

DISEÑO DE SISTEMA MECÁNICO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LEGUMINOSAS

ROBINSON ALONSO OSORIO LONDOÑO

2011113020

DEISSON MARÍN OCAMPO

2011113014

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN – ANTIOQUIA

2014

DISEÑO DE SISTEMA MECÁNICO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LEGUMINOSAS

ROBINSON ALONSO OSORIO LONDOÑO

2011113020

DEISSON MARÍN OCAMPO

2011113014

Trabajo de grado para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Asesor:

JHONY MAURICIO GUTIÉRREZ FLÓREZ

Ingeniero Mecánico, M.Sc.

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN – ANTIOQUIA

2014

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	9
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo General	12
3.2 Objetivos específicos	12
4. SÍNTESIS DEL PROBLEMA	13
5. HIPÓTESIS DEL PROBLEMA	14
6. MARCO TEÓRICO	15
6.1 Leguminosa “el frijol”	15
6.1.1 Composición nutricional.....	15
6.1.2 Humedad del frijol.....	16
6.2 Secado.....	17
6.2.1 Parámetros a considerar para el secado de granos.....	18
6.2.2 Condiciones del aire ambiente	19
6.2.3 Temperatura de secado	19
6.2.4 Calor mínimo para evaporar 1kg de agua	19
6.2.5 Tipos de deshidratación de alimentos.....	19
6.2.5.1 Natural.....	20
6.2.5.2 Artificial	20
6.2.6 Principios fundamentales del secado	21
6.2.6.1 Definición de secado.....	21
6.2.6.2 Mecanismos de secado.....	21
6.2.6.3 Condiciones externas.	22
6.2.6.4 Condiciones internas.....	22
6.2.7 Definición de términos asociados al secado.....	22
6.2.7.1 Contenido de humedad.....	22
6.2.7.2 Contenido de humedad en base húmeda (W).....	23
6.2.7.3 Humedad ligada.....	24

6.2.7.4 Humedad no ligada	24
6.2.7.5 Humedad de equilibrio X^*	24
6.2.7.6 Humedad libre	24
6.2.8 Curvas de secado	25
6.2.9 Clasificación de los secadores	29
6.2.9.1 Secadores directos o por convección	29
6.2.9.2 Secadores infrarrojos o de calor radiante y secadores de calor dieléctrico	29
6.2.9.3 Secadores indirectos o por conducción	29
6.3 Condiciones de un equipo de contacto gas-sólido:	31
6.3.1 Modelos de interacción gas-sólido en secaderos	32
6.4 Descripción del secador discontinuo de bandeja o compartimientos	34
6.5 Teoría de la difusión de líquidos en el secado	35
6.5.1 Proceso de difusión en el secado de sólidos	36
7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	40
7.1 Análisis de soluciones existentes	40
7.2 Estudio de las alternativas	40
7.2.1 Secadoras de cascada	40
7.2.2 Secadores rotatorios	42
8. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA EL SECADO DEL FRIJOL	44
9. QUEMADORES	45
9.1 Quemador atmosférico	46
9.2 Quemador de gas / aire	46
9.2.1 Ventajas del quemador a gas natural	47
9.2.2 Ventajas de operacionales del gas natural	47
10. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL QUEMADOR	48
11. SELECCIÓN DEL QUEMADOR	54
12. COTIZACION DEL SECADOR	55
13. DISEÑO DEL SECADOR	57
14. PLANOS DEL SECADOR	58
15. CONCLUSIONES	72
16. BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1.....	23
Ecuación 2.....	23
Ecuación 3.....	23
Ecuación 4.....	23
Ecuación 5.....	23
Ecuación 6.....	24
Ecuación 7.....	24
Ecuación 8.....	25
Ecuación 9.....	28
Ecuación 10.....	38
Ecuación 11.....	39
Ecuación 12.....	48
Ecuación 13.....	48
Ecuación 14.....	48
Ecuación 15.....	49
Ecuación 16.....	49
Ecuación 17.....	49
Ecuación 18.....	50
Ecuación 19.....	50
Ecuación 20.....	50
Ecuación 21.....	51
Ecuación 22.....	52
Ecuación 23.....	52

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Relaciones existentes entre los diferentes tipos de humedades..	25
Figura 2. Contenido de humedad en función del tiempo.	26
Figura 3. Velocidad de secado/humedad libre.	27
Figura 4. Flujo de gas sobre un lecho estático de sólido.	32
<i>Figura 5.</i> Flujos de gas paralelo a la superficie en lecho estático.	33
Figura 6. Acción en un secador rotatorio.	33
Figura 7. Lecho fluidizado de sólidos.	33
Figura 8. Flujo en paralelo, sólido en un secadero flash de transporte neumático.	34
Figura 9. Condición de expansión total de las partículas.	34
Figura 10. Secador de bandejas o anaqueles.	35
Figura 11. Secador de cascada.	41
Figura 12. Secador rotatorio.	43
Figura 13. Imagen del quemador.	56
Figura 14. Modelo en 3D del secador.	57
Figura 15. Vista lateral derecha del secador	57
Figura 16. Isométrico vista en corte.	58
Figura 17. Isométrico acotado.	59
Figura 18. Plano tambor	60
Figura 19. Plano rodachinas.	61
Figura 20. Plano estructura	62
Figura 21. Plano sistema de poleas	63
Figura 22. Plano cilindro	64
Figura 23. Plano platina soportes rodachinas	65
Figura 24. Plano soporte platina rodachina tensor	66
Figura 25. Plano platina soporte motor	67
Figura 26. Plano espiral interno tambor	68
Figura 27. Plano rodachina soporte tambor	69
Figura 28. Plano tornillo soporte rodachina.	70
Figura 29. Plano motor y accesorios	71

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición nutricional promedio de una semilla de frijol. Fuente:(BPA)	16
Tabla 2. Composición química de semillas de algunas especies. Fuente:(Mora, 1982)	17
Tabla 3. Calor mínimo para evaporar 1Kg de agua.Adaptado de(B., 1985)	19
Tabla 4.Características quemador industrial. Fuente: GAS Y GAS (S.A.S).....	54
Tabla 5. Cotización de la fabricación del secador.....	55

RESUMEN

La idea de presentar este proyecto nació de la necesidad manifestada por uno de los clientes para los cuales trabajamos actualmente, teniendo en cuenta su principal necesidad como es la de secarse producto primario en menor tiempo y calidad para acelerar el proceso de fabricación del producto final debido a la demanda actual.

Teniendo en cuenta las necesidades y sugerencias manifestadas por el cliente, entramos en un minucioso proceso de investigación para tratar de dar solución y pasar una propuesta de diseño que cumpliera satisfactoriamente con los requerimientos del cliente apoyándonos en nuestras experiencias laborales y presentar nuestro mejor diseño.

A partir de los resultados arrojados en las investigaciones y con las comparaciones que hicimos en la gran variedad de sistemas para el secado de granos, tomamos la decisión de realizar el diseño de un secador de tambor rotatorio con un motor reductor con variador de velocidad y el suministro de aire caliente por medio de un quemador a gas.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de la empresa Suministros Alimenticios Nutricionales SANA es mejorar y optimizar la forma de fabricación de sus productos, por medio de referencias diseñadas de algunas empresas del sector metalmecánico.

La empresa Suministros Alimenticios Nutricionales SANA necesita optimizar el tiempo de fabricación en la cadena de suministro y diseñar un sistema que permita la deshidratación de parte de los insumos con los que se producen el producto (granolas alimenticias), las cuales serán dirigidas principalmente para el sustento de los integrantes del ejército nacional en zonas de difícil acceso a la alimentación.

Para la producción de las granolas es necesario bajar la humedad relativa a los insumos principales como los tipos de leguminosas como lo es el frijol en este caso, con una temperatura ideal para poder continuar con el proceso de granulación, este proceso actualmente se lleva a cabo de manera artesanal mediante la aplicación de calor solar o un horno eléctrico, proceso que resulta ser muy lento, costoso y no garantiza homogeneidad; en el secado del grano, teniendo en cuenta que el tiempo es una variable que prima en la producción para lograr responder con la necesidad del cliente, se presentó la propuesta del diseño de un sistema mecánico semiautomático, por medio de un secador de tambor rotatorio y suministro de aire caliente, que nos garantice bajar la humedad del grano en un tiempo ideal y que logre abastecer el suministro del producto al siguiente paso del proceso en la fabricación del producto evitando paros de producción.

El secador de tambor rotatorio constituye unas de las formas más ampliamente utilizadas para el secado. En este tipo de secador, el material húmedo es continuamente elevado por la rotación del secador, dejándolo caer a través de una corriente de aire caliente que circula a lo largo del tubo del secador. El flujo de aire puede ser tanto en paralelo como en contracorriente.

Este tipo de secador es muy adecuado para el secado de productos granulares, con buenas características de flujo que requieran tiempos de secado moderados.

Mediante la aplicación de la ingeniería mecánica puede diseñarse una solución innovadora con el diseño de un sistema mecánico de secado de granos, dicho diseño incluirá los cálculos pertinentes, planos, la implementación y fabricación de éste será una fase posterior desarrollada por otro proyecto de grado.

El diseño que se pretende realizar tendrá en cuenta las necesidades de la empresa y se adecuará a la planta física que ésta posee.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La deshidratación de los alimentos es un proceso de transferencia de masa y energía en un sólido con el entendimiento de estos dos mecanismos con el alimento a secar y el aire o gas de secado, así como las propiedades termo físicas de equilibrio y transporte de ambos sistemas, son de vital importancia para modelar un proceso para diseñar un sistema de secado semiautomático que nos sirva para llevar el grano a una humedad ideal.

Las operación de deshidratación de leguminosas son importantes en la industria química de los alimentos debido a que el objetivo principal del secador es remover el agua del sólido hasta un nivel donde reduzca el crecimiento microbiológico y las reacciones microbiológicas sean minimizadas.

La problemática en este caso con el secado de leguminosas se presenta en la empresa llamada SANA, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Guarne-Antioquia hace tres años; se dedica a la producción de soluciones alimenticias prácticas dirigidas en gran parte al personal del Ejército Nacional, dentro de los productos que produce esta empresa, su principal línea de productos se encuentran las granolas o barras energéticas compuestas por frutas, cereales y granos deshidratados, sin embargo en contraste con lo práctico de sus productos los métodos de producción se evidencian muy artesanales en la forma cómo realizan la deshidratación de los granos, por parte de hornos eléctricos, proceso en el cual no se garantiza homogeneidad en el secado del producto, además desequilibran y retardan constantemente el proceso de fabricación.

Los tiempos de producción son bastante elevados en la relación tiempo/cantidad, por lo que se identifica como una necesidad tecnificar el método de secado o deshidratación de este insumo principal; para reducir el tiempo de secado y así aumentar la producción que ayude a cumplir con tiempos de entrega del producto final.

Por otra parte es necesario cambiar la forma de secado, debido a que la idea principal de la empresa es crear una línea de producción total en un mismo sistema para poder capacitar de una manera más eficiente al personal y lograr adaptarse fácilmente a la mecánica de la producción enfocados en cada parte del proceso.

Por esta razón nace la idea de realizar el diseño de un sistema semiautomático de secado que ayude a dar respuesta a la dificultad práctica y metodológica que alarga los tiempos de producción del producto lo que retrasa los tiempos de entrega y las cantidades solicitadas por sus clientes.

2. JUSTIFICACIÓN

El producto que se desarrolla compite en un amplio mercado, teniendo en cuenta que productos similares son producidos por grandes empresas nacionales y multinacionales que cuentan no solo con precios competitivos e incursión en el mercado. Siendo el principal cliente consumidor El Ejército Nacional, que también se rige por las ofertas del mercado, con este panorama es admirable el hecho que “SANA” esté posicionada a nivel municipal y posea un cliente tan importante, además está buscando penetrar otros mercados, sin embargo para esto se da la necesidad de mejorar los procesos de producción, tiempos y la cantidad en la fabricación del producto.

Realizar el diseño del deshidratador será parte de la respuesta a la situación problemática previamente descrita (baja producción por tiempos elevados en el proceso de deshidratación de las leguminosas necesarias para la fabricación de las granola), solución que se podrá materializar por fuera del alcance de este proyecto, si se decide implementar la fabricación del sistema semiautomático de secado, por medio de un tambor rotatorio que permita realizar un secado correcto de la leguminosa, en tiempos ideales que garantice la sinergia en el proceso de producción y ayude a minimizar los tiempos de producción o en el peor de los casos realizar un secado apto al producto que permita hacer un correcto almacenamiento y ofrezca garantías en permanecer el buen estado del grano.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Realizar los diseños necesarios de un secador rotatorio semiautomático que sirva para el secado de frijol en la producción de barras alimenticias, con el fin de aportar parte de la solución práctica en el mejoramiento del proceso actual.

3.2 Objetivos específicos

- Hacer revisión detallada del estado del arte, sobre el proceso del secado del frijol.
- Hacer los cálculos de masa y energía del sistema para determinar la mejor alternativa de secado y los componentes del secador.
- Elaborar los planos del secador, según los cálculos de masa y energía, teniendo en cuenta el espacio disponible que hay en la infraestructura de la empresa.
- Entregar planos y ficha de recomendación para la fabricación del secador.

4. SÍNTESIS DEL PROBLEMA

La deshidratación de una leguminosa consiste en eliminar la mayor cantidad posible de agua del alimento bajo condiciones controladas de temperatura, humedad, velocidad y circulación del aire caliente, con lo que se obtiene un producto pequeño, liviano, de buen sabor y olor, resistente, de fácil transportación y con menor riesgo de crecimiento y desarrollo microbiano, lo que ayuda a que el almacenamiento del alimento seco sea más fácil y de costos de distribución reducidos.

La empresa alimenticia “SANA” está limitada en su capacidad de producción debido a la falta de tecnificación de sus procesos, por esta razón se piensa desarrollar un proyecto en el diseño y fabricación de una sistema semiautomático que mejore el proceso de secado aparte de los productos necesarios para el desarrollo de su productos, además mejorar rendimiento en la producción en su cadena de suministro y así llegar a un estándar de producción en un tiempo determinado que cumpla con las exigencias del mercado.

5. HIPÓTESIS DEL PROBLEMA

Se ha creado varios mitos acerca del consumo de este alimento, algunas personas les tienen desconfianza, otras personas piensan que no aportan calorías y las consumen en exceso y otros que posiblemente están mal informados las utilizan en compañía de otro alimento como parte de un desayuno o merienda.

El secado del grano asegura un mayor beneficio económico al productor y/o al consumidor debido a que el producto seco sufre poco o ningún deterioro si es bien almacenado, permite la conservación del grano por largos períodos de tiempo conservando su poder de germinación y adquiere un mayor valor agregado si se empaca al consumidor.

La empresa “SANA” adoptó desde la historia la capacidad nutritiva de los cereales teniendo en cuenta que es un alimento ligero y fácil de llevar como lo puede ser para el ejército nacional que se mueve en zonas de difícil acceso; pretendiendo dar solución con la alimentación de estas personas.

Esta empresa en su crecimiento normal se ve retrasada en la producción del producto debido a la forma tan artesanal como llevan el proceso de fabricación y deshidratación de los elementos que lo necesitan para llegar al producto final; debido a esto fue necesario para la empresa implementar un proyecto para diseñar un sistema semiautomático que ayude de forma eficiente en la producción del producto en tiempos ideales que ayuden a cumplir con las necesidades del mercado, no solo para el ejército nacional sino para el resto del país.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Leguminosa “el frijol”

Durante este proyecto tendremos como prioridad analizar las especificaciones, comportamientos y cuidados de esta leguminosa, debido que está entre los insumos más importantes que componen las granolas alimenticias.

Según (Corpoica, 2002); el departamento de Antioquia es el primer productor de fríjol en Colombia, a su vez, es el primer consumidor de fríjol, supera ampliamente el consumo per cápita del país y en este departamento el fríjol es un producto clave en la seguridad alimentaria de la población.

No obstante, en los últimos años el fríjol en Colombia ha perdido competitividad frente a la producción de otros países, en el marco de la globalización, especialmente por los altos costos de producción. Los principales problemas para la producción de fríjol en Colombia y en Antioquia están relacionados con la alta incidencia de enfermedades y plagas, que se agravan por el uso generalizado de semilla de variedades regionales susceptibles, lo cual exige un alto uso de plaguicidas para su manejo con consecuencias negativas como la alta exposición y riesgo de los trabajadores a intoxicaciones, la contaminación del medio ambiente con estos productos y los riesgos de que el fríjol producido bajo estas condiciones pueda contener residuos tóxicos en niveles superiores a los permitidos. Así mismo, el empleo de plaguicidas en el cultivo ha elevado los costos de producción y es una de las causas de la pérdida de competitividad.

6.1.1 Composición nutricional

El frijol es una leguminosa alimenticia de gran valor nutritivo, es rica fuente de proteínas e hidratos de carbono, además de poseer gran cantidad de vitaminas del complejo B como son la niacina, la riboflavina, el ácido fólico y la tiamina. Igualmente proporciona principalmente hierro y zinc, además de cobre, fósforo, potasio, magnesio, calcio y un alto contenido en fibra. También es una excelente fuente de ácidos grasos poli-insaturados.

Tabla 1. Composición nutricional promedio de una semilla de frijol. Fuente (Corpoica, 2002)

COMPONENTES	PORCENTAJES (%)
Humedad	10.0 – 12.0
Carbohidratos	58.0 – 60.0
Proteína	21.0 – 23.0
Grasa	1.5 – 2.0
Fibra	4.0 – 5.0
ceniza	.0 – 3.5

6.1.2 Humedad del frijol

Según (Mora, 1982), el frijón en su mayoría alcanza la madurez fisiológica con contenidos de humedad aproximados variables al 35% y 45%, pero bajo estas condiciones la semilla se deteriora muy fácilmente y aún más si se requiere su almacenamiento, por tal motivo es necesario, someterlo a un proceso de secado para bajar su contenido de humedad por lo menos hasta un 12-10%. Se recomienda secar el grano en vaina antes del desgrane para evitar su deterioro por la acción del calor y utilizando métodos adecuados, como es el caso de las marquesinas o coberturas plásticas de la producción agraria comercial, para alcanzar la sustentabilidad de la producción agrícola.

Generalmente, se acepta que un 12% es el contenido de humedad confiable para almacenar, cuanto mayor sea el porcentaje de humedad de cosechada menor deberá ser la temperatura del secado.

