$

$C_t = \text{Coeficiente de las resistencias pasivas debido a la temperatura}$

$f = \text{Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias}$

$q_b = \text{Peso de la banda por metro lineal [Kg/m]}$

$q_G = \text{Peso del material transportado por metro lineal [Kg/m]}$

$q_{RO} = \text{Peso partes giratorias superiores [Kg/m]}$

$H = \text{Desnivel de la cinta transportadora}$

2.2.25 Peso del material transportado por metro lineal

El peso del material transportado por metro lineal en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la cantidad de peso que se encuentra sobre la banda transportadora en un metro lineal de su longitud. En otras palabras, es la masa de los materiales que están siendo transportados en un tramo específico de la cinta y se expresa en unidades de masa por unidad de longitud, como kilogramos por metro o toneladas por metro.

Calcular el peso del material transportado por metro lineal es esencial para el diseño de la cinta transportadora, ya que este valor ayuda a determinar la capacidad de transporte y la resistencia requerida para la cinta y sus componentes. Algunos de los factores que influyen en este cálculo incluyen el tipo de material, su densidad, la velocidad de la cinta y la inclinación de la misma.

$$q_G = \frac{I_V}{3,6V}$$

$$I_V = \text{capacidad de transporte de la banda } \text{Ton/h}$$

V = velocidad

2.2.26 Peso de partes giratorias superiores

El peso de partes giratorias superiores en el diseño de una cinta transportadora se refiere al peso de las partes de la cinta transportadora que están en movimiento y que se encuentran por encima de la cinta, como los rodillos, los tambores de accionamiento, los dispositivos de carga, las poleas y otros componentes que giran y soportan o guían la banda transportadora. Estas partes giratorias superiores son esenciales para el funcionamiento de la cinta y contribuyen a la transmisión de energía, la tensión y el movimiento suave de la banda.

$$q_{RO} = \frac{P_{pri}}{a_o}$$

$$a_o = \text{paso de las estaciones de ida [m]}$$

Ppri = peso de parte de rodillo inferior

2.2.27 Esfuerzo tangencial total

El esfuerzo tangencial total en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza total requerida para mover la banda transportadora y los materiales a lo largo de su recorrido, teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la resistencia al

movimiento. Este esfuerzo tangencial total es crucial para el diseño de la cinta, ya que determina la potencia necesaria para el motor de accionamiento y la selección de componentes, como los rodillos y los rodamientos.

$$F_U = F_a + F_r$$

donde:

F_a = Esfuerzo tangencial de ida

F_r = Esfuerzo tangencial de retorno

2.2.28 Potencia absorbida

La potencia absorbida en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la cantidad de energía que un motor o sistema de accionamiento debe suministrar para mover la banda transportadora y transportar los materiales de un punto a otro a lo largo de la cinta. Esta potencia se mide en unidades de potencia, como vatios (W) o caballos de fuerza (HP).

La potencia absorbida es un parámetro crítico en el diseño de una cinta transportadora, ya que determina el tamaño y la capacidad del motor necesario para que el sistema funcione de manera eficiente.

$$P = \frac{F_U \cdot V}{100 \cdot \eta} [kW]$$

F_U = Esfuerzo tangencial total

V = velocidad

2.2.29 T_2 Tension despues del tambor motriz (tramo flojo)

La tensión después del tambor motriz en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o la tensión que actúa sobre la banda transportadora después del pasar por el tambor motriz, en una sección conocida como "tramo flojo" o "tramo de retorno". El tambor motriz es el componente que impulsa y hace girar la cinta transportadora para mover los materiales desde el punto de carga hasta el punto de descarga.

La tensión en el tramo flojo es un parámetro importante en el diseño de una cinta transportadora porque afecta la estabilidad de la banda, la carga en los rodillos y la eficiencia del sistema

$$T_2 = F_U \cdot C_w [daN]$$

Donde:

F_U = Esfuerzo tangencial total

C_w = Factor de abrazamiento

2.2.30 Tensión máxima después del tambor motriz

La tensión máxima después del tambor motriz en el diseño de una cinta transportadora se refiere al valor máximo de fuerza o tensión que se experimenta en la banda transportadora justo después de pasar por el tambor motriz, en la sección conocida como "tramo de retorno" o "tramo flojo". Esta tensión máxima se produce debido a la resistencia y la carga en el sistema en ese punto específico de la cinta. El cálculo de la tensión máxima después del tambor motriz es esencial en el diseño de una cinta transportadora para garantizar que la banda se mantenga en su lugar y no se desplace o se dañe

$$T_1 = F_U + T_2 [daN]$$

F_U = Esfuerzo tangencial total

T_2 = Tensión

2.2.31 Tensión unitaria de trabajo de la banda, $T_{U_{max}}$

La tensión unitaria de trabajo de la banda en el diseño de una cinta transportadora se refiere a la fuerza o tensión requerida para mover la banda transportadora por una unidad de longitud. Se expresa en unidades de fuerza por unidad de longitud, como newton por metro (N/m) o kilogramo-fuerza por metro (kgf/m).

Esta medida es esencial en el diseño de una cinta transportadora, ya que representa la resistencia que la banda encuentra a lo largo de su recorrido debido a la fricción con los rodillos, la inclinación de la cinta, la carga transportada y otros factores. La tensión unitaria de trabajo se utiliza para calcular la potencia necesaria para impulsar la cinta, seleccionar los componentes adecuados y asegurar que el sistema funcione eficientemente

$$T_{U_{max}} = \frac{T_{max} \cdot 10}{N} [N/mm]$$

Donde

$N = \text{ancho de la banda [mm]}$

T_{max}

$= \text{tension en el punto sometido a mayor esfuerzo de la banda [daN]}$

2.2.32 Velocidad angular

La velocidad angular es una medida de la rapidez con la que un objeto gira alrededor de un punto o un eje. Se expresa en unidades angulares por unidad de tiempo, como radianes por segundo (rad/s) o grados por segundo ($^{\circ}/s$). La velocidad angular se relaciona con la velocidad lineal (la velocidad de un punto en la circunferencia de la rotación)

$$n = \frac{v \times 1000 \times 60}{D \times \pi} \text{ [r.p.m.]}$$

Donde:

D= diámetro del rodillo[mm]

V= velocidad de la banda $\left[\frac{m}{s}\right]$

2.2.33 Resultante Cp de las tensiones y del peso del tambor

La resultante Cp de las tensiones y del peso del tambor en el diseño de una cinta transportadora es una medida que se refiere a la fuerza o la tensión total que se ejerce sobre el tambor motriz de la cinta transportadora debido a una combinación de factores

$$Cp = \sqrt{(T1 + T2)^2 + qt^2} \text{ [daNm]}$$

Donde:

T1, T2 = tensiones

Qt = peso del tambor

2.2.32 Momento de flexión

Este concepto es importante en el contexto del diseño estructural y mecánico de la cinta, ya que el momento de flexión puede ejercer tensiones y esfuerzos significativos en los elementos que componen el sistema de transporte.

El momento de flexión se calcula considerando la fuerza aplicada, la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza al punto de apoyo (conocido como brazo de palanca) y la resistencia del material de la cinta o los componentes estructurales.

$$Mf = \frac{Cp}{2} \times a_g \text{ [daNm]}$$

C_p = Resultante de las tensiones

A_g = distancia entre soporte y brida de motor

2.2.34 Momento de torsión

El momento de torsión, también conocido como momento torsor o simplemente momento torsional, es una medida de la tendencia de una fuerza para hacer girar o torcer un objeto alrededor de un eje, como un tubo, una barra o un eje. Se mide en unidades de fuerza por longitud al aplicar una fuerza perpendicular a una distancia dada desde el eje de rotación.

$$M_t = \frac{P}{n} \times 954,9 \text{ [daNm]}$$

P = potencia

N = velocidad angular

2.2.35 Momento ideal de flexión

En general, el momento de flexión se refiere a la tendencia de una fuerza aplicada a doblar, torcer o deformar un objeto. Sin embargo, el adjetivo "ideal" en este contexto puede indicar que se está considerando un escenario teórico o hipotético donde las condiciones son ideales y simplificadas.

$$M_{if} = \sqrt{M_f^2 + 0,75 \times M_t^2} \text{ [daNm]}$$

M_f = momento de flexión

M_t = momento de torsión

2.2.36 Módulo de resistencia

El módulo de resistencia, en el diseño de una cinta transportadora, se refiere a una medida que indica la capacidad de un material o una estructura para resistir fuerzas de flexión, torsión o deformación bajo ciertas condiciones de carga. Este término se utiliza en el contexto de la mecánica de materiales y la ingeniería estructural para evaluar la resistencia de los componentes de la cinta transportadora, como la banda, los rodillos, los soportes y otros elementos estructurales.

$$W = \frac{M_{if} \times 1000}{\sigma_{amm}} \text{ [mm}^3\text{]}$$

M_{if} = momento ideal de flexión

σ_{amm} = esfuerzo de acero C40 templado

2.2.37 Diámetro de eje del tambor motriz

El diámetro de eje del tambor motriz en una cinta transportadora es la medida del tamaño del eje alrededor del cual la banda transportadora se enrolla o se adhiere. Este diámetro se refiere a la distancia entre los extremos del eje, a través del centro del mismo.

$$d = \sqrt[3]{\frac{W \times 32}{\pi}} \text{ mm}$$

W = Modulo de resistencia

2.3 Bases legales

ISO 12100: Guía para la fabricación de máquinas seguras

Para que una máquina u otro equipo sean seguros, es necesario evaluar los riesgos que pueden resultar de su uso. Por tanto, la evaluación y la reducción de riesgos de las máquinas se describen en **EN ISO 12100**, norma de tipo A.

La **norma UNE-EN ISO 12100** consiste en una guía aplicable durante el proceso de fabricación de una máquina, instaurando procedimientos específicos orientados a la seguridad en el diseño de las máquinas, así como sentando las bases en cuanto a terminología, principios de evaluación y reducción del riesgo.

Asimismo, el método más eficaz de eliminar riesgos es hacerlo en la fase de diseño, con ello conseguirás:

- Analizar y valorar los riesgos ante la exposición a un peligro.
- Proporcionar al diseñador una herramienta para conseguir máquinas intrínsecamente seguras.

Beneficios de implantar ISO 12100

La **norma ISO 12100** ofrece una serie de beneficios significativos para las empresas que buscan garantizar la seguridad en el diseño y uso de maquinarias. A continuación, te presentamos algunos de los principales beneficios de implantar esta norma:

Cumplimiento legal

La implantación de la norma ISO 12100 permite a las empresas cumplir con los requisitos legales y reglamentarios aplicables en materia de seguridad de la maquinaria. Al seguir los principios y directrices establecidos, las organizaciones demuestran su compromiso con la seguridad y reducen el riesgo de enfrentar sanciones o litigios legales.

Mejora de la seguridad

La norma ISO 12100 proporciona un enfoque sistemático y completo para evaluar y reducir los riesgos asociados con las maquinarias. Ayuda a identificar y evaluar los peligros potenciales en todas las etapas del ciclo de vida de una máquina, desde su diseño hasta su puesta en marcha y uso.

Reducción de accidentes y lesiones

Al aplicar los principios de diseño seguros recomendados por la dicha norma, se reducen las posibilidades de que ocurran accidentes y lesiones relacionados con el uso de maquinarias.

Aplicación de las normas en la seguridad de las maquinarias

La **aplicación de las normas en la seguridad de las maquinarias** implica la colaboración entre fabricantes, empleadores y trabajadores. A continuación, detallamos algunas de las etapas en las que las normas son relevantes:

- **Diseño y fabricación:** Los fabricantes deben seguir las normas correspondientes durante el diseño y la fabricación de las maquinarias. Esto implica incorporar medidas de seguridad, como dispositivos de protección, sistemas de control y señalización adecuada.
- **Instalación y puesta en marcha:** Durante la **instalación maquinaria**, es necesario seguir los procedimientos establecidos en las normas para garantizar que se realice de manera segura y adecuada. Esto incluye la conexión eléctrica, el ajuste de componentes y la verificación de los sistemas de seguridad.
- **Operación y mantenimiento:** Los empleadores y los trabajadores deben recibir **capacitación sobre el uso seguro de las maquinarias** de acuerdo con las normas aplicables. Además, se deben establecer programas de **mantenimiento preventivo y correctivo** para garantizar que sigan operando de manera segura.
- **Integración con otros equipos:** En muchas ocasiones, las maquinarias deben integrarse con otros equipos o sistemas. En estos casos, es importante seguir las normas pertinentes para garantizar una integración segura y eficiente, evitando riesgos adicionales para los trabajadores y las instalaciones.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El fin esencial del marco metodológico es precisar, a través de un lenguaje claro y sencillo, los métodos, técnicas, estrategias, procedimientos e instrumentos utilizados por el investigador para lograr sus propósitos, a través de la utilización de métodos que están sustentados por el criterio de autores de libros de metodología, por lo que es importante que estos apoyos estén acompañados de citas parafraseadas o textuales con sus correspondientes soportes de autor.

Según Balestrini (2006), el marco metodológico:

Es el conjunto de procedimientos lógicos, tecno operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados. (p.125).

En otras palabras, se puede señalar que el marco metodológico es el resultado a obtener o que puede cumplirse a lo largo del periodo de procesamiento de información, a través de los datos que se implementen, exhibiéndose como la ruta empleada por el investigador para la consecución de los objetivos propuestos, asumiendo que es fiable la búsqueda, comparación y abordaje en la propuesta “Diseño y simulación de maquina granuladora de urea por tambor rotativo”

3.1 Paradigma de la investigación

El paradigma en un trabajo de grado proporciona un marco teórico conceptual desde el cual se formulan las preguntas de investigación, se recopilan y analizan los datos, y se interpretan los resultados. Define la forma en que se comprende y se aborda el fenómeno o problema de investigación.

Vasilachis (1997) define el paradigma como: “Los marcos teóricos -metodológicos utilizados por el investigador para interpretar los fenómenos sociales en el contexto de una determinada sociedad.” (p. 43)

Este paradigma se basa en los principios, técnicas de la ingeniería mecánica y de procesos para estudiar y optimizar la operación de la maquina granuladora de urea. En este enfoque, se consideran aspectos como la velocidad de rotación, los parámetros de diseño de la máquina, la eficiencia energética y los requisitos de calidad del producto final.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación, según Palella y Martins (2012) se refiere “a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios” (p. 88), en relación con esto, la investigación presente se define como una investigación de tipo proyecto factible, ya que la misma busca proponer una solución a necesidades específicas, diseñar una maquina granuladora por tambor rotativo. Con relación a esto, Palella y Martins (2012) lo define de la siguiente manera “consiste en elaborar una propuesta viable destinada a atender necesidades específicas, determinadas a partir de una base diagnostica”.

3.3 Nivel de la investigación

Arias, F. (2016) afirma que: “El nivel de la investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objetivo estudio”. (p.23). Por otro lado, Hernández Sampieri et al. (2010), indica “La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo de población”. Por su parte, Simonovis, J. (2001) dijo que la investigación descriptiva tiene como principal función “describir las características del problema que se está investigando; también puede describir el problema y sus características, relacionándolo con algún factor o diferenciándolo”.

Por lo que se define esta investigación como descriptiva, ya que describe la problemática actual sobre el almacenamiento y transporte de la urea en forma de cristales, adicionalmente se investigará sobre el proceso de fabricación de la máquina granuladora de urea, lo cual se llevará a cabo mediante la recolección de información que permita conocer sus características.

3.4 Diseño de la investigación

Según Aria, F (2016): El diseño de la investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. (p.27), lo que da base al objetivo de la investigación. De este modo, se concibe que el nivel de la actual investigación será de tipo documental y de campo, motivo a que, está basada en el análisis e interpretación de fuentes documentales de diversos autores. Se concreta exclusivamente en la recopilación de información de diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos escritos u orales, uno de los ejemplos más típicos de esta investigación son las obras de historia. (Palella y Martins, 2010, p.90).

Según Fidias, A. (2016): La investigación de campo es aquella que consiste en lo recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de lo realidad donde

ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

Según Arias (2016): la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio. (p.81)

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se puntualiza que los elementos seleccionados son con características comunes, para llevar a cabo la presente investigación, la población en estudio son todas las maquinarias granuladora de urea dedicadas a la producción de fertilizantes (urea granulada).

3.5.2 Muestra

La muestra es “parte de un colectivo, un subconjunto de unidades de análisis representativo de la población, que el investigador selecciona con la finalidad de obtener información precisa para que caracteriza el colectivo”. (Silva, 2006, p.27), por tal manera se seleccionó específicamente la máquina granuladora de urea por tambor rotativo.

3.6 Técnicas de Recolección De Datos

Según Fidiás G. Arias (2016, p. 67) “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. Por su parte, Palella Y Martins (2012, p. 115) definen a las técnicas de recolección de datos como “las distintas formas o maneras de obtener la información”. En ese sentido, las técnicas que se utilizarán son:

- **Observación:** Se define como “una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” Arias (2016, p. 69). Para el estudio se observará las distintas máquinas granuladoras de urea utilizadas en las empresas de fertilizantes.
- **Entrevista:** Definida como; “una técnica que permite obtener datos mediante un diálogo que se realiza entre dos personas cara a cara: el entrevistador "investigador" y el entrevistado; la intención es obtener información que posea este último.” Palella Y Martins (2012, p. 119). Las

entrevistas se aplicarán al personal encargado en las empresas de fertilizantes que comercializan estas maquinarias.

- **Análisis documental:** Palella y Martins (2012) dicen que el propósito del análisis documental es “profundizar un tema o problema sobre el cual no es posible que el estudiante haga aplicaciones prácticas” (p. 90). Para la aplicación de esta técnica se recurrió a data previa para su posterior análisis e interpretación.

3.6.1 Instrumentos

- **Libreta de notas:** Se trabajará mediante una entrevista no estructurada la cual, según Arias (2016, pág 73), es aquella en la que “no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos que permitan definir el tema de la entrevista”. En ese propósito se realizaron las anotaciones pertinentes sobre las preguntas planteadas y las respuestas obtenidas en una libreta de notas.
- **Guion de entrevista estructurada:** Este es aquel en el que “existe una estandarización formal, no dejando un margen de libertad para formular las preguntas y proporcionar las respuestas” Palella Y Martins (2012, p. 129). Este permitirá encaminar la entrevista hacia los temas requeridos, llevando una guía estricta de preguntas a realizar.

3.7 Técnicas de análisis de datos

Cuando se aplique los instrumentos, y se realice la recolección de la información, en este caso la observación directa y la entrevista no estructurada, se procederá a la tabulación y análisis de los datos de acuerdo a las técnicas de la espina de pescado y el método de Vilchez. Luego, se registrarán en cuadros, cuyos resultados se ilustrarán en gráficas y de modo porcentual de manera que se perciban con mayor claridad los resultados obtenidos en la investigación. Por lo tanto, se utilizará una técnica de análisis cuantitativa. Por lo que se empleará el diagrama de Pareto o diagrama causa efecto; para dar a conocer las problemáticas más latentes.

3.8. Validación del instrumento

Para Palella y Martins (2006) “Validez se define como la ausencia de sesgos. Representa la relación entre lo que se mide y aquello que realmente se quiere medir” (p. 173). Es decir, si los resultados obtenidos con el instrumento concuerdan con la teoría o

con la creación que se quiere evaluar. La validez es una propiedad fundamental de cualquier instrumento de investigación, ya que de ella depende la calidad y la utilidad de los datos recogidos. Se establecen diferentes métodos para garantizar su evidencia:

- Validez de contenido: se refiere a la adecuación del instrumento para cubrir todos los aspectos del concepto o constructo que se quiere medir
- Validez de constructo: se refiere a la coherencia del instrumento con la teoría o el marco conceptual que sustenta el concepto o constructo que se quiere medir.
- Validez de criterio: se refiere a la relación del instrumento con alguna medida externa que sirva como referencia o estándar para el concepto o constructo que se quiere medir.

La validez de un instrumento de investigación es fundamental para garantizar la calidad y la confiabilidad de los resultados y las conclusiones de un estudio,

3.8 Fases de la investigación

Fase I: Definición de los parámetros más importantes que intervienen en el diseño de la máquina para obtener un granulado de urea óptimo.

Basándose en la revisión de antecedentes relacionados al presente trabajo se podrá determinar parámetros como el ángulo de inclinación óptimo para lograr un granulado de urea de alta calidad, evaluar los efectos de la velocidad en las propiedades del granulado, identificar los factores de seguridad que influyen en la eficiencia del proceso.

Fase II: Descripción de los cálculos teóricos de diseño de los principales elementos mecánicos que conforman la máquina granuladora de urea. Se procederá a brindar una explicación de los cálculos de diseño más importantes del sistema de granulado también se detallarán sus características fundamentales. De esta manera, se lograría obtener una comprensión clara del sistema de granulado de urea por tambor rotativo

Fase III: Modelar y ensamblar los elementos mecánicos en 3D de la máquina granuladora de urea, usando el software comercial CAD Solidwork.

Se llevará a cabo una explicación detallada de cada una de las partes que conforman este sistema para comprender su diseño y funcionamiento a fondo

Fase IV: Simular el diseño de la máquina granuladora de urea de tambor rotativo, usando herramientas modernas de diseño mecánico.

Se empleará un software de simulación especializado para generar una representación virtual del funcionamiento de la máquina, considerando los parámetros y variables pertinentes. A través de la simulación, se podrían examinar distintos escenarios y condiciones de operación con el fin de analizar el desempeño del software comercial.

Fase V: desarrollar el estudio de la viabilidad económica, social, técnica y operativa del proyecto.

Se realizará un análisis exhaustivo para determinar si el proyecto de diseño y simulación de dicha máquina es factible desde diferentes perspectivas, se consideran aspectos como los costos de diseños, fabricación y operación de la máquina, además de evaluar la disponibilidad y compatibilidad de los materiales y componentes necesarios, la viabilidad de los procesos de granulación por tambor rotativo, así como la capacidad de la máquina para cumplir con los estándares de calidad y eficiencia requeridos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En los capítulos anteriores se establecieron los parámetros técnicos, teóricos y metodológicos que dan sustento a la realización del proyecto, no obstante, en las siguientes páginas se presentan los resultados obtenidos durante la ejecución de las fases enunciadas anteriormente.

