

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA DE MANUFACTURA



T E S I S

PLANEACIÓN Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECÁNICO PARA EL
DESPRENDIMIENTO DE LA CÁSCARA DE HABA SECA

Presenta:

Alderete Gatica Víctor Oziel

Para obtener al título de:

Maestro en Tecnología Avanzada de Manufactura

Director de Tesis:

M. C. Ignacio Hernández Castillo

M.C. Rodolfo Carro López

Huajuapán de León Oaxaca, México
Enero, 2013

CONTENIDO

CAPITULO 1. Introducción al Desarrollo del Proyecto	6
Introducción.....	2
Problemática	3
Objetivos.....	5
Metas del proyecto.....	5
Justificación	6
Delimitaciones	6
CAPITULO 2. Marco Teórico.....	8
Competidores en el mercado	9
Propiedad intelectual existente	9
Normatividad relacionada con el sistema.....	10
Normas Oficiales Mexicanas involucradas.....	10
Normas Ergonómicas.....	11
Normas Referentes a Componentes Mecánicos.....	15
Metodología.....	15
Metodología “DISEÑO TOTAL”	16
Procesos de Manufactura.....	19
Sistemas CAD/CAM/CAE.....	20
Sistemas CAD.....	22
Sistemas CAM	22
Sistemas CAE	23
Conformado de Metales.....	24
Teoría del maquinado de metales	25
Materiales para la manufactura	26
Aceros al Carbón.....	29
Aceros Aleados	30
Aceros Inoxidables.....	32
Aceros Grado Herramental	33
Materiales de Herramientas de Corte.....	34
Aplicaciones.....	34
Carburos cementados	34
Sistema de clasificación para los carburos cementados.....	34
Cermets	36
Cerámicos	36
Nitruro Cúbico de Boro Policristalino (PCBN)	37
Técnicas Avanzadas de Manufactura.....	37
Maquinado químico	37
Maquinado por pulso electroquímico (PECM).....	40
Rectificación electroquímica	40
Electroerosión	41

EDM con alambre	43
Rectificación por descarga eléctrica	44
Maquinado por rayo laser	44
Maquinado por haz de electrones	44
Maquinado por chorro de agua	45
Maquinado por chorro abrasivo	45
CAPITULO 3. Planeación de la Manufactura del sistema	47
Planeación de la manufactura	48
Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) Aplicada	49
Definición de las operaciones y secuencia de manufactura.....	56
Calculo de parámetros descriptivos de los procesos de mecanizado	60
CAPITULO 4. Manufactura del Sistema	78
Manufactura del herramental de pelado	79
Fresado de componentes	79
Fresado Convencional.....	80
Torneado de componentes	81
Maquinado Avanzado	82
Taladrado de componentes	84
Ensamble de componentes	85
CAPITULO 5: Pruebas de desempeño	88
Pruebas de desempeño.....	89
CAPITULO 6. Conclusiones y Definición de Nuevas Líneas de Investigación	90
Conclusiones.....	91
MESOGRAFIA	92
ANEXO A	93
Planos De Fabricacion Del Herramental Mecanico Para El Desprendimiento De La Cascara De Habas Secas.....	94
Documentos de referencia.....	111
ANEXO B.....	114
Obtención de los parámetros de mecánica.....	115
del corte de la cáscara de haba seca	115
Análisis físico del conjunto fruto-cáscara.....	116
Determinación estadística del tamaño del haba	118
Análisis físico del haba	120
Obtención de datos y caracterización de parámetros	121
Diseño Conceptual del Mecanismo de Pelado.....	122
Recopilación de Opciones de Diseño	124
Análisis y Selección del Diseño Viable	133
Diseño de mecanismos funcionales	135

DEDICATORIA

El verdadero valor de las cosas y su aportación a nuestra alma es definido por como nosotros mismos las vemos, la etiqueta que asignamos a los momentos vividos depende de la intensidad con la que han dejado huella en nuestro ser.

Desde tu partida ha sido muy duro aprender a vivir sin ti pero a pesar de lo suscitado heme aquí en donde algún día soñamos juntos... ahora que no te puedo ver tengo la imagen más clara de ti, ahora que no puedo oír tu voz puedo escuchar mas fuerte tus consejos que me diste, ahora que no estás aquí es cuando más presente te tengo en mi corazón.

Me siento bien por haberte dado lo que estuvo a mi alcance cuando lo necesitaste, me siento bien porque te dije todo lo que te tenía que decir en su momento, me siento bien porque lo que llegamos a vivir trascenderá en mi alma por siempre.

Paty donde quiera que te encuentres ten por seguro que siempre serás mi ángel y te recordaré con todo mi cariño como el que te llegue a demostrar cuando estuviste en vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que han hecho posible directa o indirectamente la realización de este trabajo, pues me doy cuenta que todas las personas que me rodean me han apoyado incondicionalmente y han aportado lo que ha quedado de su parte para que esto suceda.

Agradezco a mis padres el hecho de apoyarme siempre que así lo he necesitado, pues así han demostrado el cariño que sienten por mí, y que quieren solo lo mejor. A mi familia que a pesar de que han sido tiempos difíciles han sabido apoyarme y estar siempre para lo que yo necesite.

A mis directores de tesis porque con su ayuda ha sido posible esto, al M.C. Rodolfo Carro López y al M.C. Ignacio Hernández Castillo quienes aparte de ser grandes amigos, han sido quienes han forjado mi desarrollo profesional, compartiendo sus conocimientos y vivencias conmigo, logrando que una vez más me encuentre en esta situación académica.

A mis amigos y compañeros de trabajo, quienes también con su actitud de apoyo, comprensión y paciencia hacia mí, han generado las condiciones favorables para que este trabajo sea posible.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca que me ha permitido el desarrollo integral como persona y como profesionista, haciendo de mí un profesional con una visión clara de generar un entorno sustentable al aplicar los conocimientos adquiridos durante la estancia académica.

Capítulo 1

Introducción al Desarrollo del Proyecto

Introducción

A lo largo de la historia, el hombre se ha encontrado con ciertas dificultades que lo han invitado a razonar, analizar y resolver los problemas que su entorno le presenta, ya que desde tiempos inmemorables, el instinto de supervivencia trajo consigo la necesidad de proveer alimento al hombre primitivo, sin embargo también fue necesario el aplicar la capacidad de razonamiento del mismo y así desbordar su imaginación para la creación y manufactura de artefactos rudimentarios, dichos enseres no fueron más que artilugios desarrollados con el fin de facilitar el trabajo, disminuyendo la fuerza empleada para llevar a cabo alguna acción y así mejorando los resultados deseados. Posteriormente, este ciclo iterativo de la generación de conocimiento a través de la experiencia para crear estos aparatos simples que finalmente se define como tecnología nueva con la finalidad de cubrir una necesidad, abrió camino para el desarrollo tecnológico de la especie humana.

Cabe mencionar que en el año de 1793 se marca un hito en el desarrollo industrial de los Estados Unidos, el cual se configura en tiempo y forma exactos para la época, esto trajo como consecuencia la detonante de un sistema económico creciente para el sector agrícola del sur de los Estados Unidos en aquel entonces, ya que Eli Whitney, graduado a los 27 años del Yale Collage, fue el inventor y fabricante de una máquina desgranadora de algodón; dicha actividad era considerada como una actividad de las más pesadas, ya que consumía demasiado tiempo, mano de obra y esfuerzo humano, lo cual implicaba una gran demanda de los esclavos ya que la época así lo exigía.

La invención de dicha máquina, impulso el sector agrícola, expandiendo los sembradíos de algodón en un corto periodo de tiempo ya que representaba un valioso ingreso, Whitney lejos de haber facilitado la actividad de desgranado de algodón su verdadera aportación al desarrollo industrial estadounidense fue el implementar un sistema de manufactura y producción de mosquetes, ya que se diseño y construyo maquinaria específica para ese fin dando inicio a la producción en serie en los Estados Unidos; es evidente que en la actualidad este proceso iterativo para la aportación e innovación de ideas y conceptos, sigue aplicándose y ha traído consigo la creación de técnicas y sistemas que faciliten la vida del hombre moderno además de generar conocimiento que impulsa el desarrollo tecnológico, pues hoy en día se pueden observar gran variedad de artículos que han sido consecuencia de este proceso tecnológico.

Nuestro entorno ofrece gran cantidad de bienes que la mayor parte de nosotros pasamos desapercibidos, pues se han vuelto parte de nuestra vida cotidiana y se han homogenizado en nuestro estilo de vida actual, sin embargo, detrás de cada uno de estos productos conlleva una larga y compleja trayectoria que hace posible que estén al alcance de nuestras manos.

Los procesos, estándares, materiales y técnicas modernas de manufactura son el pilar de nuestra sociedad actual en cuanto consumo de productos de cualquier índole concierne, desde los textiles para vestir, los alimenticios para sobrevivir, y los elaborados para construir nuestras viviendas, hasta los fabricados con fines de investigación y desarrollo aeroespacial con nanotecnología y/o micromaquinados.

Entonces se tiene la premisa de que si los sectores primarios de un sistema social basado en la mercatización de nuestra economía global, fueran estimulados en el ámbito tecnológico, esto implicaría

un impulso de fondo para dicho sistema social; por ello, este proyecto de tesis se involucra directamente en este punto, pues el desarrollo de tecnología para el sector agrícola trae consigo grandes avances en el sistema productivo.

El proyecto de tesis desarrollado en este documento consiste en la generación de tecnología para facilitar el pelado de habas secas, dicha leguminosa, en la actualidad se produce abundantemente en el estado de Puebla, siendo éste el primer productor a nivel nacional, sin embargo por causa de procesos comerciales que encarecen el producto sin generar utilidad para el sector primario, es importante implementar un sistema funcional que agregue valor al producto directamente en el lugar donde este se origina.

En tanto tiene como objetivo principal, el manufacturar un sistema mecánico que realizará la función de pelado de habas secas, es de suma importancia mencionar que actualmente en México no se cuenta con el desarrollo de este tipo de tecnología ya que al revisar los registros correspondientes a esta temática en cuanto a propiedad intelectual corresponde, se ha determinado que no existe algún documento que sustente la creación o innovación de tecnología que cubra esta necesidad.

Se inicia tomando como referencia el análisis simplificado del producto a tratar, así como también se partirá de una selección previa del mecanismo que realizará la función de pelado, este sistema sugiere patrones de forma y esquemas de componentes que en teoría lograrían realizar la función de pelado, luego se aplicarán técnicas de planeación de la manufactura definiendo así el proceso de fabricación de cada componente, en seguida se implementará físicamente el prototipo del sistema de pelado de habas secas, finalmente se realizarán pruebas de desempeño y los datos obtenidos se validarán con respecto a la expectativa inicial a fin de generar un proceso iterativo para afinar detalles que mejoren el desempeño y cumplan con las especificaciones requeridas, aun cuando este proyecto sirva como base para otros en donde se desarrolle a fondo dicha iteración.

Problemática

Este proyecto de tesis, se enfoca a la manufactura de un herramental mecánico para el descascarado de habas secas con lo cual en consecuencia se agregará valor a la producción de habas directamente al nivel primario de la cadena productiva de las mismas.