Tabla 2. Composición química de semillas de algunas especies. Fuente:(Mora, 1982)

ESPECIE	AGUA %	PROTEINA (G)	LIPIDOS (G)	CARBOHIDRATOS		CENIZA (G)
				TOTAL (G)	FIBRA (G)	
Frijol Blanco	10,9	22,3	1,6	61,3	4,3	3,9
Frijol Rojo	10,4	22,5	1,5	61,9	4,2	3,7
Frijol Negra y Castaño	11,2	22,3	1,5	61,2	4,4	3,8
Maíz	13,8	8,9	3,9	72,2	2,00	1,2
Cacahuete	5,6	26	47,5	18,6	2,4	2,3
Arroz (No procesado)	12,00	7,5	1,9	77,4	0,9	1,2
Centeno	11,00	12,1	1,7	73,4	2,00	1,8
Sorgo	11,00	11,00	3,3	73,3	1,7	1,7
Soja	10,00	34,1	17,7	33,5	4,9	4,7
Trigo	13,00	14,00	2,2	69,1	2,3	1,7
Girasol	4,8	24,00	47,3	19,9	3,8	4,00

6.2 Secado

Según (Chaves, 2008), el secado o deshidratación de los alimentos fue uno de los primeros métodos que utilizaron nuestros antepasados. Lo empleaban los incas, quienes colocaban alimentos bajo los rayos directos de su dios, el Sol. Durante la Edad Media, los frutos secos, como los orejones de chabacano y melocotón, las ciruelas, uvas pasas e higos desecados formaban parte de la cocina tradicional de las familias de numerosos países. En la época prehispánica se hacían trueques de diferentes granos y semillas en las plazas de las comunidades, y desde entonces hasta nuestros días se ha ampliado la oferta de alimentos deshidratados que podemos disfrutar y adquirir en tianguis, mercados y tiendas.

Consiste en eliminar la mayor cantidad posible de agua del alimento seleccionado bajo condiciones controladas de temperatura, humedad, velocidad y circulación del aire, con lo que se obtiene un producto pequeño, liviano, de buen sabor y olor, resistente, de fácil transportación y con menor riesgo de crecimiento y desarrollo microbiano

Según (Chaves, 2008), el uso de calor para secar alimentos fue puesto en marcha por muchos hombres del nuevo y viejo mundo. Pero no fue sino hasta 1795 que se inventó el cuarto de

deshidratación de agua caliente (105°F) sobre tajadas delgadas de hortalizas. La deshidratación implica el control sobre las condiciones climatológicas dentro de la cámara o el control de un micro medio circulante. Los requerimientos de almacenamiento del alimento seco son mínimos y los costos de distribución son reducidos.

Según (Moreno, 1985), la descomposición puede verse favorecida por diferentes factores, entre los cuales se encuentra la acción de mohos, levaduras, bacterias y enzimas que actúan sobre el suministro de alimentos que el hombre desea. Asimismo, cuando se exponen al aire libre y a temperaturas elevadas se acelera su proceso de descomposición, cambian de color, aspecto, olor y sabor, lo cual puede resultar perjudicial para la salud. El hombre controla las fuerzas químicas del alimento deshidratado con el empaque y ciertos aditivos químicos.

Las fuerzas biológicas son controladas reduciendo el contenido de agua libre y por calentamiento. Para ser el sustrato adecuado para el desarrollo de microorganismos, reduciendo el contenido de agua libre, aumentando con eso las presiones osmóticas, el crecimiento microbiano puede ser controlado.

El tiempo total del que requiere el secado depende del porcentaje de humedad inicial del grano, de la velocidad del secado y del porcentaje de humedad final deseado.

A su vez la velocidad de secado depende de la intensidad de la corriente de aire, de la temperatura del mismo y de la masa del grano, en general es más rápida al principio pero luego va disminuyendo a medida que avanza el proceso.

6.2.1 Parámetros a considerar para el secado de granos

Según (Mora, 1982), los parámetros que influyen en la tasa de secado, cuando se secan granos con aire forzado, son: la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad inicial y de equilibrio de los granos, dado el caso, la velocidad de dichos granos dentro del secador. El tipo de grano y las condiciones en la fase de campo también pueden influir en su tasa de secado.

Los parámetros de secado citados no son independientes. Esto quiere decir que influyen en la tasa de secado como un conjunto de factores y no aisladamente. El manejo adecuado de dichos parámetros permite determinar el equipamiento apropiado para las condiciones específicas de secado.

6.2.2 Condiciones del aire ambiente

A la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente, muchas veces no se les da importancia para el secado a altas temperaturas. Estos parámetros tienen poca influencia sobre la tasa de secado; en cambio, determinan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura de secado. Cuanto menor sea la temperatura ambiente, mayor será la cantidad de energía necesaria para calentar ese aire, lo que determina un mayor costo del secado.

6.2.3 Temperatura de secado

Según (Márquez, 1991), la temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador.

6.2.4 Calor mínimo para evaporar 1kg de agua

Según (Bressani, 1985), bajo sus propios cálculos de balance de masa y energía deduce el calor mínimo necesario para evaporar 1Kg de agua, expresado en la siguiente tabla:

Tabla 3. Calor mínimo para evaporar 1Kg de agua. Adaptado de (Bressani, 1985)

Calor necesario para la evaporación de 1kg de agua	0.6978 KW/H
Pérdida de calor sensible que se va en el aire usado	0.37216 KW/H
Pérdidas de calor por conducción, radiación y convección	0.15119KW/H
Pérdida de calor transportado por el grano	0.09304KW/H
Calor mínimo para evaporar 1Kg de agua	1.31419KW/H

6.2.5 Tipos de deshidratación de alimentos

6.2.5.1 Natural: Consiste en colocar los alimentos en recipientes o charolas con amplia superficie de evaporación. Esta técnica requiere condiciones climatológicas óptimas, por lo que sólo puede llevarse a cabo en regiones muy favorecidas por el clima, ya que es necesario un gran espacio al aire libre y se puede ver afectada por elementos como el polvo, la lluvia y plagas.

6.2.5.2 Artificial: Es una de las técnicas más utilizadas en nuestros días; los alimentos se colocan en secadores mecánicos a base de aire caliente, como hornos de gas, de microondas y liofilización que controlan las condiciones climáticas y sanitarias, por lo que se obtienen productos de buena calidad, higiénicos y libres de sustancias tóxicas. Entre estos equipos o cámaras los hay de diversas formas:

- Secador de tambor rotatorio
- Cámaras de secado
- Secador continuo al vacío
- Secador de bandas continuas
- Liofilizado
- Por aspersion
- Secador de cabina
- Horno
- Secador de túnel

Existe una gran variedad de alimentos que pueden ser deshidratados, como frutas, verduras, carnes (bacalao, machaca), cereales (arroz, avena, centeno, cebada, maíz, trigo), leguminosas (frijol, haba, lenteja, garbanzo, soya, alubias), especias (ajo, cebolla, albahaca, anís, eneldo, entre otras), salsa, leche, moles, sopas, huevo, yogurt y café, entre muchos más.

Las ventajas que proporciona un secado correcto son:

- Quedan más pequeños y pesan menos que en su estado natural.
- Requieren mínimo espacio para transportarlos y almacenarlos.
- Abaratan los costos de transporte y de espacios en almacenes.

- Conservan gran parte de su sabor, color, consistencia y aspecto durante largos períodos.
- Sólo requieren refrigeración a partir de que se hidratan para su consumo.
- Tiempo prolongado de conservación.
- Están disponibles en cualquier temporada.
- Ideales como en casos de desastre, excursiones o montañismo.

6.2.6 Principios fundamentales del secado

6.2.6.1 Definición de secado: Según (Treybal, 2000), el secado es el procedimiento más antiguo utilizado para la preservación de alimentos y se puede definir de distintas maneras, según el enfoque que se desee adoptar. Usualmente, el término se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia y consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo.

El secado de sólidos se refiere generalmente a la separación de un líquido de un sólido por evaporación. Los métodos mecánicos utilizados para separar un líquido de un sólido no se consideran por lo común como una operación de secado, aunque a menudo preceden a una operación de esta naturaleza, ya que es menos costoso y muchas veces, es más fácil utilizar métodos mecánicos que térmicos.

6.2.6.2 Mecanismos de secado: En los estudios más teóricos se pone énfasis en los mecanismos de transferencia de energía y de materia, por lo tanto en un proceso de secado hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente caliente y el sólido a secar. El secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, con base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la fase gaseosa. En consecuencia, en este fenómeno complejo que involucra la transferencia de materia y calor cuando un sólido húmedo es sometido a un secado térmico ocurren dos procesos simultáneamente:

- Hay transferencia de energía (calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie (condiciones externas).

- Hay transferencia de la humedad (masa) interna hacia la superficie del sólido (condiciones internas).

6.2.6.3 Condiciones externas: Durante la transferencia de calor en la cual se pretende eliminar el agua en forma de vapor de la superficie de la partícula, algunas condiciones juegan un papel importante como son: la temperatura, flujo del aire y humedad, área de superficie expuesta al calor y presión. Puesto que estas condiciones durante la etapa inicial del secado son importantes para remover la humedad de la superficie. En algunos materiales el exceso de evaporación en la superficie puede causar encogimiento, esto después de que la humedad inicial ha sido removida dando lugar a altos porcentajes de humedad del interior hacia la superficie, formando tensiones dentro del material ocasionando deformaciones.

6.2.6.4 Condiciones internas: Los factores que pueden determinar la rapidez de secado son: la temperatura, su contenido de humedad y la naturaleza física dentro de la partícula. Durante la transferencia de calor hacia un material húmedo, un gradiente de temperatura se genera dentro del material mientras la evaporación de la humedad ocurre dentro de la superficie. La evaporación hace que la humedad del material vaya desde el interior hacia la superficie, lo cual sucede a través de mecanismos como son: difusión, flujo capilar, presión interna causada por el encogimiento durante el secado. En el proceso de secado cualquiera de los dos subproceso descritos puede ser el factor limitante que gobierne la velocidad de secado, a pesar de que ambos subprocesos ocurren simultáneamente durante este ciclo.

6.2.7 Definición de términos asociados al secado

6.2.7.1 Contenido de humedad: Según (Richarson, 1978), el contenido de humedad de un material suele expresarse como porcentaje del peso del material seco. Si un material se expone al aire a una temperatura y humedad dadas, dicho material perderá o ganará agua hasta que se establezcan unas condiciones de equilibrio. La humedad correspondiente a dicho equilibrio varía ampliamente con la humedad y la temperatura del aire y se puede absorber como una película superficial, o bien condensarse dentro de los capilares finos del sólido a presión reducida, variando su concentración con la temperatura y la humedad del aire que lo rodea puede expresarse en base seca o húmeda según (Perry, 1995).

6.2.7.2 Contenido de humedad en base húmeda (W): Es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido húmedo.

$$w = \frac{mh}{mSh} \quad \text{Ecuación 1}$$

• Contenido de humedad en base seca (X): es el contenido de humedad que tiene el sólido expresada en kilogramos de agua por kilogramos de sólidos completamente secos.

$$X = \frac{mh}{mSs} \quad \text{Ecuación 2}$$

Estos términos se definen matemáticamente de la siguiente manera:

mh = masa de agua (kg de agua).

mSh = masa del sólido húmedo (kg Sh).

mSs = masa del sólido seco. (kg Ss).

Conociendo que:

$$mh = (mSh - mSs) \quad \text{Ecuación 3}$$

Remplazando en las ecuaciones anteriores se obtiene que:

$$W = \frac{(mSh + mSs)}{mSh} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$X = \frac{(mSh - mSs)}{mSs} \quad \text{Ecuación 5}$$

Relacionando humedad en base húmeda y en base seca se obtiene:

$$W = \frac{X}{(1 + X)} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$X = \frac{W}{(1 - W)} \quad \text{Ecuación 7}$$

Resulta útil expresar el contenido de humedad en base seca, debido a que el denominador de su ecuación es un valor constante en todo el sistema.

En un sólido puede encontrarse presente la humedad de las siguientes formas:

6.2.7.3 Humedad ligada: Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura.

6.2.7.4 Humedad no ligada: Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

6.2.7.5 Humedad de equilibrio X^* : Puede expresarse como el contenido de humedad de una sustancia que está en equilibrio con una presión parcial dada del vapor. El contenido de humedad de equilibrio de un sólido es especialmente importante en el secado, porque representa el contenido de humedad limitante, en ciertas condiciones de humedad y temperatura.

6.2.7.6 Humedad libre: La humedad libre es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en equilibrio. Solo puede evaporarse la humedad libre; el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor del gas y se define como:

$$X_{libre} = X - X^*$$

Ecuación 8

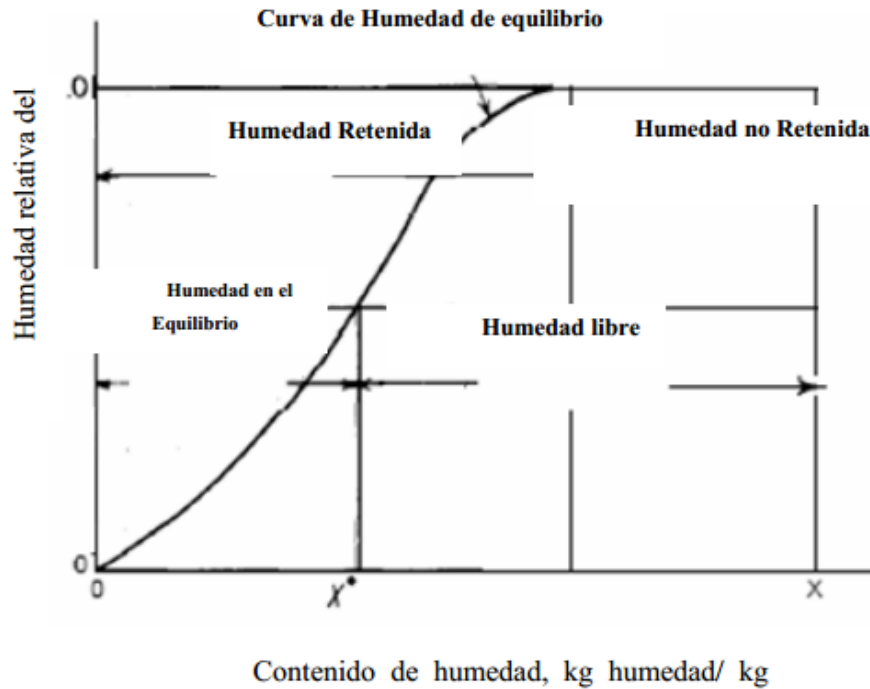


Figura 1. Relaciones existentes entre los tipos de humedades. Fuente: (Valenzuela, 2000).

6.2.8 Curvas de secado

Cuando un sólido se seca experimentalmente, por lo general se obtienen datos que asocian el contenido de la humedad con el tiempo. La gráfica a continuación representa el caso en que los sólidos pierden la humedad, primero por evaporación desde una superficie saturada del sólido, después sigue un período de evaporación de la superficie saturada que tiene un área que gradualmente va disminuyendo, cuando el agua del interior del sólido se evapora.

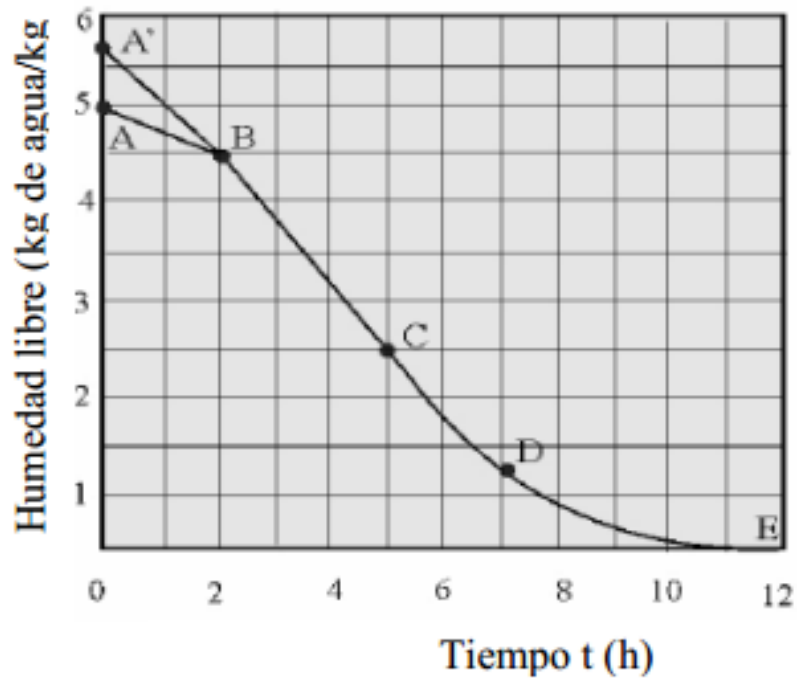


Figura 2. Contenido de humedad en función del tiempo. Fuente: (Valenzuela, 2000).

Esta curva indica que la velocidad de secado está sujeta a variar en función del tiempo o el contenido de humedad. Esta variación se ilustra con mayor claridad diferenciando gráfica o numéricamente la curva y haciendo una representación de la velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca, como se ilustra en la gráfica. Estas curvas de velocidad demuestran que el secado no es un proceso suave y continuo en el cual existe un sólo mecanismo que ejerza el control a lo largo de toda su duración.

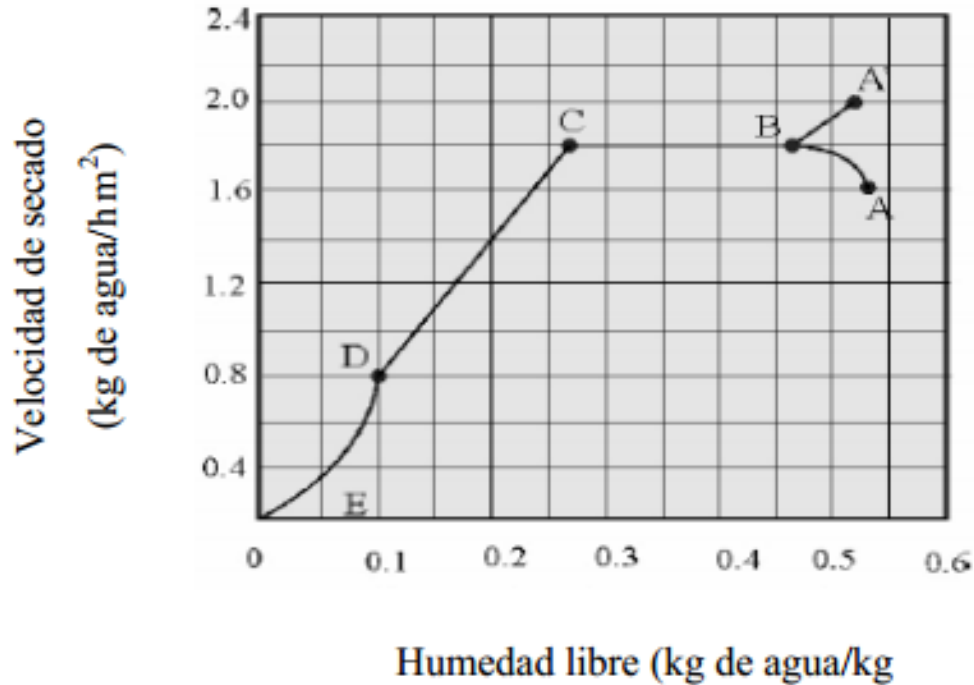


Figura 3. Velocidad de secado/humedad libre. Fuente: (Valenzuela, 2000).