4.1 Definición de los parámetros que intervienen en el diseño de la máquina para obtener un granulado de urea óptimo

Para definir los parámetros que intervienen en el diseño se realizó una entrevista a tres expertos en el área, para así tener una visión de cuáles son las variables de trabajo. A continuación, los cuadros del 1 al 5 muestran los resultados

Cuadro 1 Expertos a entrevista

| N° | Nombre y Apellido | Cargo |
|----|--------------------------|----------|
| 1 | Ingeniero Tomas González | Gerente |
| 2 | José Marcano | Ayudante |
| 3 | Freddy Peña | Ayudante |

Autor: Longatt y Sandoval, (2023)

Cuadro 2

Entrevista estructurada

| RESULTADOS DE LA ENTREVISTA | | |
|-----------------------------|--|--|
| N | Tomas González | Fecha: 14-06-23 |
| | PREGUNTA | RESPUESTA |
| 1 | ¿Considera usted que el tamaño de la muestra (urea granulada) esté en el rango de 2 a 6 milímetros? | Sí, considero que el tamaño de la muestra de urea granulada está en el rango de 2 a 6 milímetros. Esto es consistente con las especificaciones estándar para este tipo de producto. |
| 2 | ¿Podrías explicar cómo influye el ángulo de inclinación del tambor rotativo | El ángulo de inclinación del tambor rotativo en una máquina granuladora de urea es crítico para el proceso de granulado. Este ángulo determina la velocidad y la dirección en la que los materiales se |

| | | |
|---|--|--|
| | de la maquina granuladora de urea y cuál es su importancia en el proceso de granulado? | desplazan dentro del tambor. Un ángulo adecuado puede facilitar la mezcla uniforme de los componentes y asegurar que los gránulos resultantes tengan el tamaño y |
| 3 | ¿Considera usted que la velocidad de giro del tambor rotativo de la máquina granuladora de urea afecta el proceso de granulado de urea? | Sí, la velocidad de giro del tambor rotativo tiene un impacto significativo en el proceso de granulado de urea. Una velocidad más alta del tambor generalmente resulta en una mayor fuerza centrífuga, lo que puede favorecer la formación de gránulos más pequeños y compactos. Por otro lado, una velocidad más baja puede dar como resultado gránulos más grandes y menos densos. Por lo tanto, ajustar la velocidad del tambor es esencial para controlar el tamaño y la calidad de los gránulos de urea producidos. |
| 4 | ¿Cuáles son los aspectos de seguridad y protección que se deben tener en cuenta en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo? ¿qué medidas se toman para garantizar la seguridad de los operadores? | Los operadores deben usar equipo de protección personal, que incluye gafas de protección, guantes resistentes a productos químicos y ropa de trabajo adecuada para minimizar el contacto con la urea y proteger la piel y los ojos. |
| 5 | ¿Qué medidas de seguridad y control se implementan en la | En muchas máquinas de granulación de urea, se utilizan sistemas de monitoreo automatizado que supervisan constantemente variables críticas como la |

| | | |
|---|--|--|
| | máquina, para supervisar el proceso de granulación de urea y asegurar la calidad del producto final? | temperatura, la velocidad de giro del tambor, la humedad y la presión. Estos sistemas alertan a los operadores o detienen automáticamente la máquina si se detecta alguna desviación de los parámetros preestablecidos. Esto asegura un control preciso del proceso y ayuda a prevenir problemas de calidad. |
| 6 | ¿Qué características técnicas se deben de tener en cuenta al seleccionar el operador de una maquina granuladora de urea de tambor rotativo para garantizar un rendimiento optimo? | Un operador eficiente de una máquina granuladora de urea debe tener un profundo conocimiento de la maquinaria en sí. Debe comprender cómo funciona el tambor rotativo, los controles y ajustes disponibles, y estar familiarizado con los procedimientos de arranque, operación y apagado. Esto asegura que el operador pueda realizar cambios necesarios en el proceso y solucionar problemas potenciales de manera efectiva. |

Autor: Longatt y Sandoval, (2023)

CUADRO 3 ENTREVISTA ESTRUCTURADA N°2

| RESULTADOS DE LA ENTREVISTA | | |
|------------------------------------|--|--|
| N° | José Marcano | Fecha:14-06-23 |
| 1 | ¿Considera usted que el tamaño de la muestra (urea granulada) este en el rango de 2 a 6 milímetros? | No puedo afirmar con certeza si el tamaño de la muestra de urea granulada está en el rango de 2 a 6 milímetros sin información adicional. Sería necesario realizar mediciones o pruebas específicas para determinar con precisión el tamaño de la muestra. |
| 2 | ¿Podrías explicar cómo influye el ángulo de inclinación del tambor | La importancia del ángulo de inclinación del tambor radica en su influencia en la eficiencia del proceso de granulado. Un |

| | | |
|-----------------|--|---|
| | <p>rotativo de la maquina granuladora de urea y cuál es su importancia en el proceso de granulado?</p> | <p>ángulo adecuado permite que los gránulos se muevan de manera constante y se distribuyan uniformemente a lo largo del tambor. Esto contribuye a una mayor homogeneidad en el tamaño de los gránulos y evita la formación de aglomerados no deseados. Además, el ángulo también afecta la velocidad de residencia de los materiales en el tambor, lo que puede influir en la velocidad de producción y el consumo de energía.</p> |
| <p>3</p> | <p>¿Considera usted que la velocidad de giro del tambor rotativo de la maquina granuladora de urea afecta el proceso de granulado de urea?</p> | <p>La velocidad de giro del tambor rotativo es un parámetro clave en el proceso de granulado de urea, ya que afecta la agitación y la interacción entre los materiales dentro del tambor. Una velocidad adecuada puede promover la distribución uniforme de la urea y los aditivos, lo que conduce a una mayor calidad y consistencia en los gránulos resultantes. Sin embargo, una velocidad inapropiada puede causar problemas como la formación de aglomerados o la desigualdad en el tamaño de los gránulos</p> |
| <p>4</p> | <p>¿Cuáles son los aspectos de seguridad y protección que se deben tener en cuenta en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo? ¿qué medidas</p> | <p>La seguridad en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo implica también la gestión adecuada de productos químicos. La urea es una sustancia química que puede representar riesgos para la salud si se inhala o se tiene contacto con la piel y los ojos. Por lo tanto, se deben proporcionar áreas de trabajo</p> |

| | | |
|----------|---|---|
| | se toman para garantizar la seguridad de los operadores? | adecuadamente ventiladas y se deben implementar procedimientos de manejo seguro de productos químicos, como el uso de sistemas de ventilación y duchas de seguridad en caso de exposición. También se deben tener en cuenta las precauciones para evitar incendios y explosiones si se utilizan calentadores o secadores en el proceso. |
| 5 | ¿Qué medidas de seguridad y control se implementan en la máquina, para supervisar el proceso de granulación de urea y asegurar la calidad del producto final? | Se deben instalar sensores y dispositivos de medición en la máquina para recopilar datos en tiempo real sobre el proceso. Estos sensores pueden incluir termómetros, medidores de humedad, y otros instrumentos relevantes. Los datos se registran y se utilizan para ajustar automáticamente las condiciones de operación y mantener la consistencia en la calidad del producto. |
| 6 | ¿Qué características técnicas se deben tener en cuenta al seleccionar el operador de una máquina granuladora de urea de tambor rotativo para garantizar un rendimiento óptimo? | La experiencia previa en procesos de granulación es una ventaja significativa. Un operador que haya trabajado en la granulación de urea o en procesos similares estará más familiarizado con los desafíos específicos y las mejores prácticas para obtener un rendimiento óptimo. La experiencia puede ayudar a evitar problemas comunes y a optimizar la producción. |

Autor: Longatt y Sandoval, (2023)

CUADRO 4 ENTREVISTA ESTRUCTURADA N°3

| RESULTADOS DE LA ENTREVISTA | | |
|------------------------------------|---|---|
| N° | Freddy Peña | Fecha:14-06-23 |
| 1 | ¿Considera usted que el tamaño de la muestra (urea granulada) este en el rango de 2 a 6 milímetros? | Si las especificaciones establecen que el tamaño de la muestra debe estar en ese rango, entonces es importante verificar si se cumple con dichas especificaciones mediante pruebas adecuadas. |
| 2 | ¿Podrías explicar cómo influye el ángulo de inclinación del tambor rotativo de la maquina granuladora de urea y cuál es su importancia en el proceso de granulado? | el ángulo de inclinación del tambor rotativo en una máquina granuladora de urea desempeña un papel esencial en la calidad y la eficiencia del proceso de granulado. Un ángulo adecuado permite una distribución uniforme de los materiales y una producción más eficiente de gránulos de urea de alta calidad. Por lo tanto, es importante ajustar y controlar este ángulo de manera precisa para optimizar el rendimiento de la máquina y garantizar la consistencia en la producción de urea granulada. |
| 3 | ¿Considera usted que la velocidad de giro del tambor rotativo de la maquina granuladora de urea afecta el proceso de granulado de urea? | Definitivamente, la velocidad de giro del tambor rotativo es un factor crítico en el proceso de granulado de urea. Esta velocidad influye en la intensidad de la mezcla y la formación de gránulos. Si es demasiado baja, puede resultar en una mezcla deficiente y una producción ineficiente. Por lo tanto, es esencial controlar y ajustar cuidadosamente la |

Continuación cuadro 4

| | | |
|----------|---|--|
| | | <p>velocidad del tambor para optimizar el proceso de granulado de urea.</p> |
| 4 | <p>¿Cuáles son los aspectos de seguridad y protección que se deben tener en cuenta en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo? ¿qué medidas se toman para garantizar la seguridad de los operadores?</p> | <p>La seguridad en el proceso de granulado de urea también implica la formación y el entrenamiento de los operadores. Los trabajadores deben estar familiarizados con los procedimientos de seguridad, conocer los riesgos potenciales y saber cómo responder a situaciones de emergencia. Además, se deben llevar a cabo inspecciones regulares de la maquinaria y equipos para garantizar su funcionamiento seguro y confiable. La capacitación continua y la promoción de una cultura de seguridad en el lugar de trabajo son aspectos clave para proteger a los operadores y prevenir accidentes en el proceso de granulado de urea.</p> |
| 5 | <p>¿Qué medidas de seguridad y control se implementan en la máquina, para supervisar el proceso de granulación de urea y asegurar la calidad del producto final?</p> | <p>En algunas máquinas de granulación, se implementan sistemas de control de calidad en línea que realizan análisis continuos de las características de los gránulos producidos. Estos sistemas pueden utilizar técnicas como la espectroscopia o la visión artificial para detectar irregularidades en el tamaño, la forma o la composición de los gránulos. Si se detecta alguna anomalía, se pueden tomar medidas correctivas en tiempo real para mantener la calidad del producto dentro de los estándares deseados.</p> |

Continuación cuadro 4

| | | |
|----------|--|--|
| 6 | ¿Qué características técnicas se deben de tener en cuenta al seleccionar el operador de una maquina granuladora de urea de tambor rotativo para garantizar un rendimiento optimo? | Debe de tener habilidades de mantenimiento Preventivo, mantener la máquina en buen estado es esencial para un rendimiento óptimo. Un operador que tenga habilidades de mantenimiento preventivo puede identificar y abordar problemas menores antes de que se conviertan en problemas mayores. Esto reduce el tiempo de inactividad no planificado y contribuye a una operación más eficiente. |
|----------|--|--|

Autor: Longatt y Sandoval, (2023)

CUADRO 5 ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS ESTRUCTURADAS

| ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS | | |
|------------------------------------|---|--|
| N° | PREGUNTAS | RESPUESTAS |
| 1 | ¿Considera usted que el tamaño de la muestra (urea granulada) este en el rango de 2 a 6 milímetros? | Los expertos afirman que es un excelente rango de tamaño y pudimos tomar la decisión que el tamaño será de 4mm, ya que Las propiedades físicas y químicas de la urea granulada, como su solubilidad, capacidad de dispersión y velocidad de liberación de nutrientes, pueden verse afectadas por el tamaño de la muestra. Por lo tanto, es importante considerar estas propiedades al seleccionar el tamaño adecuado |
| 2 | ¿Podrías explicar cómo influye el ángulo de inclinación del tambor rotativo de la maquina granuladora de urea y cuál es su importancia en el proceso de granulado? | En resumen, el ángulo de inclinación del tambor rotativo es un parámetro crítico en una máquina granuladora de urea, ya que afecta la mezcla, la agitación, la retención de materiales y el tiempo de residencia en el proceso de granulación. Ajustar este ángulo de manera adecuada es esencial para lograr una producción eficiente y la |

Continuación cuadro 5

| | | |
|---|---|---|
| | | <p>calidad deseada de los gránulos de urea. Tomando la decisión que el Angulo ideal será de 30°</p> |
| 3 | <p>¿Considera usted que la velocidad de giro del tambor rotativo de la maquina granuladora de urea afecta el proceso de granulado de urea?</p> | <p>En conclusión, la velocidad de giro del tambor rotativo es un parámetro crítico que impacta en la calidad, la eficiencia y otros aspectos del proceso de granulación de urea. Se debe ajustar cuidadosamente para lograr los objetivos deseados en términos de tamaño de gránulo, tomando la decisión de asumir una velocidad de 21 RPM</p> |
| 4 | <p>¿cuáles son los aspectos de seguridad y protección que se deben tener en cuenta en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo? ¿qué medidas se toman para garantizar la seguridad de los operadores?</p> | <p>En resumen, la seguridad en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo es fundamental y debe abordarse de manera integral. La combinación de medidas de seguridad físicas, capacitación de operadores y cumplimiento de regulaciones contribuirá a minimizar los riesgos y garantizar la protección de los trabajadores involucrados en este proceso.</p> <p>Protección contra Atrapamiento y Aplastamiento.</p> <p>Ventilación y Control de Polvo, Protección Auditiva, Capacitación y Conciencia de Seguridad, Mantenimiento Preventivo y equipamiento de emergencia.</p> |

Continuación cuadro 5

| | | |
|---|---|--|
| 5 | <p>¿Qué medidas de seguridad y control se implementan en la máquina, para supervisar el proceso de granulación de urea y asegurar la calidad del producto final?</p> | <p>En conjunto, estas medidas de seguridad y control se implementan para supervisar y optimizar el proceso de granulación de urea, asegurando que los gránulos producidos cumplan con los estándares de calidad requeridos y que la operación de la máquina se realice de manera segura y eficiente para ello tenemos:</p> <p>Capacitación de Operadores, Mantenimiento Preventivo, Protección contra Sobrecargas, Inspección Visual y Control de Calidad, Sensores y Sistemas de Control Automático, Monitoreo de Parámetros.</p> <p>Se realizan seguimientos constantes de parámetros críticos, como la velocidad del tambor, la temperatura, la humedad y la presión, para garantizar que estén dentro de los rangos especificados.</p> |
| 6 | <p>¿Qué características técnicas se deben de tener en cuenta al seleccionar el operador de una maquina granuladora de urea de tambor rotativo para garantizar un rendimiento optimo?</p> | <p>En resumen, seleccionar al operador adecuado para una máquina granuladora de urea de tambor rotativo implica considerar su experiencia, conocimiento técnico, habilidades de resolución de problemas, atención al detalle y capacidad para cumplir con los procedimientos y regulaciones de seguridad. Un operador competente contribuirá de manera significativa a un rendimiento óptimo y calidad de los gránulos producidos.</p> |

Autor: Longatt y Sandoval, (2023)

Se utilizó una libreta de nota para obtener los datos suministrados por el Ing. Tomás González.

4.2 Libreta de nota

| Fecha | | Nombre y Apellido |
|------------|---|---|
| 10/08/2023 | | Tomás González |
| N° | Pregunta | Respuesta |
| 1 | Dimensiones y geometría del tambor | Geometría circular con un diámetro de 1.5m y 50cm de alto con un calibre de lámina de 5mm y un eje soldado de |
| 2 | Dimensiones de la cinta transportadora | 4m de largo con un desnivel 1.5m y una inclinación de 20.55 grados |
| 3 | Dimensiones y geometría de la base móvil | Geometría rectangular de 80x55 cm |
| 4 | Dimensiones y geometría de la base estática | Geometría cuadrada de 100x100 cm, con tubo de acero estructural de 10x10cm |
| 5 | Dimensiones de la tolva | Dimensión de entrada cuadrada de 30x30 cm y reducción en la salida de 20.2x20.2 cm |
| 6 | Dimensión del orificio de malla de selección del granulado | 4mm |
| 7 | Tipo de material de tambor | Acero al carbono 1023 |
| 8 | Tipo de recubrimiento del tambor | Recubrimiento interno epóxido, recubrimiento primer HS y pintura a base de aceite |
| 9 | Tipo de pintura de la base estática | recubrimiento primer HS y pintura a base de aceite |
| 10 | Recomendación de la marca para la selección del motor | WEG |
| 11 | Recomendación de la marca para la selección de los rodamientos | SKF |
| 12 | Medio de unión del tambor al motor eléctrico | Acople mecánico |
| 13 | Modo de unión del motor a la base móvil de la máquina granuladora | Mediante tornillos |
| 14 | Capacidad de producción de la maquina granuladora | 500kg por hora |
| 15 | Tipo de alimentación a la tolva | Alimentación manual |
| 16 | Tipo de raspador de la maquina granuladora | Raspador manual |

| | | |
|----|--|---|
| 17 | Tipo de material de la base estática | Acero al carbono 1023 |
| 18 | Cantidad de aglutinante por unidad de urea | 20% de agua por unidad de urea, suministrado por un rociador mediante una tubería de PVC de 0.5 pulgada con una presión de 0.7bar y una capacidad de 0.2l/m |
| 19 | Temperatura de trabajo | Temperatura ambiente, 25grados aproximadamente |

Autor: Longatt y Sandoval, (2023)

Posteriormente se procede a seleccionar el ángulo de inclinación mediante el mismo método de Vílchez.

Cuadro N° 6. Alternativas para la selección

| ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 |
|--|---|---|
| Angulo de 20 grados | Angulo de 30 grados | Angulo de 40 grados |
| VENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Menor Retención del Material ○ Menor Desgaste en la Máquina | VENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Optimización de la Distribución de Agua ○ Mejor Flujo del Material | VENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ mejor control sobre la calidad ○ facilita la descarga de los gránulos de urea |
| DESVENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Posibilidad de Segregación del Material ○ Requerimientos de Espacio Adicional | DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> ○ aumenta la complejidad del diseño ○ Posibles Problemas de Estabilidad | DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> ○ Mayor Consumo de Energía ○ Limitaciones en la Velocidad de Proceso |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de criterios (C) y de restricciones (R) para la selección del tamaño de granulo más conveniente.

Cuadro 7. Criterios y Restricciones

| CRITERIOS (C) | RESTRICCIONES (R) |
|--|------------------------------|
| C1 Eficiencia de Granulación | R1 Espacio en la instalación |
| C2 Control de Tamaño de Gránulo | R2 Homogeneidad de la mezcla |
| C3 soportar las condiciones de operación | R3 Consumo de Energía |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

Una vez elaborado el cuadro con los criterios y restricciones se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver tabla 1)

Cuadro 8. Comparación de Restricciones vs Alternativas

| | | POSIBLES SOLUCIONES | | |
|---------------|----|---------------------|------|-------|
| | | A I | A II | A III |
| RESTRICCIONES | R1 | SI | SI | SI |
| | R2 | SI | SI | NO |
| | R3 | SI | SI | NO |
| | | | | |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Se puede observar que la posible solución que no cumple con al menos una de las restricciones establecidas, es la A III. En conclusión, las alternativas AI y AII, serán evaluadas mediante el método de ponderación de criterios (ver tabla 2).

Cuadro 9 Ponderación de Criterios

| CRITERIOS | DESCRIPCIÓN | ORDEN DE IMPORTANCIA |
|-----------|---------------------------------------|----------------------|
| C3 | soportar las condiciones de operación | 1 |
| C2 | Control de Tamaño de Gránulo | 4 |
| C1 | Eficiencia de Granulación | 5 |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Cuadro 10 Parámetros de Puntuación

| PUNTUACIÓN | PARÁMETROS |
|-------------------|--|
| 1 | No cumple el criterio a evaluar |
| 2 | No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio |
| 3 | Cumple totalmente con el criterio a evaluar |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Cuadro 11 Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección

| | C1 | C2 | C3 |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| A I | 3 | 3 | 3 |
| AII | 2 | 3 | 2 |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Cuadro 12 Evaluación de soluciones

| EVALUAR SOLUCIONES | TOTAL, DE PUNTOS |
|---------------------------|-------------------------|
| A II | $3X5+3X4+3X1$ 30 |
| A III | $2X5+3X4+2X1$ 24 |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Por lo tanto, Se concluye que la mejor solución es el ángulo de inclinación de 30 grados, ya que es la que satisface los criterios debido a que posee el puntaje más alto. Por lo que los demás ángulos quedan descartados.

Se procedió a seleccionar el tipo de tamaño de grano más conveniente. Para ello se aplicó el método Vilchez.

Cuadro N° 13. Alternativas para la selección

| ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tamaño 4 mm | Tamaño 5mm | Tamaño 6 mm |
| VENTAJA | VENTAJA | VENTAJA |

| | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Manejo más Sencillo. ○ Menor Riesgo de Pérdidas durante la Aplicación. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Menor Volatilización del Nitrógeno ○ Mejor Almacenamiento | <ul style="list-style-type: none"> ○ Distribución más Uniforme en el Suelo ○ Menor Formación de Polvo |
| <p>DESVENTAJA</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Menor Superficie de Contacto con el Suelo ○ Posible Necesidad de Mayor Tiempo para la Absorción de Nutrientes | <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Velocidad de Disolución más Lenta ○ Requiere Mayor Espaciamiento en la Aplicación | <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Posibilidad de Compactación del Suelo ○ Posible Desperdicio de Nutrientes en Superficies No Deseadas |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de criterios (C) y de restricciones (R) para la selección del tamaño de granulo más conveniente.

Cuadro 14. Criterios y Restricciones

| CRITERIOS (C) | RESTRICCIONES (R) |
|---------------------------------------|--|
| C1 Tamaño Uniforme de los Gránulos | R1 Tolerancias de Tamaño |
| C2 Contenido de Nutrientes Específico | R2 Control de la Humedad |
| C3 Baja Generación de Polvo | R3 Eficiencia Energética durante el proceso de granulado |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

Una vez elaborado el cuadro con los criterios y restricciones se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver tabla 1)

Cuadro 15 Comparación de Restricciones vs Alternativas

| RESTRICCIONES | POSIBLES SOLUCIONES | | |
|---------------|---------------------|------|-------|
| | A I | A II | A III |
| R1 | SI | SI | SI |
| R2 | SI | SI | SI |
| R3 | SI | SI | NO |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Se puede observar que la posible solución que no cumple con al menos una de las restricciones establecidas, es la A III. En conclusión, las alternativas AI y AII, serán evaluadas mediante el método de ponderación de criterios (ver tabla 2).

Cuadro 16 Ponderación de Criterios

| CRITERIOS | DESCRIPCIÓN | ORDEN DE IMPORTANCIA |
|-----------|------------------------------------|----------------------|
| C3 | Baja Generación de Polvo | 1 |
| C2 | Contenido de Nutrientes Específico | 3 |
| C1 | Tamaño Uniforme de los Gránulos | 5 |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Cuadro 17 Parámetros de Puntuación

| PUNTUACIÓN | PARÁMETROS |
|------------|--|
| 1 | No cumple el criterio a evaluar |
| 2 | No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio |
| 3 | Cumple totalmente con el criterio a evaluar |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Cuadro 18 Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección

| | C1 | C2 | C3 |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| A I | 3 | 3 | 3 |
| AII | 3 | 3 | 2 |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Cuadro 19 Evaluación de soluciones

| EVALUAR SOLUCIONES | TOTAL, DE PUNTOS |
|---------------------------|--|
| A I | $3 \times 5 + 3 \times 3 + 3 \times 1$ 27 |
| A II | $3 \times 5 + 3 \times 3 + 2 \times 1$ 26 |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Por lo tanto, Se concluye que la mejor solución es el 4mm, ya que es la que satisface los criterios debido a que posee el puntaje más alto. Por lo que los demás tamaños quedan descartados.