Actualmente en el municipio de Oyameles Puebla existe un prototipo de máquina peladora (ver figura 1.1), presentando deficiencias, que atentan contra el desempeño de dicho prototipo, ya que éste interactúa con las mismas y tiene como principal tendencia la selección ya que el mecanismo con el que cuenta las toma de **“una en una”** y las hace pasar entre dos componentes metálicos que tienen una separación **“fija”** entre sí (ver figura 1.2), es muy importante señalar que dichas puntas metálicas tienen una superficie lisa, los componentes están acoplados a un mecanismo de ajuste mediante resortes de tensión (ver figura 1.3), estos impulsan un eslabón generando un momento y en consecuencia aplicando una fuerza de palanca sobre el haba que se encuentre entre las puntas, por consiguiente según sea la situación del haba a pelar, existe el caso en que ésta es demasiado grande con respecto a la separación de las punta, entonces la fuerza ejercida sobre la corteza del haba, sobrepasa el nivel permisible de fractura del fruto, es decir que, el haba tiende a romperse por el exceso de presión sobre la misma.



Figura 1.1. Prototipo del sistema de pelado Oyameles **Puebla Fuente:** Fotografías del tesista

En contraparte si el haba seleccionada tiene un tamaño inferior al establecido en la separación, esta pasará de largo sin ser pelada o tener siquiera contacto con las puntas metálicas, por consiguiente, solo una cantidad mínima de habas es pelada con éxito, lo cual vuelve al mecanismo un sistema ineficiente y con un alto índice de merma (véase figura 1.2 y figura 1.3).



Figura 1.2 Actuadores de pelado y el desplazamiento relativo del transportador de producto **Fuente:** Fotografías del tesista

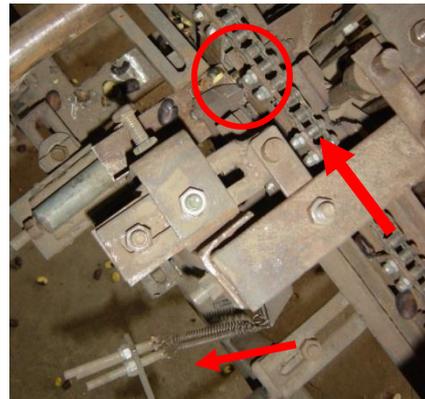


Figura 1.3 Sistema de tensión de los actuadores de pelado **Fuente:** Fotografías del tesista

Partiendo de esta configuración es importante mencionar el desarrollo del diseño conceptual, así como las pruebas realizadas al haba pueden ser consultadas en el anexo B de este documento mientras que en el anexo A se pueden encontrar referencias de apoyo para la comprensión de ciertas partes del proyecto.

Existen modelos comerciales de maquinaria que realiza el pelado de habas, sin embargo el desempeño de estos equipos excede las expectativas del usuario y no resuelve el problema de agregar valor al producto directamente en donde se origina la cosecha de la leguminosa, por lo tanto son sistemas que se tornan fuera de lo esperado por el usuario, los equipos son de origen Peruano y Chino, en consecuencia el usuario generaría un costo para su adquisición, procesos de importación y traslado de la maquinaria, por este motivo se manufacturará un sistema ajustado a las necesidades del usuario de producción media-baja de habas.

Objetivos

Una vez que se tiene determinada la necesidad, a continuación se especifican los objetivos del proyecto, con los cuales al ser cubiertos se espera se obtengan los resultados esperados del desempeño del sistema.

Objetivo General

- ✓ *“Planear y manufacturar un herramental mecánico para el descascarado de habas secas que cumpla con los parámetros especificados según el diseño conceptual del mismo”.*

Objetivos Específicos

- ✓ *Determinar la confiabilidad del diseño de los componentes del herramental mediante el uso de la ingeniería asistida por computadora (CAE).*
- ✓ *Desarrollar, planear y proponer una secuencia de manufactura basada en los componentes del diseño conceptual del mecanismo de pelado.*
- ✓ *Seleccionar e implementar un proceso de manufactura que cumpla con los patrones de forma y esquemas de componentes del sistema así como la configuración del mismo de acuerdo a las condiciones físicas de producción.*
- ✓ *Realizar pruebas al sistema y validar el desempeño respecto al requerimiento inicial del usuario.*

Metas del proyecto

Dado que este proyecto comprende parte de la fase de diseño y se enfoca a la planeación y manufactura del sistema de pelado de habas secas, el propósito es que de acuerdo a la determinación de los parámetros de resistencia durante el proceso de corte de la cáscara y la conceptualización de las ideas referentes al proceso de pelado, entonces las metas de este proyecto se listan a continuación:

- Planear el proceso de operaciones de manufactura según el tipo de componente a fabricar, para ello se realizará un análisis de componentes, geometrías y especificaciones de producción.
- Ajustar las operaciones de manufactura y producción a los recursos disponibles en el LabTAM (Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura) de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Comparar la planeación de fabricación y condiciones de producción con los datos reales obtenidos en la implementación física.

Justificación

Este proyecto tiene un enfoque que parte de una necesidad del sector agrícola del estado de Puebla, existen modelos comerciales de maquinaria dedicada a este fin (pelado de haba), sin embargo dicha maquinaria no cumple con el objetivo de agregar valor al producto directamente después de haber sido cosechado, razón por la cual se pretende que este sistema a manufacturar, sea conjuntado como parte del mecanismo de una máquina peladora de habas, la cual, cubra una demanda de pelado de al menos **5 kg/hr con una eficiencia del 60% mínimamente.**

La máquina en su totalidad estaría constituida por 3 sistemas que lleven a cabo el proceso de pelado desde la alimentación del producto a procesar, hasta la entrega del mismo cumpliendo con la expectativa de pelado, por consiguiente 2 de estos sistemas se consideran de precedencia secundaria, y el otro del precedencia principal, por lo que, el sistema desarrollado en este proyecto de tesis es el sistema principal, o sistema de pelado, posteriormente como parte de otro proyecto de investigación se desarrollarían los sistemas secundarios, que se acoplarían al mecanismo principal, los mecanismos secundarios serían el sistema de alimentación del producto a procesar y el sistema de separación frutocascara, los cuales son de accionamiento previo y posterior respectivamente al sistema desarrollado en este proyecto.

Hay que hacer hincapié en la funcionalidad mecanizada de la operación de pelado de habas secas, pues esta actividad ha sido realizada de manera manual (véase figura 1.4) y auxiliándose con la herramienta mostrada en la figura 1.5



Figura 1.4 Método manual de pelado de habas secas
Fuente: Fotografías del tesista



Figura 1.5 Herramienta manual de pelado de haba seca
Fuente: Fotografías del tesista

Partiendo entonces del hecho en que se ha de desarrollar un sistema mecánico que facilitará el pelado de habas secas disminuyendo el tiempo y el esfuerzo de dicha actividad se considera como una mejora de impacto a un sector productivo vulnerable, en donde es necesario impulsar la tecnología actual del proceso involucrado.

Delimitaciones

Este documento de tesis, contiene lo realizado durante la manufactura de un herramental mecánico para el pelado de habas secas, el cual consistirá en:

- Generar los planos de fabricación de cada componente del sistema mecánico.
- Determinar la viabilidad de diseño basándolo en herramientas computacionales CAE.
- Calculo de los parámetros funcionales del proceso de manufactura.
- Determinación de la secuencia de manufactura de componentes.
- Fabricación de componentes
- Ensamblado de componentes fabricados.
- Pruebas de desempeño del sistema.

Lo anterior engloba un desarrollo completo de manufactura del herramental mecánico procesando la información necesaria, partiendo de pruebas y parámetros preliminares del haba.

Capítulo 2

Marco Teórico

Competidores en el mercado

En el mercado existen máquinas de orden comercial que realizan la función de pelado de habas en un sistema mecánico constituido que tienen como principal desventaja el costo del equipo, pues implica el costo del equipo adicionado al costo logístico para su transporte hasta donde sea necesario, agregando costos de importación, además de tener una capacidad que excede la producción de haba por parte del productor, cabe señalar que para poder implementar los sistemas de pelado existentes en el mercado se necesita inicialmente un lugar de acopio de producto del orden de toneladas del mismo.

Una vez que se han definido las desventajas que representa el adquirir un sistema comercial, en la tabla 2.1 se enlistan los sistemas existentes en el mercado.

Tabla 2.1. Comparación de los diferentes competidores de producción tecnológica **Fuente:** Propia

No.	Equipo	Fabricante	Capacidad	Costo
1	Máquina peladora de haba, soya y garbanzo	China	300 kg/hr	3500-4000 USD FOB
2	Máquina peladora de haba	Perú	300 kg/hr	N/E
3	Estación de pelado de haba	Perú	N/E	N/E

Propiedad intelectual existente

Es muy importante definir el contexto de la propiedad intelectual en el cual se encuentra inmerso este proyecto de tesis, por ello se ha investigado acerca de los documentos de patente que respaldan el registro de mecanismos o dispositivos similares al sistema que se ha de desarrollar, por lo que en la tabla 2.2 se muestran los resultados de la investigación.

Tabla 2.2. Propiedad intelectual existente relacionada al tema **Fuente:** Propia

No.	Referencia	Título	Origen
1	US6612226	APARATOS DE PELADO Y MÉTODOS ASOCIADOS	AMERICANA
2	US3990358	APARATOS DE PROCESAMIENTO DE FRUTAS	AMERICANA
3	US4245553	APARATOS PARA EL TRATAMIENTO DEL FRIJOL	AMERICANA
4	US5544575	DESGRANADORA DE MAÍZ	AMERICANA
5	US6389963	ELEMENTO DE PELADO	AMERICANA
6	US5361689	MAQUINA ESCALDADORA DE NUECES	AMERICANA
7	US4827836	MAQUINA PELADORA DE FRUTAS Y VEGETALES	AMERICANA
8	US3112779	MAQUINA PELADORA DE PAPAS	AMERICANA
9	US6575085	MAQUINA PELADORA DE RODILLOS ABRASIVOS	AMERICANA
10	US5351610	MAQUINA PELADORA DE VEGETALES	AMERICANA
11	US4448118	MAQUINA PELADORA Y LIMPIADORA	AMERICANA
12	US3811000	MAQUINA PELADORA Y MÉTODO PARA VEGETALES	AMERICANA
13	US4389927	MÉTODO DE PELADO DE AVELLANA	AMERICANA
14	US3058829	PELADO DE SOYA	AMERICANA
15	US5996483	ARTEFACTO DE PELADO	AMERICANA
16	US4173177	PELADORA Y SEPARADORA DE SEMILLAS	AMERICANA
17	US1706577	LIMPIADORA Y PELADORA DE FRUTAS	AMERICANA
18	US2178007	MAQUINA PELADORA	AMERICANA

19	US2316368	PELADORA DE VEGETALES	AMERICANA
20	US2335164	CLASIFICADORA DE TAMAÑOS PARA FRUTAS Y VEGETALES	AMERICANA
21	US2776690	SEPARADOR DE CASCARAS	AMERICANA
22	2120837	MAQUINA PELADORA DE HABAS (EXTRACCIÓN DESDE LA VAINA)	ESPAÑOLA
23	22 42 563	PELADO DE SEMILLAS DE GIRASOL	ESPAÑOLA
24	200910185662	MÉTODO PARA PROCESADO DE HABAS	CHINA
25	201010535559	MÉTODO PARA PROCESAMIENTO DE HABAS	CHINA
26	201110089128	DISPOSITIVO DE PROCESADO DE HABAS	CHINA
27	201110089136	TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DE HABAS	CHINA
28	00220855	MAQUINA DE CORTE PARALELO DE HABAS	CHINA
29	200920144990	DISPOSITIVO DE PELADO Y DESHIDRATADO DE HABAS	CHINA
30	200920144992	DISPOSITIVO DE PELADO Y REMOJADO DE HABAS	CHINA
31	201120102985	APARATO DE PROCESADO DE HABAS	CHINA
32	96234122	MECANISMO DE CORTE PARA UN CORTADOR DE HABAS	CHINA
33	99229198	DESGRANADORA DE HABAS SECAS	CHINA
34	201210011077	MAQUINA PELADORA DE HABAS	CHINA
35	94203930	MAQUINA PELADORA DE VEGETALES Y FRUTAS CON FORMAS IRREGULARES	CHINA

Es necesario aclarar llegado a este punto que no existe una manera objetiva para la comparación de lo manufacturado y documentado en este proyecto, en específico hablando de las patentes chinas, las cuales según la traducción literal del título de la patente, exhibe un nombre muy llamativo respecto al proyecto, sin embargo no es posible acceder a los documentos, por lo que para mayor información el lector puede consultar el contenido del documento mediante su búsqueda de acuerdo al número de serie asignado al registro.