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de un material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida de peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación.

Los datos que se obtiene del secado, generalmente se expresan como peso total del sólido húmedo a diferentes tiempos en el período de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado por los siguientes procedimientos.

Primero teniendo los datos de sólido húmedo en base seca, se determina el contenido de humedad en equilibrio. Con él se procede a calcular el contenido de humedad libre para cada valor de sólido húmedo en base seca, se traza una gráfica del contenido de humedad libre en función del tiempo. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva lo cual proporciona valores de dX/dt para ciertos valores de t . se calcula entonces la velocidad N para cada punto con la expresión.

$$N = -\frac{Ls}{A} \cdot \frac{dX}{dt} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

N: velocidad de secado (kg agua /m²·h).

Ls: masa de sólido totalmente seco (kg STS).

A: área expuesta al secado (m²)

dx/dt: cambio de la humedad libre en función del tiempo (kg agua/ kg STS ·h).

Las curvas antes mostradas representan el proceso de secado a condiciones constantes. Empezando en el tiempo cero el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final y la velocidad de evaporación va en aumento, por el contrario cuando el material está a una temperatura más elevada A', la velocidad de evaporación disminuye hasta llegar al punto B, en el cual, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Este período inicial de ajuste en estado estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado. La recta entre el punto BC tiene una pendiente y velocidad constante. Durante este período, la superficie del sólido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua, es agua libre y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el período de velocidad constante proviene de su interior. Este período continúa mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez que con la que se evapora.

Los períodos de velocidad decreciente inician en el punto crítico de humedad C, al concluir los procesos de velocidad constante. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente húmeda, y la porción húmeda comienza a disminuir durante el período de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad, punto D. El segundo período de velocidad decreciente empieza en el punto D, aquí, el plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire. Es posible

que la cantidad de humedad que se elimine durante este período sea bastante pequeña, pero aun así, el tiempo requerido puede ser largo.

6.2.9 Clasificación de los secadores

Según (Perry, 1995), los equipos de secado basándose en el método de transmisión de calor a los sólidos húmedos, se pueden clasificar en: secadores directos, infrarrojos e indirectos.

6.2.9.1 Secadores directos o por convección. La transferencia de calor para el secado se logra por contacto directo entre el sólido húmedo y el aire caliente, el líquido vaporizado se arrastra con el medio de secado.

6.2.9.2 Secadores infrarrojos o de calor radiante y secadores de calor dieléctrico. El funcionamiento de los secadores de calor radiante, depende de la generación, la transmisión y la absorción de rayos infrarrojos, mientras que los de calor dieléctrico operan sobre el principio de la generación de calor dentro de sólidos, colocándolos dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia.

6.2.9.3 Secadores indirectos o por conducción. El calor de secado se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material húmedo y la superficie caliente.

Tipos de secadores directos:

a) Secadores continuos: La operación es continua, sin interrupciones, en tanto se suministre la alimentación húmeda. Es evidente que cualquier secador continuo puede funcionar en forma intermitente o por lotes, si así se desea. Se clasifican en:

- **Secadores de material dosificado en una capa:** Se hace pasar por el secador una capa o lámina continúa de materia, ya sea como franjas o en una lámina tensa y distendida sobre un marco con clavijas.

- **Secadores con transportador neumático:** El secado se realiza a menudo en combinación con la trituración. La materia se transporta dentro de gases a alta temperatura y velocidades elevadas hasta un colector de ciclón.
- **Secadores rotatorios:** el material se transporta y rocía dentro de un cilindro rotatorio por el que circulan aire caliente.
- **Secadores por aspersión:** la alimentación del secador debe poderse atomizar, ya sea mediante un disco centrífugo o una boquilla.
- **Secadores de circulación directa:** el material se mantiene en un tamiz de transporte continuo, mientras se sopla aire caliente a través de él.
- **Secadores de túnel:** el material colocado en carretillas se desplaza a través de un túnel en contacto con gases calientes.
- **Lechos fluidizados:** Los sólidos se fluidizan en un tanque estacionario al ponerse en contacto con gas caliente.
- **Secadores de bandejas:** se utiliza comúnmente para materiales granulares o para artículos individuales. El material se coloca en una serie de bandejas, el secado se lleva a cabo mediante la circulación de aire sobre el material.

b) Secadores discontinuos: se diseñan para operar con un tamaño específico de carga de alimentación húmeda, para ciclos de tiempo dados. En los secadores discontinuos, las condiciones de contenido de humedad y temperatura varían continuamente en cualquier punto del equipo. Entre los más utilizados se encuentran:

- . **Secadores de circulación directa:** El material se coloca en bandejas con bases de tamices a través de las cuales se impulsa el aire caliente.
- . **Lechos fluidos:** los lechos se fluidizan en un vagón sobre el cual va montado un filtro de polvo.
- . **Secadores de bandejas o compartimientos:** El material se coloca en bandejas que pueden o no montarse en vagones eliminables y el aire se impulsa sobre el material contenido en las bandejas. Contacto del sólido y gas dentro del secador:

La mayor parte de los secadores industriales operan con partículas de sólidos durante todo o una parte del ciclo de secado, aunque, por supuesto, algunos secan grandes piezas individuales, tales como vasijas de cerámica o láminas de un polímero. En los secadores adiabáticos los sólidos están expuestos al gas de alguna de estas formas:

1. El gas circula sobre la superficie de un lecho o una lámina del sólido, o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua. Este proceso se llama secado con circulación superficial.

2. El gas circula a través de un lecho de sólidos granulares gruesos que están soportados sobre una rejilla. Recibe el nombre de secado con circulación a través. Como en el caso del secado con circulación superficial, la velocidad del gas se mantiene baja para evitar el arrastre de partículas sólidas.

3. Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas.

4. El gas pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho. Inevitablemente se produce arrastre de las partículas más finas.

5. Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente gaseosa de alta velocidad y neumáticamente transportados desde un dispositivo de mezcla hasta un separador mecánico.

6.3 Condiciones de un equipo de contacto gas-sólido:

- **Estático:** Este es un lecho denso en forma de láminas de sólidos en el cual cada partícula descansa sobre otras, debido a la densidad de la masa, aquí no existe movimiento relativo entre las partículas sólidas.

- **Móvil:** éste es un tipo de lecho de sólidos ligeramente restringido en el cual las partículas están separadas apenas lo suficiente para fluir o deslizarse unas sobre otras. Por lo común, el flujo es descendente por acción de la fuerza de gravedad; pero también se puede registrar un movimiento ascendente debido a la elevación mecánica o a la agitación, generada dentro del equipo del proceso. En algunos casos, la elevación de sólidos se lleva a cabo en equipos independientes y éstos fluyen en presencia de la fase gaseosa sólo en sentido descendente.

- **Fluidizado:** Se trata de una condición menos restringida aún, en el cual las partículas sólidas se sostienen por medio de fuerzas de arrastre provocadas por la fase gaseosa que pasa por los intersticios de las partículas, con una velocidad crítica dada. Es una condición inestable, porque la velocidad superficial ascendente del gas es menor que la velocidad final de asentamiento o sedimentación de las partículas sólidas; la velocidad del gas no basta para arrastrar y transportar en forma continua todos los sólidos. Al mismo tiempo, dentro de la corriente de gas se registran

turbulencias con velocidades bastante grandes para elevar transitoriamente las partículas. El movimiento de estas partículas es repetidamente ascendente y descendente.

En realidad, la fase de los sólidos y la fase gaseosa están entremezcladas y se comportan juntas como un fluido de ebullición.

- **Diluido:** Esta es una condición de expansión total en la cual las partículas sólidas están tan separadas entre sí que prácticamente no ejercen ninguna influencia unas sobre otras. A decir verdad, la fase sólida está tan dispersa dentro del gas que la densidad de la suspensión es fundamentalmente la de la fase gaseosa individual. Por lo común, esta situación se presenta cuando la velocidad del gas en todos los puntos del sistema sobrepasa la velocidad final de asentamiento de los sólidos, y las partículas ascienden y son arrastradas continuamente por el gas; no obstante, no siempre será éste el caso.

6.3.1 Modelos de interacción gas-sólido en secaderos

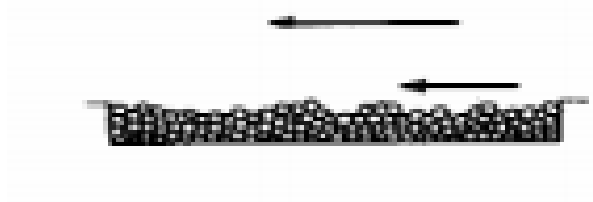


Figura 4. Flujo de gas sobre un lecho estático de sólido. Fuente: (Perry, 1995) .

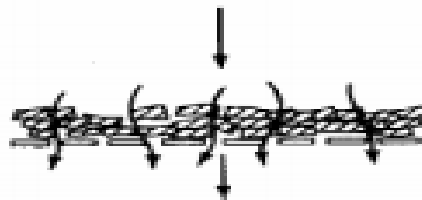


Figura 5. Flujos de gas paralelos a la superficie en lecho estático. Fuente: (Perry, 1995).

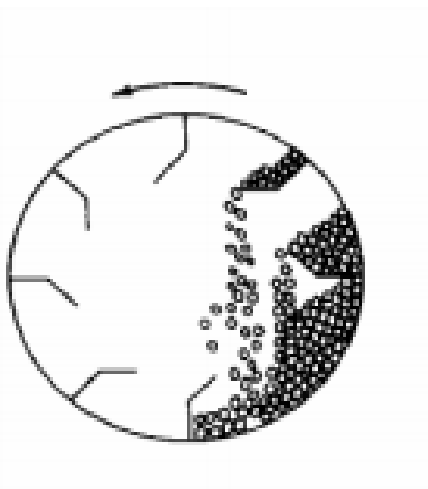


Figura 6. Acción en un secador rotatorio. Fuente: (Perry, 1995).

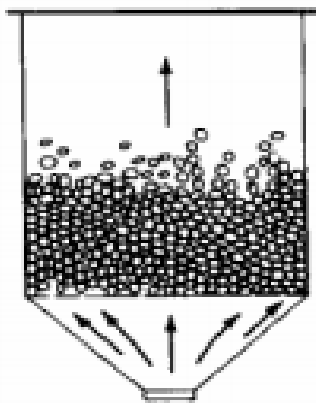


Figura 7. Lecho fluidizado de sólidos. Fuente: (Perry R.)

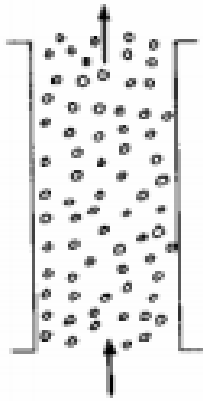


Figura 8. Flujo en paralelo, secador de transporte neumático. Fuente: (Perry, 1995).

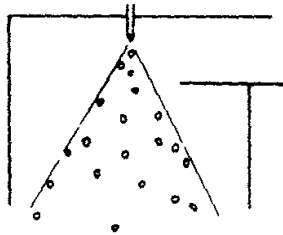


Figura 9. Condición de expansión total de las partículas. Fuente: (Perry, 1995).

6.4 Descripción del secador discontinuo de bandeja o compartimientos

Es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan en grupos de bandejas. La transferencia de calor puede ser directa del gas a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de gas caliente, o indirecta, utilizando bases calentadas, serpentines de calefacción o paredes refractarias en el interior de la cubierta.

En el secador de bandejas, también llamado secador de anaqueles, de gabinete, de compartimientos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 mm a 100 mm de profundidad.

Un secador de bandejas típico, tiene bandejas que se cargan y se descargan en un gabinete. Un ventilador hace recircular el aire calentando con vapor paralelamente con la superficie de las

bandejas. También se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es más bajo. Más o menos del 10% al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire recirculado.

Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se reemplazan por otras con más material para secado.

Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador. En el caso de materiales granulares, el material se puede colocar sobre bandejas cuyo fondo es un tamiz.

Entonces, con este secador de circulación cruzada, el aire pasa por un lecho permeable y se obtienen tiempos de secado más cortos, debido a la mayor área superficial expuesta al aire.

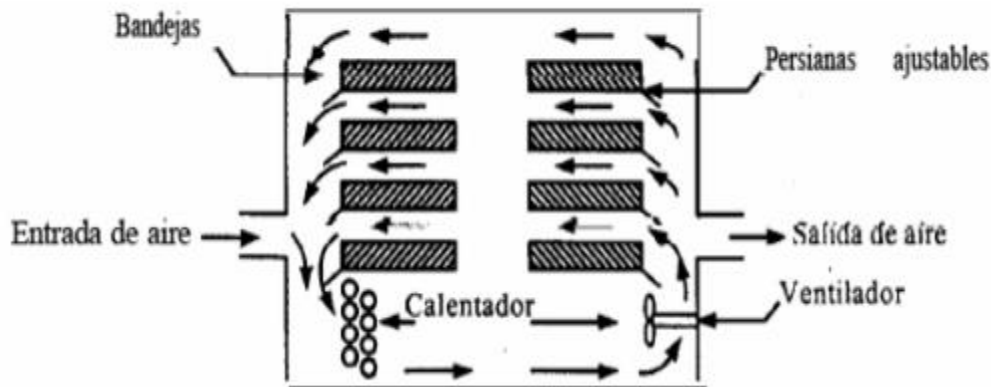


Figura 10. Secador de bandejas o anaqueles. Fuente: (Carmona, 1998).

6.5 Teoría de la difusión de líquidos en el secado

La forma general de la curva de la velocidad de secado de un sólido granular ha puesto, de manifiesto que en ella suelen aparecer dos o a veces tres secciones distintas. Durante el período de velocidad constante, la humedad se vaporiza en la corriente de aire y el factor controlante es el coeficiente de transferencia para la difusión a través de la película de gas. Es importante comprender que la humedad se desplaza desde el interior del sólido hasta la superficie en el

período de velocidad decreciente. Se han propuesto explicaciones para la naturaleza física de este proceso, una de ellas es la teoría de la difusión.

En ésta se supone que la velocidad del desplazamiento del agua hacia la interface con el aire está gobernada por ecuaciones de la velocidad similares a las que existen para la transferencia de calor.

6.5.1 Proceso de difusión en el secado de sólidos

Según (Valenzuela, 2000), la difusión es el movimiento, bajo la influencia de un estímulo físico, de un componente individual a través de un medio. La causa más frecuente de la difusión es un gradiente de concentración del componente que difunde. Un gradiente de concentración tiende a mover el componente en una dirección tal que iguale las concentraciones y anule el gradiente. Cuando el gradiente se mantiene mediante el suministro continuo de los componentes de baja y alta concentración, el flujo del componente que se difunde es continuo. Este movimiento es aprovechado en las operaciones de transferencia de materia. Aunque la causa habitual de la difusión es un gradiente de concentración, la difusión también puede ser originada por un gradiente de presión, por un gradiente de temperatura o por la aplicación de una fuerza externa como en el caso de una centrífuga. La difusión molecular inducida por un gradiente de presión (no presión parcial) recibe el nombre de difusión de presión, la inducida por la temperatura es la difusión térmica y la debida a un campo externo es la difusión forzada. Las tres son muy poco frecuentes en ingeniería química, y aquí solamente se considerará la difusión bajo un gradiente de concentración.

La difusión no está restringida a la transferencia molecular a través de capas estacionarias de sólido o fluido. También tiene lugar en fases fluidas debido a la mezcla física o a los remolinos del flujo turbulento, de la misma forma que el calor puede fluir en un fluido por convección. Este hecho recibe el nombre de difusión en régimen turbulento. A veces el proceso de difusión va acompañado de flujo global de la mezcla en una dirección paralela a la dirección de difusión, y con frecuencia está relacionada con el flujo de calor.

La difusión en la transferencia de materia:

En todas las operaciones de transferencia de materia la difusión ocurre por lo menos en una fase y con frecuencia en dos fases. Para la operación de secado, el agua líquida difunde a través del

sólido hacia la superficie del mismo, se evapora, y después se difunde como vapor en la fase gaseosa. La zona de evaporación puede estar bien en la superficie del sólido o en el interior del mismo. Cuando la zona de evaporación está en el sólido, la difusión tiene lugar en el sólido comprendido entre la zona de evaporación y la superficie, de forma que en el sólido hay difusión de líquido y de vapor.

En todos los secadores en los que un gas circula sobre o a través de los sólidos, la materia tiene que transferirse desde la superficie del sólido hasta el gas y a veces a través de los poros interiores de sólido. La resistencia a la transferencia de materia, y no la transmisión de calor, puede controlar la velocidad de secado. Esto ocurre con más frecuencia en el secado con circulación sobre tablas, láminas o lechos de sólidos. Desde el punto de vista del gas, este tipo de secado es muy parecido a la humidificación adiabática; desde el punto de vista del sólido es análogo a la evaporación cuando el sólido está muy húmedo y como la desorción de disolvente desde un adsorbente cuando el sólido está prácticamente seco.

Comparación entre la difusión y la transferencia de calor:

Existe una analogía entre el flujo de calor y la difusión. En cada caso la causa del flujo es un gradiente. En transmisión de calor la fuerza impulsora es un gradiente de temperatura. En ambos casos la densidad del flujo es directamente proporcional al gradiente. Sin embargo la analogía no puede extenderse más allá, debido a que el calor no es una sustancia, sino energía en tránsito. Cuando el calor fluye de un punto a otro, no deja espacio detrás ni requiere un espacio para una nueva localización.

La difusión es un flujo físico de materia que transcurre con una velocidad definida.

Un componente que se difunde deja detrás de él un espacio y es preciso disponer de un lugar para su nueva localización.

La naturaleza material de la difusión y el flujo que resulta conducen a tres tipos de situaciones:

1. Solamente se trasfiere un componente A de la mezcla hacia o desde la interface y el flujo total es el correspondiente a A. La absorción de un sólo componente desde un gas hacia un líquido es un ejemplo de ese tipo.