Se procedió a seleccionar el tipo de tamaño de grano más conveniente. Para ello se aplicó el método Vilchez.

Cuadro 20 Alternativas para la selección

| ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 |
|---|---|---|
| Velocidad de 10 rpm | Velocidad de 15 rpm | Velocidad de 21 rpm |
| VENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Mayor Eficiencia Energética ○ Mejor Control del Proceso | VENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Reducción de Pérdidas de Material ○ Menos Desgaste y Mantenimiento | VENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Eficiencia en la Granulación ○ Control Preciso del Tamaño de Gránulo |
| DESVENTAJA <ul style="list-style-type: none"> ○ Sensibilidad a Variaciones en la Materia Prima ○ Complejidad en el Control | DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> ○ Requerimientos de Monitoreo Constante ○ podría generar un exceso de calor | DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> ○ Requerimientos de Monitoreo Constante ○ ajustes continuos para mantener un rendimiento óptimo |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de criterios (C) y de restricciones (R) para la selección del tamaño de granulo más conveniente.

Cuadro 21 Criterios y Restricciones

| CRITERIOS (C) | RESTRICCIONES (R) |
|---|---|
| C1 Eficiencia de la Granulación | R1 Límites de Calor Generado |
| C2 Control Preciso del Tamaño de Gránulo | R2 Complejidad del Sistema de Control |
| C3 adaptable a posibles variaciones | R3 sensibilidad a cambios en la carga de trabajo |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

Una vez elaborado el cuadro con los criterios y restricciones se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver cuadro 22)

Cuadro 22 Comparación de Restricciones vs Alternativas

| RESTRICCIONES | POSIBLES SOLUCIONES | | | |
|----------------------|----------------------------|-------------|--------------|--|
| | A I | A II | A III | |
| R1 | SI | SI | SI | |
| R2 | SI | NO | SI | |
| R3 | NO | SI | SI | |

Fuente: Longatt y Sandoval (2023)

Se puede observar que las posibles soluciones que no cumple con al menos una de las restricciones establecidas, es la AI y AII. En conclusión, las alternativas AIII será la solución adecuada, que sería una velocidad de 21 RPM

4.3 Descripción de los cálculos teóricos de los principales elementos mecánicos que conforman las máquinas granuladoras de urea

4.3.1 Diseño de cinta transportadora

Se iniciará el diseño de la cinta transportadora conociendo los datos suministrados por el ingeniero Tomás González anteriormente en la libreta de notas

Flujo masico: 0,5T/h

Urea en polvo (cristales)

Longitud de la cinta transportadora: 4m

Desnivel: 1.5m

Condiciones de trabajo estándar

Dos turnos 8h c/u por día

- **Calculando del ángulo de inclinación de la banda**

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Altura}}{\text{Longitud}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1.5m}{4m} \right)$$

$$\delta = 20.55^\circ$$

- Se buscarán las propiedades del granito triturado en tablas

Material: urea en forma de cristal (asumiendo cenizas para el diseño)

Seleccionamos el menor Angulo del rango (35° - 40°)

Tabla 1. Características del material

Peso específico aparente, abrasividad, ángulo de reposo y ángulo de sobrecarga dinámica de los materiales. Máxima inclinación recomendable del transportador, en función del tipo de material. Datos orientativos

| MATERIAL | | Peso específico kg/m ³ | Máxima inclinación recomendable | Abrasi-vidad | Angulo de reposo del material | Angulo de sobrecarga dinámica |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tipo | Condición | Grados | | | Grados | Grados |
| Canto rodado | Mojado | 2 000 | 12-14 | P. A. | 10-20 | 5 |
| Caucho | Pelletizado | 800-900 | 22 | N. A. | 32 | 10-20 |
| Caucho regenerado | Trozos | 400-500 | 18 | N. A. | 32 | 10-20 |
| Cenizas | Carbón, mojadas | 750 | 25 | N. A. | 35-40 | 25 |
| | Carbón, secas | 600 | 23 | N. A. | 35-40 | 20 |
| | Aerizadas | 600-700 | 23 | N. A. | 30-35 | 30 |
| Coque | De petróleo | 650 | 18-20 | A. | 30-35 | 20 |
| Corleza | De tronco | 240 | 27 | P. A. | 40 | 30 |
| Café | Grano verde < 7 mm | 500 | 10,15 | N. A. | 25 | 10 |
| Carbonato de sodio | Briquetas < 12 mm | 800 | 7 | P. A. | 22 | 5-10 |
| | Pesado < 3 mm | 1 000 | 19 | P. A. | 32 | 10-20 |
| | Fino | 400-600 | 22 | P. A. | 37 | 20 |
| Dolomita | Terrón | 1 400-1 600 | 22 | M. A. | 20-30 | 10 |
| Escorias | De alto horno | 1 000-1 400 | 20-22 | A. | 25-30 | 10 |
| | De fundición granular | 1 000 | 15 | A. | 25 | 10 |
| Espatofluor | Fluorita | 1 700 | 20 | A. | 35-40 | 30 |
| Feldespato | Terrón < 70 mm | 1 400-1 800 | 17 | M. A. | 35 | 25 |
| Fosfato de sodio | Super, molido | 840 | 30 | P. A. | 40 | 30 |
| | Roca pulverizada | 960 | 25 | P. A. | 35 | 25 |
| | Trozos | 1 300 | 14 | A. | 20-30 | 10 |
| Grafito | Copos | 650 | 15 | P. A. | 20 | 10 |
| Granito | Trozos < 70 mm | 1 500 | 18 | M. A. | 20-30 | 10 |

Fuente: Rulli Rulmecca (2010)

$$\text{Peso específico } (q_s) \rightarrow q_s = 0.75 \text{ Ton}/m^3$$

Maxima inclinacion recomendable = 25°

Abrasividad del material = no aplica

Angulo de reposo del material = 35°

Se seleccionará el ángulo de sobrecarga de 25° de la Tabla 2

Fluidez: elevada

Tabla 2. Selección de ángulo de sobrecarga dinámica

| Fluidez | | | | | Perfil en la banda plana |
|------------------------------|---------|--------|--------|-----------|--------------------------|
| Muy elevada | Elevada | Media | Baja | | |
| Ángulo de sobrecarga β | | | | | |
| 5° | 10° | 20° | 25° | 30° | β |
| | | | | | |
| Ángulo de reposo | | | | | |
| 0-19° | 20-29° | 30-34° | 35-39° | 40° y más | otros |

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

4.3.2 Búsqueda de ancho de banda y velocidad máxima

Con una granulometrica maxima de 50 mm (se asume uniforme)

El material pertenece al grupo C, según puede verse en la Tabla 2. Se selecciona la velocidad máxima

$$V = 2 \text{ m/s}$$

4.3.3 Calculo capacidad de transporte volumétrica

Se consideran los factores de corrección por ser una banda inclinada

$$I_M = \frac{I_V}{q_s} \quad [m^3/h]$$

Donde:

$$I_V = \text{capacidad de transporte de la banda } Ton/h$$

$$q_s = \text{peso específico del material}$$

Tabla 3 velocidad máxima aconsejable

| Tamaño dimensiones máximas | | Banda ancho mín mm | velocidad max | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------|------|------|------|
| uniforme hasta mm | mixto hasta mm | | A m/s | B | C | D |
| 50 | 100 | 400 | 2.5 | 2.3 | 2 | 1.65 |
| 75 | 150 | 500 | | | | |
| 125 | 200 | 650 | 3 | 2.75 | 2.38 | 2 |
| 170 | 300 | 800 | 3.5 | 3.2 | 2.75 | 2.35 |
| 250 | 400 | 1000 | 4 | 3.65 | 3.15 | 2.65 |
| 350 | 500 | 1200 | | | | |
| 400 | 600 | 1400 | 4.5 | 4 | 3.5 | 3 |
| 450 | 650 | 1600 | | | | |
| 500 | 700 | 1800 | 5 | 4.5 | 3.5 | 3 |
| 550 | 750 | 2000 | | | | |
| 600 | 800 | 2200 | 6 | 5 | 4.5 | 4 |

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Entonces

$$I_M = \frac{I_V}{q_s} = \frac{0.5 \text{ Ton/h}}{0.75 \text{ Ton/m}^3} \rightarrow I_M = 0.66 \text{ m}^3/h$$

Capacidad de transporte teórica en volumen para una velocidad de 1 m/s

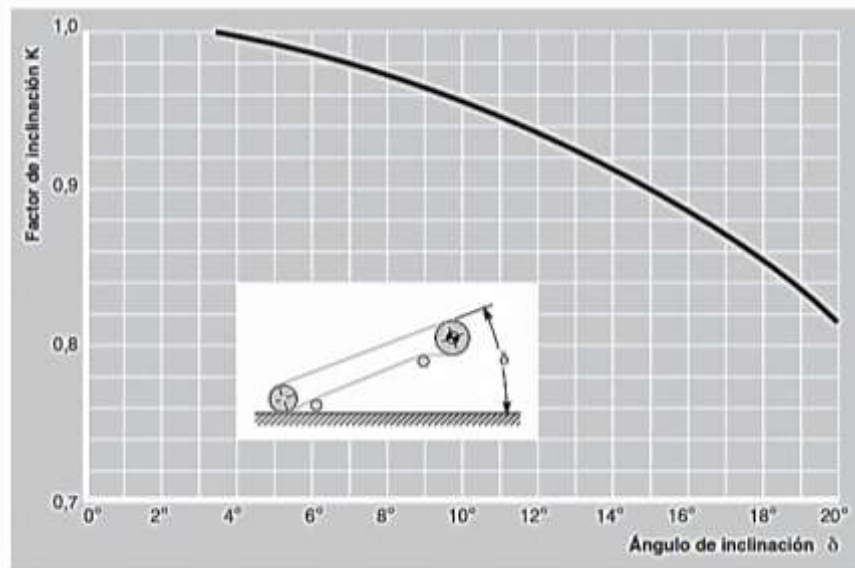
$$I_{VT} = \frac{I_M}{V \cdot K \cdot K_1}$$

Se obtiene

Factores de corrección

Factor de inclinación, K

Figura 6 velocidad máxima aconsejable



Fuente: Rulli Rulmea(2010)

De la figura, con el ángulo de inclinación igual a 20.55° se obtiene:

$$K=0.816$$

Factor de corrección debido a la irregularidad de alimentación, K_1

- $K_1 = 1$ para alimentación regular
- $K_1 = 0.95$ para alimentación poco regular
- $K_1 = 0.90 - 0.80$ para alimentación muy irregular

Assumiendo alimentación regular se obtiene $K_1 = 1$

Ahora,

$$I_{VT} = \frac{I_M}{V \cdot K \cdot K_1} = \frac{0.66 \text{ m}^3/h \times 1 \text{ m/s}}{(2 \text{ m/s}) \cdot (0.816) \cdot (1)} = 0.40 \text{ m}^3/h$$

Haciendo uso de la tabla 5, se escoge el ancho de banda necesario para un ángulo de sobrecarga de 25° y $I_{VT} = 0.40 \text{ m}^3/h$. se asume un ángulo de la estación (ángulo de apertura) de 30°, además se escoge una estación de 3 rodillos

Tabla 4 ancho de banda

| volumétricas con estaciones de 3 rodillos para $v = 1 \text{ m/s}$ | | | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Ancho banda mm | Ángulo de sobrecarga β | lvt m ³ /h | | | | |
| | | $\lambda = 20^\circ$ | $\lambda = 25^\circ$ | $\lambda = 30^\circ$ | $\lambda = 35^\circ$ | $\lambda = 45^\circ$ |
| 300 | 5° | 13.3 | 15.1 | 17.2 | 18.7 | 21.6 |
| | 10° | 16.9 | 18.7 | 20.5 | 21.6 | 24.4 |
| | 20° | 24.4 | 26.2 | 27.7 | 28.8 | 30.6 |
| | 25° | 27.7 | 30.2 | 31.6 | 32.4 | 33.8 |
| | 30° | 33.4 | 34.9 | 36.0 | 36.3 | 37.8 |
| 400 | 5° | 28.0 | 32.4 | 36.6 | 39.6 | 45.7 |
| | 10° | 35.2 | 29.2 | 43.2 | 45.3 | 51.4 |
| | 20° | 50.4 | 54.3 | 57.2 | 59.4 | 66.3 |
| | 25° | 56.8 | 62.2 | 65.1 | 66.6 | 69.8 |
| | 30° | 67.7 | 70.9 | 73.4 | 74.5 | 77.0 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se selecciona un ancho de banda de 300mm

Paso de las estaciones

Con un ancho de banda de 300 mm y un peso específico de $0.75 \text{ Ton}/\text{m}^3$ se va a la tabla 4

Tabla 5 Paso máximo aconsejable de las estaciones

| Ancho banda m | Paso de las estaciones ida peso específico del material a transportar t/m ³ | | | retorno m |
|---------------------|--|----------------|------------|--------------|
| | < 1.2 m | 1.2 ÷ 2.0 m | > 2.0 m | |
| | 300 | 1.65 | 1.50 | |
| 400 | | | | |
| 500 | | | | |
| 650 | | | | |
| 800 | 1.50 | 1.35 | 1.25 | 3.0 |
| 1000 | 1.35 | 1.20 | 1.10 | 3.0 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Y se obtiene:

Paso para estaciones de ida

$$a_o = 1,65 \text{ m}$$

Paso para estaciones de retorno

$$a_U = 3 \text{ m}$$

Elección de los rodillos

Se calculará el diámetro de los rodillos

Con $\begin{cases} \text{Ancho de banda} \rightarrow N = 300 \text{ mm} \\ \text{Velocidad} = 2 \text{ m/s} \end{cases}$ se va la tabla 7

Tabla 6 diámetro de rodillo aconsejable

| Ancho banda mm | Para velocidad $\leq 2 \text{ m/s}$ | | $2 \div 4 \text{ m/s}$ | | $\geq 4 \text{ m/s}$ | | | |
|-------------------|--|-----|------------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|
| | Ø rodillos mm | | Ø rodillos mm | | Ø rodillos mm | | | |
| 500 | 89 | | 89 | | | | | |
| 650 | 89 | | 89 | 108 | | | | |
| 800 | 89 | 108 | 89 | 108 | 133 | 133 | | |
| 1000 | 108 | 133 | 108 | 133 | | 133 | 159 | |
| 1200 | 108 | 133 | 108 | 133 | 159 | 133 | 159 | |
| 1400 | 133 | 159 | 133 | 159 | | 133 | 159 | |
| 1600 | 133 | 159 | 133 | 159 | 194 | 133 | 159 | 194 |
| 1800 | 159 | 159 | 194 | 159 | 194 | | | |
| 2000 | 159 | 194 | | 159 | 194 | | 159 | 194 |
| 2200 y superior | 194 | | | 194 | | | 194 | |

En caso de que se indicaran más diámetros, se elegirá en función del tamaño del material y de la dificultad de las condiciones de empleo.

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Como no se tiene el ancho de banda de 300mm, se toma el inmediato superior, obteniendo así:

$$\phi_{\text{rodillos}} = 89 \text{ mm}$$

Velocidad de giro de los rodillos

$$n = \frac{V \cdot 1000 \cdot 60}{D \cdot \pi}$$

Donde

$D =$ diámetro del rodillo [mm]

$V =$ velocidad de la banda [m/s]

$$n = \frac{(2 \text{ m/s}) \cdot 1000 \cdot 60}{(89 \text{ mm}) \cdot \pi} \rightarrow n = 429,18 \text{ RPM}$$

Carga sobre los rodillos

Carga estática en las estaciones de ida

$$C_a = a_o \cdot \left(q_b + \frac{I_v}{3,6 \cdot V} \right) \cdot 0,981 \text{ [daN]}$$

Donde

$a_o =$ paso de las estaciones de ida [m]

$$q_b = \text{peso de la banda por metro lineal} \left[\frac{kg}{m} \right]$$

$$I_v = \text{capacidad de transporte de la banda} \left[\frac{Ton}{h} \right]$$

$$V = \text{velocidad de la banda} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Se obtiene:

Peso de la banda por metro lineal, q_b

Se asume la carga de rotura de la banda más baja de $200 \frac{N}{mm}$, para una banda reforzada con productos textiles (EP). Con ese dato, se va a la tabla 7

Tabla 7 peso de núcleo de banda

| Carga de rotura de la banda N/mm | Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m ² | Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m ² |
|-------------------------------------|---|---|
| 200 | 2.0 | - |
| 250 | 2.4 | - |
| 315 | 3.0 | - |
| 400 | 3.4 | - |
| 500 | 4.6 | 5.5 |
| 630 | 5.4 | 6.0 |
| 800 | 6.6 | 8.5 |
| 1000 | 7.6 | 9.5 |
| 1250 | 9.3 | 10.4 |
| 1600 | - | 13.5 |
| 2000 | - | 14.8 |
| 2500 | - | 18.6 |
| 3150 | - | 23.4 |

Los pesos del núcleo de la banda reforzadas con productos textiles o metálicos se dan a título indicativo en relación con la clase de resistencia.

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Con ese dato se obtiene el peso del núcleo de la banda q_{bn}

$$q_{bn} = 2 \frac{Kg}{m^2}$$

Del manual de PHOENIX, se hace uso de la tabla 8. Se tomarán correas con carcasa textil con revestimiento superior

Se obtiene como resultado:

cubierta superior de 4 mm e inferior de 2 mm

Entonces:

$$q_b = q_{bn} + 1,15 (\text{revestimiento superior} + \text{revestimiento inferior})$$

$$q_b = 2 \frac{Kg}{m^2} + 1,15 (4 \text{ mm} + 2 \text{ mm})$$

$$q_b = 8,9 \text{ Kg/m}$$

Tabla 8 espesores de la cubierta

| Tipo de correa | Uso | Material transportado | Cubierta superior | Cubierta de retorno |
|-----------------------------|--|--|-------------------|---------------------|
| Correas con carcasa textil | Correas transportadoras móviles | Material fino Material liviano | 2 | 1 |
| | Plantas de carga y descarga y plantas donde se transporta carbón mineral | Carbón mineral, potasio, gravilla, arena, mineral fino | 2 a 4 | 2 |
| | Plantas de carga y descarga, pozos de gravilla, canteras | Trozos de carbón mineral, rocas, gravilla áspera, mineral, peso excesivo | 4 a 8 | 2 a 3 |
| | Excavadoras y cargadores, chancadores | Trozos de roca grandes, mineral y peso excesivo | 8 a 16 | 3 a 4 |
| Correas con cables de acero | Plantas de carga y descarga y plantas donde transporta carbón mineral | Carbón mineral, potasio, gravilla, arena, mineral fino | 4 a 8 | 4 a 6 |
| | Plantas de carga y descarga, minas de carbón, canteras | Trozos de carbón mineral, rocas, gravilla áspera, mineral, peso excesivo | 6 a 12 | 4 a 8 |
| | Excavadoras y cargadores, chancadores | Trozos de roca, mineral, carbón y peso excesivo | 10 a 20 | 6 a 10 |

Fuente: PHOENIX

Ahora,

$$C_a = 1,65 \text{ m} \cdot \left(8,9 \text{ Kg/m} + \frac{0,5 \text{ Ton/h}}{3,6 \cdot 2 \text{ m/s}} \right) \cdot 0,981 \rightarrow C_a = 14,51 \text{ daN}$$

Carga dinámica en la estación de ida

$$C_{a1} = C_a \cdot F_d \cdot F_s \cdot F_m$$

Donde

F_d = factor de choque

F_s = factor de servicio

F_m = factor ambiental

Se obtiene

factor de choque, F_d

Para un tamaño de material máximo de 50 mm y una velocidad de la banda igual a 2 m/s, con estos datos y la tabla 10. Se obtiene el factor de choque.

Tabla 9 factor de choque

| Tamaño del material | Velocidad de la banda m/s | | | | | | |
|---|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 5 | 6 |
| 0 ÷ 100 mm | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 100 ÷ 150 mm | 1.02 | 1.03 | 1.05 | 1.07 | 1.09 | 1.13 | 1.18 |
| 150 ÷ 300 mm en estrato de material fino | 1.04 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.16 | 1.24 | 1.33 |
| 150 ÷ 300 mm sine estrato de material | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.16 | 1.21 | 1.35 | 1.50 |
| 300 ÷ 450 mm | 1.20 | 1.32 | 1.50 | 1.70 | 1.90 | 2.30 | 2.80 |

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Se obtiene como resultado $F_d = 1$

factor de servicio, F_s

Como las condiciones de trabajo son estándar de 2 turnos de 8 h c/u por día, se va a la tabla 10

Tabla 10 factor de servicio

| Duración | F_s |
|-------------------------|-------|
| Menos de 6 horas al día | 0.8 |
| De 6 a 9 horas al día | 1.0 |
| De 10 a 16 horas al día | 1.1 |
| Más de 16 horas al día | 1.2 |

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Obteniendo $F_s = 1.1$

factor ambiental, F_m

Se asume las condiciones de operación como “limpio y con mantenimiento regular”

Tabla 11 factor ambiental

| Condiciones | Fm |
|--|-----|
| Limpio y con mantenimiento regular | 0.9 |
| Con presencia de material abrasivo o muy corrosivo | 1.0 |
| Con presencia de material muy abrasivo o corrosivo | 1.1 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se obtiene $F_m = 0.9$

Ahora sí, se calculará la carga dinámica

$$C_{a1} = C_a \cdot F_d \cdot F_s \cdot F_m$$

$$C_{a1} = (14.51 \text{ daN}) \cdot (1) \cdot (1,1) \cdot (0.9) \rightarrow C_{a1} = 14.36 \text{ daN}$$

Carga sobre el rodillo sometido a mayor esfuerzo

El rodillo central es quien experimental el mayor esfuerzo, esto por tratarse de una combinación de tres rodillos de igual longitud

$$ca = C_{a1} \cdot F_p$$

Donde

$F_p = \text{factor de participacion}$

Se obtiene:

factor de participacion, F_p

Se trabajará con un ángulo de estación (ángulo de apertura) de 30° , con este valor se ve a la tabla 12

Tabla 12 factor de participación

| 0° | 20° | 20° | 30° | 35° | 40° | 45° | 30° - 45° | 60° |
|------|------|------|------|------|------|------|--|------|
| | | | | | | | | |
| 1.00 | 0.50 | 0.60 | 0.65 | 0.67 | 0.70 | 0.72 | - 0.55 - 0.60 Rodillo central más pequeño | 0.40 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se obtiene $F_p = 0.65$

Ahora, se realizará la operación

$$ca = C_{a_1} \cdot F_p = 14.36 \text{ daN} \cdot 0,65 \rightarrow ca = 9.33 \text{ daN}$$

Carga estática en las estaciones de retorno

$$C_r = a_U \cdot q_b \cdot 0,981 = 3 \text{ m} \cdot 8,9 \text{ Kg/m} \cdot 0,981 \rightarrow C_r = 26.19 \text{ daN}$$

Carga dinámica en la estación de retorno

$$C_{r_1} = C_r \cdot F_s \cdot F_m \cdot F_V$$

Donde

$F_V = \text{factor de velocidad}$

Se obtiene

factor de velocidad, F_V

Se usa para entrar en la tabla la velocidad de la banda, igual a 2 m/s; se necesita también el diámetro de los rodillos (89 mm). Y se va a la tabla 14.