Normatividad relacionada con el sistema

El cumplimiento con la normatividad establecida según sea el caso de las condiciones de trabajo en algún lugar ofrece a posibilidad de llevar a cabo una operación exitosa y segura de los diferentes equipos o al realizar ciertas actividades, por ello en cuanto a lo que concierne a este proyecto de tesis se investigaron las normas involucradas para el desarrollo del mismo o que pueden servir como base o referencia para ciertas partes.

La normatividad es aplicada a diversas situaciones siendo necesario citar las normas involucradas en el desarrollo de tecnología mecánica, se revisaron las Normas Oficiales Mexicanas, normatividad respecto a la ergonomía en el sistema y normatividad acerca del diseño mecánico, normas ISO relacionadas, normas europeas y normas nacionales.

Cabe mencionar que por cuestión de espacio y dado que las normativas citadas existen según su número de especificación, el lector fácilmente puede consultarlas en la red o en libros de normatividad con el número de especificación asignado a la misma, al igual que las patentes, por ello solo se mencionarán las especificaciones de acuerdo éste número seriado.

Normas Oficiales Mexicanas involucradas

En cuanto a lo que implica normatividad mexicana se definieron los siguientes puntos de referencia a las Normas Oficiales Mexicanas:

- NOM-004-STPS-1999: Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.
- NOM-011-STPS-2001: Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. D.O.F. 17-IV-2002.
- NOM-017-STPS-2008: Equipo de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. D.O.F. 9-XII-2008.
- NOM-025-STPS-2008: Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. D.O.F. 20-XII-2008.
- NOM-113-STPS-2009: Seguridad - Equipo de protección personal - Calzado de protección - Clasificación, especificaciones y métodos de prueba. D.O.F. 22-XII-2009.

Cabe señalar que la normatividad mexicana referente a las NOM's no involucra específicamente el diseño, operación o manufactura de componentes mecánicos, sin embargo ofrecen un panorama de operación de equipos de acuerdo a ciertas condiciones.

Normas Ergonómicas

El riesgo al operar cualquier tipo de maquinaria se encuentra latente puesto que para que exista una función por parte de dicho sistema mecánico deberá existir el movimiento relativo entre los componentes de la misma lo cual agrega un riesgo de operación para el usuario, dicho riesgo viene dado por los siguientes factores:

- Mecánico
- Eléctrico
- Térmico
- Acústico
- Por vibración
- Por radiación
- Por el tipo de materiales manejados

A continuación se dan ejemplos de riesgo en componentes mecánicos con partes móviles:

- a) **Arboles:** incluye acoplamientos, vástagos, brocas, tornillos, mandriles y barras aun cuando el giro es lento (figura 2.1).

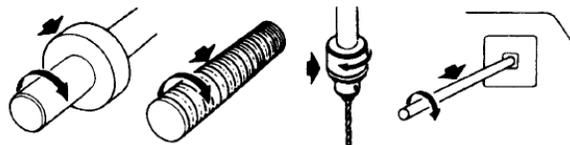


Figura 2.1 Riesgos en arboles (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- b) **Resalte o aberturas:** algunos elementos mecánicos resultan ser muy peligrosos por su geometría misma tal como ventiladores, poleas, ruedas de cadenas o engranajes.



Figura 2.2 Riesgos en el diseño geométrico de la pieza en movimiento (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- c) **Herramientas de corte y abrasión:** las herramientas de corte que entran en contacto con un material dado para alterar su forma, tamaño etc.

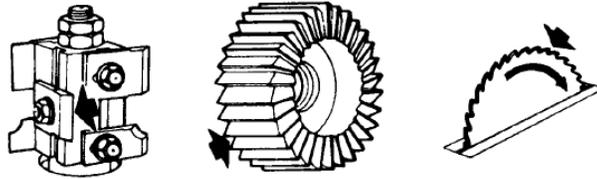


Figura 2.3 Riesgo en el uso de herramientas de corte (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- d) **Piezas con giros contrarios:** el peligro de atrapamiento entre ellas viene dado cuando las piezas giran en ejes paralelos y en sentido contrario en ocasiones con contacto directo o con cierta separación.

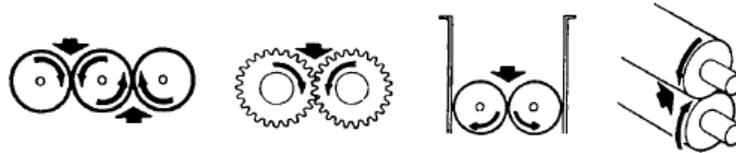


Figura 2.4 Riesgo en piezas con giro relativo entre ejes (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- e) **Partes giratorias con desplazamiento tangencial:** es visto en partes como tracción de cadena, poleas con banda, conjunto piñón-cremallera, bandas transportadoras.

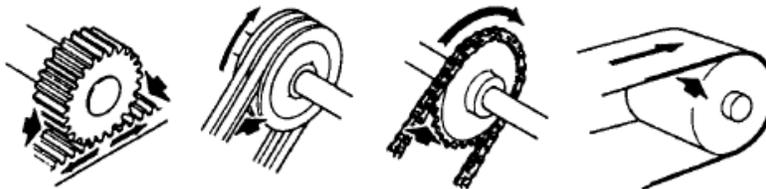


Figura 2.5 Riesgos en partes giratorias con desplazamientos tangenciales (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- f) **Claros entre piezas giratorias y partes fijas:** se presenta en volantes con radios, armazón de la máquina. Espirales de tornillos sin fin y su cubierta, representan peligros de cizallamiento, aplastamiento o atrapamiento por acción de la pieza móvil respecto a la fija.



Figura 2.6 Riesgos en piezas en los claros entre piezas giratorias y piezas fijas (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- g) **Formas de aproximación:** se presentan en martillos de forja, corredera de prensa mecánica, máquinas de moldeo por fundición, movimiento de una maquina respecto a una parte fija:

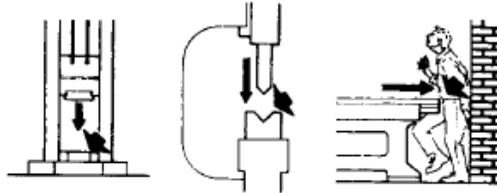


Figura 2.7 Riesgos en piezas con formas de aproximación (prensas) (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- h) **Formas de sobrepaso:** se presenta en cuchillas de guillotina, mesa de máquina-herramienta etc. Originan peligros de aplastamiento o cizallamiento.

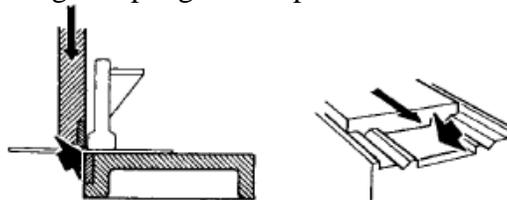


Figura 2.8 Riesgos en piezas con desplazamiento relativo (Cebollada Pras, y otros, 2002)

- i) El peligro se debe generalmente a la naturaleza de la parte o elemento que se mueve (dientes de una hoja de cinta, costuras de correas, etc.) Presentan peligros de corte y enganche.

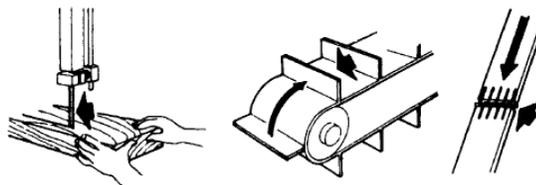


Figura 2.9 Riesgos en uniones o protuberancias de piezas en movimiento relativo (Cebollada Pras, y otros, 2002)

El proceso de diseño y proyecto puede desarrollarse en cuatro etapas principales:

1. **Elaboración y clasificación de las especificaciones.** Las propuestas iniciales para la solución del problema del diseño se evaluarán según las exigencias técnicas aplicables.
2. **Preparación del esquema de diseño.** Las especificaciones deben ser evaluadas según los principios ergonómicos de diseño anteriormente expuestos.

3. **Preparación del proyecto detallado.** La solución de diseño elegida se desarrollará en profundidad presentándose soluciones detalladas.
4. **Puesta en práctica.** Se realizarán ensayos previos para detectar posibles errores de diseño y permitir realizar mejoras.

La aplicación de los principios de ergonomía al diseñar máquinas contribuye a aumentar la seguridad, reduciendo el estrés y los esfuerzos físicos del operador, mejorando así la eficacia y la fiabilidad del funcionamiento, reduciendo la probabilidad de errores en todas las fases de la utilización de la máquina.

Se deben observar los siguientes principios en el diseño al asignar funciones al operador y a la máquina:

- ✓ Dimensiones del cuerpo.
- ✓ Movimientos y posturas forzadas en la utilización de la máquina.
- ✓ Magnitud de los esfuerzos y amplitud de movimientos.
- ✓ Ruido, vibraciones y efectos térmicos. Ritmos de trabajo repetitivos.
- ✓ Iluminación localizada en las zonas de trabajo.
- ✓ Diseñar órganos de accionamiento visibles, identificables, y maniobrables con seguridad.
- ✓ Diseñar y colocar las señales, cuadrantes y visualizadores de tal forma que la presentación de la información pueda ser detectada, identificada e interpretada convenientemente desde el puesto de mando.

En definitiva, los sistemas de trabajo diseñados de manera ergonómica favorecen la seguridad y la eficacia, mejoran las condiciones de trabajo y de vida, y compensan los efectos adversos sobre la salud y el rendimiento del ser humano.