2. La difusión de un componente A en una mezcla está equilibrada por un flujo molar igual y de sentido contrario al componente B, de tal forma que no hay flujo molar neto. Esto ocurre generalmente en destilación, lo cual da lugar a que no haya flujo neto de volumen en la

fase gaseosa. Sin embargo, generalmente existe un flujo neto de volumen o de masa en la fase líquida debido a la diferencia de densidades molares.

3. La difusión de A y B tiene lugar en sentidos contrarios, pero las densidades molares de flujo son diferentes. Esta situación se presenta con frecuencia en la difusión de especies que reaccionan químicamente hacia o desde la superficie de un catalizador.

Difusión del líquido en el proceso de secado:

Se supone que la transferencia de masa está controlada por la difusión cuando el flujo de líquido o vapor está de acuerdo con la segunda Ley de Fick. Esta ecuación define la difusión en régimen no permanente, expresando la transferencia de masa como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{AB}(\partial^2 C / \partial x^2) \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

C = concentración de un componente, en una fase de un componente de A y B (kg de agua/m³ de sólido húmedo).

D_{AB} = Difusividad binaria de la fase AB (m²/s).

t = tiempo de difusión (s).

x = distancia en dirección de la difusión (m).

Ésta ecuación aplica a la difusión en sólidos, líquidos y gases estacionarios.

La ecuación de difusión en el período de secado con velocidad decreciente para una placa se puede obtener de la ecuación de difusión, si se supone que la superficie está seca o tiene un contenido de humedad de equilibrio y la distribución inicial de humedad es uniforme.

El desplazamiento interno de la humedad hacia la superficie es un proceso de difusión que sigue las mismas leyes que la transmisión de calor.

Entonces:

$$\frac{X_w - X_{we}}{X_{w_0} - X_{we}} = \frac{\text{contenidolibredeliquidoenunpuntoeinistantecualquiera}}{\text{contenidolibredeliquidoinicial}} \quad \text{Ecuación 11}$$

X_w = contenido de agua en un tiempo dado (kg de agua/kg de sólido seco).

X_{we} = contenido de agua en el equilibrio (kg de agua/kg de sólido seco).

X_{w_0} = contenido de agua inicialmente a un tiempo igual a cero (kg de agua/kg de sólido seco).

7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

7.1 Análisis de soluciones existentes

De acuerdo a la necesidad requerida por la empresa, tenemos que dar una solución para poder realizar el diseño de una secadora semiautomática que garantice la calidad y el rendimiento eficaz del secado para que se logre contrarrestar los costos de producción.

7.2 Estudio de las alternativas

En este estudio se analizarán los equipos convenientes para el objetivo planteado, sin dejar a un lado la apreciación conceptual y las recomendaciones de los integrantes de la empresa.

Los tipos de secadores más opcionados para ser analizados por nuestro fin son:

Los secadores de cascada y los de tambor rotativo de acción directa de flujo continuo.

7.2.1 Secadoras de cascada

Al tratar este tipo de secador notaremos que se encuentra dentro de los de flujo continuo.

Estas máquinas están formadas por uno o dos planos inclinados, compuestos por persianas (las que atraviesa el aire) por las cuales el grano va descendiendo en forma de una cascada continua.

Este sistema tiene la ventaja de que no tienen agujeros lo que facilita que no se obstruya la salida del aire caliente al contrario de otras secadoras, también son aptas para secar semillas pequeñas, como calza, tréboles y otras similares, reduciendo el caudal de aire.

La corriente de aire que pasa por las persianas, además de su función principal de secar y enfriar, realiza una buena limpieza del grano. Las impurezas arrastradas tampoco caen en la cámara caliente, con lo cual el riesgo de incendio es reducido al mínimo.

Existen dos configuraciones especiales, una con un solo plano inclinado, en el cual la última sección es la zona de enfriado y otra con dos planos inclinados donde el plano superior es la zona de secado y el inferior la zona de enfriado.

Como son equipos de poca inclinación ocupan un área superficial mayor que las secadoras tipo torre, además la potencia absorbida por toneladas es casi el doble que las mencionadas.

En general, estas secadoras de lecho en cascadas emplean mayores caudales de aire que las secadoras de flujo mixto, pero trabajan a menores temperaturas del aire de secado.

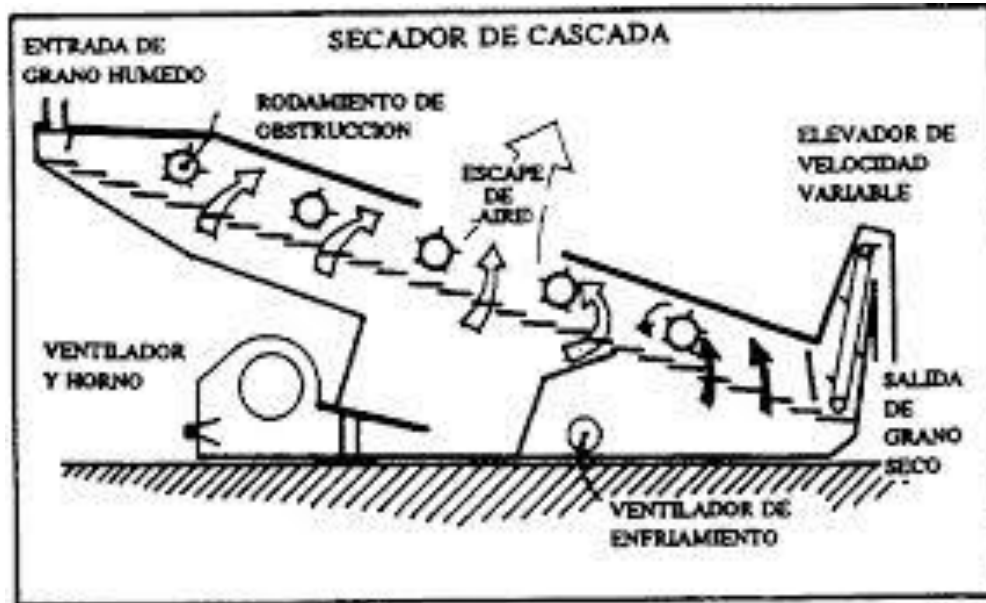


Figura 11. Secador de cascada. Fuente (COSUDE, 1998).

Ventajas:

- No tienen agujeros.
- Aptas para secar semillas muy pequeñas.
- El riesgo de incendio es reducido.
- Trabajan a menores temperaturas del aire de secado.

Desventajas:

- Ocupan un área superficial mayor.
- La potencia absorbida por toneladas es casi el doble que la del tambor rotatorio.
- Para su construcción se necesita mayor cantidad de materiales.

7.2.2 Secadores rotatorios

Encontrándolo dentro en la clasificación por tandas, la característica principal de este tipo de secadero es que el aire caliente producto de la combustión, o calentado por medio de serpentines de vapor está en contacto directo con el material que se encuentra en el interior del mismo, la transferencia de calor se produce por convección.

La rotación del cilindro se produce mediante un sistema de transmisión el cual puede ser por medio de engranajes o mediante el contacto de rodillos, una banda externa que rodea todo el cilindro del secado transmite el movimiento de un elemento motriz, accionado por un motor-reductor para así obtener un bajo número de revoluciones para el correcto funcionamiento del secador.

Los secadores de tambor rotatorio directos generalmente están equipados con aletas de tamaños y formas adecuadas para el material a procesar, estas desempeñan la función de elevar y esparcir el material húmedo cuando el aire caliente atraviesa por el interior del secador. Las aletas pueden extenderse por todo el interior del cilindro o dispuestas escalonadamente en función del producto a secar.

El aire caliente se lo puede obtener para estos secadores por medio de tubos alimentados por vapor o por gases de combustión, este aire caliente es obligado a pasar por el interior del cilindro rotatorio, por efecto de un ventilador impulsor, un ventilador aspirador o una combinación de ambo.

El secador rotatorio directo de un solo cilindro es el más simple y de mayor utilización con mejores resultados en la industria.

El aire caliente puede circular en paralelo o en contra corriente con el material a secar, en el primer caso el aire caliente y el material llevan la misma dirección, mientras que el segundo caso la dirección es opuesta, en este último se eleva el rendimiento del secador, no es recomendable para materiales sensibles al calor, estos se deben procesar en un secador de flujo paralelo. Este tipo de secador no es recomendable para materiales pulverulentos o aquellos que puedan ser arrastrados por la corriente de aire que atraviesa el secador, estos deben ser tratándose un secador completamente indirecto, los secadores rotativos se emplean para materiales granulares que fluyen con relativa libertad.

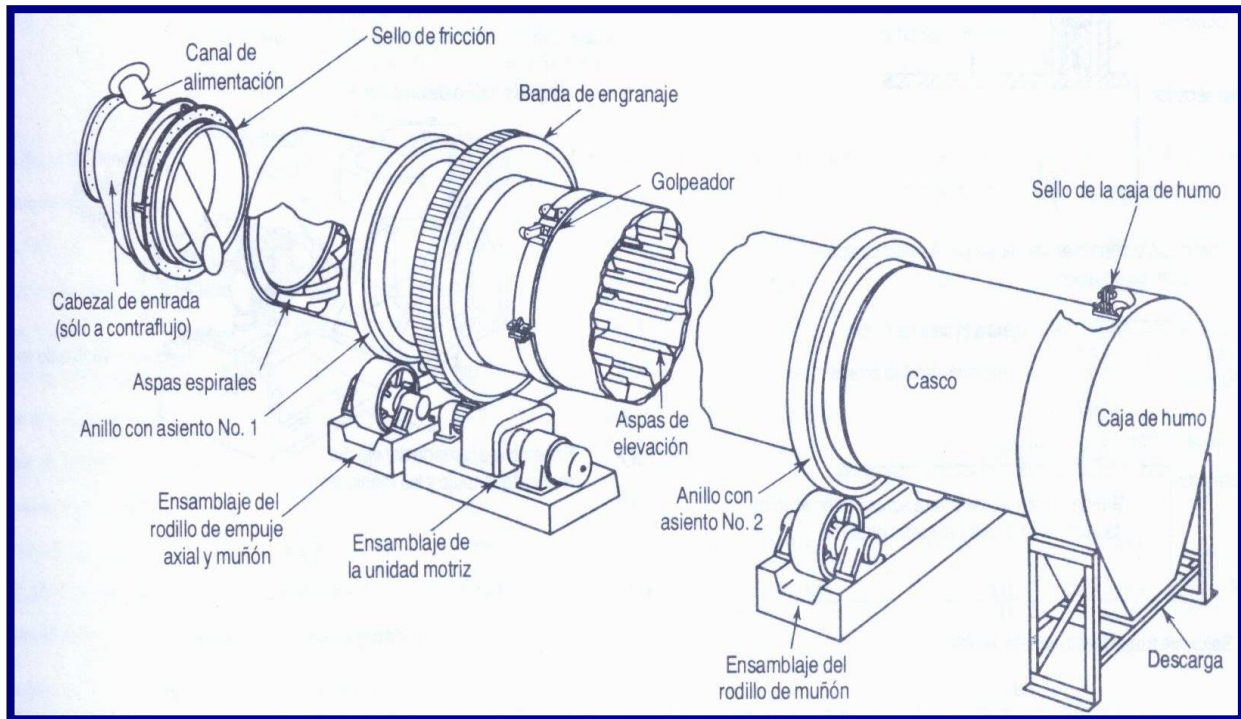


Figura 12. Secador rotatorio. Fuente:(internet)

Ventajas:

- Facilidad de construcción a comparación de otros modelos.
- Aptos para secar forrajes y semillas.
- Fácil de mantenimiento y aseo.
- El aire caliente puede circular en paralelo o a contracorriente con el material que se va a secar.

- Bajos consumos de energía por kilogramo de producto seco.
- Menor desperdicio de material en su construcción.
- Bajo riesgo de incendio.
- Fácil operación del sistema por las variables de velocidad y temperatura.

Desventajas:

- No es recomendable para materiales pulverulentos.
- No ocupan demasiado espacio.

8. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA EL SECADO DEL FRIJOL.

Realizando un análisis detallado teniendo en cuenta las diferentes ventajas y desventajas de los tipos de secadores mencionados, además las sugerencias del personal operativo y administrativo de las empresa SANA llegamos a la conclusión que la mejor alternativa es desarrollar el diseño de un sistema semiautomático de secado por TAMBOR ROTATORIO de acción directa teniendo en cuenta la infraestructura instalada de la empresa y sistema productivo.

9. QUEMADORES

Para poder utilizar el calor liberado en la combustión es necesario controlarlo. El quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable, con una forma y tamaño predeterminados. Los combustibles líquidos se rompen en pequeñas gotas por medio de un atomizador. Fuel-oil y gas se introducen dentro de la corriente de aire de combustión para asegurar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama.

La gama de combustibles, líquidos y gaseosos, que se queman en este tipo de elementos es tremendamente amplia. El diseño del quemador varía dependiendo de la clase de combustible a usar, ya que el tratamiento del mismo para conseguir una buena combustión es diferente. Así podemos establecer una distinción entre quemadores dependiendo del combustible de alimentación. Así tendremos quemadores de gas, quemadores de combustibles líquidos, y quemadores combinados, donde se queman conjuntamente combustibles gaseosos y líquidos.

Existen muchos tipos de quemadores según su diseño variando desde un simple mechero bunsen hasta los quemadores gigantes de un horno de cemento. Por ello, deberemos seleccionar el tipo que más se adapte a nuestras necesidades.

En las plantas industriales se utilizan principalmente dos tipos de quemadores: el de tiro natural, y el de tiro forzado.

El quemador se dimensiona de acuerdo con el tiro disponible e invierte la presión de tiro disponible en inducir velocidad a la corriente de aire que circula por él. Debido al reducido valor de presión del tiro la velocidad adquirida por el aire de admisión será reducida, lo que implica que no exista un gran poder de mezcla al unirse la corriente de aire con el combustible. Esto se traduce en un mayor tiempo de combustión por lo que la llama será larga, y en un mayor exceso de aire para tener una combustión completa.

La ventaja de los quemadores de tiro natural es su reducido coste inicial de instalación.

Los quemadores son relativamente baratos y no hay necesidad de ventiladores que impulsen el aire de combustión.

Los quemadores a gas para su combustión no requiere de ninguna preparación previa, tal y como ocurría con los combustibles líquidos.

La función de la caña de gas es dirigir la corriente de gas dentro de la corriente de aire, de forma que se consiga una buena mezcla gas/aire y se obtengan una estabilidad en la llama.

Una caña de gas consiste en una simple conducción en cuyo extremo final va adosada la boquilla de gas. La unión de esta a la caña puede ser bien roscada o embutida.

En la boquilla de gas se disponen los orificios de inyección del chorro de gas en la corriente de aire de combustión.

Normalmente un quemador de gas de varias cañas, siendo el número y disposición de las mismas variable con el diseño.

El diseño de la boquilla de gas me determinará en gran medida la calidad e velocidad de la mezcla aire/gas que se verifica en el quemador. La localización, número y dirección de los chorros de gas salientes de la boquilla me determinaran el rendimiento del quemador.

El combustible usado puede ser gaseoso, generalmente gas, butano, propano, etc.;

El combustible líquido, generalmente gasóleo (también fuel) o una combinación de ambos (gas gasóleo), en cuyo caso se denomina quemador mixto.

Hoy en día existen muchas empresas que se dedican a la fabricación de quemadores a gas propano o natural para el suministro de aire caliente o llama directa, con una gran variedad de aplicaciones en la industria.

9.1 Quemador atmosférico:

Este quemador se puede utilizar para alta o baja presión de suministro de gas natural, cuenta con una tobera de inyección de gas natural en forma de tubo de venturi, que aspira el aire primario necesario para la combustión a la entrada del quemador. Para completar la totalidad del aire requerido para la combustión se introduce el aire secundario.

9.2 Quemador de gas / aire:

En este tipo de quemador, el aire se suministra a una presión adecuada superior a la del gas natural. En la industria existen quemadores con características de funcionamiento automático, en el que se utiliza un ventilador del tipo centrífugo, que es el que provoca la entrada del aire. El gas natural es inducido por el aire que se inyecta en un tubo tipo venturi, efectuándose la mezcla en su casi totalidad antes de producirse la combustión.

9.2.1 Ventajas del quemador a gas natural:

Por ser el gas natural un combustible muy limpio comparado con los combustibles tradicionales facilita el cumplimiento de exigentes normas ambientales. Una de las grandes ventajas del gas natural respecto a otros combustibles, es la baja emisión de contaminantes en su combustión.

9.2.2 Ventajas de operacionales del gas natural:

-El gas natural está disponible en forma continua, no requiere tanques de almacenamiento disminuyendo los riesgos que ello implica y también los costos financieros.

- No requiere preparación previa a su utilización, como por ejemplo, calentarlo, pulverizarlo o bombearlo como ocurre con el petróleo o el carbón.

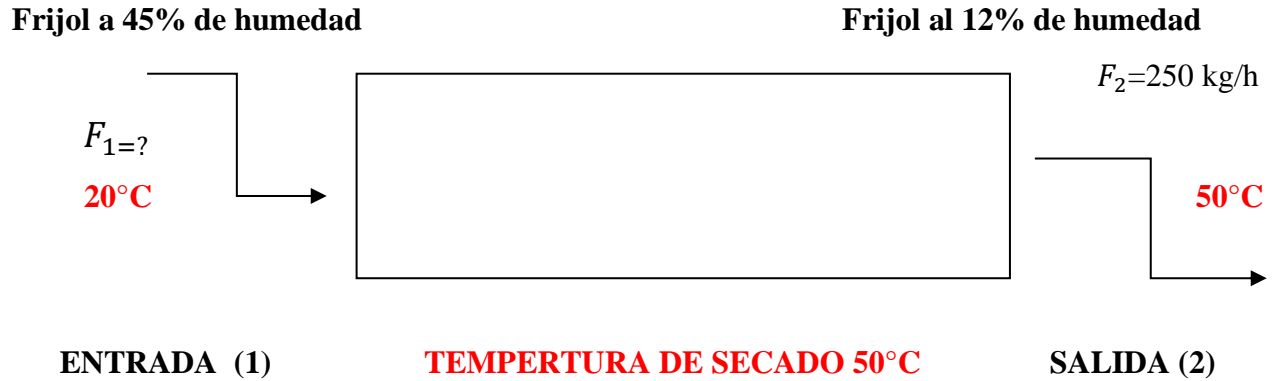
- Los equipos y quemadores de gas natural son fáciles de limpiar y conservar.