Tabla 13 factor de velocidad

| Velocidad banda m/s | Diámetro de los rodillos mm | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------|-------|------|---------|---------|------|
| | 60 | 76 | 89-90 | 102 | 108-110 | 133-140 | 159 |
| 0.5 | 0.81 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 1.0 | 0.92 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.82 | 0.80 | 0.80 |
| 1.5 | 0.99 | 0.99 | 0.92 | 0.89 | 0.88 | 0.85 | 0.82 |
| 2.0 | 1.05 | 1.00 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.90 | 0.86 |
| 2.5 | | | 1.01 | 0.98 | 0.97 | 0.93 | 0.91 |
| 3.0 | | | 1.05 | 1.03 | 1.01 | 0.96 | 0.92 |
| 3.5 | | | | | 1.04 | 1.00 | 0.96 |
| 4.0 | | | | | 1.07 | 1.03 | 0.99 |
| 4.5 | | | | | 1.14 | 1.05 | 1.02 |
| 5.0 | | | | | 1.17 | 1.08 | 1.00 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se tiene como resultado $F_V = 0,96$

Se retoma el calculo

$$C_{r_1} = C_r \cdot F_s \cdot F_m \cdot F_V = (26.19 \text{ daN}) \cdot (1,1) \cdot (0,9) \cdot (0,96) C_{r_1} \\ = 24.89 \text{ daN}$$

Carga en el rodillo de retorno, individual o por pareja

$$cr = C_{r1} \cdot F_p = 24.89 \text{ daN} \cdot 0,65 \rightarrow cr = 16.18 \text{ daN}$$

Se elige el rodillo en relación a la capacidad de carga en daN, al diámetro, al ancho de banda y la velocidad. Se hace uso del manual de RULMECA

Tabla 14 relación capacidad de carga

Elección del rodillo en relación con la capacidad de carga en daN, con el diámetro, con el ancho y con la velocidad de la banda.

| RODILLO | | | serie PSV 1 | | | | | | | | serie PSV 2 | | | | | | | | serie PSV 3 | | | | | | | | |
|---------|--------------------------------|------|------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|---|-----|-------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|---|-----|--|
| Ø mm | Ancho banda Configuraciones | | long. C mm | velocidad de la banda m/s | | | | | | | | velocidad de la banda m/s | | | | | | | | velocidad de la banda m/s | | | | | | | |
| | 300 | 400 | | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | |
| 89 | 300 | 400 | 168 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 500 | 500 | 208 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | | | | | | | |
| | 650 | 800 | 323 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 800 | 1200 | 473 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| 100 | 500 | 800 | 323 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 650 | 1000 | 388 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 800 | 1200 | 473 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 1000 | 1400 | 538 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| 120 | 500 | 1000 | 608 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 650 | 1200 | 708 | 173 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 800 | 1400 | 758 | 161 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 392 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 1000 | 1600 | 808 | 150 | 150 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 367 | 353 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| 140 | 500 | 800 | 323 | 133 | 133 | 133 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 327 | 327 | 321 | 298 | 280 | | | | |
| | 650 | 1000 | 388 | 126 | 126 | 126 | 126 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 310 | 310 | 310 | 298 | 280 | | | | |
| | 800 | 1200 | 473 | 104 | 104 | 104 | 104 | 104 | | | 267 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | 259 | 259 | 259 | 259 | 259 | | | | |
| | 1000 | 1400 | 538 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | | | 224 | 224 | 218 | 202 | 190 | | | | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | | | | |
| 160 | 1400 | 1608 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | | | 201 | 201 | 201 | 201 | | | | | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | | | | | |
| | 1600 | 1808 | | | | | | | | 183 | 183 | 183 | 183 | | | | | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | | | | | |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se elige un rodillo de tipo PSV 1, debido a que su capacidad máxima de carga es 142 daN; lo cual cumple con las solicitudes de carga de la banda.

Esfuerzo tangencial y potencia absorbida en el tambor motriz

Esfuerzo tangencial de ida

$$F_a = [L \cdot C_q \cdot C_t \cdot f (q_b + q_G + q_{RO}) \pm (q_G + q_b) \cdot H] \cdot 0,981 \quad [\text{daN}]$$

Donde

L = Distancia entre ejes del transportador [m]

C_q = Coeficiente de las resistencias fijas (accesorio de banda)

C_t = Coeficiente de las resistencias pasivas debido a la temperatura

f = Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias

q_b = Peso de la banda por metro lineal [Kg/m]

q_G = Peso del material transportado por metro lineal [Kg/m]

q_{RO} = Peso partes giratorias superiores [Kg/m]

H = Desnivel de la cinta transportadora

Se obtiene:

Coeficiente de las resistencias fijas, C_q

Se tiene en cuenta una distancia entre ejes 4 m, por lo tanto, se hace uso de la tabla 15

Tabla 15 coeficiente de resistencia

| Distancia entre ejes m | Cq |
|---------------------------|-----|
| 10 | 4.5 |
| 20 | 3.2 |
| 30 | 2.6 |
| 40 | 2.2 |
| 50 | 2.1 |
| 60 | 2.0 |
| 80 | 1.8 |
| 100 | 1.7 |
| 150 | 1.5 |
| 200 | 1.4 |
| 250 | 1.3 |
| 300 | 1.2 |
| 400 | 1.1 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se tiene en cuenta que la distancia entre ejes es 4m, se asume la inmediata superior en este caso 10m,

Se obtiene:

$$C_q = 4.5$$

Coeficiente de las resistencias pasivas debido a la temperatura, C_t

Se asume una temperatura de operación mayor a 20°,

Tabla 16 coeficiente de resistencia pasiva

| Temperatura °C | + 20° | + 10° | 0 | - 10° | - 20° | - 30° |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Factor C_t | 1 | 1,01 | 1,04 | 1,10 | 1,16 | 1,27 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

por lo tanto: $C_t = 1$

Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias, f

Con la velocidad igual a 2 m/s, se va a la tabla 18

Tabla 17 coeficiente de rozamiento interior f

| Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes | velocidad m/s | | | | | |
|--|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares | 0,0160 | 0,0165 | 0,0170 | 0,0180 | 0,0200 | 0,0220 |
| Elementos giratorios y material con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles | desde 0,023 hasta 0,027 | | | | | |
| Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador | desde 0,012 hasta 0,016 | | | | | |

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Se obtiene: $f = 0,0165$

Peso del material transportado por metro lineal, q_G

$$q_G = \frac{I_V}{3,6V} = \frac{0,5 \text{ Ton/h}}{3,6(2 \text{ m/s})} \rightarrow q_G = 0,06 \text{ kg/m}$$

Peso partes giratorias superiores, q_{RO}

De la tabla 18, se obtienen los pesos aproximados de las partes giratorias de una estación superior de tres rodillos y de una estación inferior plana

Tabla 18 Peso de partes giratorias de los rodillos de las estaciones superiores

| Ancho banda mm | Diámetro rodillos mm | | | | | | | | | |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 89 | | 108 | | 133 | | 159 | | 194 | |
| | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri |
| 400 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 500 | 5.1 | 3.7 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 650 | 9.1 | 6.5 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 800 | 10.4 | 7.8 | 16.0 | 11.4 | — | — | — | — | — | — |
| 1000 | 11.7 | 9.1 | 17.8 | 13.3 | 23.5 | 17.5 | — | — | — | — |
| 1200 | — | — | 20.3 | 15.7 | 26.7 | 20.7 | — | — | — | — |
| 1400 | — | — | — | — | 29.2 | 23.2 | — | — | — | — |
| 1600 | — | — | — | — | 31.8 | 25.8 | — | — | — | — |
| 1800 | — | — | — | — | — | — | 47.2 | 38.7 | 70.5 | 55.5 |
| 2000 | — | — | — | — | — | — | 50.8 | 42.2 | 75.3 | 60.1 |
| 2200 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Se tiene como resultado:

$$Pprs = 5.1 \text{ kg}$$

$$P_{pri} = 3.7 \text{ kg}$$

Entonces;

$$q_{RO} = \frac{P_{pri}}{a_o} = \frac{5.1 \text{ kg}}{1.65 \text{ m}} \rightarrow q_{RO} = 3.09 \text{ kg/m}$$

Se sustituye

$$F_a = \left[4 \text{ m} \cdot 4.5 \cdot 1 \cdot 0.0165 \left(8.9 \text{ Kg/m} + 0.06 \text{ kg/m} + 3.09 \text{ kg/m} \right) \right. \\ \left. \pm \left(0.06 \text{ kg/m} + 8.9 \text{ Kg/m} \right) \cdot 1.5 \text{ m} \right] \cdot 0.981$$

Se toma signo positivo, por tratarse de un tramo de banda ascendente

$$F_a = 16.69 \text{ daN}$$

Esfuerzo tangencial de retorno

$$F_r = \left[L \cdot C_q \cdot C_t \cdot f (q_b + q_{RU}) \pm (q_b \cdot H) \right] \cdot 0.981 \quad [\text{daN}]$$

Se obtiene:

Peso partes giratorias inferiores, q_{RU}

$$q_{RU} = \frac{P_{prs}}{a_U} = \frac{3.7 \text{ kg}}{1.65 \text{ m}} \rightarrow q_{RU} = 2.24 \text{ kg/m}$$

$$F_r = \left[4 \text{ m} \cdot 4.5 \cdot 1 \cdot 3.326 \left(8.9 \text{ Kg/m} + 0.06 \text{ kg/m} + 2.24 \text{ kg/m} \right) \right. \\ \left. \pm \left(0.06 \text{ Kg/m} + 13.44 \text{ kg/m} \right) \cdot 1.5 \text{ m} \right] \cdot 0.981 \quad [\text{daN}]$$

Se toma signo negativo, por tratarse de un tramo de banda descendente

$$F_r = -9.92 \text{ daN}$$

Esfuerzo tangencial total

$$F_U = F_a + F_r$$

$$F_U = 16.69 \text{ daN} + (-9.92 \text{ daN}) \rightarrow F_U = 6.76 \text{ daN}$$

Potencia absorbida

$$P = \frac{F_U \cdot V}{100 \cdot \eta} [\text{kW}]$$

Se asume hipotéticamente una eficacia del reductor y de eventuales transmisiones

$$\eta = 0.86$$

$$P = \frac{(6.76 \text{ daN}) \cdot (2 \text{ m/s})}{100 \cdot (0.86)} \rightarrow P = 0.157 \text{ kW}$$

$$P = 0.21 \text{ hp}$$

Tabla 19 motores trifásico

Motores Trifásicos Cerrados - W21

Eficiencia Estándar

| Potencia kW / HP | Carcasa IEC | RPM | Corriente nominal en 380V A | Corriente con rotor bloqueado Ip / In | Momento Nominal Cn (NM) | Momento con rotor bloqueado Cp / Cn | Momento máximo Cmax. Cn | 380 V | | | | | | Factor de servicio F.S. | Momento de Inercia J kgm ² | Tiempo max. con rotor bloqueado en caliente / frío (s) | Peso aprox. (kg) |
|----------------------------|----------------|------|--------------------------------------|--|----------------------------------|--|----------------------------------|--------------------------|----|----|--------------------------|------|------|-------------------------------|--|--|------------------------|
| | | | | | | | | Rendimiento η% | | | Factor de Potencia Cos φ | | | | | | |
| | | | | | | | | % de la potencia nominal | | | | | | | | | |
| IV Polos - 1500 rpm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,12 / 0,16 | 63 | 1375 | 0,44 | 3,5 | 0,82 | 2 | 2,2 | 45 | 54 | 57 | 0,49 | 0,61 | 0,72 | 1,00 | 0,00034 | 30/66 | 6,6 |
| 0,18 / 0,25 | 63 | 1360 | 0,64 | 3,4 | 1,29 | 2 | 2,2 | 46 | 54 | 58 | 0,49 | 0,63 | 0,74 | 1,00 | 0,00039 | 23/51 | 6,9 |
| 0,25 / 0,33 | 63 | 1415 | 0,94 | 5 | 1,64 | 3,1 | 3,1 | 52 | 60 | 62 | 0,44 | 0,54 | 0,65 | 1,00 | 0,00067 | 17/37 | 8,5 |
| 0,25 / 0,33 | 71 | 1310 | 0,85 | 3,5 | 1,77 | 1,9 | 2,1 | 50 | 55 | 59 | 0,5 | 0,65 | 0,76 | 1,00 | 0,00039 | 21/46 | 8,8 |
| 0,37 / 0,5 | 71 | 1320 | 1,19 | 3,7 | 2,66 | 2 | 2 | 55 | 60 | 62 | 0,5 | 0,63 | 0,76 | 1,00 | 0,00056 | 17/37 | 9,7 |

Fuente: Motores Weg. (2020)

Se va a la tabla 20 y se selecciona el inmediato superior disponible en el mercado

Obteniendo **P = 0.25HP**

Tensiones

Cálculo de T_2 Tension despues del tambor motriz (tramo flojo)

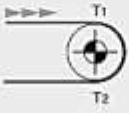
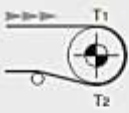
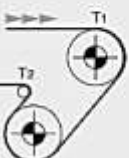
$$T_2 = F_U \cdot C_w [daN]$$

Se obtiene:

factor de abrazamiento, C_w

Se consulta la tabla 21

Tabla 20 factor de abrazamiento

| Tipo de motorización | Ángulo de abrazamiento α | tensor de contrapeso tambor | | tensor de tornillo tambor | |
|---|--------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | sin revestimiento | con revestimiento | sin revestimiento | con revestimiento |
|  | 180° | 0.84 | 0.50 | 1.20 | 0.80 |
|  | 200° | 0.72 | 0.42 | 1.00 | 0.75 |
| | 210° | 0.66 | 0.38 | 0.95 | 0.70 |
| | 220° | 0.62 | 0.35 | 0.90 | 0.65 |
| | 240° | 0.54 | 0.30 | 0.80 | 0.60 |
|  | 380° | 0.23 | 0.11 | - | - |
| | 420° | 0.18 | 0.08 | - | - |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se asume el ángulo de abrazamiento de 200° y se obtiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 200^\circ \\ \text{Tensor de contrapeso} \\ \text{Tambor con revestimiento} \end{array} \right. \therefore C_w = 0,42$$

Se realiza el calculo

$$T_2 = 6.76 \text{ daN} \cdot 0,42 \rightarrow T_2 = 2.83 \text{ daN}$$

Tensión máxima después del tambor motriz, T_1

$$T_1 = F_U + T_2 \text{ [daN]}$$

$$T_1 = 6.76 \text{ daN} + 2.83 \text{ daN} \rightarrow T_1 = 9.59 \text{ daN}$$

Cálculo de T_3

$$T_3 = T_2 + (F_{r_1} + F_{r_2} + F_{r_3} + \dots) \text{ [daN]}$$

$$T_3 = 2.83 \text{ daN} + (-9.92 \text{ daN}) \rightarrow T_3 = -7.09 \text{ daN}$$

Tensión T_0

$$T_0 = 6,25 (q_b + q_G) \cdot a_o \cdot 0,981 \text{ [daN]}$$

$$T_0 = 6,25 \left(8.9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} + 0.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 0,981 \rightarrow T_0 = 90.64 \text{ daN}$$

La tensión T_3 es menor que la T_0 , por lo que habrá que utilizar un contrapeso dimensionado para obtener la tensión T_0 . Se asume que $T_3 = T_0$, y como consecuencia,

$$T_3 = T_0 = 90.64 \text{ daN}$$

$$T_2 = T_3 + F_r = 90.64 \text{ daN} + (-9.92 \text{ daN}) \rightarrow T_2 = 80.72 \text{ daN}$$

$$T_1 = F_U + T_2 = 6.76 \text{ daN} + 80.72 \text{ daN} \rightarrow T_1 = 87.48 \text{ daN}$$

Cálculo de la tensión T_g

$$T_g = 2 \cdot T_3 \text{ [daN]}$$

$$T_g = 2 \cdot (90.64 \text{ daN}) \rightarrow T_g = 181.28 \text{ daN}$$

Tensión unitaria de trabajo de la banda, $T_{U_{max}}$

$$T_{U_{max}} = \frac{T_{max} \cdot 10}{N} \quad [N/mm]$$

Donde

$N =$ ancho de la banda [mm]

$T_{max} =$ tensión en el punto sometido a mayor esfuerzo de la banda [daN]

$$T_{U_{max}} = \frac{90.64 \text{ daN} \cdot 10}{300 \text{ mm}} \rightarrow T_{U_{max}} = 3.02 \text{ N/mm}$$

Cálculo de carga de rotura

La carga de rotura de la banda corresponderá a la carga de trabajo multiplicada por un factor de seguridad igual a “10” para bandas reforzadas con productos textiles.

En este caso eso hace que la carga de rotura sea igual a $3.02 \text{ N/mm} \cdot 10$, dando como resultado un valor de 30.02 N/mm

Elección de banda

Se debe escoger una banda cuya resistencia a la rotura sea igual o superior a 30.02 N/mm . Se apoya en la tabla 21.

Tabla 21 peso de núcleo de banda

| Carga de rotura de la banda N/mm | Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m ² | Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m ² |
|-------------------------------------|--|--|
| 200 | 2.0 | - |
| 250 | 2.4 | - |
| 315 | 3.0 | - |
| 400 | 3.4 | - |
| 500 | 4.6 | 5.5 |
| 630 | 5.4 | 6.0 |
| 800 | 6.6 | 8.5 |
| 1000 | 7.6 | 9.5 |
| 1250 | 9.3 | 10.4 |
| 1600 | - | 13.5 |
| 2000 | - | 14.8 |
| 2500 | - | 18.6 |
| 3150 | - | 23.4 |

Los pesos del núcleo de la banda reforzadas con productos textiles o metálicos se dan a título indicativo en relación con la clase de resistencia.

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Se asume el valor inmediato superior y se obtiene:

se escoge una banda reforzada con productos textiles (EP). Cuyas propiedades son:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Carga de rotura} = 200 \text{ N/mm} \\ \text{Peso del núcleo de la banda, } q_{bn} = 2 \text{ kg/m}^2 \end{array} \right.$$

Diámetro del eje del tambor motriz

Se acciona la cinta transportadora y se utilizará un motorreductor, con la carga de rotura nos vamos a la tabla 22

Tabla 22 diámetros mínimos recomendados de los tambores

| Carga de rotura de la banda N/mm | Bandas reforzadas con productos textiles DIN 22102 | | | Bandas reforzadas con elementos metálicos ST DIN 22131 | | |
|-------------------------------------|--|---------------|-----------|--|---------------|-----------|
| | Ø tambor motriz mm | contra-tambor | desviador | Ø tambor motriz mm | contra-tambor | desviador |
| 200 | 200 | 160 | 125 | - | - | - |
| 250 | 250 | 200 | 160 | - | - | - |
| 315 | 315 | 250 | 200 | - | - | - |
| 400 | 400 | 315 | 250 | - | - | - |
| 500 | 500 | 400 | 315 | - | - | - |
| 630 | 630 | 500 | 400 | - | - | - |
| 800 | 800 | 630 | 500 | 630 | 500 | 315 |
| 1000 | 1000 | 800 | 630 | 630 | 500 | 315 |
| 1250 | 1250 | 1000 | 800 | 800 | 630 | 400 |
| 1600 | 1400 | 1250 | 1000 | 1000 | 800 | 500 |
| 2000 | - | - | - | 1000 | 800 | 500 |
| 2500 | - | - | - | 1250 | 1000 | 630 |
| 3150 | - | - | - | 1250 | 1000 | 630 |

Diámetros mínimos recomendados para los tambores en mm, hasta el 100% de carga de trabajo máxima recomendada RMET ISO bis/3654

No hay que aplicar esta tabla en caso de cintas transportadoras que transportan materiales con una temperatura superior a +110°C o en caso de cintas transportadoras instaladas en ambientes con una temperatura inferior a -40°C.