Con respecto a la normatividad relacionada con la cuestión ergonómica de la máquina y después de haber revisado 66 diferentes títulos se eligieron las siguientes como relevantes para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 2.3: Normatividad ergonómica relacionada con sistemas mecánicos **Fuente:** Atlántico Safety ®

NORMA	TITULO	ORIGEN
UNE EN 547-1:97	Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano Parte 1: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para el paso de todo cuerpo en las máquinas.	EN 547-1:96
UNE EN 547-2:97	Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 2: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para las aberturas de acceso.	EN 547-2:96
UNE EN 547-3:97	Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 3: Datos antropométricos.	EN 547-3:96
UNE EN 563:96 +A1: 00 +AC:00	Seguridad de las máquinas. Temperatura de las superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límites de las superficies calientes.	EN 563:96 + AC:94
UNE EN 574:97	Seguridad de las máquinas. Dispositivos de mando a dos manos. Aspectos funcionales. Principios para el diseño.	EN 574:96
UNE EN 614-1:96	Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico. Parte 1: Terminología y principios generales.	EN 614-1:95

UNE EN 614-2:01	Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico. Parte 2: Interacciones entre el diseño de las máquinas y las tareas de trabajo.	EN 614-2:00
UNE EN 842:97	Seguridad de las máquinas. Señales visuales de peligro. Requisitos generales, diseño y ensayos.	EN 842:96
UNE EN 894-1:97	Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de dispositivos de información y mandos. Parte 1: Principios generales de la interacción entre el hombre y los dispositivos de información y mandos.	EN 894-1:97
UNE EN 894-2:97	Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de dispositivos de información y órganos de accionamiento. Parte 2: Dispositivos de información.	EN 894-2:97
UNE EN 894-3:01	Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de dispositivos de información y mandos. Parte 3: Mandos	EN 894-3:00
UNE EN 1005-1:02	Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 1: Términos y definiciones.	EN 1005-1:02
UNE EN 1005-2:04	Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 2: Manejo de máquinas y de sus partes componentes.	EN 1005-2:03
UNE EN 1005-3:02	Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 3: Límites de fuerza recomendados por la utilización de máquinas	EN 1005-3:02
UNE EN ISO 6385:04	Principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo.	EN ISO 6385:04
UNE EN ISO 7250:98	Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico.	EN ISO 7250:97
UNE EN ISO 9921:04	Ergonomía. Evaluación de la comunicación verbal.	EN ISO 9921:03

Normas Referentes a Componentes Mecánicos

La normatividad con respecto a componentes mecánicos, se puede enunciar como sigue:

- ISO 496:1973 Manejo de maquinas accionadas, peso de los ejes
- ISO 4863:1984 Resistencia de acoplamientos del eje, Información a suministrar por los usuarios y fabricantes
- ISO 21940-21:2012 Vibraciones mecánicas - balanceo del rotor - Parte 21: Descripción. Evaluación y balanceo de máquinas
- ISO 19499:2007 Vibraciones mecánicas - Equilibrado - Orientación sobre el uso y aplicación de las normas de equilibrio
- ISO 2162-2:1993 Documentación técnica de productos - Resortes - Parte 2: Presentación de los datos de resortes helicoidales de compresión cilíndrica
- ISO 5170:1977 Máquinas-herramienta - sistemas de lubricación
- ISO 487:1998 Cadenas de rodillos de acero, los tipos S y C, eslabonamientos y piñones

Metodología

En esta parte del proyecto es necesario definir la metodología a utilizar, ya que existen gran cantidad de técnicas, en este caso se ha de utilizar una de las más completas consideradas para el desarrollo de productos, esta técnica toma en cuenta aspectos globales del diseño, es decir, se despliega hasta los puntos que van más allá de las especificaciones o requerimientos básicos, y abarca sistemas que en otras técnicas no son incluidos, dichos factores que son tomados en cuenta son, el mercado, la manufactura y finalmente regresa al mercado, con la finalidad de sondear la satisfacción del usuario,

dicha metodología ha de trabajar bajo los principios de la ingeniería concurrente, en donde existe un desarrollo simultáneo entre las etapas del diseño, es decir se genera un proceso iterativo con la finalidad de retroalimentar cada etapa con la anterior y la siguiente, esto con el motivo de evitar retrasos en el diseño y disminuir el tiempo global del desarrollo. (N. Childs, 2004)

Metodología “DISEÑO TOTAL”

El proceso de diseño ha sido el punto de investigación durante muchos años, ya que es parte medular del desarrollo de grandes proyectos, por ello, existen diversas metodologías encaminadas a un proceso en el cual se incluyen diversos factores, cabe señalar que cada metodología es viable en ciertos aspectos de acuerdo al alcance de la misma, en este proyecto, se ha de utilizar la metodología llamada “DISEÑO TOTAL”, la cual fue propuesta y desarrollada por Stuart Pugh en 1990, *"El diseño total es una actividad sistemática indispensable, a partir de la identificación de las necesidades del mercado y/o usuario, para la venta del producto con éxito a fin de satisfacer esa necesidad - . Una actividad que abarca productos, procesos, personas y organizaciones"*, la metodología se ilustra esquemáticamente en la figura 2.10, con lo cual se puede determinar el alcance de la misma. (N. Childs, 2004)

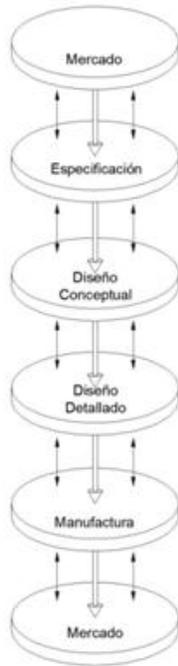


Figura 2.10: Esquema esencial de la metodología “DISEÑO TOTAL”

esta metodología funciona en una secuencia iterativa entre fases, ya que si existe la posibilidad de realizar algún ajuste derivado de alguna fase anterior es posible regresar a la misma, y retroalimentar lo realizado a fin de detallar y facilitar el resultado de fases posteriores. (N. Childs, 2004)

Sabiendo en forma general el esquema en el que se desenvuelve la metodología, es preciso definir cada una de las fases como sigue:

Mercado.- Esta fase se refiere a la medición de las oportunidades de venta en el mercado, o la determinación de una necesidad existente en el mismo, ya que a partir de esto es como se determina la

razón de ser del desarrollo de ciertos productos, haciendo un muestreo de mercado, en el cual se delimita la necesidad a cubrir por parte del producto a realizar. (N. Childs, 2004)

Especificaciones.- En esta etapa están involucrados los datos que definen la funcionalidad requerida por parte del producto, así como también se conocen las expectativas de desempeño del mismo, bajo las condiciones de uso deseadas por el usuario, esta fase es de suma importancia ya que es el punto de partida para los datos formales, y supuestos formulados a partir de las condiciones de necesarias según la necesidad, es decir, esta parte funciona como un controlador de la actividad de diseño, puesto que delimita el proceso, por lo cual es importante incluir los factores necesarios que caractericen la parte formal de la necesidad. (N. Childs, 2004)

Diseño Conceptual.- Las primeras etapas de diseño donde las decisiones importantes se deben hacer es a veces llamado "diseño conceptual", la parte del diseño conceptual puede definirse como la morfología de un producto, de cómo se compone y como podría ser diseñado, es esta fase se puede echar mano de algunas técnicas como la lluvia de ideas, análisis morfológico y arboles de función, se trata de generar un concepto preliminar dirigido a la solución global del problema sin entrar a puntos específicos. (N. Childs, 2004)

Diseño Detallado.- Consiste en la determinación de formas, tamaños, dimensiones, materiales, métodos de manufactura y características específicas de los componentes individuales, con lo cual se delimita la relación a interactuar entre los componentes involucrados en el producto a desarrollar y su proceso de producción. Esta fase en ocasiones es la que toma el mayor tiempo del proceso de diseño, puesto que implica planear componentes con su caracterización precisa, desarrollada en base a las fases antes mencionadas y a punto de ser implementadas físicamente. (N. Childs, 2004)

Manufactura.- El diseño de cualquier elemento debe ser factible para su fabricación. Los materiales seleccionados deben ser compatibles con las instalaciones de fabricación y las capacidades disponibles y a un costo aceptable para que coincida con los requisitos de comercialización. Más recientemente, el concepto de ingeniería concurrente se ha vuelto muy popular, ya que es un enfoque sistemático que fomenta que el desarrollador del proyecto desde el inicio del mismo tenga en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto o proceso, desde la concepción hasta su eliminación, incluyendo el control de calidad, la programación y los requisitos del usuario. (N. Childs, 2004)

Mercado (Ventas).- Esta fase es por supuesto igual de importante que las anteriores ya que esta debe cubrir la expectativa de la primera en el diseño, además de que también se obtienen datos importantes de ella, tales como la reacción del cliente ante el producto e información acerca de las posibles fallas que el producto o alguno de sus componentes podría tener de acuerdo a materiales, o componentes que pudiesen desgastarse, daños al producto durante el envasado o transporte, lo cual presupone como ya se había mencionado un *proceso iterativo*, el cual podrá definir los aspectos a cuidar en futuros diseños o bien corregir en el producto actual las fallas o deficiencias recurriendo a las etapas anteriores a estas e identificar la problemática existente y corregirla. (N. Childs, 2004)

A continuación se presenta un esquema en el cual es muy probable desarrollar en él cuando se implementa realmente el proceso de diseño (ver figura 2.11), en el cual se puede observar el proceso iterativo de diseño entre etapas del mismo.

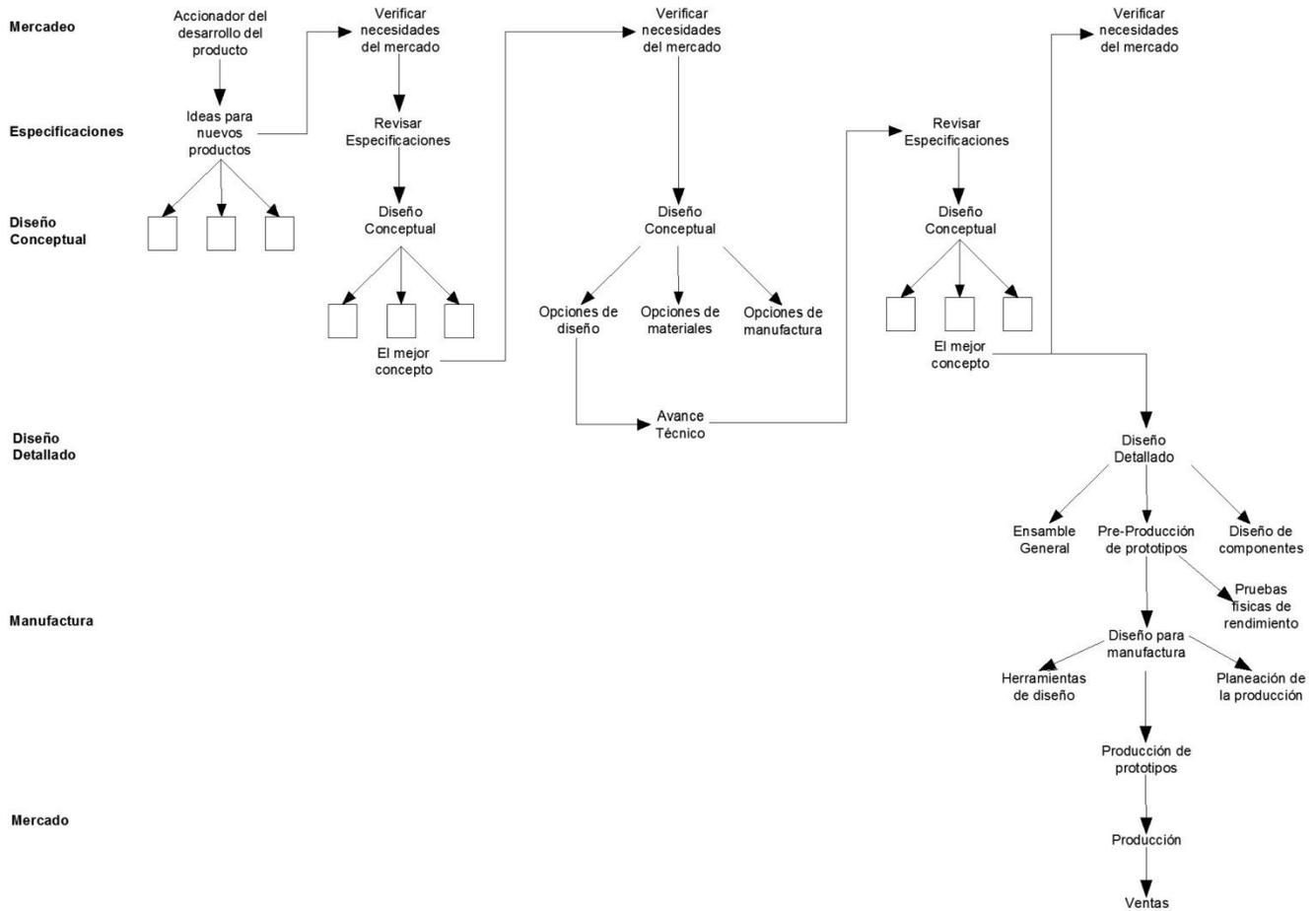


Figura 2.11: Esquema de actividades en las diferentes etapas del diseño del producto. (N. Childs, 2004)

Como se mencionó anteriormente, esta metodología exige una secuencia iterativa durante el desarrollo de determinado producto, con lo cual es posible moverse entre etapas del proceso de diseño, sin embargo es común que durante el proceso se necesiten diversas ramas del conocimiento, tanto por el lado de ingeniería, así como por la parte legal y el mercadeo para definir el impacto e implementación del producto, derivado de lo cual se muestra la siguiente figura 2.12, en la cual se puede observar este hecho de manera esquemática.