- La combustión del gas natural puede finalizar instantáneamente tan pronto como cese la demanda de calor de los aparatos que lo utilizan, lo cual es muy adecuado para cargas variables e intermitentes.

- La regulación automática es sencilla y de gran precisión, manteniendo constante la temperatura o la presión al variar la carga.

- El rendimiento del gas natural en la combustión es superior al de otros combustibles.

10. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL QUEMADOR



$$F1 * W \text{ frijol}(1) = F2 * W \text{ frijol}(2) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W \text{ frijol}(1) = 1 - H_{H2O}(1) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$W \text{ frijol}(2) = 1 - H_{H2O}(2) \quad \text{Ecuación 14}$$

Dónde:

$F1 = \text{Flujo entrada de producto}$

$W = \text{Fraccion masica}$

$H_{H2O} = \text{Humedad del agua}$

$F2 = \text{Flujo salida de producto (250kg/h Solicitada por el cliente)}$

Remplazamos (13) y (14) en (12)

$$F1 * \{1 - H_{H_2O}(1)\} = F2 * \{1 - H_{H_2O}(2)\}$$

$$F1 = \frac{F2 * \{1 - H_{H_2O}(2)\}}{\{1 - H_{H_2O}(1)\}} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$F1 = 250 \text{ kg/h} * \left[\frac{(1 - 0.12)}{(1 - 0.45)} \right]$$

$F1 = 400 \text{ kg/h}$. (Esta es la cantidad de flujo másico del frijol con humedad al 45% que se debe alimentar al secador para garantizar 250kg/h con humedad al 12%)

Remoción de humedad:

$$F_{H_2O} \text{removida} = F1 - F2 \quad \text{Ecuación 16}$$

$$F_{H_2O} \text{removida} = 400 \text{ kg/h} - 250 \text{ kg/h}$$

$$F_{H_2O} \text{removida} = 150 \text{ kg/h}$$

Energía necesaria para remover el agua:

$$Q = Q \cdot \text{sensible} + Q \cdot \text{latente} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$Q \cdot \text{sensible} = F_{H_2O} \text{removida} * C_{p_{H_2O}} * T_{\text{promedio}}(T_{\text{secado}} - T1) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$Q \cdot \text{latente} = F_{H_2O} \text{removida} * h \text{ evaporizacion}_{H_2O} \quad \text{Ecuación 19}$$

Remplazamos (19) y (18) en (17)

$$Q \cdot = F_{H_2O} \text{removida} * C_{p_{H_2O}, T_{prom}} + (F_{H_2O} \text{removida} * h \text{ evaporizacion}_{H_2O})$$

$$Q \cdot = F_{H_2O} \text{removida} (C_{p_{H_2O}, T_{prom}} (T_{secado} - T_1) + h \text{ evaporizacion}_{H_2O}) \quad \text{Ecuación 20}$$

Temperatura promedio del agua para el sacar el calor específico:

$$T_{prom} = \frac{(50 - 20)}{2} = 35^\circ\text{C}$$

Según tabla A.6, del libro incropera, el calor específico del agua a 35°C es:

$$C_{p_{H_2O}} = 4,18 \text{ KJ}/\text{kgK}$$

Vaporización del agua a 50°C, su valor de entalpia de evaporización es:

$$h_{fg} = 2382.7 \text{ kj}/\text{kg}$$

Remplazamos en ecuación (20)

$$Q \cdot = F_{H_2O} \text{removida} (Cp_{H_2O}, T_{prom} (T_{secado} - T_1) + h \text{ evaporizacion}_{H_2O})$$

$$Q \cdot = 150 \text{ kg/h} \left[4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{kgK}} (50 - 20) + 2382,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$Q \cdot = 376215 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \text{ calor necesrio para remover el agua.}$$

Con el caudal del aire recomendado según (Boyce, 1996) es $63 \frac{\text{m}^3}{\text{min} \cdot \text{ton}}$ calculamos el caudal de aire necesario:

$$V^\circ \text{aire} = V^\circ \text{especifico} * F \text{ procesado en } 1h \quad \text{Ecuación 21}$$

$$V^\circ \text{especifico} = 63 \frac{\text{m}^3}{\text{min} \cdot \text{ton}} * \frac{1 \text{ton}}{1000 \text{kg}} * \frac{60 \text{mit}}{1h} = 3,78 \frac{\text{m}^3 \text{aire}}{h * \text{kg}}$$

$$V^\circ = \text{Caudal de aire}$$

Reemplazando en ecuación (21)

$$V^\circ \text{aire} = 3,78 \frac{\text{m}^3 \text{aire}}{h * \text{kg}} * 250 \text{Kg}$$

$$V^\circ \text{aire} = 945 \frac{\text{m}^3}{h} = 0,2625 \frac{\text{m}^3}{s}$$

Potencia térmica del quemador:

$$PT = V_{\text{aire}} * \rho_{\text{aire}} * Cp_{\text{aire}}(T_{\text{secado}} - T_{\text{entrada}}) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$PT = 0,2625 \frac{m^3}{s} * 1,2 \frac{Kg}{m^3} * 1,006 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ C} * (50 - 20)^\circ C$$

$$PT = 9,507 \text{ Kw}$$

Donde;

$$PT = 9,507 \text{ Kw} * 3412 \frac{\frac{BTU}{H}}{1 \text{ KW}}$$

$$PT = 32436,9 \frac{btu}{h} \quad \text{Potencia térmica útil}$$

Eficiencia del quemador:

$$\eta = \frac{PT_{\text{util}}}{PT_{\text{teorica}}} \quad \therefore \text{eficiencia del 20\%}$$

$$PT_{\text{teorica}} = \frac{PT_{\text{util}}}{\eta} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$PT \text{ teorica} = \frac{32436,9 \frac{\text{btu}}{\text{h}}}{0,20}$$

$$PT \text{ teorica} = 162184,3 \text{ btu/h}$$

Con este dato podríamos solicitar al proveedor el modelo del quemador QH-120 que oferta la empresa fabricante (Gas y Gas S.A.S), que según a su ficha técnica la potencia mínima es de 120000 btu/h y con una potencia máxima de 200000 btu/h .

11. SELECCIÓN DEL QUEMADOR

Teniendo en cuenta la necesidad del cliente, la infraestructura y las características de humedad a la que se encuentra el frijol en el momento de iniciar el proceso de secado y compartiendo tal información con el fabricante de este tipo de equipos, se llega a la conclusión de que la mejor alternativa es un quemador industrial de alta velocidad (Generador de aire caliente) para secado de granos, con las siguientes características:

Tabla 4. Características del quemador industrial. Fuente: GAS Y GAS (S.A.S).

MODELO	QH-120
Potencia Máximo	200,000Btu/h 59Kw/h
Potencia Mínima	120,000Btu/h 35Kw/h
Entrada de Gas	1/2 NPT 13mm
Voltaje de las válvulas a gas	110 Voltios
Tipo de Gas	NATURAL
Presión máximo gas	9 in H2O (Pulgadas Columnas de Agua)
Presión mínimo gas	7 in H2O (Pulgadas Columnas de Agua)
Sensor de Flama	Electrodo de Ionización
Encendido	Transformador ignición
Ventilador	Centrifugo
Potencia de Ventilador	1/8 HP
Presostanto de Aire	SI
Consumo Eléctrico	110 Voltios
Voltaje de entrada	110 Voltios
Díámetro del cañon	3"
Tipo de Montaje	Flanche

12. COTIZACION DEL SECADOR

Para la cotización del secador se tiene en cuenta los cálculos de balance de masa y energía para la elección del quemador y el área disponible que hay en la empresa para su ubicación.

Tabla 5. Cotización de la fabricación del secador.

Descripción	V/unidad	Cant	V/total
Fabricación de tambor en acero inoxidable 308, cono aspas soldadas en su interior en forma helicoidal y anillos cóncavos soldados en su exterior.	1.950.000	1	1.950.000
Fabricación de estructura soporte tambor en tubería cuadrada de 50x50x2.5 con acabados en pintura.	980.000	1	980.000
Suministro de moto reductor de 1 ½ HP marca SIMENS, a 220 voltios.	1.500.000	1	1.500.000
Suministro de variador de velocidad de 10-100 Hz, marca SIMENS.	700.000	1	700.000
Fabricación rodachinas en bronce SAE 40 con ajustes para rodamientos 6301RS marca FAG.	12.000	12	120.000
Suministro de quemador industrial modelo QH-120 de marca GAS Y GAS para trabajar con gas natural y /o propano. Potencia mínima de 120.000 BTU/H Potencia máxima de 200.000 BTU/H Equipo totalmente automático.	2.650.000	1	2.650.000
Acondicionamiento y puesta en marcha el sistema en planta.	2.000.000	1	2.000.000
		TOTAL	9.900.000

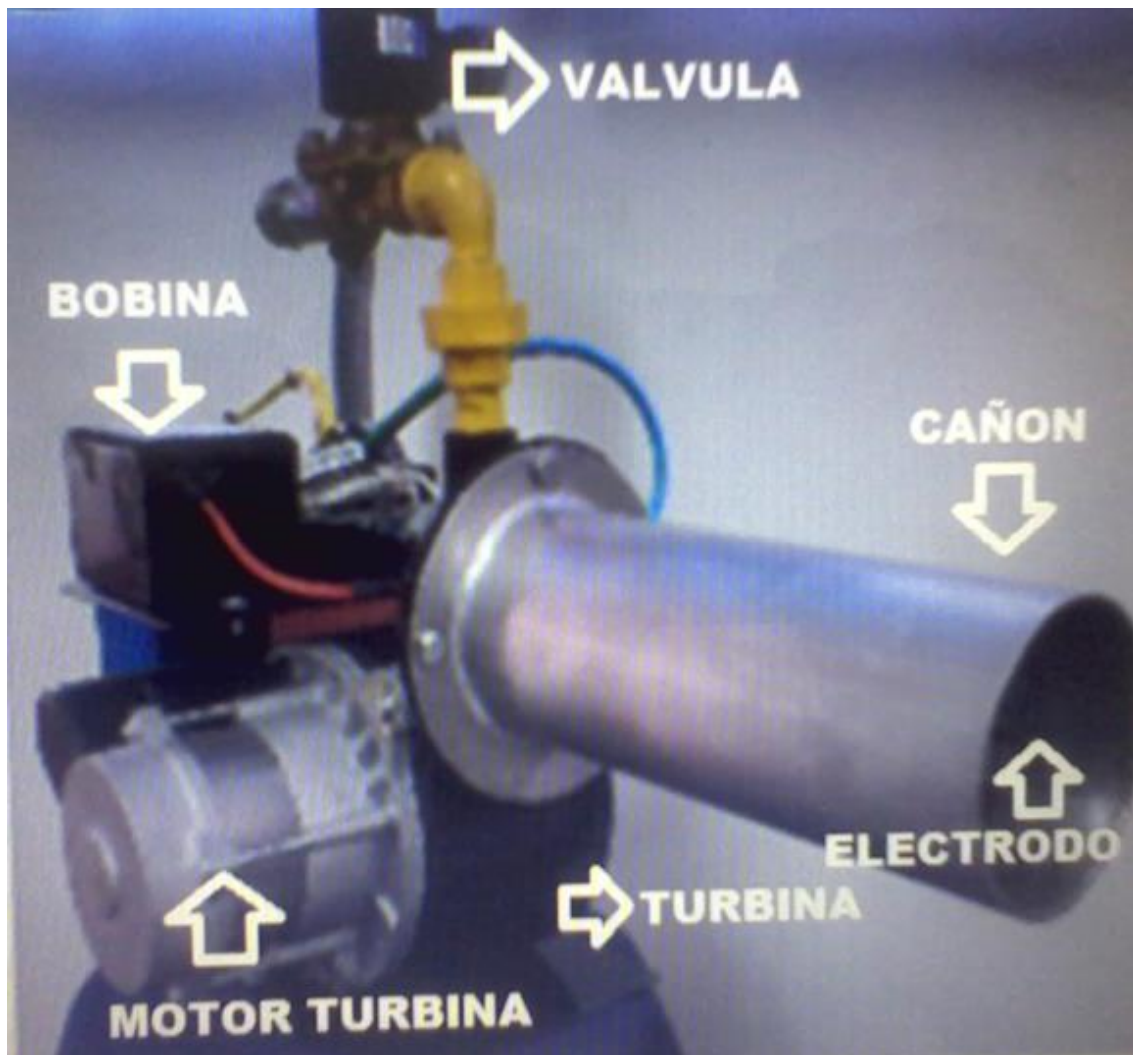


Figura 13. Imagen del quemador. Fuente GAS YGAS (S.A.S).

13. DISEÑO DEL SECADOR

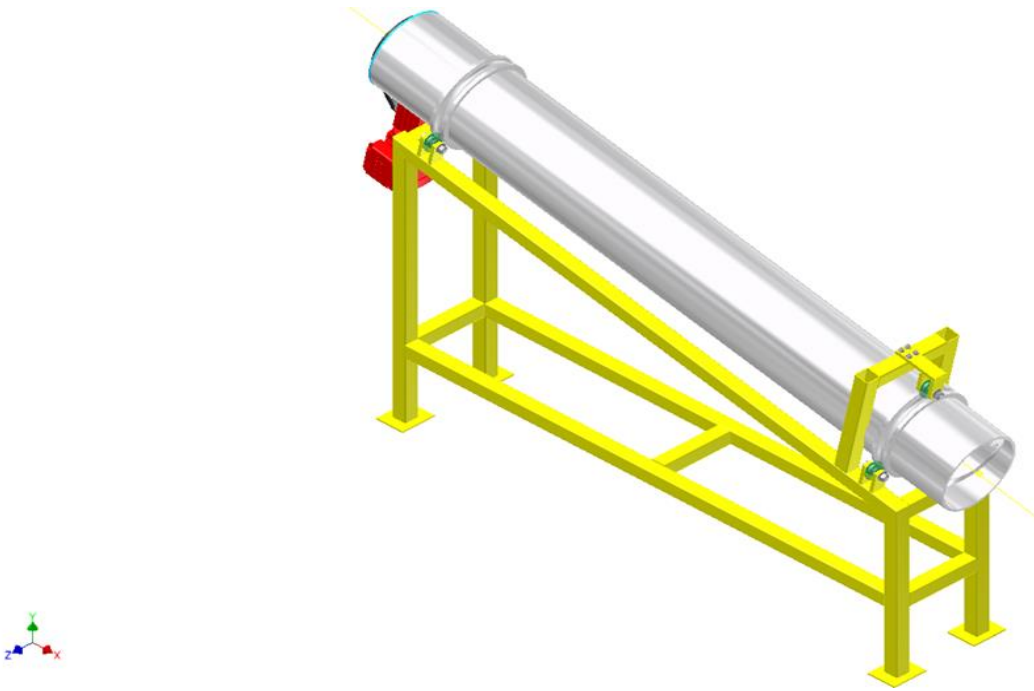


Figura 14. Modelo en 3D del secador.

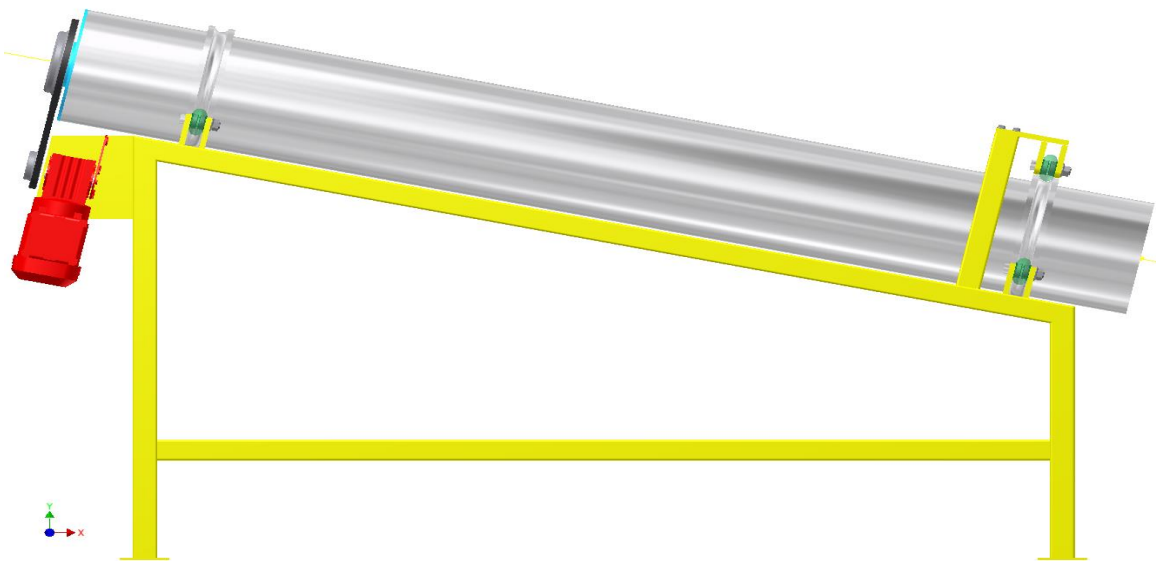


Figura 15. Vista lateral derecha del secador

14. PLANOS DEL SECADOR

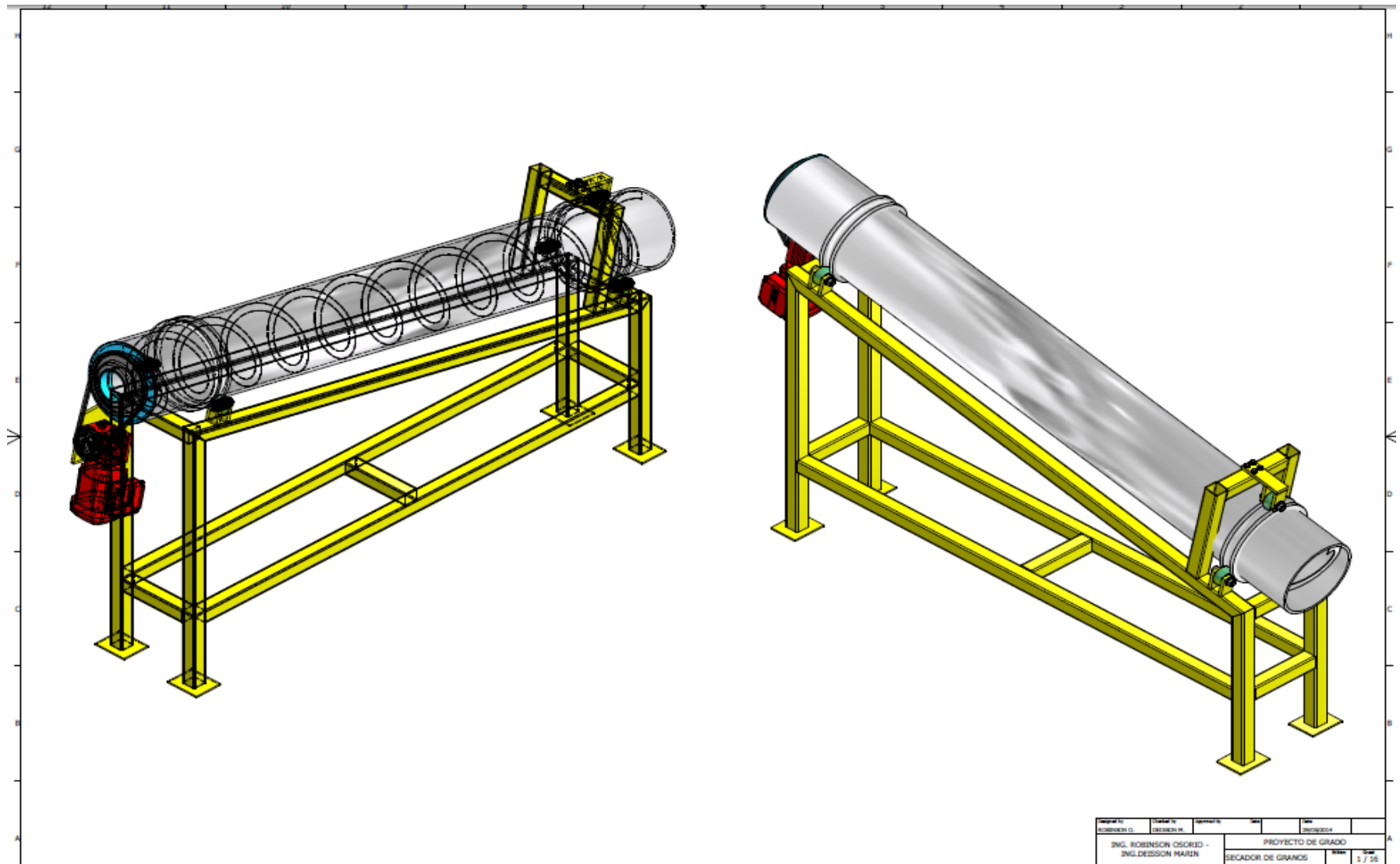


Figura 16. Isométrico vista en corte.