Fuente: Rulli Rulmeca(2010)

Se obtiene:

Diámetro del tambor motriz= 200mm

Diámetro del contra tambor= 160mm

Con el ancho de la banda de 300mm y la tabla 24

Tabla 23 peso del rodillo

| Banda ancho N mm | Tambor tipo | D mm | B | d | C | d1 | M m6 | L | K | F | G | Peso Kg |
|------------------|-------------|------|-----|----|-----|----|------|-----|-----|----|-----|---------|
| 400 | USC | 190 | 500 | 40 | 830 | 45 | 38 | 80 | 145 | 25 | 660 | 34 |
| | | 270 | 500 | 40 | 830 | 45 | 38 | 80 | 145 | 25 | 660 | 46 |
| | | 320 | 500 | 40 | 830 | 45 | 38 | 80 | 145 | 25 | 660 | 52 |
| 500 | USC | 190 | 600 | 40 | 930 | 45 | 38 | 80 | 145 | 25 | 760 | 38 |
| | | 270 | 600 | 40 | 930 | 45 | 38 | 80 | 145 | 25 | 760 | 52 |
| | | 320 | 600 | 40 | 930 | 45 | 38 | 80 | 145 | 25 | 760 | 59 |
| | | 400 | 600 | 50 | 990 | 55 | 48 | 110 | 180 | 30 | 780 | 94 |
| | | 520 | 600 | 50 | 990 | 55 | 48 | 110 | 180 | 30 | 780 | 126 |

Fuente: Rulli Rulmecca(2010)

Se interpola y se obtiene de $qt = 35.5 \text{ kg}$

$$qt = 355 \text{ daN}$$

$$\text{Se parte de } n = \frac{v \times 1000 \times 60}{D \times \pi} \text{ [r.p.m.]}$$

Donde:

D= diámetro del rodillo[mm]

V= velocidad de la banda $\left[\frac{m}{s}\right]$

$$N = \frac{2 \times 1000 \times 60}{\pi \times 200} = 190.98 \text{rpm}$$

Datos anteriores tenemos:

Se determina la resultante Cp de las tensiones y del peso del tambor

$$Cp = \sqrt{(T1 + T2)^2 + qt^2} \text{ [daNm]} \quad Cp = \sqrt{(87.48 + 80.72)^2 + 355^2}$$

$$Cp = 392.83 \text{ [daNm]}$$

Momento de flexión

$$Mf = \frac{Cp}{2} \times a_g \text{ [daNm]} \quad Mf = \frac{392.83}{2} \times 0,1 \quad Mf = 19.64 \text{ [daNm]}$$

Momento de torsión

$$Mt = \frac{P}{n} \times 954,9 \text{ [daNm]} \quad Mt = \frac{0.157}{190.98} \times 954,9 \quad Mt = 0.785 \text{ [daNm]}$$

Momento ideal de flexión

$$Mif = \sqrt{Mf^2 + 0,75 \times Mt^2} \text{ [daNm]} \quad Mif = \sqrt{19.64^2 + 0,75 \times 0.785^2}$$

$$Mif = 19.65 \text{ [daNm]}$$

Se usa acero C40 templado y se obtiene $\sigma_{amm} = 7,82$ para calcular el módulo de resistencia (W)

$$W = \frac{Mif \times 1000}{\sigma_{amm}} [mm^3] \quad W = \frac{19.65 \times 1000}{7.82} \quad W = 2512.78 [mm^3]$$

Así se obtiene el diámetro de eje del tambor motriz

$$d = \sqrt[3]{\frac{W \times 32}{\pi}} \text{ mm} \quad d = \sqrt[3]{\frac{2512.78 \times 32}{\pi}} \quad d = 29.46 \text{ mm}$$

Diámetro de eje del contra tambor

Datos del contra tambor

$$D = 160 \text{ mm}$$

$$qt = 34 \text{ Kg}$$

$$Ag = 0.1 \text{ m}$$

$$T3 = 90.64 \text{ daN}$$

Se determina la resultante C_p de las tensiones y del peso del tambor

$$C_{pr} = \sqrt{(2t3)^2 + qt^2} [daN] \quad C_{pr} = \sqrt{(2 \times 90.64)^2 + 340^2} \quad C_{pr} = 385.30 [daN]$$

Calculamos el momento de flexión

$$Mf = \frac{C_{pr}}{2} \times ag [daNm] \quad Mf = \frac{385.30}{2} \times 0.1 = 19.26 [daNm]$$

Se usa acero C40 templado y se obtiene $\sigma_{amm} = 7,82$ para calcular el módulo de resistencia (W)

$$W = \frac{Mif \times 1000}{\sigma_{amm}} [mm^3] \quad W = \frac{19.26 \times 1000}{7.82} \quad W = 2462.91 [mm^3]$$

Así se obtiene el diámetro de eje del contra tambor motriz

$$d = \sqrt[3]{\frac{W \times 32}{\pi}} \text{ mm} \quad d = \sqrt[3]{\frac{2462.91 \times 32}{\pi}} \quad d = 29.27 \text{ mm}$$

Se selecciona el motorreductor

$$P = 0.25 \text{ hp}$$

$$N_e (\text{potencia de entrada}) = N_a/n = 0.25 \text{ HP}/0.985 = 0.213 \text{ HP}$$

Velocidad de salida (Ns)

$$W = \text{velocidad de salida} \quad W = \frac{2m/s}{0.0445m} = 44.49/s \quad W = \frac{44.49 \times 60}{2\pi} = 429.18 \text{ rpm}$$

Se preselecciona el motor reductor

A través del catálogo de motorreductor LENTAX, con una potencia de 0,25HP se seleccionó ver Tabla N° 25.

Tabla 24. Catalogo LENTAX

| Potencia Entrada | | Velocidad Salida aprox. | Relación | MODELO | Factor de Seguridad | Momento Util | Velocidad Entrada aprox. | Carga Radial adm. | Carga Axial adm. | Peso aprox. | Medidas | Repuestos |
|------------------|----|-------------------------|----------|--------|---------------------|--------------|--------------------------|-------------------|------------------|-------------|---------|------------------|
| kW | HP | (RPM) | (i) | | (fz) | (Nm) | (RPM) | (kg) | (kg) | (kg) | Página | Página |
| | | 193,0 | 7,36 | F00T2 | 0,75 | 9,40 | 27 | 1420 | 280 | 140 | 26 | pag 48-49 pag 66 |
| | | 223,0 | 6,37 | F00T2 | 0,75 | 10,45 | 23 | 1420 | 280 | 140 | 26 | pag 48-49 pag 66 |
| | | 256,0 | 5,54 | F00T2 | 0,75 | 11,65 | 20 | 1420 | 280 | 140 | 26 | pag 48-49 pag 66 |

kW
HP
0,55
0,75

Fuente: Catálogo LENTAX

Dado que la potencia es de 0,21HP se aproximó a los motores de 0,25HP con una velocidad de entrada de 1420rpm. Luego de conocer dichos valores se determina la relación de transmisión mediante la siguiente formula

Rt= relación de transmisión

$$Rt = \frac{1420}{429.18} = 3.30$$

Una vez que se conoce el valor de la relación de transmisión, se preseleccionó el modelo del motorreductor.

Tabla 25. Factor de servicio (Fs)

| MAQUINA ACCIONADA TIPO DE MAQUINA | FACTOR f_s f_s FACTOR hs. de Servicio Service hrs. | | | APPLICATIONS AND INDUSTRY DRIVEN MACHINE |
|---|---|-----|-----|---|
| | 8 | 16 | 24 | |
| Montacargas | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Hoists |
| Elevadores de personas | 1,8 | 2,0 | 2,0 | Passenger lifts |
| Elevadores inclinados | 1,65 | 1,8 | 1,8 | Inclined hoists |
| Elevadores de cangilones (rocas) | 1,65 | 1,8 | 1,8 | Bucket elevators (piece goods) |
| Elevadores de cangilones (granos) | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Bucket elevators (bulk material) |
| Transportadores a cadena (redlers) | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Chain conveyors |
| Transportadores de cangilones | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Bucket conveyors |
| Transportadores circulares | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Circular conveyors |
| Roscas transportadoras | 1,15 | 1,4 | 1,5 | Screw conveyors |
| Bandas transportadoras (granel) | 1,15 | 1,4 | 1,5 | Belt conveyors (bulk material) |
| Transportadores de banda (articulados) | 1,3 | 1,5 | 1,7 | Apron conveyors |
| Transportadores de cinta de acero | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Steel belt conveyors |
| Bandas transportadoras (bultos grandes) | 1,3 | 1,5 | 1,7 | Belt conveyors (piece goods) |
| Transportadores de placas | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Band pocket conveyors |
| Tornos de elevación | 1,5 | 1,6 | 1,6 | Ballast elevators |

Fuente: Catalogo Lentax

$$F_s = 1,4$$

Potencia de Mando

$$N_m = N_e * F_s$$

Sustituyendo:

$$N_m = 0,21\text{HP} * 1,4 = 0.29 \text{ HP}$$

Tabla 26. Características de motorreductor.

| Potencia Entrada | | Velocidad Salida aprox. | Relación | MODELO | Factor de Seguridad | Momento Util | Velocidad Entrada aprox. | Carga Radial adm. | Carga Axial adm. | Peso aprox. | Medidas | Repuestos |
|------------------|----|-------------------------|----------|------------|---------------------|--------------|--------------------------|-------------------|------------------|-------------|-----------|-----------|
| kW | HP | (RPM) | (i) | | (fz) | (Nm) | (RPM) | (kg) | (kg) | (kg) | Página | Página |
| | | 119,0 | 11,96 | FOOT2 1,00 | 4,75 | 59 | 1420 | 320 | 160 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 131,0 | 10,84 | FOOT2 1,00 | 4,85 | 53 | 1420 | 320 | 160 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 141,0 | 10,06 | FOOT2 1,00 | 5,55 | 49 | 1420 | 320 | 160 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 152,0 | 9,32 | FOOT2 1,00 | 5,65 | 46 | 1420 | 280 | 140 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 166,0 | 8,57 | FOOT2 1,00 | 6,25 | 42 | 1420 | 280 | 140 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 193,0 | 7,36 | FOOT2 1,00 | 7,05 | 36 | 1420 | 280 | 140 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 223,0 | 6,37 | FOOT2 1,00 | 7,85 | 31 | 1420 | 280 | 140 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |
| | | 256,0 | 5,54 | FOOT2 1,00 | 8,75 | 27 | 1420 | 280 | 140 | 27 | pag 48-49 | pag 66 |

kW HP
0,75 1,00

Fuente: Catalogo Lentax

Se verifica que la potencia de mando sea mayor que la potencia de entrada.

$$Nm = 1HP > Ne = 0,21HP$$

Se selecciona el motorreductor **FOOT2 1,00**.

Se selecciona el acoplamiento del motor y motorreductor de la banda transportadora P = 0,25 HP ≈ 0,18 Kw

$$RPM = 1385 \text{ rpm}$$

$$Fs = 1,00$$

$$\text{Potencia de diseño} = P * Fs = 0,18 * 1 = 0,18 \text{ Kw}$$

Tabla 27 Catalogo SKF de acoplamientos

| Velocidad | Tamaño del acoplamiento | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 |
| 50 | 0,13 | 0,35 | 0,66 | 1,31 | 1,96 | 2,62 | 3,53 | 4,58 | 6,96 | 12,17 | 19,74 | 32,83 | 48,82 | 60,73 | 76,83 |
| 100 | 0,25 | 0,69 | 1,33 | 2,62 | 3,93 | 5,24 | 7,07 | 9,16 | 13,93 | 24,35 | 39,48 | 65,65 | 97,64 | 121,47 | 153,66 |
| 200 | 0,50 | 1,38 | 2,66 | 5,24 | 7,85 | 10,47 | 14,14 | 18,32 | 27,85 | 48,69 | 78,95 | 131,31 | 195,29 | 242,93 | 307,33 |
| 300 | 0,75 | 2,07 | 3,99 | 7,85 | 11,78 | 15,71 | 21,20 | 27,49 | 41,78 | 73,04 | 118,43 | 196,96 | 292,93 | 364,40 | 460,99 |
| 400 | 1,01 | 2,76 | 5,32 | 10,47 | 15,71 | 20,94 | 28,27 | 36,65 | 55,71 | 97,38 | 157,91 | 262,62 | 390,58 | 485,86 | 614,66 |
| 500 | 1,26 | 3,46 | 6,65 | 13,09 | 19,63 | 26,18 | 35,34 | 45,81 | 69,63 | 121,73 | 197,38 | 328,27 | 488,22 | 607,33 | 768,32 |
| 600 | 1,51 | 4,15 | 7,98 | 15,71 | 23,56 | 31,41 | 42,41 | 54,97 | 83,56 | 146,07 | 236,86 | 393,93 | 585,86 | 728,80 | 921,99 |
| 700 | 1,76 | 4,84 | 9,31 | 18,32 | 27,49 | 36,65 | 49,48 | 64,14 | 97,49 | 170,42 | 276,34 | 459,58 | 683,51 | 850,26 | 1075,65 |
| 720 | 1,81 | 4,98 | 9,57 | 18,85 | 28,27 | 37,70 | 50,89 | 65,97 | 100,27 | 175,29 | 284,23 | 472,71 | 703,04 | 874,55 | 1106,39 |
| 800 | 2,01 | 5,53 | 10,64 | 20,94 | 31,41 | 41,88 | 56,54 | 73,30 | 111,41 | 194,76 | 315,81 | 525,24 | 781,35 | 971,73 | 1229,32 |
| 900 | 2,26 | 6,22 | 11,97 | 23,56 | 35,34 | 47,12 | 63,61 | 82,46 | 125,34 | 219,11 | 355,29 | 590,89 | 878,80 | 1093,19 | 1382,98 |
| 960 | 2,41 | 6,63 | 12,77 | 25,13 | 37,70 | 50,26 | 67,85 | 87,96 | 133,70 | 233,72 | 378,97 | 630,28 | 937,38 | 1166,07 | 1475,18 |
| 1000 | 2,51 | 6,91 | 13,30 | 26,18 | 39,27 | 52,36 | 70,68 | 91,62 | 139,27 | 243,46 | 394,76 | 656,54 | 976,44 | 1214,66 | 1536,65 |
| 1200 | 3,02 | 8,29 | 15,96 | 31,41 | 47,12 | 62,83 | 84,82 | 109,95 | 167,12 | 292,15 | 473,72 | 787,85 | 1171,73 | - | - |
| 1400 | 3,52 | 9,68 | 18,62 | 36,65 | 54,97 | 73,30 | 98,95 | 128,27 | 194,97 | 340,84 | 552,67 | 919,16 | - | - | - |
| 1440 | 3,62 | 9,95 | 19,15 | 37,70 | 56,54 | 75,39 | 101,78 | 131,94 | 200,54 | 350,58 | 568,46 | 945,42 | - | - | - |
| 1600 | 4,02 | 11,06 | 21,28 | 41,88 | 62,83 | 83,77 | 113,09 | 146,60 | 222,83 | 389,53 | 631,62 | - | - | - | - |
| 1800 | 4,52 | 12,44 | 23,94 | 47,12 | 70,68 | 94,24 | 127,23 | 164,92 | 250,68 | 438,22 | - | - | - | - | - |
| 2000 | 5,03 | 13,82 | 26,60 | 52,36 | 78,53 | 104,71 | 141,36 | 183,25 | 278,53 | - | - | - | - | - | - |
| 2200 | 5,53 | 15,20 | 29,26 | 57,59 | 86,39 | 115,18 | 155,50 | 201,57 | - | - | - | - | - | - | - |
| 2400 | 6,03 | 16,59 | 31,92 | 62,83 | 94,24 | 125,65 | 169,63 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2600 | 6,53 | 17,97 | 34,58 | 68,06 | 102,09 | 136,13 | 183,77 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2800 | 7,04 | 19,35 | 37,24 | 73,30 | 109,95 | 146,60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2880 | 7,24 | 19,90 | 38,30 | 75,39 | 113,09 | 150,79 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3000 | 7,54 | 20,73 | 39,90 | 78,53 | 117,80 | 157,07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3600 | 9,05 | 24,88 | 47,87 | 94,24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Torque nominal Nm | 24 | 66 | 127 | 250 | 375 | 500 | 675 | 875 | 1330 | 2325 | 3770 | 6270 | 9325 | 11600 | 14675 |
| Torque máximo Nm | 64 | 160 | 318 | 487 | 759 | 1096 | 1517 | 2137 | 3547 | 5642 | 9339 | 16455 | 23508 | 33125 | 42740 |

Fuente: SKF

Se selecciona el modelo de acoplé Nro. tipo B, se pueden observar las características.

(Ver tabla 27)

4.3.4 Análisis de esfuerzo del tambor rotativo mediante software solidworks

A través de la ingeniería asistida por computadora, se puede modelar cualquier pieza o sistema con precisión, esto evita la fabricación de prototipos y trabajar en un ambiente que asegura las condiciones de trabajo

El análisis estático de SolidWorks utiliza el método de elemento finito en donde el elemento lo encierra en una malla, la cual el programa analiza las distintas variables en las celdas de la malla considerando que estas celdas son un pequeño elemento diferencial de la pieza de trabajo, dependiendo de que tan fino sea el mallado este se ajuste a nuestra pieza, los resultados que arroje el software serán lo más cercano posible a la realidad.

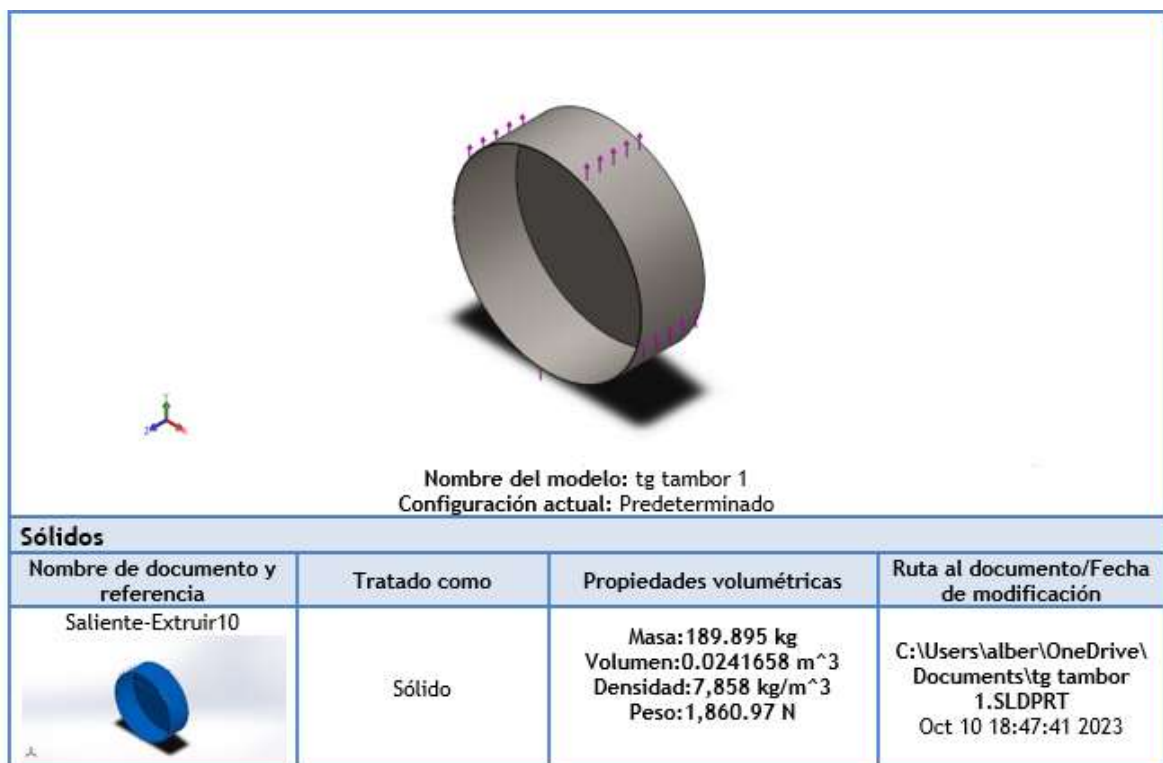


Figura 7 Tambor rotativo de maquina granuladora de urea con cargas aplicadas

Fuente SolidWorks (2019)

En este caso se aplican las cargas al tambor rotativo para analizar


| Referencia de modelo | Propiedades | Componentes |
|---|--|---|
|  | <p>Nombre: 1023 Chapa de acero al carbono (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.82685e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4.25e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.05e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7,858 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.2e-05 /Kelvin</p> | Sólido 1(Saliente-Extruir10) (tg tambor 1) |
| Datos de curva:N/A | | |

Figura 8. Propiedades de tambor rotativo de maquina granuladora
Fuente SolidWorks (2019)

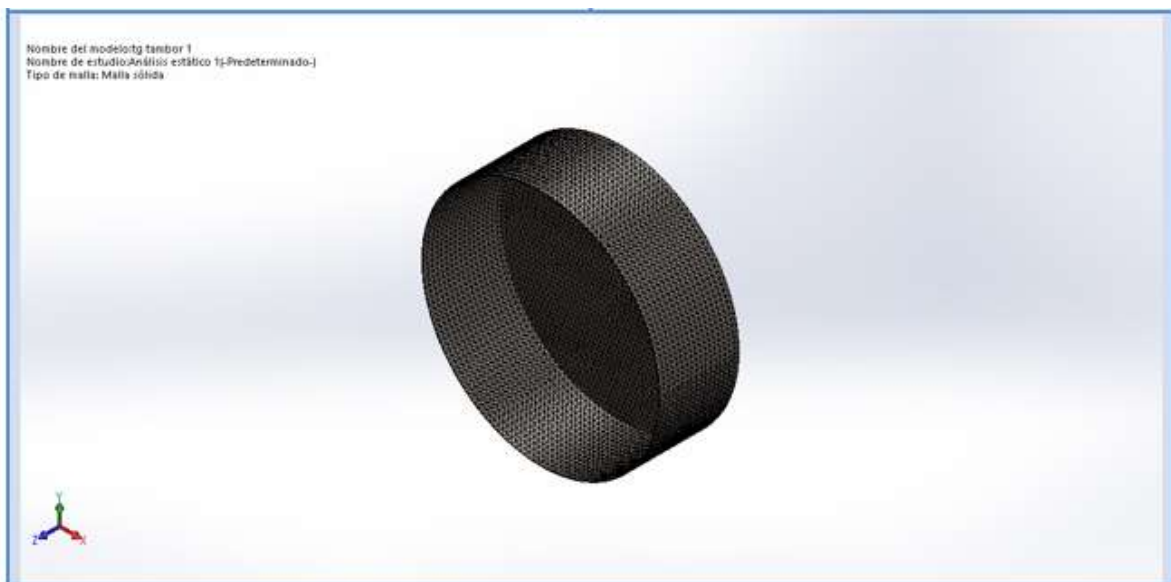


Figura 9. mallado del tambor rotativo de maquina granuladora
Fuente SolidWorks (2019)

Análisis de fatiga

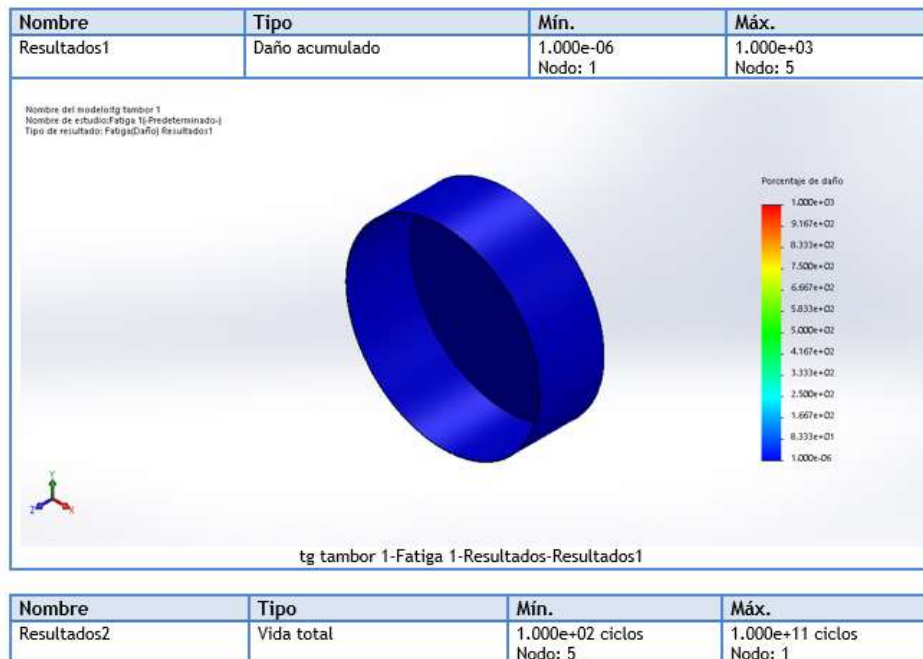
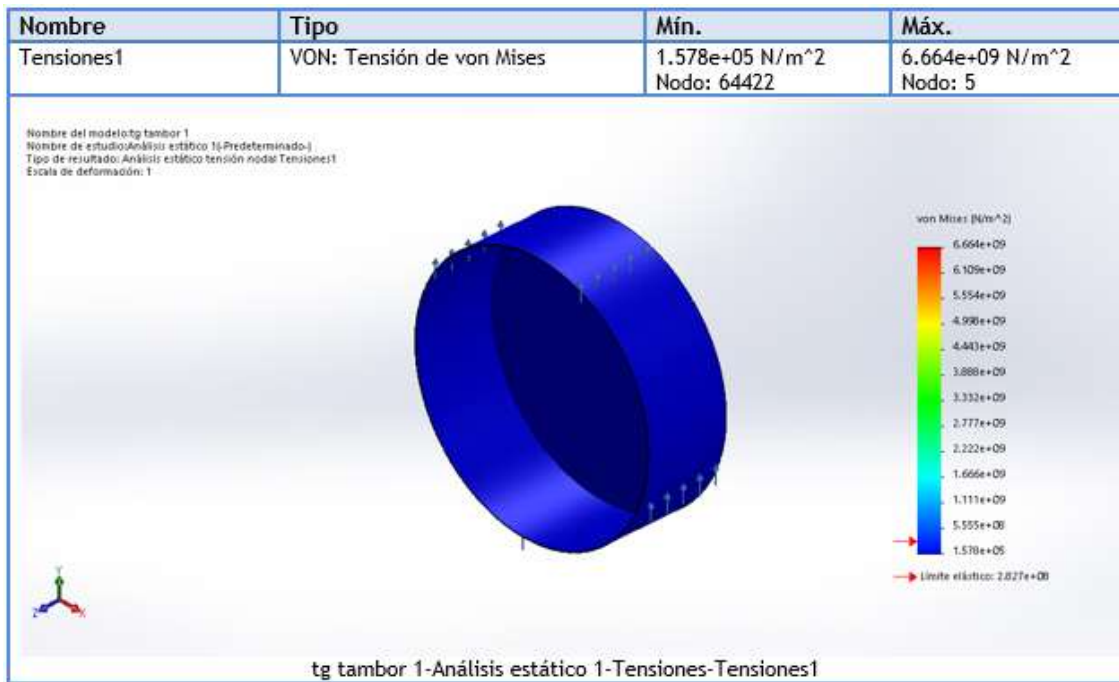


Figura 10 mallado del tambor rotativo de maquina granuladora
Fuente SolidWorks (2019)

Después de realizar un exhaustivo análisis de fatiga por medio de solidwork, se puede concluir que, en las condiciones y cargas evaluadas, el eje ha demostrado una resistencia adecuada y no presenta indicios de fallos por fatiga. Este resultado es altamente positivo y sugiere que el diseño y los materiales empleados cumplen con los requisitos de resistencia bajo las condiciones de carga previstas.