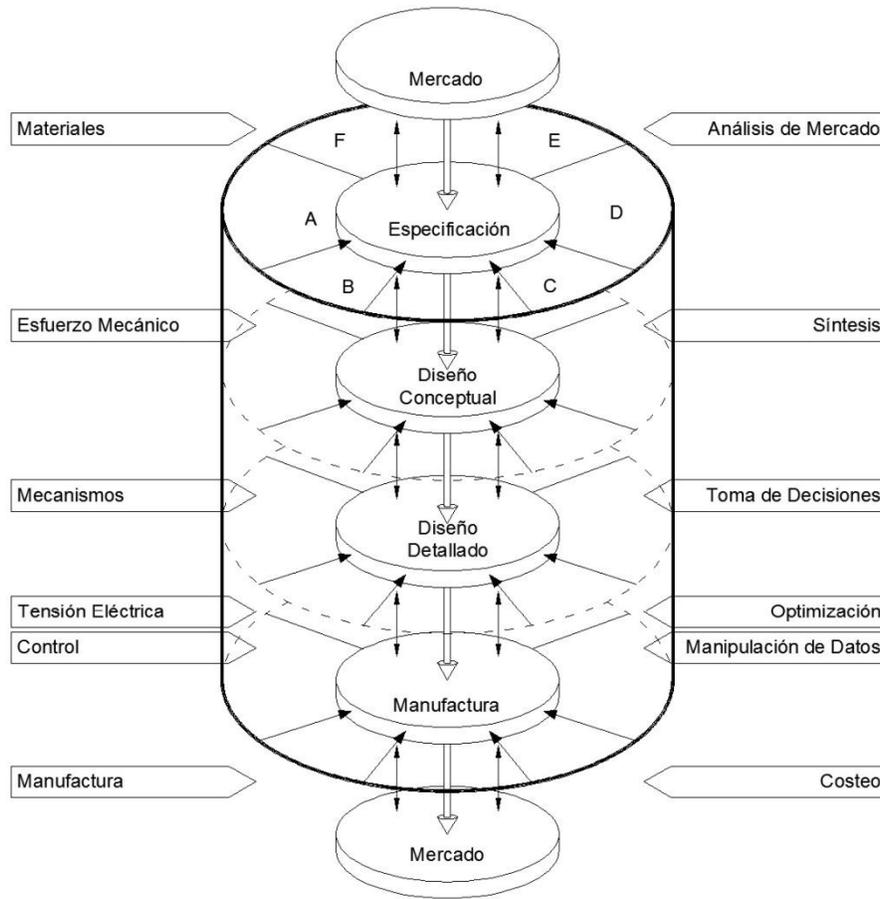


Figura 2.12 El Proceso de Diseño Total. (N. Childs, 2004)

Se puede determinar que existen elementos de especificación (A, B, C, D, E y F) al inicio del proceso después de delimitar la necesidad del mercado, las cuales están presentes durante todo el proceso, dichas especificaciones tienen por objetivo definir los parámetros iniciales del proceso de diseño, para lo cual basándose en ellas, es necesario incluirlas en cada una de las fases o etapas para así definir correctamente cada una de estas cumpliendo con lo esperado.

Procesos de Manufactura

Se entiende por manufactura el proceso de convertir materias primas en productos, a su vez comprende las actividades en que el propio producto fabricado se utiliza para elaborar otros productos. Derivado de lo anterior se ha concluido en que cuanto mayor sea la actividad manufacturera de un país mayor será el estándar de vida de su gente. (Kalpakjian, 2008)

La palabra manufactura deriva del latín *manu factus* que significa “HECHO A MANO”, mientras que la palabra *producto* significa algo que se produce y apareció junto con la palabra *producción* sin embargo con frecuencia se utilizan de manera indistinta. La manufactura puede fabricar *productos discretos* o *productos continuos*, por lo que todos aquellos productos o componentes

individuales son productos discretos, mientras que los laminados, alambres extruidos etc. Son productos continuos que al ser cortados se convierten en productos discretos. (Kalpakjian, 2008)

Por lo general la manufactura es una actividad compleja que comprende una amplia variedad de recursos y actividades como:

- Diseño del producto
- Maquinaria y herramientas
- Planeación del proceso
- Materiales
- Compra
- Manufactura
- Control de la producción
- Servicio de soporte
- Mercadeo
- Ventas
- Embarque
- Servicio al cliente

En cuanto a la selección de los procesos de manufactura, por lo general para producir algún objeto o producto existe más de un método de manufactura a partir de un material dado, por ello las categorías de dichos métodos son las siguientes:

- a) Fundición: Se clasifica en la fundición de molde desechable y molde permanente.
- b) Formado y moldeado: Laminado, forjado, extrusión, estirado o trefilado, formado de lámina, metalurgia de polvos y moldeo.
- c) Mecanizado: Torneado, mandrinado, taladrado, fresado, cepillado, escariado y rectificad, maquinado ultrasónico, maquinado químico, eléctrico y electroquímico, maquinado por rayo de energía (Esta categoría también incluye el micromaquinado para producir partes de alta precisión.
- d) Unión: Soldado, soldadura blanda, soldadura fuerte, unión por difusión, unión mecánica y unión por adhesivos.
- e) Acabado: Asentado, lapeado, pulido, satinado, rebabeado, tratamiento superficial, recubrimiento y chapeado.
- f) Nanofabricación: Es la tecnología más avanzada, capaz de producir partes con dimensiones a nivel nano, típicamente comprende como técnicas de ataque, haces de electrones y rayos laser, las aplicaciones actuales son la fabricación de sistemas micro-electromecánicos (MEMS) y sistemas nano-electromecánicos (NEMS) que funcionan a la misma escala de las moléculas biológicas.

La selección de un proceso particular de manufactura o de una secuencia de procesos, depende no solo de la forma que producir, sino también de los factores relativos a las propiedades de los materiales, por ejemplo los materiales frágiles y duros no se pueden moldear y tampoco se les puede dar forma fácilmente, aunque se pueden fundir maquinar o rectificar. (Kalpakjian, 2008)

Sistemas CAD/CAM/CAE

Durante muchos años en diversas ramas de la ciencia se ha buscado la forma de simplificar el trabajo que conlleva implementar cierto tipo de tecnologías, así como también se ha tratado de disminuir el tiempo y el costo por retrabajos que conlleva realizar las operaciones necesarias para la fabricación de productos, por ello es necesario estimular parámetros tales como tiempo, precisión y costo, en tanto es que se han desarrollado diversas metodologías y tecnologías para este fin, entonces con la aparición de las computadoras y el manejo digital de la información, son desarrollados los sistemas CAD/CAM/CAE,

que por sus siglas en ingles *CAD* “*Computer Aided Design*” o “*Diseño Asistido por Computadora*”, el *CAM* “*Computer Aided Manufacturing*” o “*Manufactura Asistida por Computadora*” y el *CAE* “*Computer Aided Engineering*” o “*Ingeniería Asistida por Computadora*”, al integrarse estas tecnologías han dado como resultado una gama de productos variados que exhiben una complejidad razonablemente superior con respecto a los de algunas décadas, así como también manejando tolerancias y precisiones bastante cerradas, obviamente este desarrollo ha sido posible mediante el avance y sofisticación de los diferentes equipos industriales para la manufactura de componentes así como el adelanto en la tecnología e investigación de nuevas técnicas y principios de procesamiento de materiales lo cual ha evolucionado paralelamente a la tecnología computacional integrada en el ámbito de fabricación.

Entonces *CAD*, *CAM*, *CAE* son tecnologías que tratan de automatizar ciertas tareas del ciclo del producto y en tanto hacerlas eficientes, en la practica el *CAD/CAM* se utiliza de distintas formas, para producción de dibujos y diseño de documentos, animaciones de ensamblaje movimientos relativos entre componentes, simulación de esfuerzos, análisis de ingeniería, control de procesos, control de calidad, etc. Por consecuencia se muestra el siguiente esquema del proceso de desarrollo de un producto (véase figura 2.13):

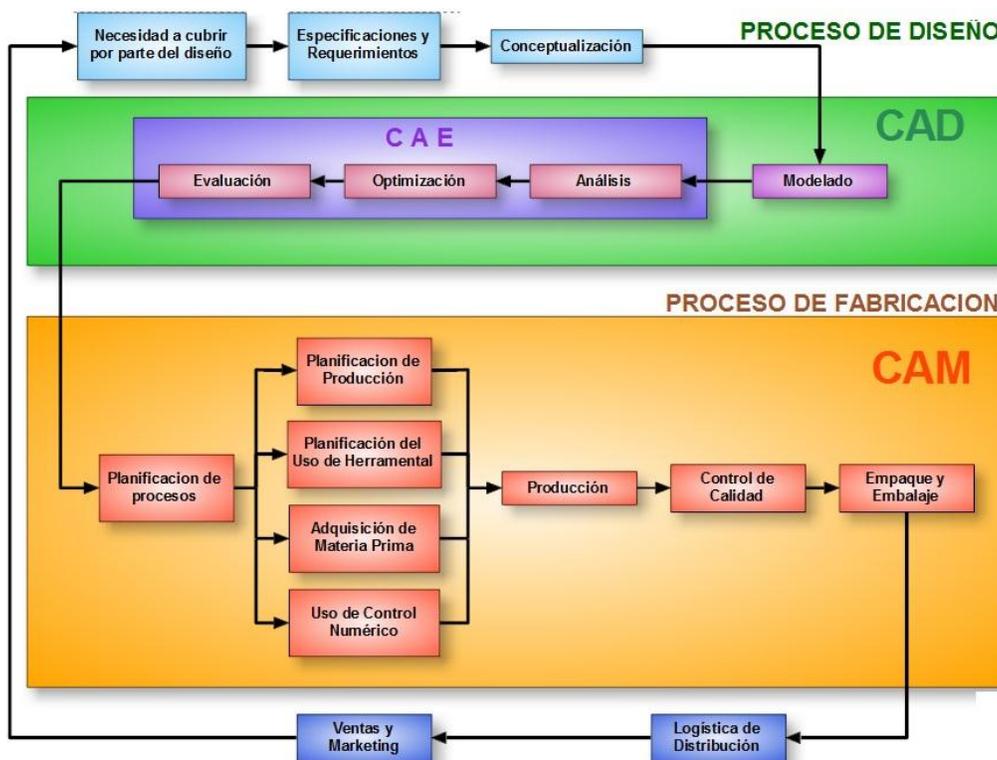


Figura 2.13 Esquema de la integración de sistemas CAD/CAM/CAE. (M. Walker, 1996)

Entonces los sistemas *CAD/CAM* abarcan múltiples ámbitos del desarrollo de fabricación de un producto tales como:

1. *Modelado Geométrico*: Existen tres tipos de modelos: los alámbricos, las superficies y los sólidos, los primeros son utilizados para modelar perfiles, trayectorias, redes u objetos que no requieran la disponibilidad de propiedades físicas, los modelados con superficies se utilizan para modelar objetos como zapatos, personajes, carrocerías, o superficies de cobertura en algún sistema laminado representativo, de estos modelos solo interviene la forma y comportamiento exterior mientras que los modelos sólidos son los que incluyen mayor información y se utilizan para modelar piezas mecánicas, envases, moldes y en general objetos de los cuales es necesario incluir la propiedades físicas.
2. *Técnicas de visualización*: son esenciales para la generación de imágenes del modelo, es habitual utilizar técnicas específicas para la generación de documentación como curvas de nivel, vistas de sección o representación de funciones sobre sólidos o superficies.
3. *Técnicas de interacción gráfica*: son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema de diseño. Las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de coordenadas 2D y 3D.
4. *Interfaz de usuario*: uno de los aspectos más importantes de un software CAD/CAM es su interfaz. Del diseño de la misma depende la eficiencia del mismo.
5. *Métodos numéricos*: son la base de los métodos de cálculo empleados para realizar las aplicaciones de análisis y simulación típicas de los sistemas CAD/CAM.