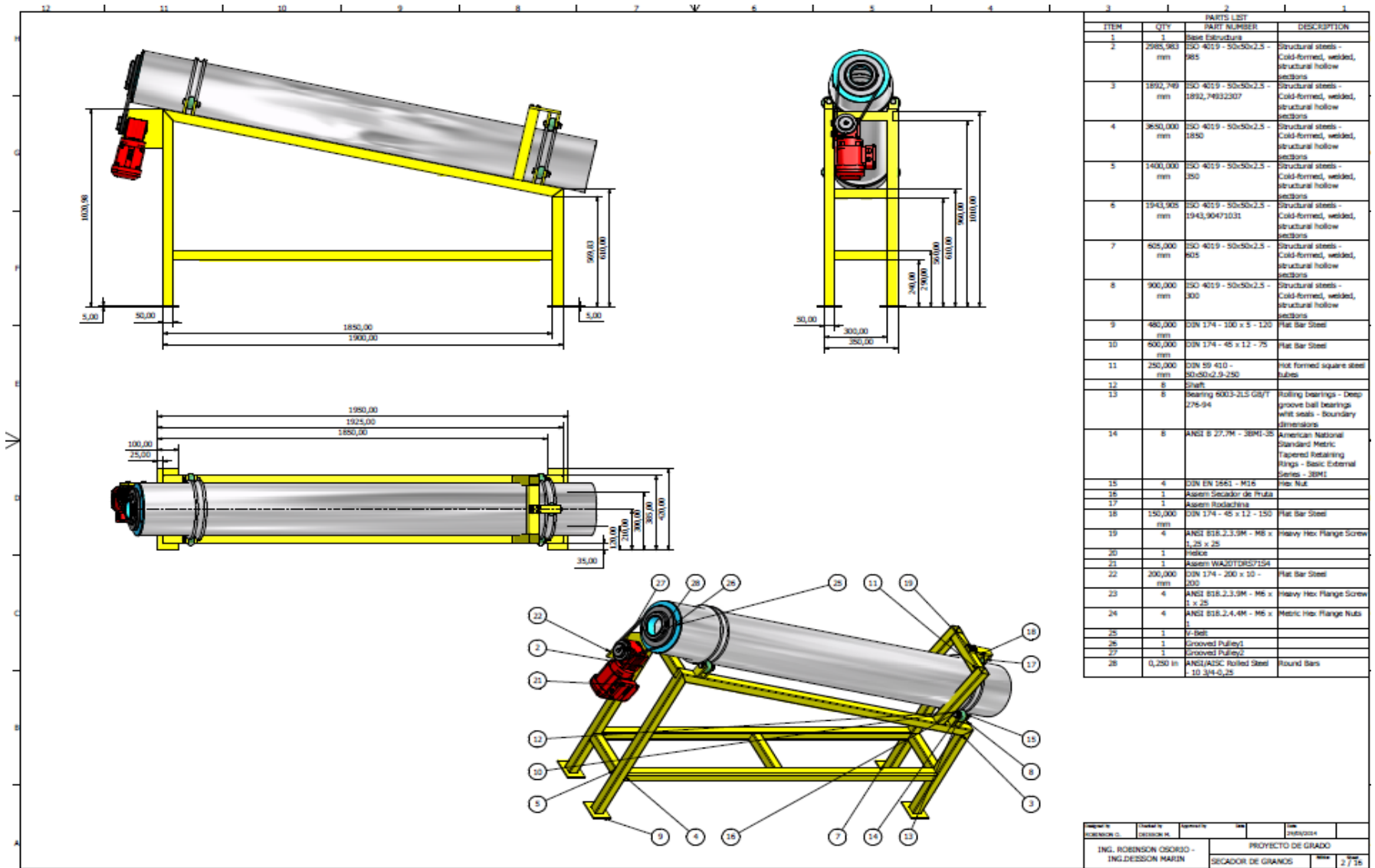


Figura 17. Isometrico acotado.

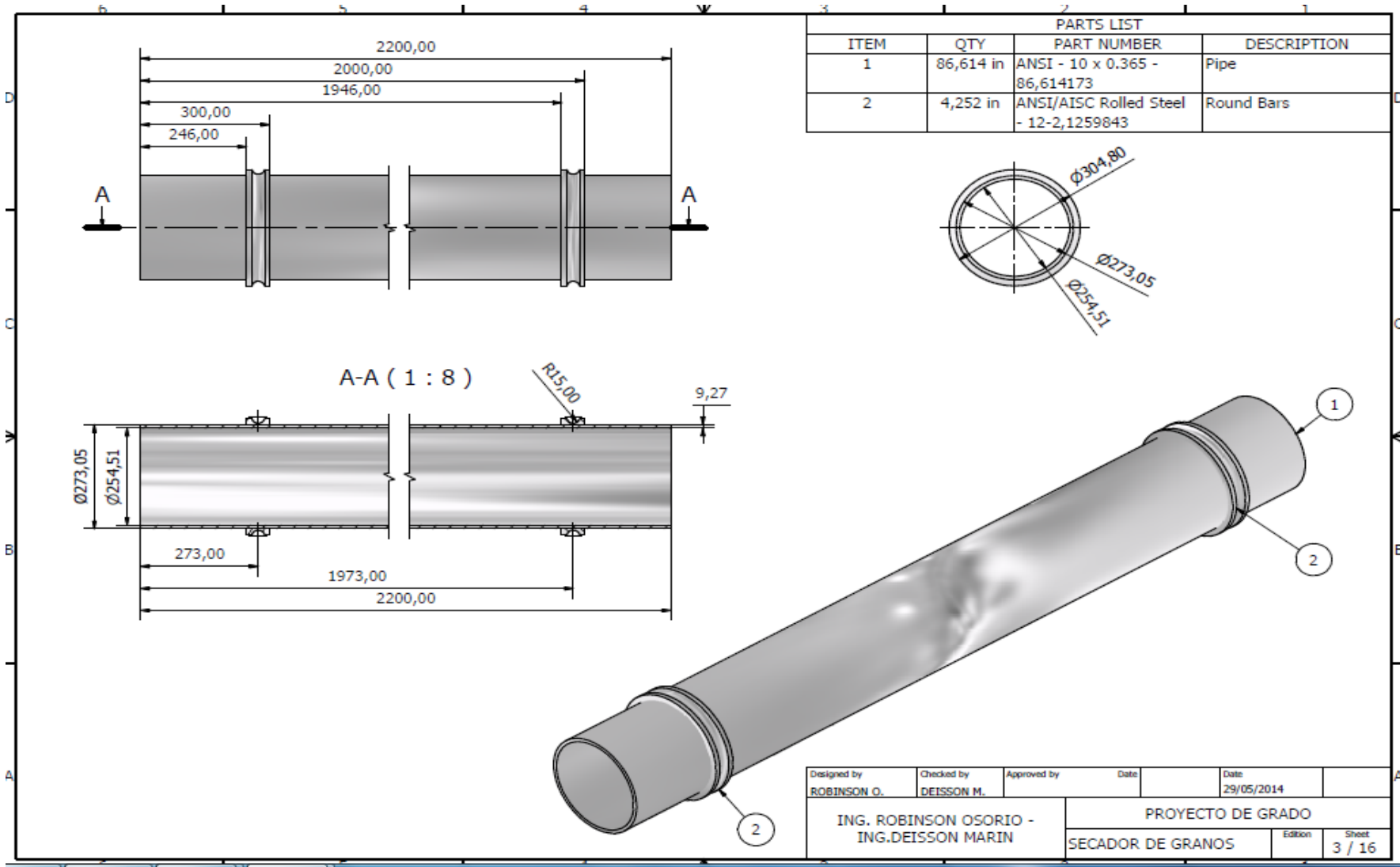


Figura 18.. Plano tambor.

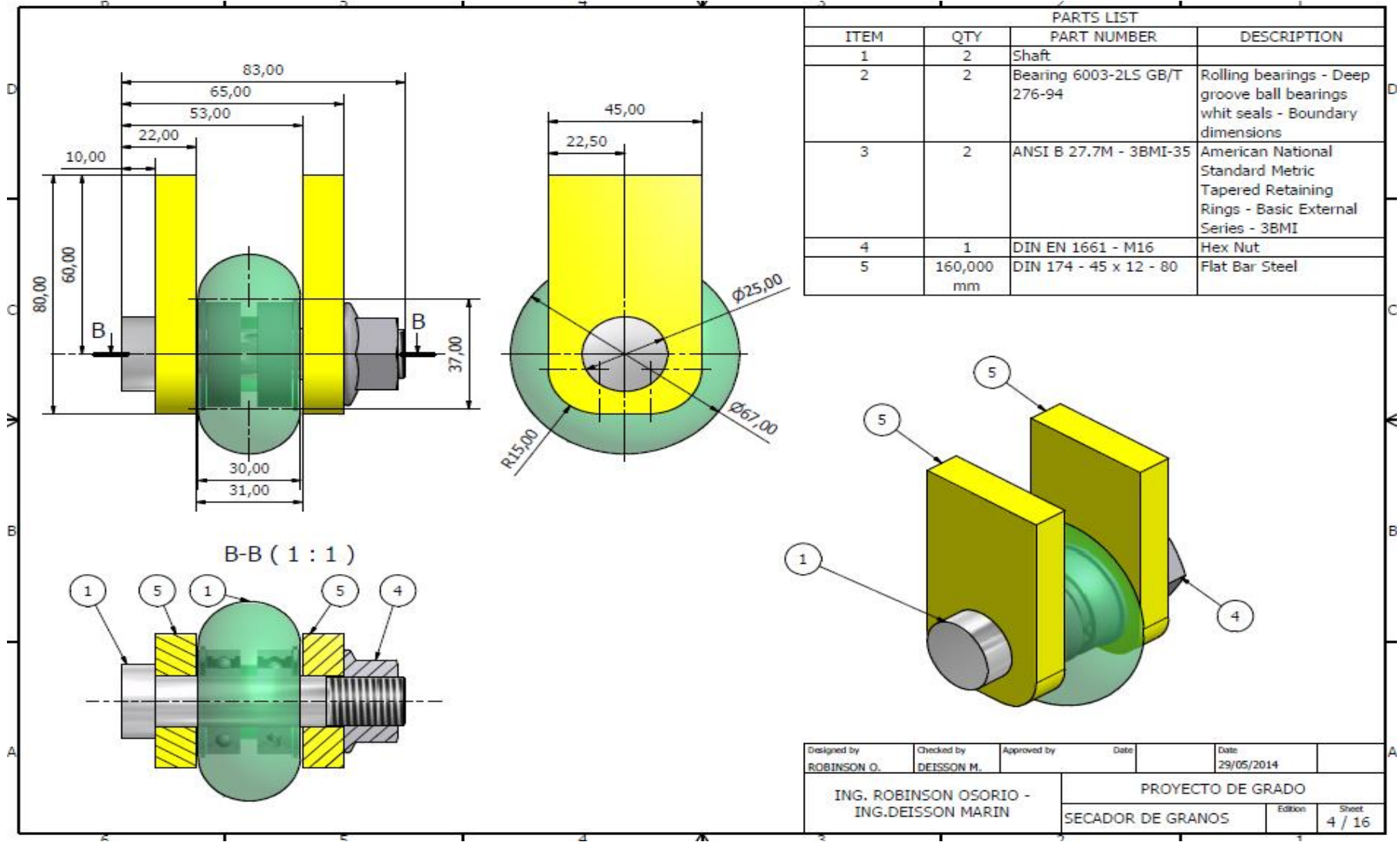


Figura 19. Plano rodachinas.

Designed by ROBINSON O.	Checked by DEISSON M.	Approved by	Date	Date 29/05/2014
ING. ROBINSON OSORIO - ING. DEISSON MARIN			PROYECTO DE GRADO	
SECADOR DE GRANOS			Edition	Sheet 4 / 16

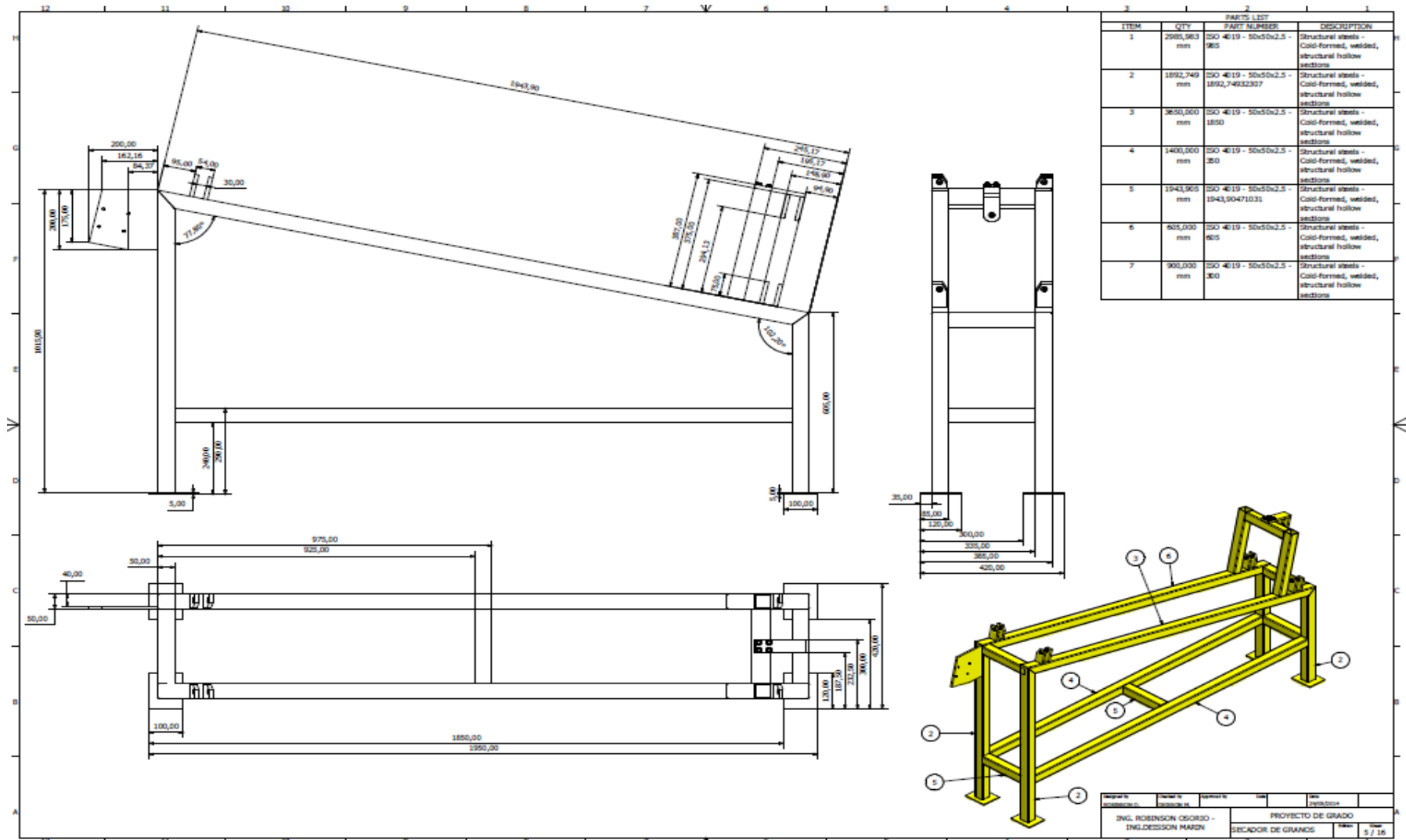


Figura 20. Plano estructura.