Durante el análisis, se consideraron diversas variables, como las cargas cíclicas aplicadas, la geometría del eje, las propiedades mecánicas de los materiales y otros factores ambientales. La evaluación detallada de estos elementos reveló que las tensiones y deformaciones experimentadas por el eje están dentro de los límites seguros, lo que contribuye a su integridad estructural a lo largo del tiempo.



| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Desplazamientos1 | URES: Desplazamientos resultantes | 0.000e+00 mm Nodo: 1 | 6.957e+01 mm Nodo: 6322 |

Figura 11. Tensiones del tambor rotativo de maquina granuladora
Fuente SolidWorks (2019)

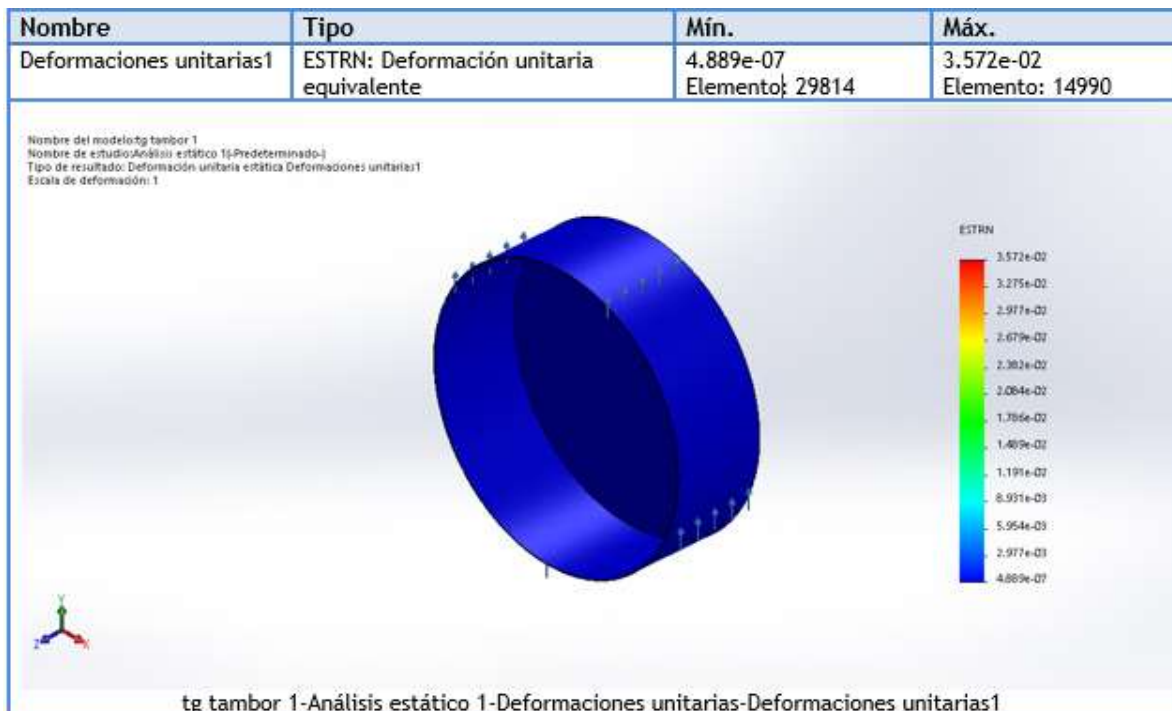


Figura N° 12. Deformación unitaria del tambor rotativo de maquina granuladora
Fuente SolidWorks (2019)

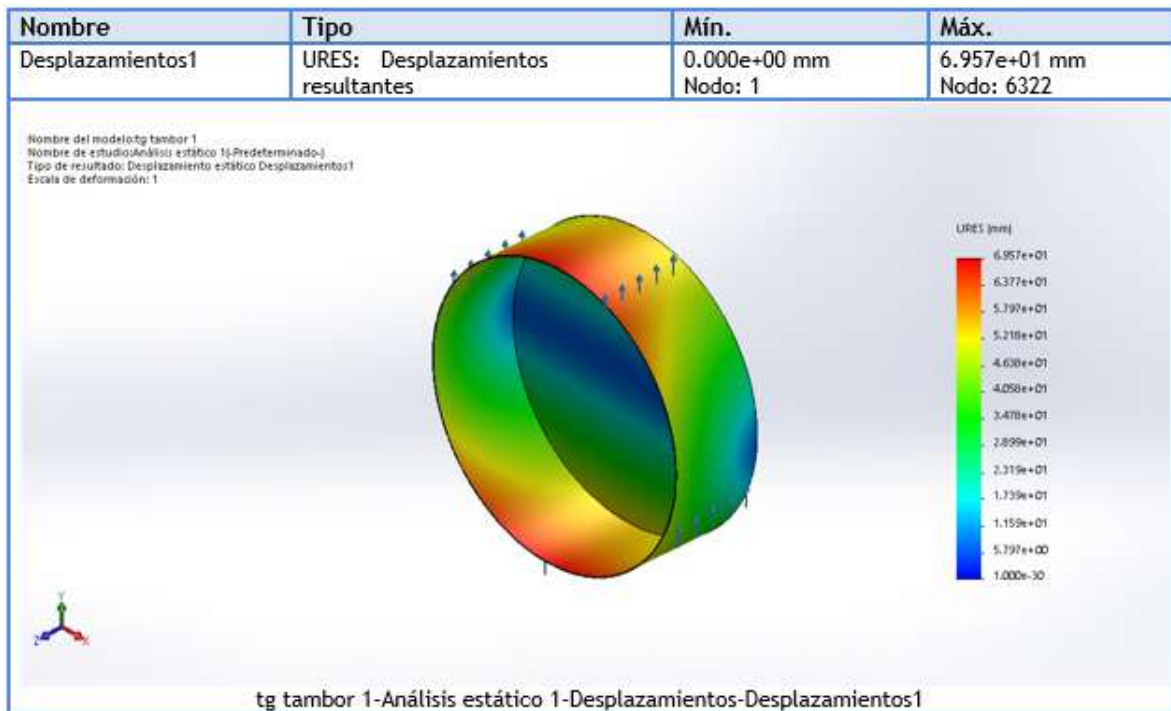


Figura 13. desplazamientos del tambor rotativo de maquina granuladora

Fuente SolidWorks (2019)

En este caso se procede a aplicar las cargas al eje del tambor rotativo, estas cargas son generadas debido al peso del tambor que ejerce una fuerza aproximadamente de 190 N.

En este paso se procede a realizar el mallado del tambor rotativo para analizar con más precisión las tensiones, deformaciones y desplazamiento generado debido a las fuerzas que actúan sobre el tambor

Una vez aplicada de carga de 190 N como se observa en la **figura 11**, el software nos arroja un límite elástico de $2.827e+08\text{N/m}^2$, un esfuerzo mínimo de $1.578e+05\text{N/m}^2$ y un esfuerzo máximo de $6.664e+09\text{N/m}^2$ por lo que se puede interpretar que el eje del tambor no va a fallar debido a que su límite elástico se encuentra muy cercano a la parte más baja del rango permisible.

En este caso de las deformaciones unitarias tienen un rango de $4.889e-07$ como valor mínimo y $3.572e-2$ como valor máximo, se puede concluir que no presentara fallas por deformación como se observa en la **figura 12**, ya que la pieza se encuentra de color azul lo que significa que la deformación que presenta está por debajo del valor mínimo del rango permisible.

Para el desplazamiento el software nos arroja un rango con un valor mínimo de $0.000e+00\text{mm}$ y un valor máximo de $6.957e+01\text{mm}$, se puede observar en la **figura 13** que existen zonas de color naranja cercanas al máximo valor permisible y la gran mayoría

de la pieza se muestra de color amarillo y verde que hace referencia al punto medio y el valor más bajo del rango permisible.

Se puede afirmar que los datos sobre dimensiones, material y geometría del tambor rotativo suministrados por el ingeniero Tomás González, el análisis reveló que la pieza no presentó ninguna falla o deformación significativa cuando se sometió a las cargas previamente definidas. Esto indica que la pieza es lo suficientemente resistente

Análisis de la base de motor



Nombre del modelo: base motor movil tg4
Configuración actual: Predeterminado

| Sólidos | | | |
|--|--------------|--|--|
| Nombre de documento y referencia | Tratado como | Propiedades volumétricas | Ruta al documento/Fecha de modificación |
| Cortar-Extruir2  | Sólido | Masa:324.252 kg Volumen:0.0412639 m ³ Densidad:7,858 kg/m ³ Peso:3,177.67 N | C:\Users\alber\OneDrive\Documents\base motor movil tg4.SLDPRT Oct 5 14:05:19 2023 |

Figura 14 Base móvil del motor

Fuente SolidWorks (2019)

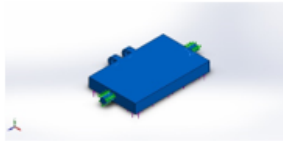
| Referencia de modelo | Propiedades | Componentes |
|---|--|---|
|  | <p>Nombre: 1023 Chapa de acero al carbono (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.82685e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4.25e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.05e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7,858 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.2e-05 /Kelvin</p> | Sólido 1(Cortar-Extruir2) (base motor movil tg4) |
| Datos de curva:N/A | | |

Figura 15. Propiedades de la Base móvil del motor

Fuente SolidWorks (2019)

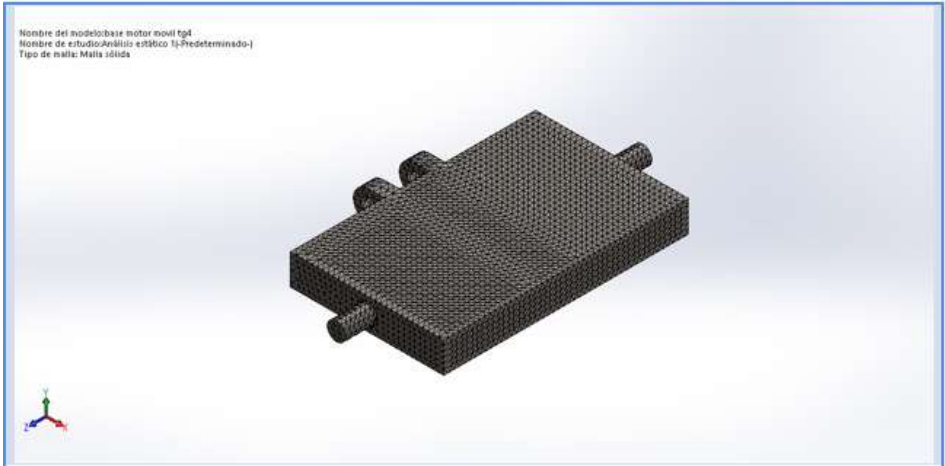


Figura 16. Mallado de la base móvil del motor
Fuente SolidWorks (2019)

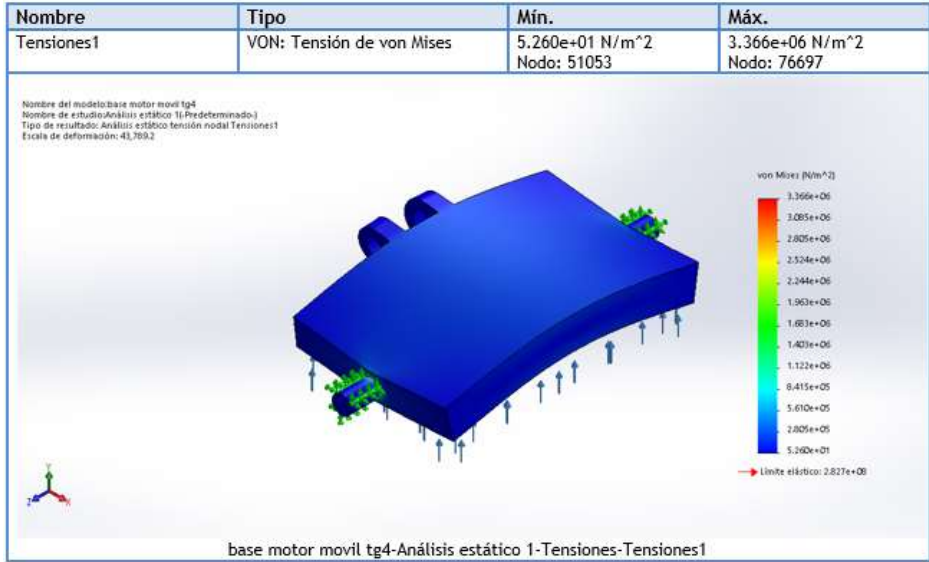


Figura 17. Tensiones aplicadas a la base móvil del motor
Fuente SolidWorks (2019)

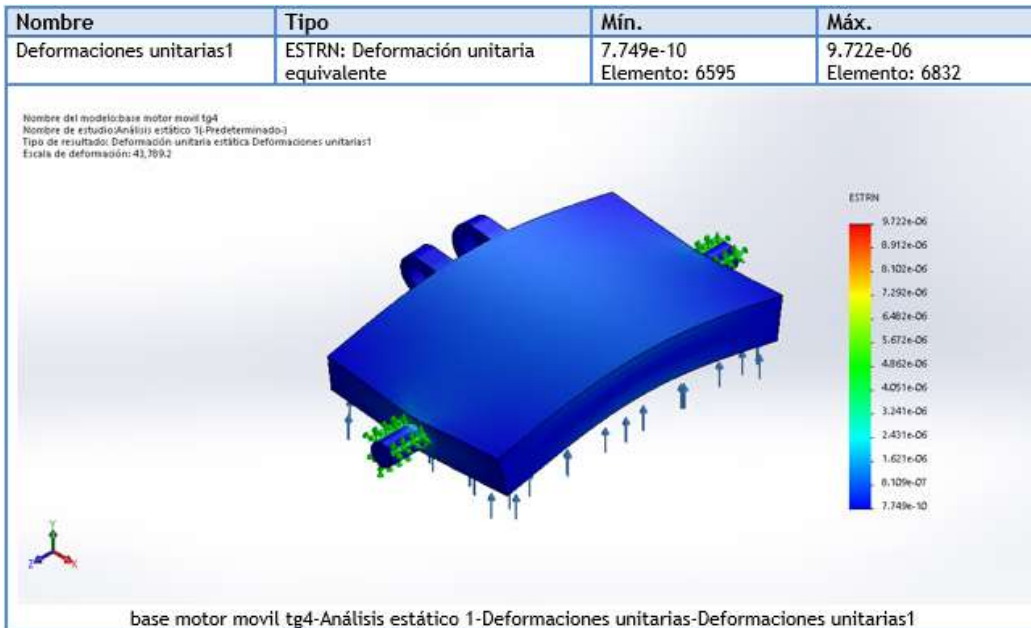


Figura 18. Deformación unitaria de la base móvil del motor

Fuente SolidWorks (2019)

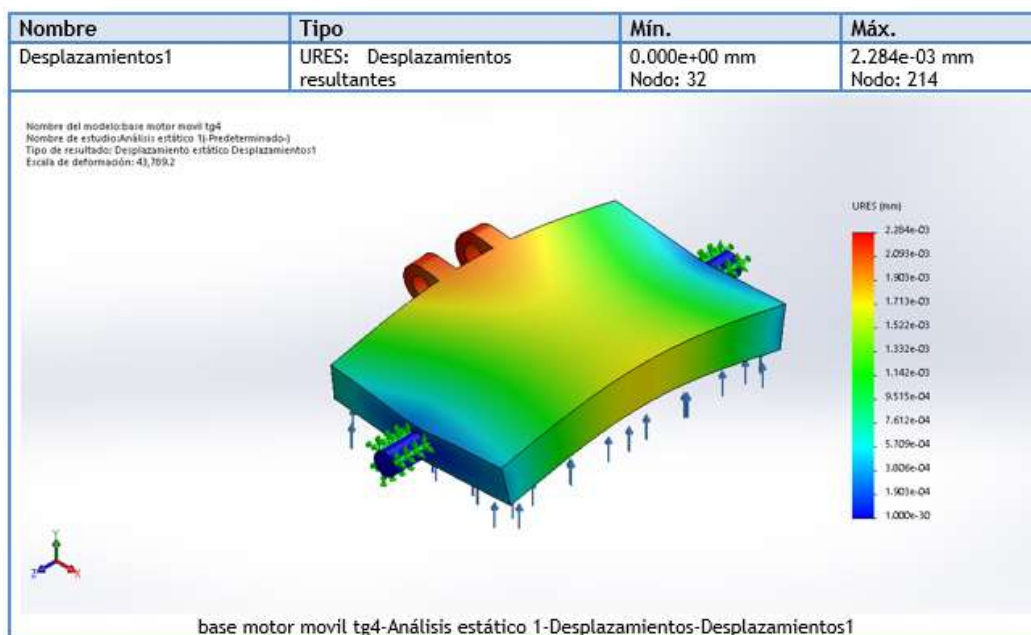


Figura 19. Desplazamiento de la base móvil del motor

Fuente SolidWorks (2019)

Se procede a aplicar las cargas a la base móvil del motor, estas cargas son generadas debido al peso del tambor y el motor que ejerce una fuerza aproximadamente de 195 N.

En este caso se procede a realizar el mallado de la base móvil del motor para así, analizar con más precisión las tensiones, deformaciones y desplazamiento generado debido a las fuerzas que actúan sobre él.

Una vez aplicada de carga de 195 N como se observa en la **figura 16**, el software nos arroja un límite elástico de $2.827e+08\text{N/m}^2$, un esfuerzo mínimo de $5.260e+01\text{N/m}^2$ y un esfuerzo máximo de $3.366e+06\text{N/m}^2$ por lo que se puede interpretar que la base móvil no va a fallar debido a que su límite elástico se encuentra por debajo del rango permisible.

En el caso de las deformaciones unitarias tenemos un rango de $7.7499e-10$ como valor mínimo y $7.922e-06$ como valor máximo, se puede concluir que no presentara fallas por deformación como se observa en la **figura 17**, ya que la pieza se encuentra de color azul lo que significa que la deformación que presenta está por debajo del valor mínimo del rango permisible.

Para el desplazamiento el software nos arroja un rango con un valor mínimo de $0.000e+00\text{mm}$ y un valor máximo de $2.284e+03\text{mm}$, como se puede observar en la **figura 18** que existen una pequeña zona de color naranja cercanas al máximo valor máximo permisible y la gran mayoría de la pieza se muestra de color amarillo y verde, que hace referencia al punto medio y el valor más bajo del rango permisible.

Se puede afirmar que los datos sobre dimensiones, material y geometría del tambor rotativo suministrados por el ingeniero Tomas Gonzales, el análisis reveló que la pieza no presentó ninguna falla o deformación significativa cuando se sometió a las cargas previamente definidas. Esto indica que la pieza es lo suficientemente resistente y cumple con los requisitos de diseño.

Para la selección del motor del tambor rotativo.