Sistemas CAD

Históricamente los sistemas CAD tienen antecedentes que datan de civilizaciones antiguas como la Egipcia, la Griega o Romana, Leonardo Da Vinci referencia en sus obras el manejo de perspectiva muy utilizado hoy en día para la visualización de modelos, sin embargo el desarrollo pleno de esta tecnología se vincula directamente a la evolución computacional, pues en la década de los 60's aparece el termino CAD ya que una década antes había sido desarrollada la primera interfaz grafica computacional, por lo que en los 70's aparecen los primeros prototipos de sistemas 3D, modelado de elemento finito, control numérico etc. Por lo que en la década de los 80's es integrada la tecnología CAD/CAM, capaces de diseñar y asistir en la manufactura de geometrías y productos de mayor complejidad. (M. Walker, 1996)

Por tanto los sistemas CAD comprenden tecnología que implica la creación, modificación, análisis y optimización de un diseño, de esta forma cualquier aplicación que incluya una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software CAD, las herramientas CAD abarcan desde las interfaces de modelado geométrico hasta aplicaciones específicas para la optimización de productos específicos, por lo que dentro de estos dos puntos a través del CAD, se encuentran las herramientas de modelado geométrico, análisis de tolerancias, cálculo de propiedades físicas (masa, volumen, momentos, centros de masa, centros de gravedad, etc.) modelado y análisis de elemento finito (FEM), ensamblado, análisis de interferencias y curvaturas etc. (M. Walker, 1996)

Sistemas CAM

El término CAM puede definirse como el uso de sistemas computacionales que asisten en la gestión, planificación y control de las operaciones de planta de una organización productiva mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema computacional y los recursos de producción.

Entonces las aplicaciones CAM se dividen en dos categorías:

- **Interfaz Directa:** Es cuando el sistema computacional se encuentra acoplado directamente con la adquisición de información del proceso de fabricación para su monitoreo en tiempo real, por lo que el control supone una retroalimentación del sistema productivo en donde la revisión y registro de información se evalúan directamente con patrones programados en el software CAM.
- **Interfaz Indirecta:** En cuando el sistema CAM solo asiste la fabricación sin ejercer ningún tipo de control sobre ella, es decir como ejemplo la determinación del código de programación de un sistema CNC, el sistema CAM solo genera y ejecuta los parámetros definidos, sin tener control sobre el componente fabricado.

Una de las técnicas más utilizadas en la etapa de fabricación es el Control Numérico, el cual implica tecnología que utiliza instrucciones programadas para controlar las maquinas-herramientas con la capacidad de corte, doblado, punzonado, electroerosionado etc. El software es capaz de generar, gran cantidad de órdenes y/o sentencias de control numérico utilizando la información generada durante la etapa de CAD, incluyendo datos de materiales, tipos de máquinas compatibilidad de software etc. El CNC o Control Numérico Computarizado fue desarrollado con el afán de controlar el posicionamiento y localización precisa del actuador efector en una máquina herramienta así como también definir la secuencia de las operaciones de manufactura en el proceso de fabricación de un producto, por lo que el CNC abre la posibilidad a la versatilidad CAD puesto que las operaciones CAM hacen posible una gama de generación tangible de geometrías complejas fabricadas con gran precisión en elementos sólidos, por otra parte, el CAM con ayuda del desarrollo de sistemas dotados con software de inteligencia artificial ha permitido la programación de robots que operan en celdas de fabricación seleccionando y posicionando herramientas y piezas, así como también dichos robots son capaces de realizar tareas individuales como soldadura, pintura o transporte de equipos o materiales dentro de la línea de producción.

Sistemas CAE

Una de los mayores beneficios de la tecnología CAD es la integración del *CAE* “*Computer Aided Engineering*” o “*Ingeniería Asistida por Computadora*” en donde es de vital importancia simular el desempeño del producto o pieza diseñados, esto bajo el supuesto de modelar y representar lo más cercano posible a la realidad las condiciones de desempeño del componente diseñado a lo largo de su ciclo de vida.

El CAE permite al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto con la finalidad de iterar en el diseño o rediseño del mismo, en cuanto sea necesario para determinar su fiabilidad de desempeño y así delimitar y por ende disminuir el costo de fabricación ya que bajo el supuesto en donde el componente tiene una viabilidad de desempeño, la fabricación deberá incluir solo ajustes de manufactura y no de diseño. Existe software que permite la simulación cinemática de componentes mecánicos, lo cual sirve para determinar las trayectorias de movimiento y velocidades de ensamblado de mecanismos, así como también software que permite el análisis dinámico para determinar las cargas y desplazamientos en sistemas complejos como es el sector automotriz. Las

aplicaciones de temporización lógica y verificación simulan el comportamiento de circuitos electrónicos destinados para la automatización y control de ciertas tareas complejas.

Como antes se mencionó el análisis ampliamente más utilizado en los sistemas CAE es el Método de Elemento Finito o FEM (Finite Element Method), el cual es utilizado para determinar tensiones, deformaciones, fenómenos de transferencia de calor, distribución de campos magnéticos, comportamiento en la mecánica de fluidos, etc. Este método inicia con la modelación geométrica del componente a diseñar, una vez creado dicho modelo es necesario crear una malla de elementos finitos definida por las condiciones de frontera cargadas por el diseñador, cabe mencionar que dichas condiciones de frontera deberán ser sintetizadas en la abstracción del problema real, con la finalidad de representar el desempeño del sistema fragmentándolo a problemas de modelación estática, dinámica, o sistemas de análisis simple, por ejemplo un objeto tridimensional de un espesor que puede ser despreciado para efectos de análisis, puede ser tratado solo como un objeto bidimensional sin alterar sus condiciones de desempeño.

Después de realizar el análisis de cada elemento de la geometría diseñada bajo las condiciones declaradas, el software ensambla los resultados y los visualiza de forma tal que sea de fácil reconocimiento las zonas de acumulación de grandes esfuerzos con la iluminación de las mismas por ejemplo en color, rojo (las herramientas que realizan este tipo de visualizaciones se les denomina post-procesadores), además de emitir informes numéricos de la solución del FEM bajo las condiciones declaradas, lo cual implica de acuerdo al criterio del diseñador sugerir un rediseño de la geometría o aprobar el diseño propuesto según sea el caso.

Conformado de Metales

El formado de metales incluye varios procesos de manufactura en los cuales se utiliza la deformación plástica para cambiar la forma de las piezas metálicas, en general se aplica un esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el material, sin embargo, algunos procesos de formado, estiran el metal, mientras que otros lo doblan y otros más lo cortan. Para formar exitosamente un metal, este debe poseer ciertas propiedades, dentro de las cuales algunas de las más convenientes es una baja resistencia a la fluencia y una alta ductilidad, sin embargo la temperatura tiene efectos directos sobre ellas, por ello dicho efecto da lugar a la distinción entre trabajo en frío, trabajo en caliente por debajo de la temperatura de recristalización y trabajo en caliente. (P. Groover, 2007)

Los procesos del formado de metales se pueden clasificar en:

- **Procesos de deformación volumétrica:** Se caracterizan por deformaciones significativas y grandes cambios de forma y la relación entre el área superficial y el volumen de trabajo es relativamente pequeña. La forma inicial para este tipo de trabajos incluye tochos cilíndricos y barras rectangulares y dentro de las operaciones de formado se tienen las siguientes:
 - **Rolado:** Es un proceso de deformación por compresión en el cual el espesor de una plancha se reduce por medio de dos herramientas cilíndricas opuestas llamadas rodillos.

- *Forjado*: Se comprime una pieza de trabajo entre dos troqueles opuestos de manera tal que se imprima la forma del troquel en la pieza para obtener la geometría especificada por la herramienta de deformación.
 - *Extrusión*: Es un proceso de compresión en el cual se fuerza el metal de trabajo a fluir a través de la abertura de un troquel para que tome la forma de este en su sección transversal.
 - *Estirado*: En este proceso el diámetro de un alambre o barra se reduce cuando se tira del alambre de la abertura del troquel.
- ***Procesos de trabajo de laminación***: Son operaciones de formado o preformado de láminas, tiras y rollos de metal. El *prensado* es el término que se aplica frecuentemente a las operaciones de laminado haciendo referencia las máquinas utilizadas que por lo general son prensas, las piezas producidas en una operación de laminado metálico se les llama frecuentemente estampados. Las operaciones de laminado se ejecutan siempre en frío y se utiliza un juego de herramientas llamadas punzón y troquel, el punzón es la porción positiva y el troquel es la porción negativa del juego de herramientas. Las operaciones básicas del trabajo de laminación son:
 - *Doblado*: Implica la deformación de una lámina metálica o placa para que adopte un ángulo específico respecto a un eje recto.
 - *Estirado*: En el trabajo de laminación se entiende por estirado la transformación de una lámina plana de metal en una forma hueca o cóncava, se utiliza un sujetador para mantener fija la plantilla mientras que el punzón empuja la lámina metálica en dirección de la cavidad o el negativo de la geometría final. Para diferenciar este procedimiento del estirado de alambres se utiliza el término de ***estirado en copa y estirado profundo***.
 - *Corte*: En esta operación se corta la pieza utilizando un punzón y un troquel, y aunque este no es un proceso de formado, se incluye debido a que es una operación necesaria y común en el trabajo con metales laminados.

Teoría del maquinado de metales

Los procesos de remoción de material son una familia de operaciones de formado. El maquinado es un proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta corte para arrancar material de una pieza de trabajo para así llegar a la dimensión y geometría de la pieza, el maquinado se utiliza muy frecuentemente en el formado de metales, para realizar la operación se requiere movimiento relativo entre la herramienta y el material de trabajo, este movimiento relativo se logra en la mayoría de procesos de maquinado por medio del movimiento primario llamado ***velocidad de corte*** y un movimiento secundario llamado ***avance***. Hay muchas clases de operaciones de maquinado en las cuales se pueden generar cierto tipo de geometrías y sus combinaciones, así como también cierto tipo de textura superficial. Entre los procesos básicos y más comunes se encuentra el torneado, el taladrado y el fresado. (P. Groover, 2007)

En el **torneado** se utiliza una herramienta con un solo borde cortante, destinado a remover material de la pieza de trabajo la cual se encuentra girando mientras que la herramienta tiene un movimiento relativo a la pieza sin exhibir algún giro, en este proceso de maquinado es común producir

tres geometrías básicas y la combinación de todas ellas para producir piezas diseñadas con un fin específico, las geometrías básicas producidas en el proceso de torneado son la cilíndrica, la esférica y la cónica.