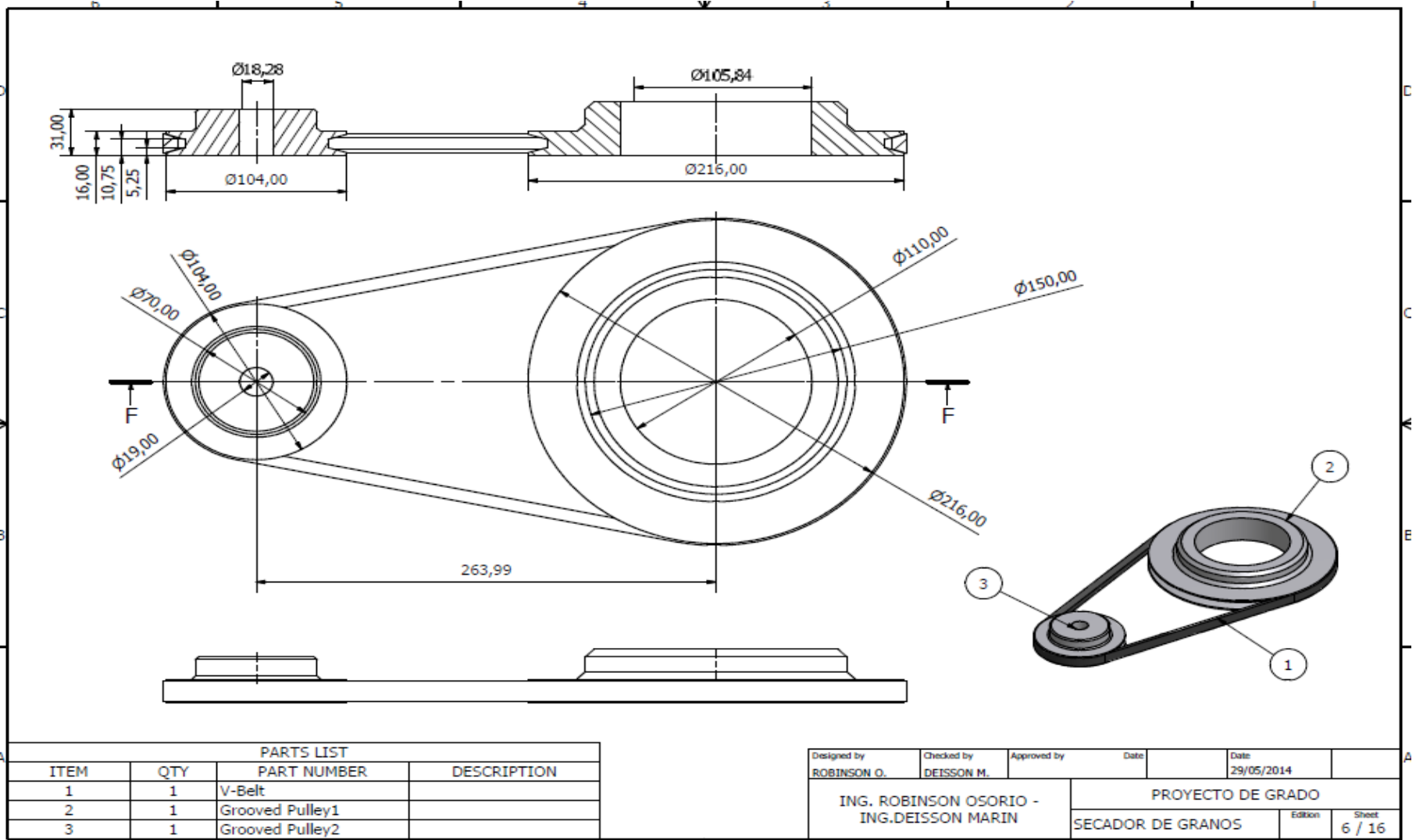


Figura 21. Plano sistema de poleas.

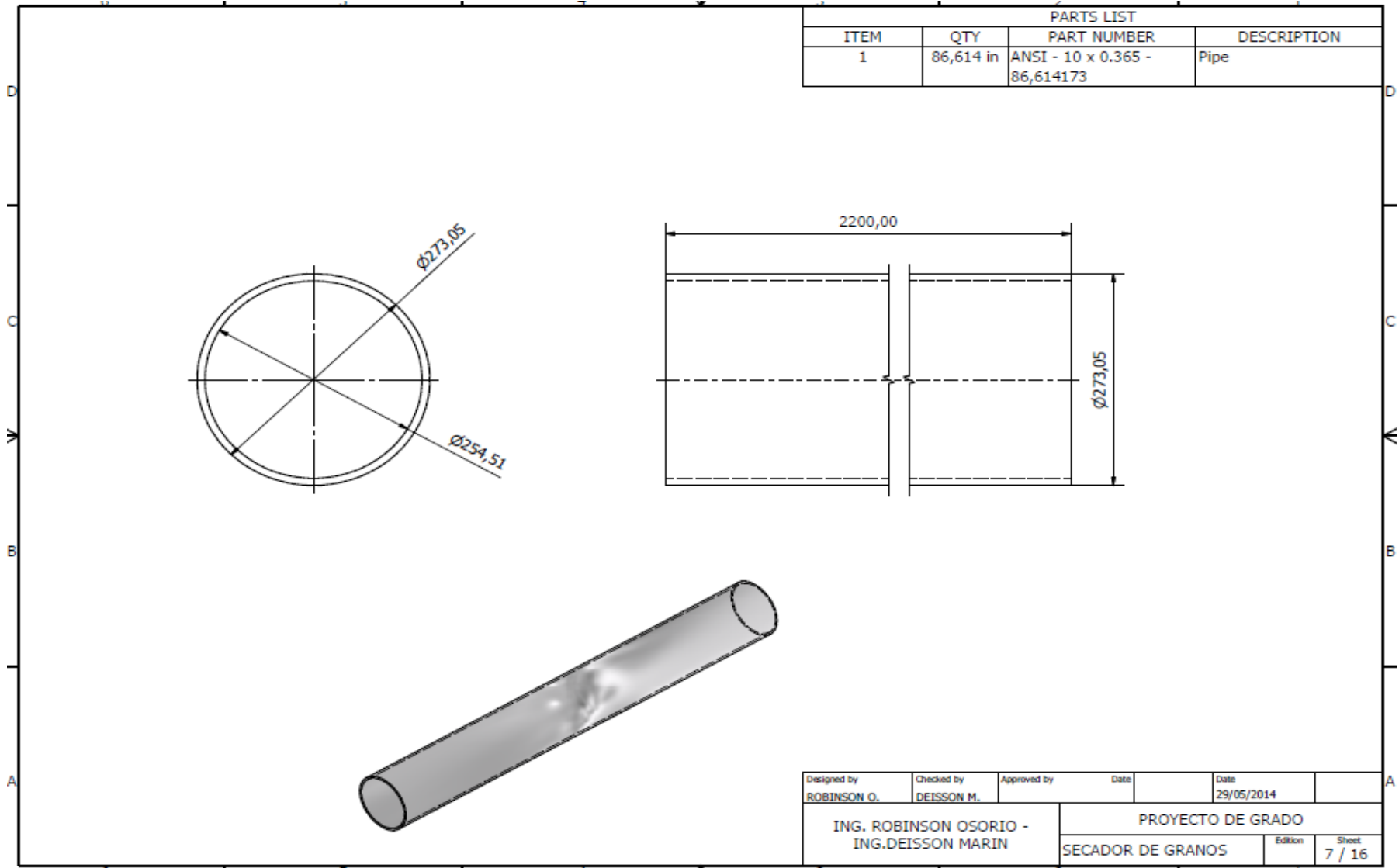


Figura.22 Plano cilindro.

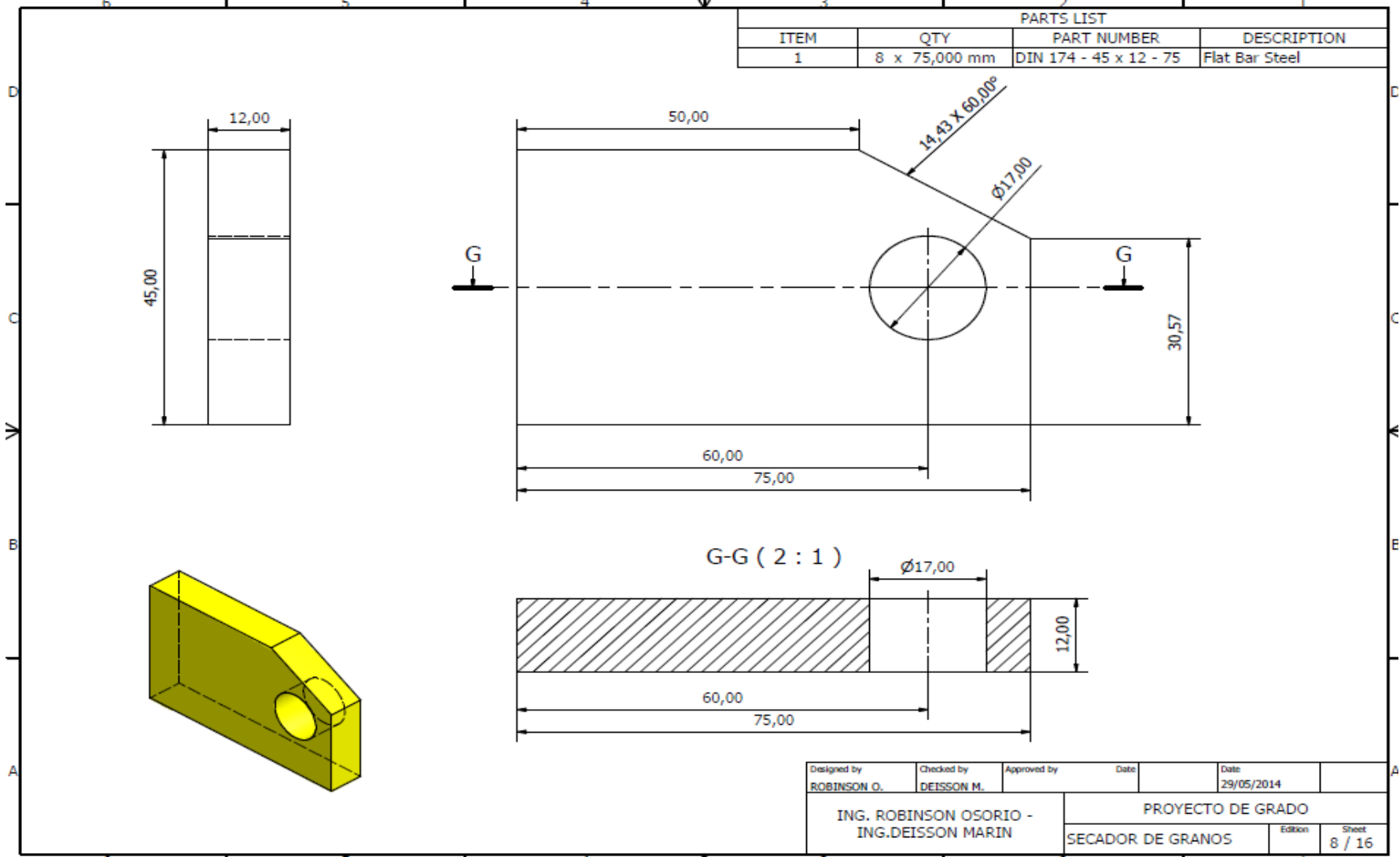


Figura 23. Plano platina soportes rodachinas.

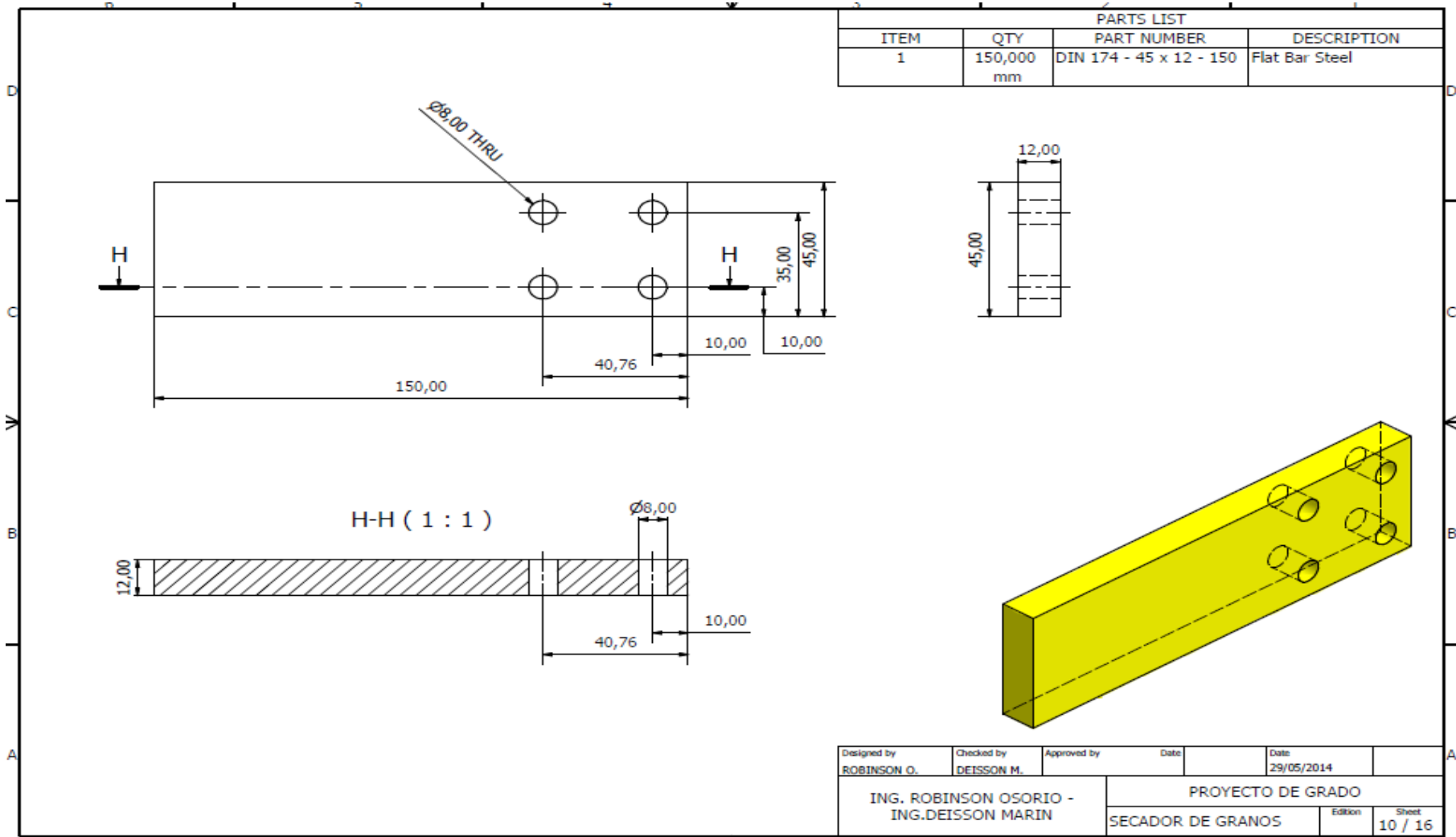


Figura 24. Plano soporte platina rodachina tensor

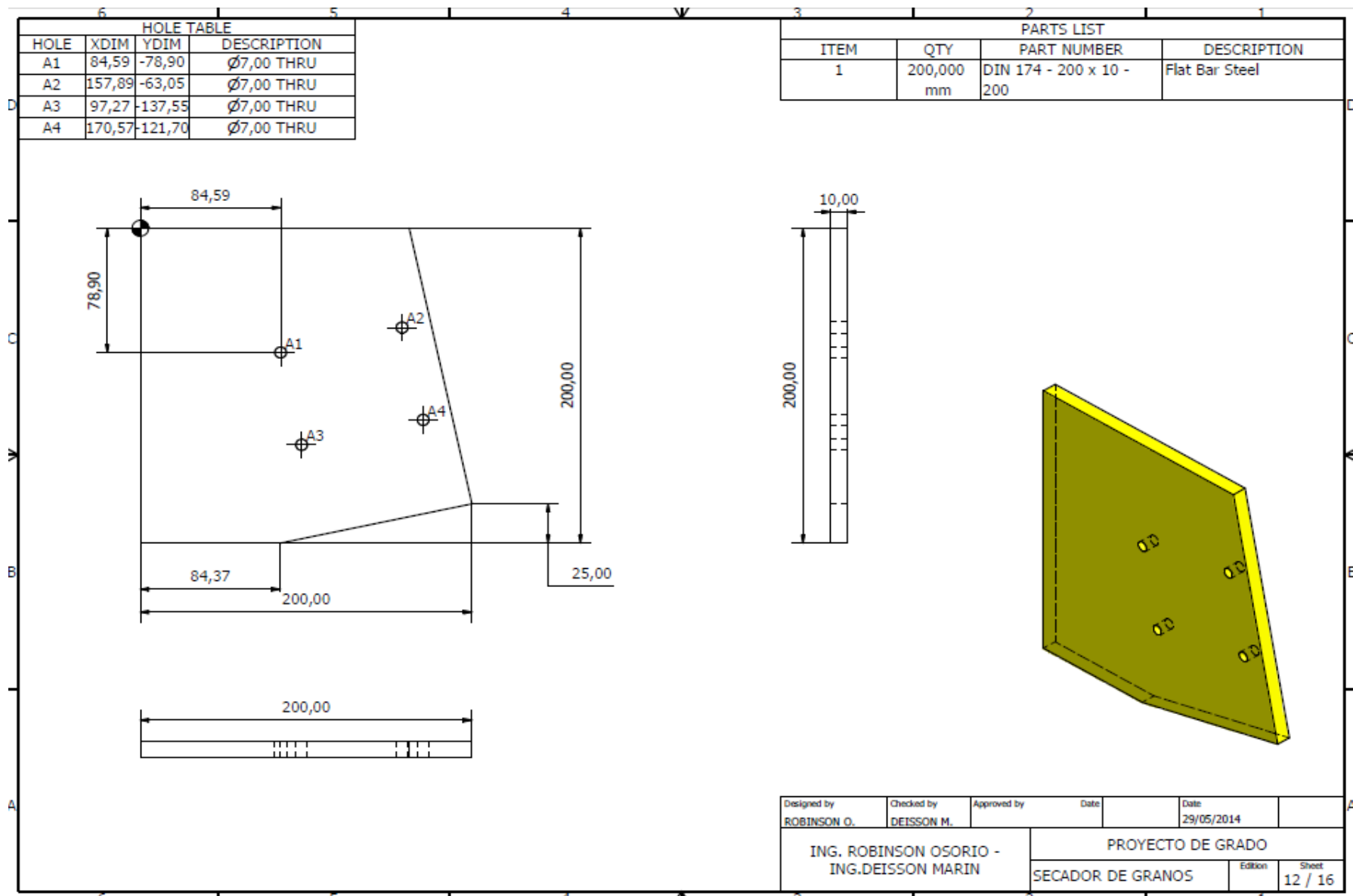


Figura 25. Plano platina soporte motor.