En este caso se utilizó los datos suministrados por el ingeniero Tomas Gonzales

Donde tenemos:

$P=3\text{KW}$ equivalente a 4 HP

Velocidad de tambor = 21 RPM

Se va a la tabla N° 18 para hacer la selección de motor

Tabla 28 motores trifásicos

Motores Trifásicos Cerrados - W21

Eficiencia Estándar

| Potencia | Carcasa EC | | RPM | Corriente nominal en 380V A | Corriente con rotor bloqueado Ip / In | Momento Nominal Cn (NM) | Momento con rotor bloqueado Cp / Cn | Momento máximo Cmax Cn | 380 V | | | | | | Factor de servicio P.S. | Momento de inercia J kgm² | Tiempo max con rotor bloqueado en caliente / frío (s) | Peso aprox (kg) |
|------------------------------|------------|------|------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|------|------|--------------------------|------|------|-------------------------|---------------------------|---|-----------------|
| | kW | HP | | | | | | | Rendimiento η% | | | Factor de Potencia Cos φ | | | | | | |
| | | | | | | | | | % de la potencia nominal | | | | | | | | | |
| | | 50 | 75 | 100 | 50 | 75 | 100 | | | | | | | | | | | |
| 4 HP Poles - 1500 rpm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.12 | 0.16 | 63 | 1375 | 0.44 | 3.5 | 0.82 | 2 | 2.2 | 43 | 54 | 57 | 0.49 | 0.61 | 0.72 | 1.00 | 0.00034 | 30.66 | 6.8 |
| 0.18 | 0.25 | 63 | 1360 | 0.64 | 3.4 | 1.29 | 2 | 2.2 | 46 | 54 | 58 | 0.49 | 0.63 | 0.74 | 1.00 | 0.00039 | 23.51 | 6.9 |
| 0.25 | 0.33 | 63 | 1415 | 0.94 | 5 | 1.04 | 3.1 | 3.1 | 32 | 60 | 62 | 0.44 | 0.54 | 0.65 | 1.00 | 0.00067 | 17.37 | 8.5 |
| 0.25 | 0.33 | 71 | 1310 | 0.85 | 3.3 | 1.77 | 1.9 | 2.1 | 50 | 55 | 59 | 0.5 | 0.65 | 0.76 | 1.00 | 0.00039 | 21.46 | 8.8 |
| 0.37 | 0.5 | 71 | 1320 | 1.19 | 3.7 | 2.66 | 2 | 2 | 55 | 60 | 62 | 0.5 | 0.63 | 0.76 | 1.00 | 0.00056 | 17.37 | 9.7 |
| 0.55 | 0.75 | 71 | 1385 | 1.71 | 5 | 3.8 | 2.8 | 2.9 | 66 | 70.5 | 72 | 0.45 | 0.58 | 0.68 | 1.00 | 0.00096 | 19.42 | 12.3 |
| 0.55 | 0.75 | 80 | 1410 | 1.50 | 4.7 | 3.74 | 2.1 | 2.2 | 59.5 | 66.3 | 68 | 0.54 | 0.7 | 0.82 | 1.00 | 0.0019 | 17.37 | 12.8 |
| 0.75 | 1 | 80 | 1395 | 1.95 | 5 | 3.04 | 2.3 | 2.2 | 64.5 | 71 | 72 | 0.55 | 0.7 | 0.81 | 1.00 | 0.0025 | 14.31 | 13.5 |
| 1.1 | 1.5 | 90S | 1420 | 2.75 | 5.6 | 7.42 | 2.3 | 2.4 | 70 | 76 | 77 | 0.55 | 0.69 | 0.79 | 1.00 | 0.00392 | 8.18 | 18.1 |
| 1.5 | 2 | 90S | 1410 | 3.52 | 5.3 | 9.96 | 2.3 | 2.4 | 76.5 | 78.5 | 79 | 0.58 | 0.73 | 0.82 | 1.00 | 0.00476 | 8.18 | 17.0 |
| 1.5 | 2 | 90L | 1410 | 3.52 | 5.5 | 9.96 | 2.3 | 2.4 | 76.5 | 78.5 | 79 | 0.58 | 0.73 | 0.82 | 1.00 | 0.00476 | 8.18 | 20.0 |
| 2.2 | 3 | 90L | 1410 | 5.46 | 5.8 | 14.94 | 2.7 | 2.5 | 75 | 76.5 | 76.5 | 0.57 | 0.71 | 0.8 | 1.00 | 0.00672 | 8.18 | 23.8 |
| 2.2 | 3 | 100L | 1410 | 3.00 | 5.6 | 14.94 | 2.4 | 2.8 | 80.5 | 81.5 | 81.5 | 0.6 | 0.74 | 0.82 | 1.00 | 0.00651 | 9.20 | 25.9 |
| 3 | 4 | 100L | 1400 | 4.81 | 6 | 20.07 | 2.8 | 3 | 80 | 81 | 82.6 | 0.57 | 0.72 | 0.81 | 1.00 | 0.00842 | 8.18 | 29.4 |
| 4 | 5.5 | 100L | 1300 | 8.93 | 6.7 | 27.79 | 2.6 | 2.8 | 81.5 | 82.2 | 82 | 0.64 | 0.76 | 0.83 | 1.00 | 0.01072 | 7.15 | 34.7 |
| 4 | 5.5 | 112M | 1440 | 8.81 | 6.2 | 26.83 | 2.1 | 2.5 | 83.5 | 84.6 | 85 | 0.65 | 0.77 | 0.83 | 1.00 | 0.01473 | 13.29 | 42.0 |


Fuente: Motores Weq. (2020)

Se obtiene como resultado la selección de un motor de 4HP y 1400RPM, donde se tiene como dato una velocidad de 21 rpm para un proceso de granulado eficiente, en este caso se usa el motor directamente acoplado al eje del tambor rotativo y para disminuir la velocidad y obtener la velocidad deseada usaremos un variador de frecuencia.

Seleccionando la boquilla del sistema rociador

Tabla 29 tabla de boquilla rociador

S PERFORMANCE DATA:
STANDARD ANGLE SPRAY



| Inlet Conn. (in.) | Nozzle Type | | | | | | | | | | Capacity Size | Orifice Dia. Nom. (mm) | Max. Free Passage Dia. (mm) | Flow Rate Capacity (liters per minute) | | | | | | | | | Spray Angle (°) | | |
|-------------------|-------------|----|---|------------|----|----|-------|-----|---------|---------|---------------|------------------------|-----------------------------|--|---------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|-------|-----------------|-----|--|
| | Standard | | | Wall-Mount | | | Angle | | 0.4 bar | 0.5 bar | | | | 0.7 bar | 1.5 bar | 3 bar | 6 bar | 7 bar | 10 bar | 0.5 bar | 1.5 bar | 6 bar | | | |
| | G | GG | H | HH | HF | GD | HD | GGD | | | | | | | | | | | | | | | GA | GGA | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 1 | .79 | .64 | - | - | 38 | 54 | 74 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | - | 58 | 53 | |
| 1/8 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 1.5 | 1.2 | .64 | .44 | .49 | .57 | .80 | 1.1 | 1.5 | 1.6 | 1.9 | 52 | 65 | 59 | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 2 | 1.2 | 1.0 | .59 | .65 | .76 | 1.1 | 1.5 | 2.0 | 2.2 | 2.6 | 43 | 50 | 46 | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 3 | 1.5 | 1.0 | .88 | .98 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.1 | 3.3 | 3.9 | 52 | 65 | 59 | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 3.5 | 1.6 | 1.3 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.9 | 2.6 | 3.6 | 3.8 | 4.5 | 43 | 50 | 46 | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 3.9 | 2.0 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 2.1 | 2.9 | 4.0 | 4.3 | 5.1 | 77 | 84 | 79 | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 5 | 2.0 | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 1.9 | 2.7 | 3.7 | 5.1 | 5.5 | 6.5 | 52 | 65 | 59 | |
| | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 6.1 | 2.3 | 1.3 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 3.3 | 4.5 | 6.2 | 6.7 | 7.9 | 69 | 74 | 68 | | |

Fuente: Spraying Systems Co. (2020)

Con los datos suministrados por el ingeniero Tomas Gonzales, se tiene una presión de 0.7 bar y 0.2 litros por minutos, para seleccionar la boquilla del sistema de aglutinante (agua),

se va a la tabla 29 y se selecciona la inmediata superior a estos datos suministrados, dando como resultado una boquilla de aspersión de agua de 0.38 litros por minuto.

4.3 Modelar y ensamblar los elementos mecánicos en 3D de la máquina granuladora de urea, usando el software comercial CAD Solidwork.

Despiece de la máquina granuladora de urea

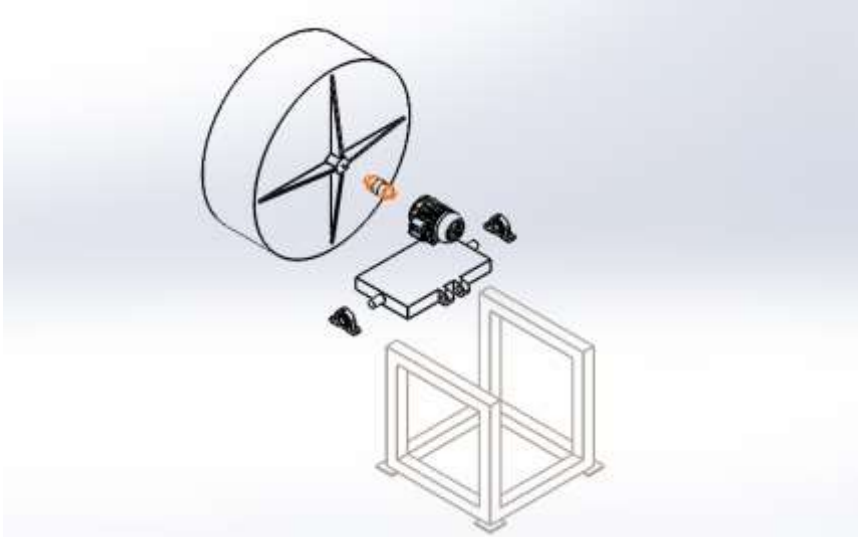


Figura 20. Máquina granuladora de urea

Fuente SolidWorks (2019)

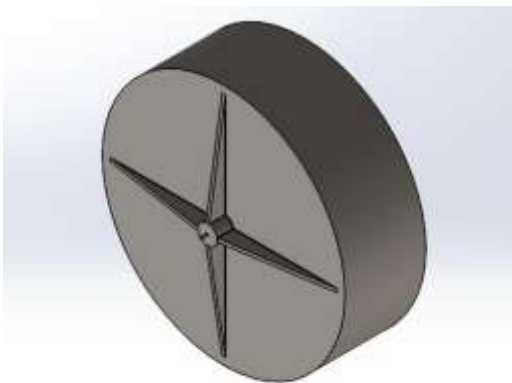


Figura 21. tambor rotativo parte posterior

Fuente SolidWorks (2019)

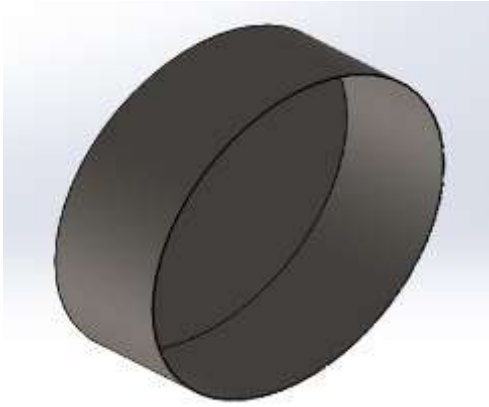


Figura 22. tambor rotativo parte frontal

Fuente SolidWorks (2019)

Tambor rotativo

El tambor rotativo de una máquina granuladora de urea es un componente esencial de esta maquinaria que cumple un papel fundamental en el proceso de granulación. Se trata de un cilindro o tambor que gira constantemente sobre su eje horizontal, y su función principal es aglomerar partículas de urea para formar gránulos más grandes y uniformes.

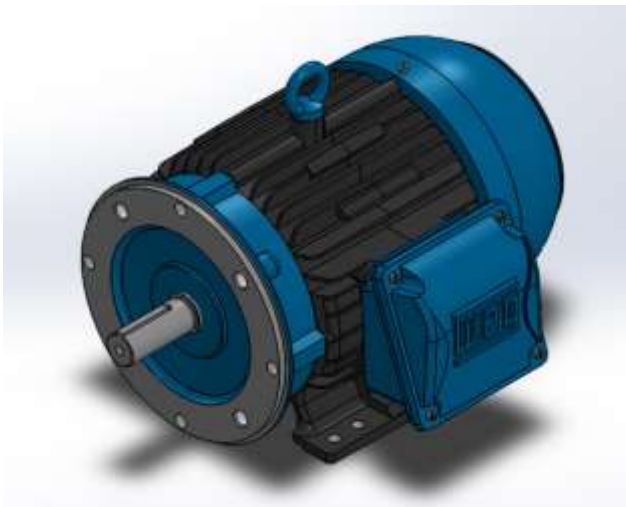


Figura 23 Motor

Fuente SolidWorks (2019)

Motor

Motor trifásico WEG de 4hp de potencia y 60Ghz de frecuencia encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y transmitirla al tambor rotativo de la maquina granuladora de urea

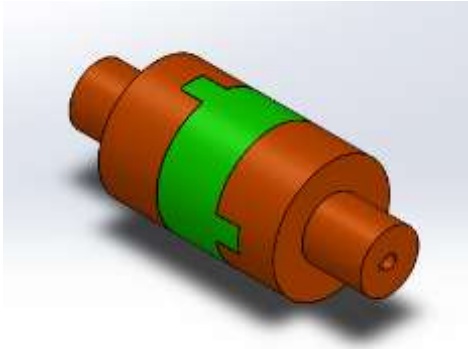


Figura 24 Acople
Fuente SolidWorks (2019)

Acople

Este acople es el dispositivo que une el motor con el tambor de la máquina granuladora de urea es la conexión mecánica que garantiza la transmisión de la potencia y el movimiento desde el motor al tambor, lo que es esencial para el proceso de granulación de urea en la maquinaria

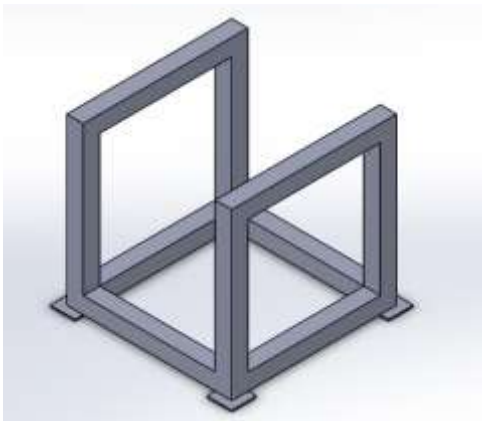


Figura 25 Base estática
Fuente SolidWorks (2019)

Base estática

la base estática de una máquina granuladora de urea por tambor rotativo es la estructura fija que sostiene y estabiliza el tambor rotativo, permitiendo que el proceso de granulación se lleve a cabo de manera efectiva y segura.

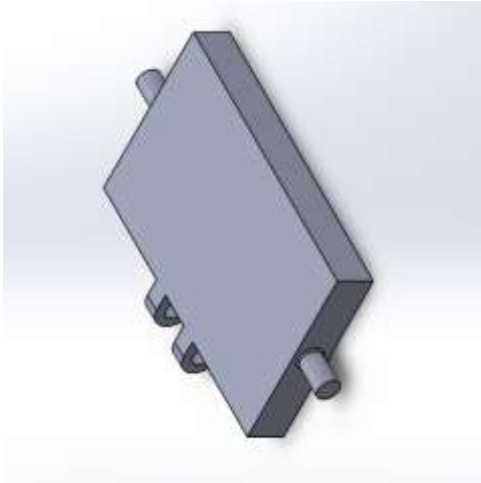


Figura 26 Base móvil
Fuente SolidWorks (2019)

Base móvil

La movilidad de la base puede ser esencial para optimizar la eficiencia y la versatilidad de la máquina granuladora, ya que permite realizar ajustes precisos en la posición del tambor rotativo o en la configuración de la máquina de acuerdo con las necesidades del proceso de granulación. Esta característica facilita la adaptación del ángulo de 30° ideal para obtener un granulado eficiente



Figura 27 Cinta transportadora
Fuente SolidWorks (2019)

Cinta transportadora

La cinta transportadora consta de una banda de goma o material similar que se mueve sobre rodillos o tambores, y esta banda se encarga de llevar los cristales de urea desde un

punto de carga (donde se encuentran los cristales) hasta un punto de descarga, que generalmente es la entrada de la máquina granuladora

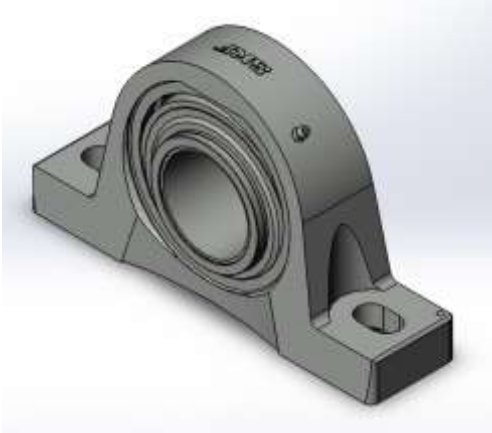


Figura 28 Rodamiento SKF

Fuente SolidWorks (2019)

Rodamiento SKF

sujeta la base móvil de una máquina granuladora de urea es un elemento esencial que facilita el movimiento para obtener en ángulo de 30°, contribuyendo al proceso de granulación de urea de manera eficiente y duradera

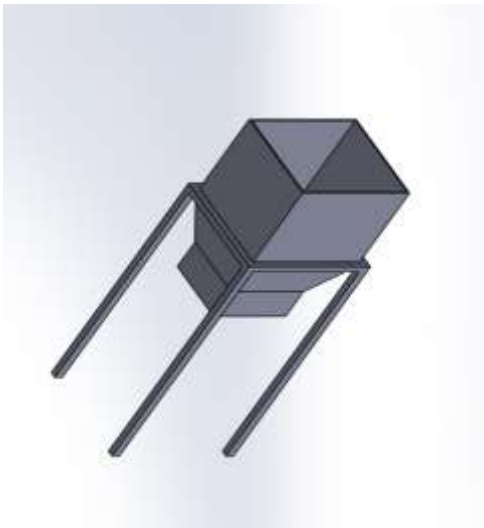


Figura 29 Tolva

Fuente SolidWorks (2019)

Tolva

La tolva es la encargada de alimentar una cinta transportadora con urea cristalizada, es un componente esencial en la cadena de suministro de materia prima para la producción de

gránulos de urea, ya que almacena y dosifica la urea hacia la cinta transportadora, asegurando un flujo controlado y continuo de material hacia el proceso de granulación

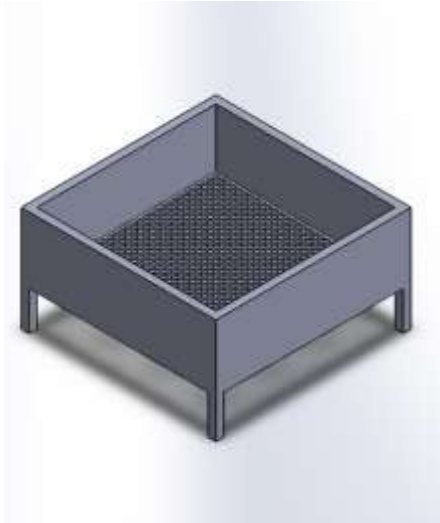


Figura 30 Malla selectora

Fuente SolidWorks (2019)

Mallas de selección de granulado

La función principal de la malla de selección de granulometría es retener los gránulos que son demasiado grandes para pasar a través de sus aberturas y permitir que los gránulos de tamaño adecuado pasen a través de ella. Esto ayuda a obtener una distribución de tamaños de gránulos uniforme y consistente, lo que es importante en la producción de fertilizantes y otros productos granulados, ya que permite un mejor control de la liberación de nutrientes y la aplicación en diferentes aplicaciones agrícolas

Modelado y ensamble del sistema de granulado de urea por tambor rotativo

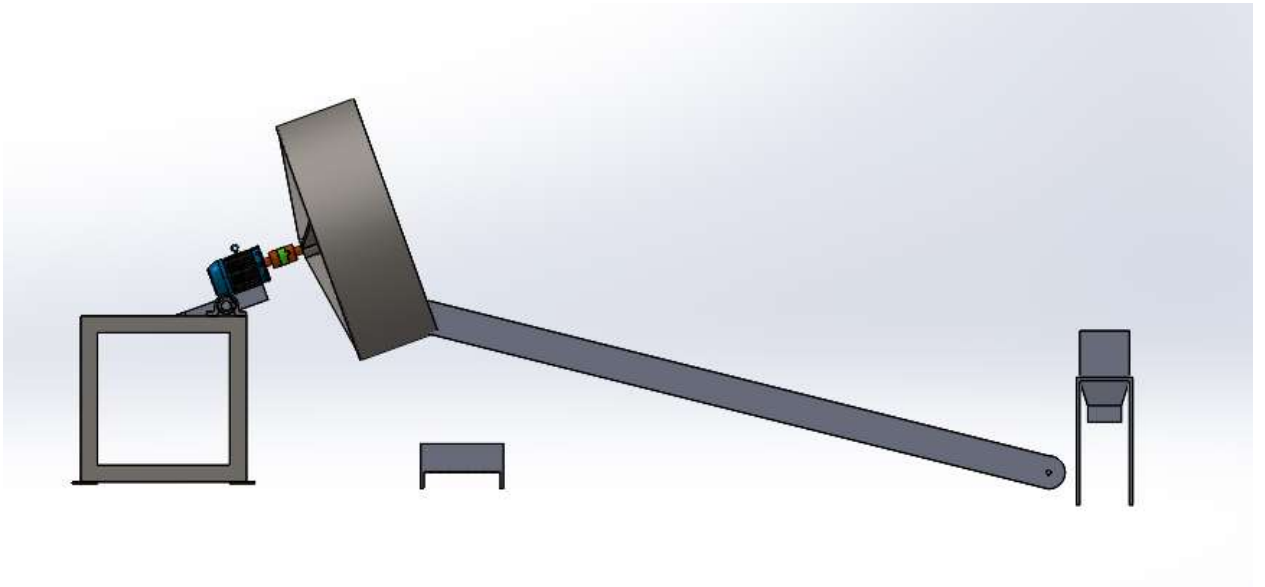


Figura 31 sistema de granulado de urea
Fuente SolidWorks (2019)

4.4 Simular el diseño de la máquina granuladora de urea de tambor rotativo, usando herramientas modernas de diseño mecánico.