El **taladrado** se utiliza para crear un agujero redondo, lo cual se logra por lo regular con una herramienta giratoria de dos filos cortantes, la herramienta avanza en dirección de su eje de rotación a lo largo del material a cortar para así remover el material a la profundidad deseada o incluso removiendo material por completo a lo largo de la pieza de trabajo.

El **fresado** utiliza una herramienta giratoria con múltiples filos, y se mueve lentamente para generar una superficie recta, el movimiento de velocidad lo proporciona la herramienta de trabajo que se denomina como fresa, existen varias formas de fresado de las cuales las básicas son el fresado periférico y el frontal.

Las condiciones de corte en una operación de maquinado de un material están definidas por los siguientes parámetros básicos:

- Movimiento primario (*Velocidad de corte v*)
- Movimiento lento de la herramienta a través del trabajo (*Avance f*)
- Distancia de penetración de la herramienta dentro de la superficie original (*profundidad de corte d*)

Dado lo anterior la velocidad de remoción de material en un proceso de maquinado está dada por el siguiente producto matemático entre los tres parámetros descritos anteriormente.

$$R_{MR} = vfd$$

Donde R_{MR} es la tasa de remoción de material en mm^3/s , v es la velocidad de corte en m/s el cual es convertido a mm/s , f es el avance en mm , y d la profundidad de corte en mm .

Las operaciones de maquinado se distinguen principalmente en dos categorías, cortes para desbaste primario y cortes de acabado, los primeros se utilizan para remover grandes cantidades de material en un tiempo corto, de forma tal que se aproxime la geometría a la geometría final del maquinado, mientras que las operaciones de acabado se utilizan para completar la geometría y alcanzar las dimensiones finales, tolerancias y acabado de la superficie. (P. Groover, 2007)

Materiales para la manufactura

Para iniciar en la introducción de este tema, es necesario mencionar la clasificación de materiales que se tienen para el desarrollo de proyectos de ingeniería, a los cuales se hace referencia en el cuadro siguiente (ver figura 2.15):

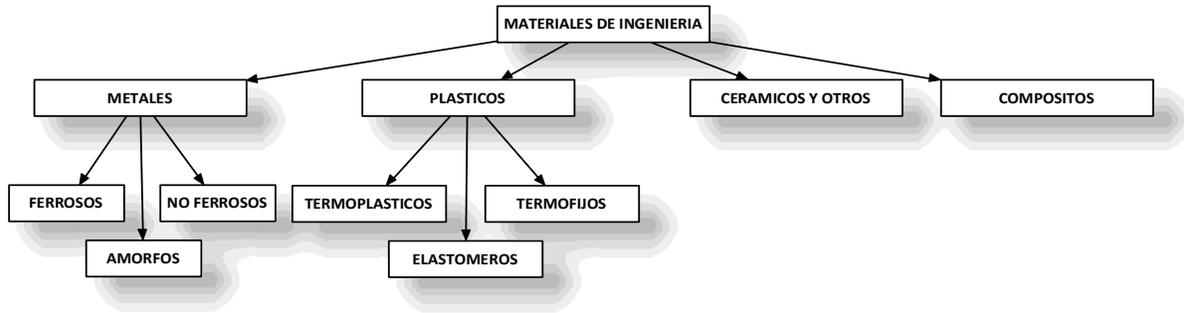


Figura 2.15 Esquema de la clasificación de materiales de ingeniería

En esta sección se abordará la clasificación de los metales, ya que este proyecto de tesis, es tendiente a la implementación de un sistema mecánico, a base de componentes de la misma condición, lo cual, de acuerdo a los requerimientos de manufactura con la finalidad de cumplir con los estándares establecidos, es importante conocer la clasificación de los mismos.

Como punto primordial a tratar se tiene la homologación de las durezas de los metales, cabe mencionar que en la práctica, con la finalidad de sintetizar los cálculos para la manufactura es necesario según *Edmund Isakov* (Isakov, y otros, 2009), realizar los cálculos en base a una dureza definida, ya que dicho autor sugiere ecuaciones lineales, a partir de regresiones y datos estadísticos de los elementos de dureza, lo cual, ofrece cálculo más sintético, y directo para su implementación en el proceso de manufactura, esto con la finalidad de obtener más rápidamente los parámetros de corte en las operaciones de maquinado, recordemos que de acuerdo a las restricciones para la implementación física, del proyecto la tendencia es ajustar el sistema a la fabricación del mismo con tecnología convencional, de tal forma que su producción pueda llevarse a cabo en un taller con el equipo adecuado para los requerimientos previstos de manufactura.

Considerando lo anterior, se sabe que la dureza es un parámetro fundamental para la selección de materiales, así como para la determinación del proceso y las variables involucradas en la manufactura a partir de dicho material, por lo cual se han desarrollado diversos tipos de ensayos y/o métodos para la medición de dicha variable (Kalpakjian, 2008), tales como:

- a) Ensayo Brinell
- b) Ensayo Rockwell
- c) Ensayo Vickers
- d) Ensayo Knoop
- e) Escleroscopia
- f) Dureza Mohs
- g) Durómetro
- h) Dureza en caliente

En este caso, es importante homologar los distintos valores de las durezas de forma tal que sea solo un parámetro el que se utilice para el cálculo de los valores que definen las condiciones del maquinado. En tanto, la dureza Brinell en la práctica es monitoreada al realizar pruebas del metal, con cargas de 500 a 3000 kgf en un rango de 10 a 30 segundos, utilizando un indentador de 5 a 10mm de

diámetro. Las mediciones obtenidas oscilan en un rango de 81 HB a 444 HB y por tanto dichos valores proporcionan una buena precisión del parámetro dureza. (Isakov, y otros, 2009)

El ensayo realizado con la carga de 500 kgf es utilizado para el aluminio y algunas aleaciones de cobre, es decir, se ocupa en pruebas a metales que poseen una ductilidad elevada, por otra parte cuando se trata de medir la dureza de metales más duros, se utiliza un indentador de carburo de tungsteno con el cual se obtienen valores de 444 HB a 627 HB con una precisión bastante aceptable. (Isakov, y otros, 2009)

Es importante tener en cuenta que las condiciones de maquinado de los metales, dependen de la dureza obtenida en el ensayo Brinell bajo una carga de 3000 kgf, razón por la cual el autor *Edmund Isakov* desarrollo fórmulas que homologan el valor entre ensayos a 500 y 3000 kgf. (Isakov, y otros, 2009)

La dureza Rockwell es aplicada a metales y aleaciones, e incluso es utilizada para medir la dureza superficial, la cual se mide aplicando cargas menores. La escala B (HRB) se utiliza para durezas en un rango de 41 a 100 HRB, por consecuencia la escala C es utilizada para medir la dureza de aceros tratados que son mucho más duros, en esta escala los valores oscilan en un rango de 20 a 69 HRC. (Isakov, y otros, 2009)

Los valores de dureza HRB y HRC deben ser convertidos a su equivalente en dureza Brinell a 3000 kgf de carga aplicada durante el ensayo.

A continuación se enlistan las formulas obtenidas por el autor *Edmund Isakov* con la finalidad de homologar los valores mencionados:

Tabla 2.4 Conversión de durezas a dureza Brinell con parámetro de prueba de 3000-kgf -HB_C (Isakov, y otros, 2009)

Rango de números de dureza	Ecuación de conversión a HB _C	Coefficiente de Correlación
(89 – 100)HB ₅	HB _C = 1.138HB ₅ – 1.052	0.9962
(101 – 120)HB ₅	HB _C = 1.224HB ₅ – 9.871	0.9978
(121 – 140)HB ₅	HB _C = 1.311HB ₅ – 21.047	0.9988
(141 – 160)HB ₅	HB _C = 1.369HB ₅ – 30.005	0.9967
(161 – 189)HB ₅	HB _C = 1.283HB ₅ – 14.218	0.9997
(60.0 – 69.9)HRB	HB _C = 2.136HRB – 28.345	0.9990
(70.0 – 79.9)HRB	HB _C = 2.579HRB – 59.950	0.9991
(80.0 – 85.9)HRB	HB _C = 3.303HRB – 117.887	0.9997
(86.0 – 89.9)HRB	HB _C = 4.031HRB – 180.006	0.9971
(90.0 – 95.9)HRB	HB _C = 5.289HRB – 293.668	0.9986
(96.0 – 100.0)HRB	HB _C = 6.736HRB – 432.340	0.9996
(20.0 – 25.9)HRC	HB _C = 5.284HRC + 120.491	0.9997
(26.0 – 29.9)HRC	HB _C = 6.888HRC + 78.838	0.9999
(30.0 – 35.9)HRC	HB _C = 8.195HRC + 39.932	0.99996
(36.0 – 39.9)HRC	HB _C = 8.718HRC + 21.825	0.9997
(40.0 – 45.9)HRC	HB _C = 10.057HRC – 31.761	0.9994
(46.0 – 49.9)HRC	HB _C = 12.642HRC – 150.881	0.9989
(50.0 – 55.9)HRC	HB _C = 15.979HRC – 318.988	0.9998
(56.0 – 58.9)HRC	HB _C = 18.694HRC – 469.983	0.9993

Aceros al Carbón

Los aceros al carbón son los que más frecuentemente son utilizados en la industria. La factibilidad de su uso puede o no depender de sus propiedades.

AISI (The American Iron and Steel Institute)

Define al acero al carbón como:

“Un acero puede ser considerado como acero al carbón cuando tiene un bajo contenido de cromo, cobalto, molibdeno, níquel, niobio, tungsteno, vanadio o circonio, tal que al ser agregados no den como resultado un acero aleado, cuando el contenido de cobre no excede al 0.40 %, o cuando el máximo contenido de magnesio, silicio o cobre no sobrepasa el 1.65%, 0.60% y 0.60% respectivamente”.

Algunas compañías dedicadas al corte de metales, lo definen como un *acero no aleado*; la nomenclatura AISI o SAE (Society of Automotive Engineers) es designada de igual manera con cuatro dígitos. Los últimos dos dígitos, expresan el valor medio del contenido de carbono en porcentaje, mientras que los dos primeros dígitos indican el grado del acero

AISI XXXX

Los valores para los primeros 2 dígitos:

- 10:** Indica grados no resulturados, con un contenido de manganeso del 0.25 al 1.00%, aquí se incluyen los grados al bajo, medio y alto carbono.
- 11:** Indica grados de maquinado libre para aceros resulturados.
- 12:** Indica grados de maquinado libre para aceros resulturados y refosforados.
- 15:** Indica grados no resulturados con contenido de manganeso del 0.75 al 1.65%.

Como ejemplo se tiene lo siguiente:

AISI 1020: Denota que es un acero no resulturado con un contenido de 0.25 al 1.00% de manganeso y un promedio del 0.20% de contenido de carbón.

Los aceros al carbón también son designados por la UNS (Unified Numbering System), estos números son asignados de acuerdo a la composición química de cada aleación metálica, este sistema consiste en la asignación de 5 números y una letra. Las letras G y H son asignadas a los aceros al carbón, la letra H indica dicho metal ha sido producido en los límites de templeabilidad prescritos. (Isakov, y otros, 2009)

Los cuatro dígitos iniciales son los mismos asignados por AISI o SAE y el último dígito es 0 para la mayoría de los grados, si el último dígito es 4 entonces el acero contiene 0.15 a 0.35% de plomo.