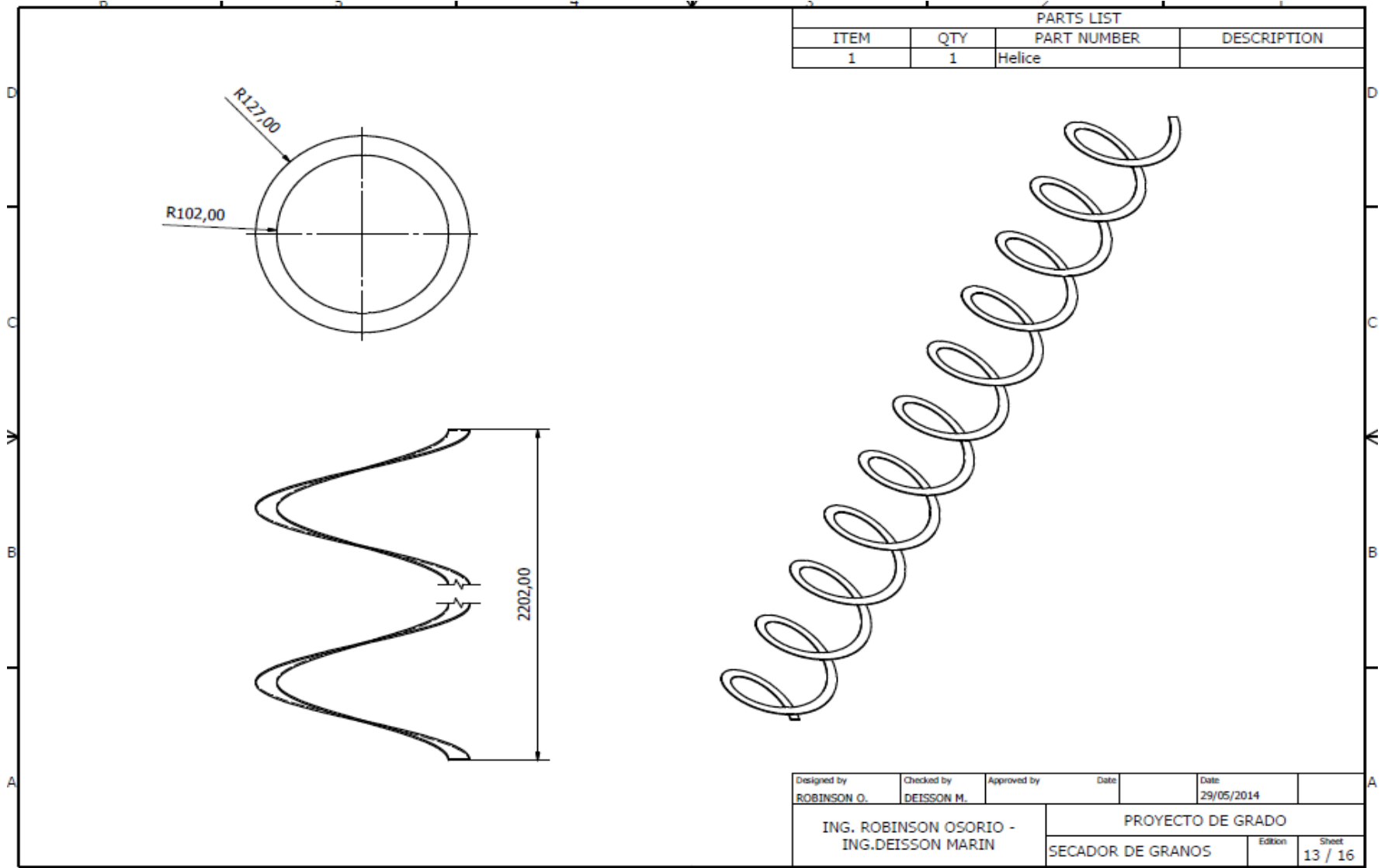


Figura 26. Plano espiral interno tambor

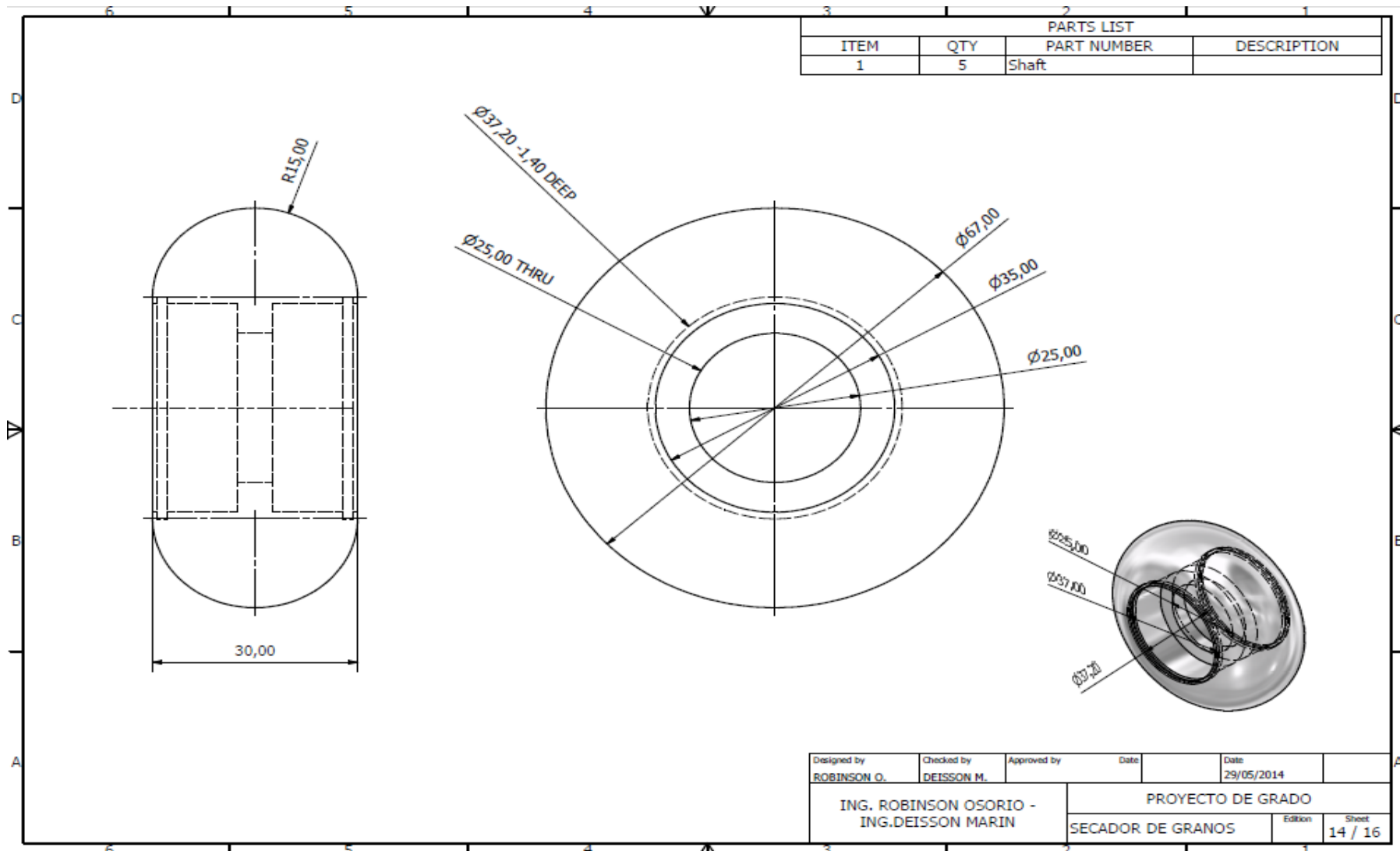


Figura 27. Plano rodachina soporte tambor.

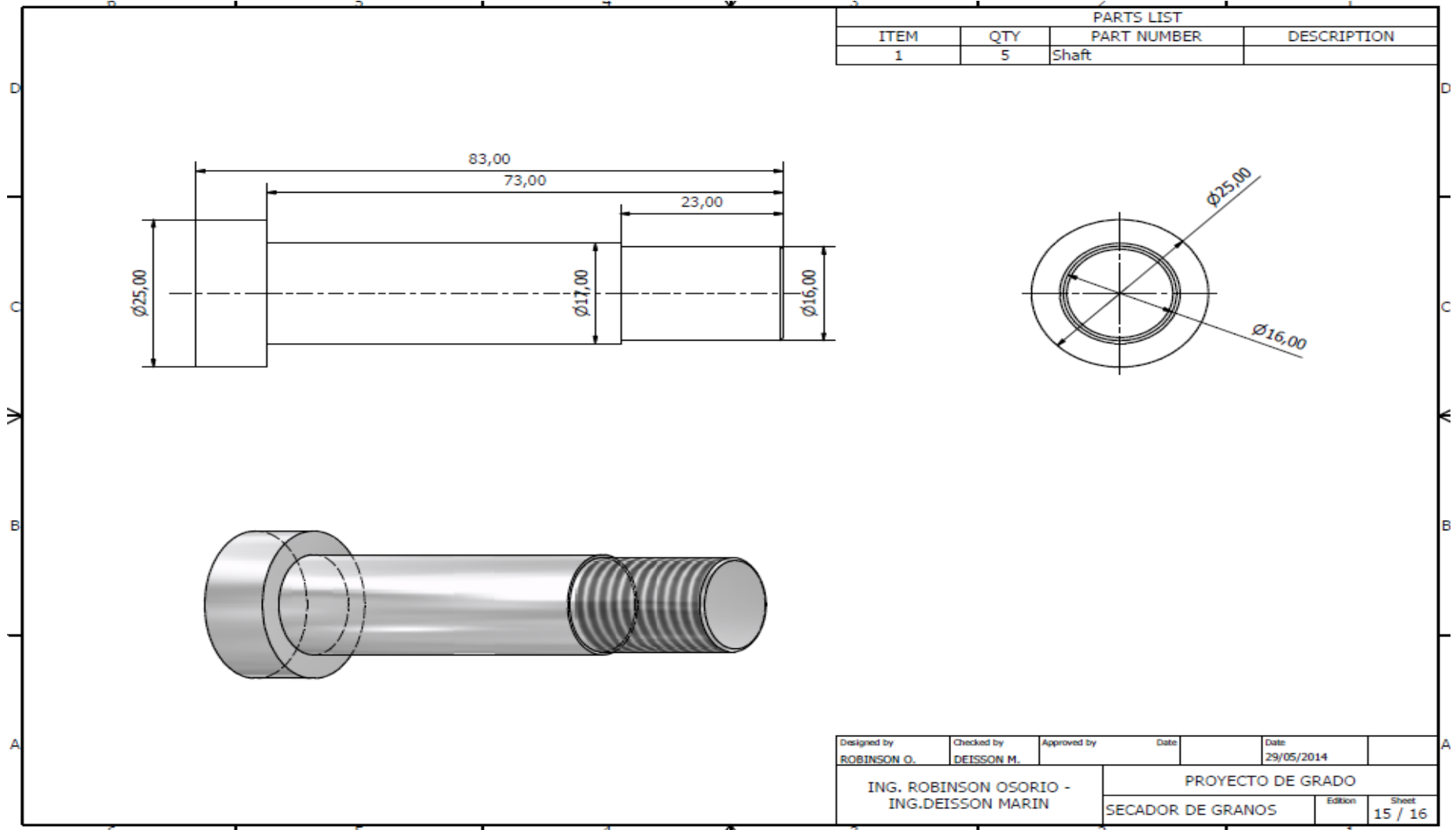
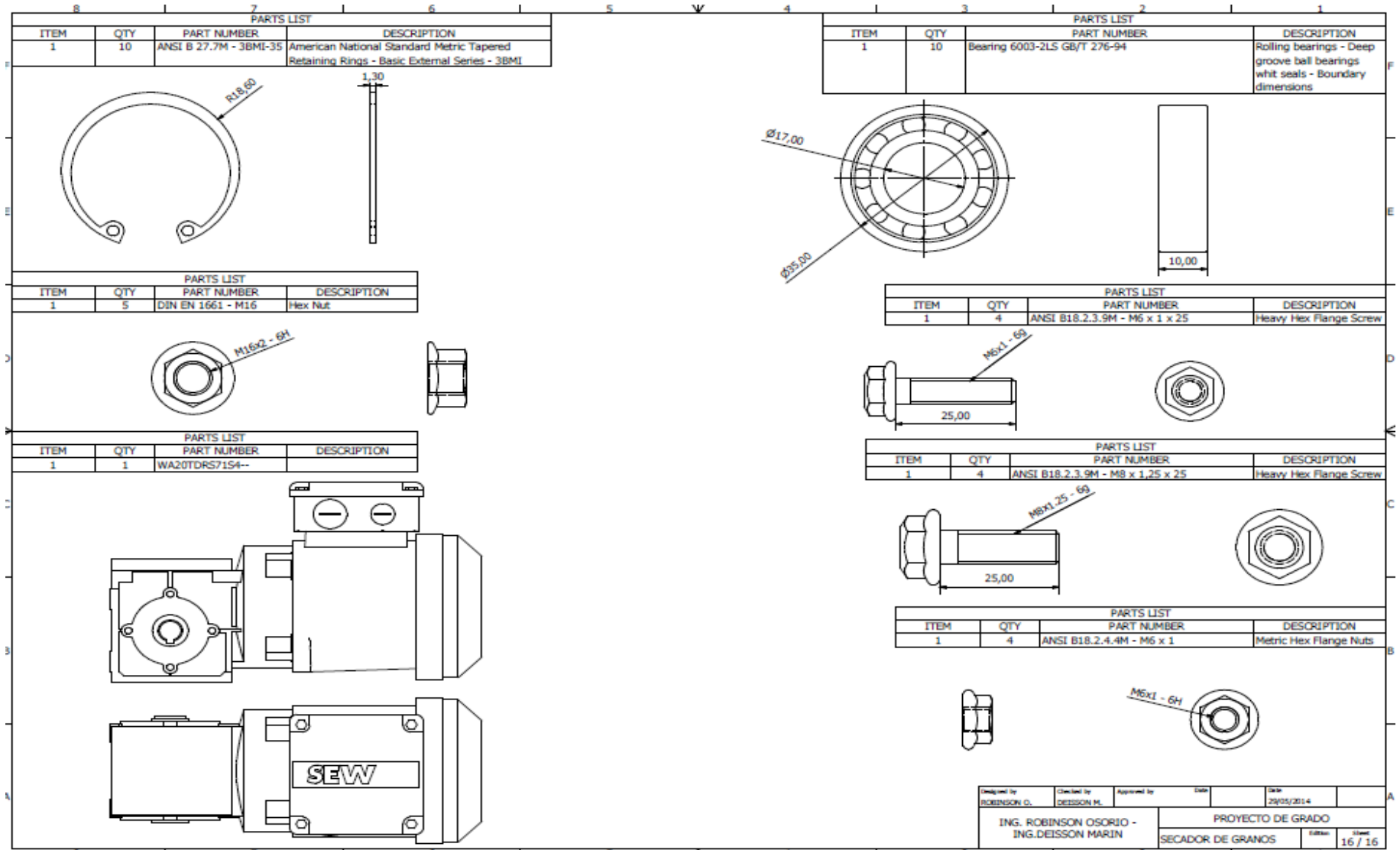


Figura 28. Plano tornillo soporte rodachina.



15. CONCLUSIONES

- Con los cálculos de masa y energía se le suministro al cliente la información correcta sobre el tipo de quemador adecuado para el secado del frijol en el tiempo y cantidad de producto mínimo necesario en su proceso de producción.
- Por ser el gas natural un combustible muy limpio comparado con los combustibles tradicionales facilita el cumplimiento de exigentes normas ambientales. La mejor ventaja del gas natural respecto a otros combustibles, es la baja emisión de contaminantes en su combustión.
- El gas natural está disponible en forma continua, no requiere tanques de almacenamiento disminuyendo los riesgos que ello implica y también los costos financieros.
- En los secadores de tambor rotatorio, el aire caliente puede circular en paralelo o a contracorriente con el material que se va a secar, además, produce bajos consumos de energía por kilogramo de producto seco.
- El fríjol en su mayoría alcanza la madurez fisiológica con contenidos de humedades del 35% y 45%, pero bajo estas condiciones se deteriora fácilmente por tal motivo es necesario, bajar su contenido de humedad hasta un 12-10%.
- Al aumentar la temperatura del aire de secado, disminuye significativamente el tiempo de secado y aumenta la velocidad de secado debido a que se incrementa la cantidad de agua evaporada.
- El secado del frijol se realiza básicamente por difusión, desde el interior del sólido hacia la superficie.
- Para la elaboración de los planos del secador se tuvo en cuenta el área disponible con el que cuenta la empresa en su infraestructura para su ubicación.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Alimentación., O. d. (1986). "Cereales, legumbres, leguminosas, productos derivados y proteínas vegetales". Italia.
- Boyce, A. y. (1996). Relaciones de temperatura para medir la eficiencia y para el control de secadoras.
- Bressani. (1985). *Revisión sobre la calidad del grano del frijol. INCAP.Vol.39.*
- C., G. (1998). "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias". Mexico: Continental, S.A Tercera edición.
- Carmona, A. y. (1998). *Importancia de las leguminosas en la nutrición humana.* Venezuela.
- Chaves, M. (2008). "Cinetica de secado de berengena(*Solanum Melongena,L.*). Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Corpoica. (2002). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble.*
- COSUDE. (1998). "Secamiento de granos su importancia y la prácticas comunes. Programa regional poscosecha".
- internet, f. d. (s.f.).
- Márquez, J. y. (1991). "Principios de secado de granos psicometria higroscopia". Chile.
- Mora, M. (1982). Influencia de diferentes temperaturas y contenidos de humedad sobre el tiempo de cocción del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) almacenado durante 18 meses. 1. Mora, M. "Influencia de diferentes temperaturas y contenidos de humedad sobRevista de Agronomía Costarricense, Vol 3.
- Moreno. (1985). "Microorganismo de los alimentos"; Editorial Acrabia, España.
- oriente, U. d. (Barcelona abril 2010.). *influencia sobre la cinética del secado del frijol.*
- Ortega, S. y. (1993). "Orituco: Nueva variedad de frijol blanco. Revista Agronomia Tropical.Vol.43.Nº3.
- Perry. (1995). "Manual del ingeniero Químico". Mexico: McGraw-Will,Tomo II. Séptima Edición.
- Treybal. (2000). "Operaciones de Transferencia de Masa",. Mexico: McGraw-Hill Segunda Edición.
- Valenzuela. (2000). *Apuntes de transferencia de calor. 3ra edición.*