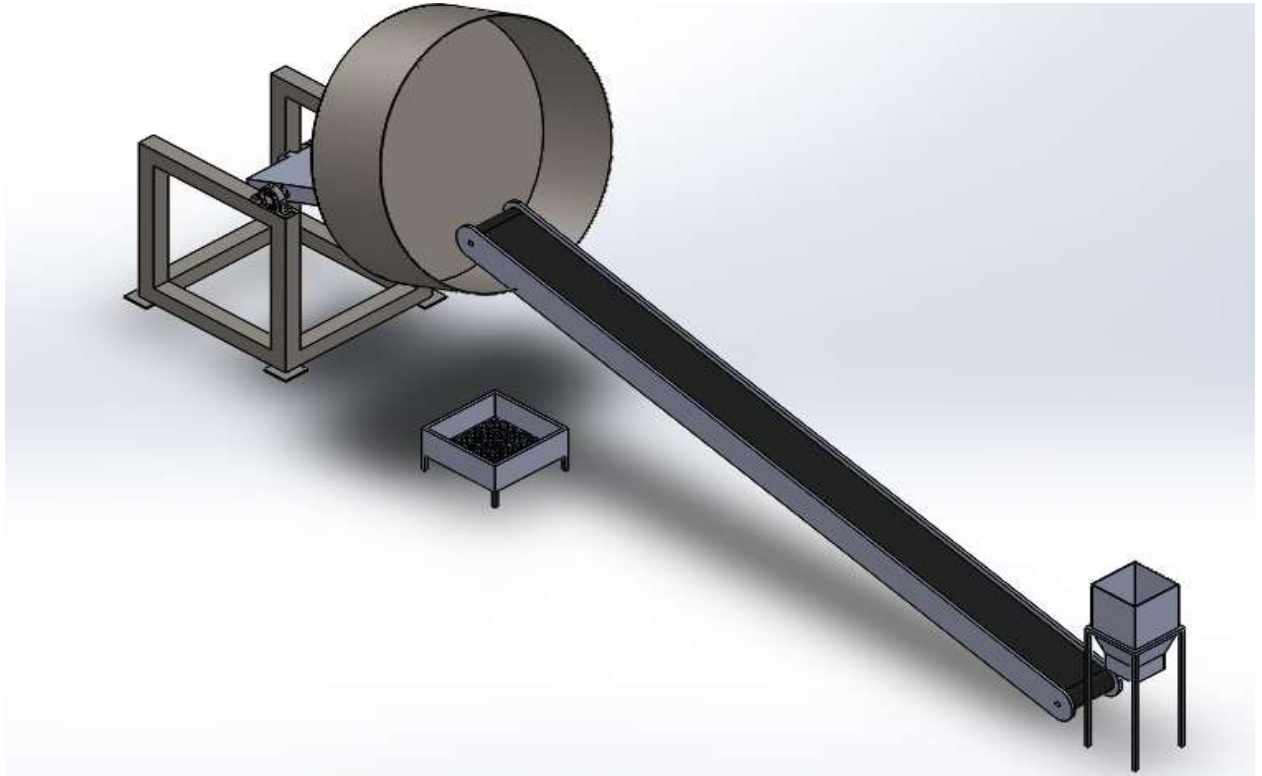


Figura 32 sistema de granulado de urea
Fuente SolidWorks (2019)

1. Se suministra los cristales de urea manualmente a la tolva
2. La tolva suministra gradualmente los cristales de urea a la cinta transportadora
3. Se transporta los cristales de urea desde la tolva al tambor rotativo mediante la cinta transportadora
4. Se granulan los cristales de urea en el tambor rotativo
5. Se selecciona la urea granulada con el tamaño deseado, mediante una malla selectora

4.5 Desarrollar el estudio de la viabilidad económica, técnica, y operativa del proyecto

4.5.1 Viabilidad económica

La viabilidad económica de un proyecto, se debe realizar un estudio para determinar el eventual éxito o fracaso del proyecto. Cualquier proyecto que se desee poner en marcha tiene que tener como herramienta principal un plan de viabilidad que deje las posibilidades de éxito que aquellas iniciativas pueden tener. Es una herramienta necesaria para la toma de decisiones estratégicas; es imprescindible llevar a cabo una investigación completa que conduzca al conocimiento de si realmente el proyecto aportará los beneficios que se esperan de él y podrá sobrevivir durante un tiempo razonable. En consecuencia, Rodríguez, L. (2017) dice que:

Para lograr esto determinar la viabilidad económica, se parte de un análisis de la situación con datos empíricos (que pueden ser contrastados) a los que accede a través de diversos tipos de investigaciones (encuestas, estadísticas, etc.), que sirva para identificar las fortalezas y debilidades del enfoque actual. Es decir, comienza con un análisis de la realidad concreta en la que se quiere desarrollar para minimizar el margen de error.



Cotización

Guacara 25/08/2023

| Cantidad | Descripción | Precio (\$) |
|----------|---|-------------|
| 1 | Maquina granuladora de urea, incluye: tambor rotativo, motor de 4 hp, acople del motor al tambor, base estática y anclaje a tierra | 1500 |
| 1 | Cinta transportadora, incluye: rodillos, tambor motriz, contra tambor, banda de 300mm de ancho, base de la cinta transportadora, motor 0.25 hp, reductor e instalación y puesta en marcha | 1500 |

| | | |
|--------------|---|-------------|
| 1 | Fabricación de tolva y base | 200 |
| 1 | Sistema de aglutinante, incluye: tres metros de tubería de plástico PVC de media pulgada, boquilla de aspersión y bomba de medio hp | 350 |
| 1 | Instalación mecánica, eléctrica y puesta en marcha del sistema de granulado de urea | 900 |
| Total | | 4450 |

En resumen, la viabilidad económica del proyecto de la máquina granuladora de urea se basa en evaluar si los ingresos proyectados superan los costos operativos y la inversión inicial, si el proyecto puede generar un retorno financiero positivo. Un análisis de costo-beneficio, el período de retorno de la inversión favorable y un flujo de efectivo sólido son indicativos de una viabilidad económica positiva. En este caso tenemos que la inversión inicial sería de 4450\$ más un 50% de este valor en gastos operativos daría un total 6675\$. El retorno de inversión está relacionado directamente con la capacidad de producción que se estima en 500 kilogramos de urea granulada por hora, trabajando un total de dos turnos de 8 horas, esto genera una producción mensual de 192mil kilogramos de urea al mes con un valor en el mercado de 20\$ el saco de 25kg y generando un valor neto de aproximadamente de 150mil dólares al mes, para calcular la ganancia se le resta el 50% del valor invertido en la materia prima, quedando un valor neto de ganancia 75mil dólares que representa un retorno de inversión de un mes aproximadamente haciendo este proyecto económicamente viable para los empresarios.

4.5.2 Viabilidad técnica

Según Rodríguez, L. (2017) la viabilidad técnica:

Hace referencia a aquello que atiende a las características tecnológicas y naturales involucradas en un proyecto. El estudio de la viabilidad técnica suele estar vinculado a la seguridad y al control de lo que vamos a hacer; esto es, a sus características, funcionalidades y propiedades físicas y a cómo lo vamos a hacer. Tendremos que conocer cuál es el proceso de fabricación/realización, los medios técnicos necesarios, los medios humanos que van a intervenir y su cualificación, los materiales necesarios, control de calidad, gestión de residuos, etc.

Por lo tanto, la viabilidad técnica de un trabajo de grado de una máquina granuladora de urea por tambor rotativo depende de varios factores, incluido el acceso a recursos, la claridad en los objetivos, el alcance, el apoyo de asesores y la disponibilidad de datos.

Los aspectos técnicos clave del proyecto que se han abordado de manera integral son:

- La elección de la tecnología de tambor rotativo se respalda con un análisis detallado de su eficiencia y éxito en aplicaciones similares.
- Se destacan las ventajas técnicas, como la uniformidad del grano y la eficiencia en el uso de energía.
- Posibles mejoras para reducir el consumo de energía, y se consideran fuentes de energía alternativas o renovables.

Lo que hace que el proyecto sea viable técnicamente.

4.5.3 Viabilidad operativa del proyecto

La viabilidad operativa de un proyecto se refiere a la capacidad del proyecto para funcionar de manera efectiva, eficiente y sostenible una vez que se ha implementado y está en operación. En otras palabras, se trata de determinar si el proyecto puede ser ejecutado y operado de manera práctica y realista, teniendo en cuenta aspectos como la gestión, los recursos, la infraestructura, el mantenimiento y la continuidad operativa a largo plazo.

La viabilidad operativa del proyecto de la máquina granuladora de urea por tambor rotativo se centra en garantizar que la máquina pueda operar de manera efectiva y sostenible una vez que esté en funcionamiento a una capacidad del 95% de rendimiento productivo

4.5.4 Viabilidad social del proyecto

En el proyecto se debe evaluar si es socialmente viable tomando en cuenta el impacto que se tendrá dentro de la sociedad. Kendall, K. y Kendall, J. (1997), concluyen que tiene como objetivo “buscar la satisfacción de las necesidades humanas materiales. Aquí se analizarán la población afectada, sus impactos (beneficios o perjuicios) y su relación con las variables económicas”.

Este proyecto busca satisfacer las necesidades de las pequeñas empresas privadas, una máquina granuladora de urea puede tener beneficios sociales, como la mejora de la

eficiencia en la producción de fertilizantes, lo cual puede llevar a una mayor disponibilidad de fertilizantes a precios más bajos, beneficiando a los agricultores y contribuyendo a la seguridad alimentaria

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En esta etapa del trabajo, se han llevado a cabo cálculos teóricos fundamentales para comprender y diseñar los componentes mecánicos clave de las máquinas granuladoras de urea. Estos cálculos incluyen consideraciones sobre la resistencia de materiales, análisis de tensiones, deformación y otros principios de ingeniería. Al realizar estos cálculos, se ha logrado una comprensión más profunda de cómo los componentes mecánicos como el tambor rotativo, base móvil del motor, selección del motor y diseños de la cinta transportadora interactúan en el proceso de granulación de urea. Esto sienta las bases para el diseño y optimización de las máquinas granuladoras

En esta segunda fase del trabajo, se ha realizado una investigación detallada por medio una entrevista estructurada y se han identificado los parámetros críticos que afectan el rendimiento y la seguridad en el proceso de granulación de urea utilizando un tambor rotativo. Estos parámetros incluyen la velocidad de giro del tambor que se determinó que son 21 rpm, que influye en la agitación y la mezcla de las partículas de urea, el ángulo de inclinación de la máquina que es de 30°, que determina la eficiencia del proceso y la caída de las partículas, así como los aspectos de seguridad que garantizan la operación segura y confiable de la máquina.

En la tercera fase de la investigación, se ha logrado un avance significativo al modelar y ensamblar en 3D los elementos mecánicos esenciales de la máquina granuladora de urea mediante el software SolidWorks. Esta tarea ha permitido visualizar y comprender en detalle cómo cada componente interactúa y contribuye al funcionamiento general de la máquina.

Posteriormente, en el desarrollo del cuarto objetivo específico se logra la simulación y/o estudio de movimiento de la mejor alternativa para el proyecto.

Finalmente, se concluye que, en la viabilidad del proyecto, se puede observar que existe alta capacidad de producción teniendo como beneficio una gran utilidad y un rápido retorno de inversión inicial, resultando que el proyecto de la maquina granuladora de urea es totalmente viable en Venezuela

RECOMENDACIONES

Luego de trazar la problemática y darle una propuesta para solucionarla se obtienen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo a la maquina granuladora de urea por tambor rotativo para evitar fallas durante el proceso de producción
- Se recomienda a los fabricantes realizar un manual de uso y manejo de la maquina granuladora de urea, para los futuros operadores.
- Se recomienda describir las medidas de seguridad que se deben implementar durante la operación de la máquina granuladora de urea por tambor rotativo.
- Se recomienda anclar la base estática de la maquina granuladora de urea de forma permanente al piso para evitar vibraciones
- Se recomienda ajustar los tornillos del motor de la maquina granuladora de urea a la base móvil con arandelas de presión

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anzoátegui, L (2023), “Diseño de un sistema de transporte y dosificación automática (ensilado) de pasto de engorde de animales vacunos para la empresa Rollers Conveyors s.a.” (**tesis de pregrado de la universidad José Antonio Páez, san diego**)
- Arias. (2016). El proyecto de Investigación. 7º edición. Caracas. Episteme C. A.
- Arnal, J., Del Rincón, D. y Latorre, A. (1992). **Investigación educativa. Metodologías de investigación educativa**. Barcelona.
- Balestrini, M. (2006). Como se elabora el proyecto de Investigación. 7º edición. Caracas. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial.
- Castillo, A. (2004). **Técnicas de recolección de datos**. México
- Castro, J (2019), “**Investigación del efecto de los principales parámetros del proceso de granulación vía húmeda usando la tecnología de alto corte en una formulación de metronidazol tabletas 500mg**”. (tesis de pregrado de la universidad ICESI, santiago de Cali, valle del cauca)
- Castro, J (2012) “**Diseño de la estructura de un dosificador automatizado para la alimentación de las cabras de la granja de la universidad Francisco de paula Santander Ocaña**”. [Tesis de pregrado Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia].
- Cervo, A. y Bervian, P. (1989). **Metodología científica**. Bogotá: McGraw-Hill.
- COVENIN (1997), “**Fertilizantes. Urea. Requisitos y métodos de ensayo.**” <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1506-97.pdf> [09 de Julio de 2009].
- Hurtado. (2010). **Metodología de la Investigación Holística. Tercera Edición**. Caracas. Venezuela
- Hernández, R. (2010). **Metodología de la Investigación**. 5º edición. México.
- Parella y Martins. (2010). **Metodología de la investigación cuantitativa**. Caracas, Venezuela.
- Pequiven, “Urea. Súper Nitrógeno”. http://www.pequiven.com/pqv_new/urea.pdf [2014].
- Tamayo y Tamayo, M. (2012), **El Proceso de Investigación Científica**. México. Limusa
- Universidad José Antonio Páez. (2007). **Normas para Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado**. San Diego, Carabobo, Venezuela. Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2016)

Manual de trabajos de grado, de especialización, maestría y tesis doctorales. 5° edición. Caracas. Fedeupel.

Universidad nacional autónoma de México, facultad de estudios superiores Cuautitlán (2015). **Manual de prácticas de cad utilizado en el programa SolidWorks 2014**

Usmpetrolero (2012), **“Pequiven: Complejo Petroquímico Morón”**.
<https://usmpetrolero.wordpress.com/2012/07/13/pequiven-complejopetroquimico-moron/> [13 de Julio de 2012]

Vargas, M (2018), **"Diseño de una máquina procesadora de pellets en base a merma de arroz con capacidad de 200kg/h para la empresa escaly s.r.l. – lambayeque"**. (tesis de pregrado de la universidad señor de sipan)

APÉNDICE

APÉNDICE A



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
 UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario

| Nº | Guion de entrevista |
|----|---|
| 1 | ¿Considera usted que el tamaño de la muestra (urea granulada) esté en el rango de 2mm a 6mm? |
| 2 | ¿Podrías explicar cómo influye el ángulo de inclinación del tambor de la máquina y cual su importancia en el proceso de granulación de urea? |
| 3 | ¿Considera usted que la velocidad de giro del tambor rotativo de la máquina afecta el proceso de granulado de urea? |
| 4 | ¿Cuáles son los aspectos de seguridad y protección que se deben tener en cuenta en el proceso de granulado de urea por tambor rotativo? ¿Qué medidas se toman para garantizar la seguridad de los operadores? |
| 5 | ¿Qué medidas de seguridad y control se implementan en la máquina, para supervisar el proceso de granulación de urea y asegurar la calidad del producto final? |
| 6 | ¿Qué características técnicas se deben tener en cuenta al seleccionar el operador de una máquina de granulado de urea de tambor rotativo para garantizar un rendimiento óptimo? |



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

| Ítems | Redacción de Ítems | | | Pertinencia de los objetivos | | Observaciones |
|-------|--------------------|---------|-------------|------------------------------|---------------|---------------|
| | Clara | Confusa | Tendenciosa | Pertinente | No pertinente | |
| 1 | ✓ | | | ✓ | | |
| 2 | ✓ | | | ✓ | | |
| 3 | ✓ | | | ✓ | | |
| 4 | ✓ | | | ✓ | | |
| 5 | ✓ | | | ✓ | | |
| 6 | ✓ | | | ✓ | | |

Fecha: 31/05/2022


Firma del Especialista:

| | |
|--|---|
| Breve descripción del perfil académico del Especialista: | Ingeniero Mecánico Dra. Ciencias de la Educación |
|--|---|



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

| Ítems | Redacción de Ítems | | | Pertinencia de los objetivos | | Observaciones |
|-------|-------------------------------------|---------|-------------|------------------------------|---------------|---------------|
| | Clara | Confusa | Tendenciosa | Pertinente | No pertinente | |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| 5 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| 6 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |

Fecha: 31/05/2022


Firma del Especialista:

| | |
|--|-------------|
| Breve descripción del perfil académico del Especialista: | <i>Dabe</i> |
|--|-------------|




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

| Ítems | Redacción de Ítems | | | Pertinencia de los objetivos | | Observaciones |
|-------|-------------------------------------|---------|-------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| | Clara | Confusa | Tendenciosa | Pertinente | No pertinente | |
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 5 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 6 | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |

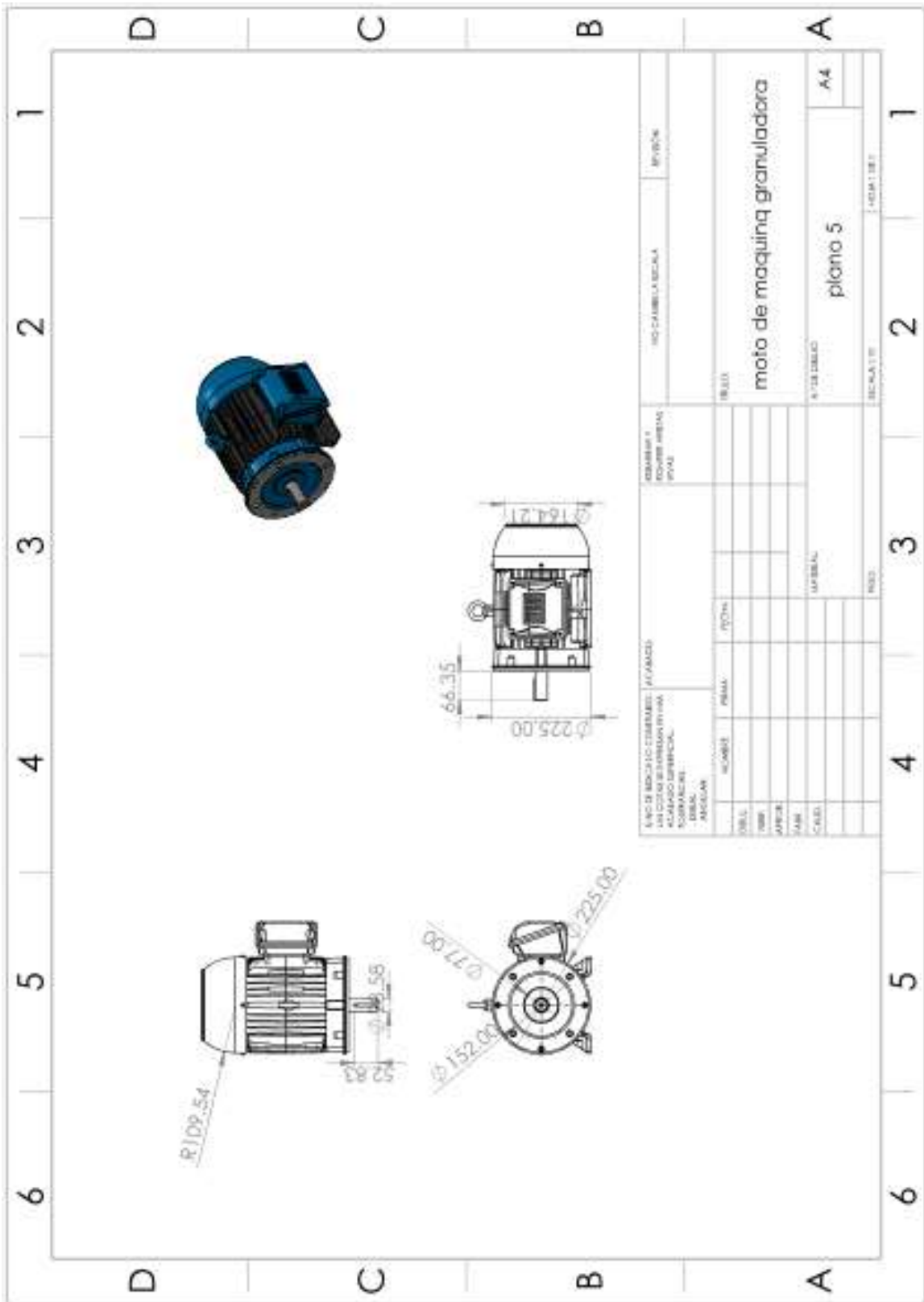
Fecha: 31/05/2022


Firma del Especialista:

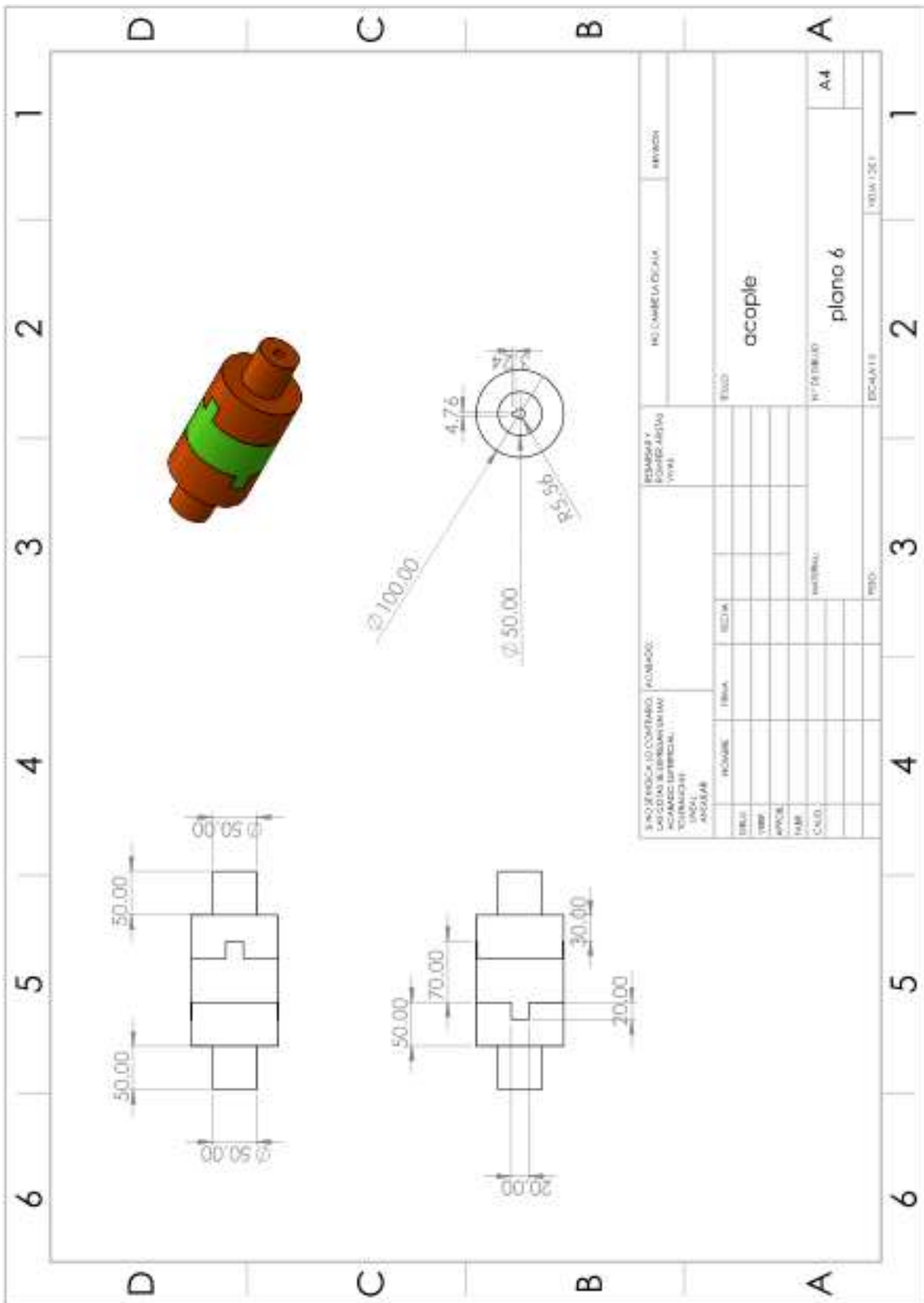
| | |
|--|---------------------------------|
| Breve descripción del perfil académico del Especialista: | ING MECÁNICO D. EN EDUCACIÓN |
|--|---------------------------------|

ANEXOS

ANEXO B



ANEXO C



ANEXO D