Ejemplo:

AISI 12L14 = UNS G12444

AISI 1028 = UNS G10380

Algunos grados AISI o SAE son designados por la letra B o L, la cual es colocada entre el segundo y tercer dígito, aunque también se llega a añadir la letra H al final de los cuatro dígitos, la letra B denota que contiene boro y la letra L, el contenido de plomo, mientras que la letra H denota lo mismo que en el sistema UNS

Ejemplo:

AISI 1038H = UNS H10380

AISI 15B48H

Aceros Aleados

Cuando la dureza, el esfuerzo y la resistencia de los componentes maquinados son necesarios para el desempeño de las mismas, el utilizar un acero aleado es la mejor opción. (Isakov, y otros, 2009)

“Los aceros aleados constituyen una categoría de los materiales ferrosos, que exhiben propiedades mecánicas superiores al acero al carbón como resultado de la adición de algunos elementos aleantes como el níquel, cromo y/o molibdeno. El contenido total puede alcanzar hasta un 2% por encima de los niveles normales pero solo por debajo de los aceros inoxidable. Para muchas aleaciones, la función principal, de los elementos aleantes es incrementar la templabilidad y optimizar las propiedades mecánicas y la dureza después del tratamiento térmico”. (Isakov, y otros, 2009)

Un acero es considerado aleación cuando excede los siguientes límites:

- 1.65% del contenido de manganeso
- 0.60% del contenido de silicio
- 0.60% del contenido de cobre

La designación AISI/SAE es similar como para los aceros al carbón en donde los últimos dos dígitos indican el porcentaje en contenido de carbono, aunque para los aceros al cromo se designa con 5 dígitos (Alto carbono, Resistencia eléctrica, E50100, E51100 y E52100) los últimos tres dígitos indican el contenido de carbono, el cual es de 1.00% mínimo. (Isakov, y otros, 2009)

Dado lo anterior, para los aceros aleados se tienen las siguientes 12 categorías:

1. Aceros al Manganeso
 - a. Grado 13XX contenido de 1.75% Mn
2. Aceros al Níquel
 - a. Grado 23XX contenido de 3.5% Ni
 - b. Grado 23XX contenido de 5.0% Ni
3. Aceros al Níquel-Cromo
 - a. Grado 31XX contenido de 1.25% Ni, 0.65 y 0.80% Cr
 - b. Grado 32XX contenido de 1.75% Ni, 1.07% Cr
 - c. Grado 33XX contenido de 3.5% Ni, 1.5 y 1.57% Cr
 - d. Grado 34XX contenido de 3.00% Ni, 0.77% Cr
4. Aceros al Molibdeno
 - a. Grado 40XX contenido de 0.20 y 0.25% Mo
 - b. Grado 44XX contenido de 0.40 y 0.52% Mo
5. Aceros al Cromo-Molibdeno
 - a. Grado 41XX contenido de 0.50, 0.80 y 0.95% Cr; 0.12, 0.20, 0.25 y 0.30 % Mo
6. Aceros al Níquel-Molibdeno
 - a. Grado 46XX contenido de 0.85, 1.82% Ni, 0.20 y 0.25% Mo
 - b. Grado 48XX contenido de 3.50% Ni, 0.25% Mo
7. Aceros al Cromo
 - a. Grado 50XX contenido de 0.27, 0.40, 0.50 y 0.65% Cr
 - b. Grado 51XX contenido de 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00 y 1.05% Cr
 - c. Grado 50XXX contenido de 0.50% Cr
 - d. Grado 51XXX contenido de 1.02% Cr
 - e. Grado 52XXX contenido de 1.45% Cr
8. Aceros al Cromo-Vanadio
 - a. Grado 61XX contenido de 0.60, 0.80 y 0.95% Cr; 0.10 y 0.15% V (Mínimo)
9. Aceros al Níquel-Cromo-Molibdeno
 - a. Grado 43XX contenido de 1.82% Ni, 0.50 y 0.80% Cr, 0.25% Mo
 - b. Grado 47XX contenido de 1.05% Ni, 0.45% Cr, 0.20 y 0.35% Mo
 - c. Grado 81XX contenido de 0.30% Ni, 0.45% Cr, 0.12% Mo
 - d. Grado 86XX contenido de 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo
 - e. Grado 87XX contenido de 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo
 - f. Grado 88XX contenido de 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.35% Mo
 - g. Grado 93XX contenido de 3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo
 - h. Grado 94XX contenido de 0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo
 - i. Grado 97XX contenido de 0.55% Ni, 0.20% Cr, 0.20% Mo
 - j. Grado 98XX contenido de 1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo

10. Aceros al cromo-molibdeno-aluminio
 - a. Grado 71XX contenido de 1.60% Cr, 0.35% Mo, 1.13% Al
11. Aceros al tungsteno-cromo
 - a. Grado 72XX contenido de 1.75% W, 0.75% Cr
12. Aceros al silicio
 - a. Grado 92XX contenido de 1.40 y 2.00% Si y 0.65% Cr

Aceros Inoxidables

Cuando la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas son los factores más importantes en el desempeño de la pieza a manufacturar, el acero inoxidable es la mejor opción. (Isakov, y otros, 2009)

“Los aceros inoxidables son aleaciones base hierro que contienen al menos 10.5% de cromo. Esto provee las propiedades de inoxidable a través de la formación de una superficie de óxido de cromo, esta película de óxido se forma y se regenera en presencia del oxígeno. Otros elementos son agregados para mejorar ciertas características, esto incluye el níquel, molibdeno, cobre, titanio, aluminio, silicio, niobio, nitrógeno, azufre y selenio. El carbono está presente en el rango de 0.03% al 1.00% en ciertos grados martensíticos” (Isakov, y otros, 2009)

Los aceros inoxidables se dividen en cinco grupos:

1. Austeníticos
2. Martensíticos
3. Ferríticos
4. Dúplex (ferríticos - austeníticos)
5. Endurecidos por precipitación (PH)

La designación AISI consta de 3 dígitos y un código de Numero-Letra. El primer dígito identifica el grupo al que pertenece:

- 2XX: Tipo Austenítico
- 3XX Tipo Martensítico
- 4XX Tipo Ferrítico
- 6XX Tipo endurecido por precipitación (PH)

El segundo dígito indica el porcentaje del contenido de cromo y el tercero indica el contenido de níquel en porcentaje.

El sistema UNS consiste en la designación de la letra “S” para indicar que se trata de un acero inoxidable, seguida dicha letra con 5 dígitos:

- S2XXXXX Acero Inoxidable Austenítico
- S3XXXXX Acero Inoxidable Martensítico

- S4XXXX Acero Inoxidable Ferrítico
- S1XXXX Acero Inoxidable Endurecido por Precipitación

Ejemplo:

AISI 304 es equivalente a UNS S30400.

AISI 304N es equivalente a UNS S30451.

AISI 304HN es equivalente a UNS S30452.

Aceros Grado Herramental

Los aceros grado herramental, pueden ser aceros al carbón, aceros de aleación o aceros de alta velocidad. Son utilizados para herramientas de corte y formado de materiales. De acuerdo con AISI, los aceros grado herramental, se dividen en siete grupos, cada uno identificado mediante símbolos “letra-numero”, sin embargo en algunas de estas clasificaciones se encuentran definidas también ciertas subdivisiones. (Isakov, y otros, 2009)

1. Aceros grado herramienta endurecidos en agua (W)
2. Aceros grado herramienta resistentes al impacto (S)
3. Aceros grado herramienta de trabajo en frío
 - a. Endurecidos en aceite (O)
 - b. Endurecidos con aire, tipo media aleación (A)
 - c. Al alto carbono, tipo al alto-cromo (D)
4. Aceros grado molde (P)
5. Aceros grado herramienta propósito especial, baja aleación (L)
6. Aceros grado herramienta para trabajo en caliente
 - a. Tipos base-cromo (H10-H19)
 - b. Tipos base-tungsteno (H21-H26)
 - c. Tipos base-molibdeno (H41-H43)
7. Aceros grado herramienta de alta velocidad
 - a. Tipos base-tungsteno (T)
 - b. Tipos base-molibdeno (M)

La designación UNS para aceros grado herramental consiste en la letra “T” seguida de 5 dígitos:

T723XX	Endurecidos en agua
T419XX	Resistentes al impacto
T315XX	Endurecidos en aceite
T301XX	Endurecidos con aire
T304XX	Tipos al alto cromo
T612XX	Tipos de propósito especial, baja aleación
T516XX	Aceros grado molde
T208XX	Tipos de trabajo en caliente
T120XX	Tipos base-tungsteno alta velocidad
T113XX	Tipos base-molibdeno alta velocidad

Materiales de Herramientas de Corte

Los materiales de las herramientas de corte para el maquinado de aceros, están constituidos por aceros de alta velocidad, carburos cementados, cermets, cerámicos y nitruro cúbico de boro policristalino. De acuerdo con el manual de metales “Los aceros de alta velocidad son llamados así primordialmente por su capacidad de maquinar materiales a altas velocidades de corte”, son una compleja aleación base-hierro de carbón, cromo, vanadio, molibdeno o tungsteno o alguna combinación de ellos, en algunos casos, contienen altas cantidades de cobalto.

Los componentes aleantes son balanceados de tal manera que ofrecen una respuesta de alcance en cuanto a dureza y templabilidad, alta resistencia al desgaste, alta resistencia al reblandecimiento por calor y una buena dureza para efectuar operaciones de corte industriales. (Isakov, y otros, 2009)

Aplicaciones

Son utilizados en herramientas de corte de punto fijo y multipunto, por lo cual dentro de la clasificación de operaciones de punto fijo se tiene el torneado, roscado, boreado o perforado y planeado mientras que para las operaciones de herramientas multipunto, se tiene el barrenado (taladrado), rimado, fresado en la operación de acabado, fresado de careado, brochado y sierras circulares. (Isakov, y otros, 2009)

Carburos cementados

Un carburo cementado es un material sinterizado, en el cual sus componentes son compuestos, de carburos de metales refractarios en una matriz metálica. Estos materiales son conocidos internacionalmente como “Metales Duros”. (Isakov, y otros, 2009)

Sistema de clasificación para los carburos cementados

No existe un sistema universal aceptado para la clasificación de los carburos cementados, los sistemas adaptados por los fabricantes de herramientas, son basados en el código de la industria americana (U.S. Industry Code) y el código ISO. (Isakov, y otros, 2009)

U.S. Industry Code

En 1942 Oscar Strand, supervisor del herramental de la división del motor Buik de General Motors produjo una clasificación simple conocida como “Código BUIK” que tiene un arreglo cercano a 100 grados derivados de 10 fabricantes bajo solo 14 símbolos (TC-1 al TC-14). Posteriormente la letra “T” desapareció y el “Código BUIK” se convirtió en U.S. Industry Code conocido como el sistema grado C dividido en 4 categorías. (Isakov, y otros, 2009)

1. Grados de carburos para el maquinado de materiales ferrosos, no ferrosos y no metálicos.
 - a. C1 Desbaste
 - b. C2 Maquinado de propósito general
 - c. C3 Acabado
 - d. C4 Acabado de precisión

2. Grados de carburo para el maquinado de acero
 - a. C5 Desbaste
 - b. C6 Maquinado de propósito general
 - c. C7 Acabado
 - d. C8 Acabado de precisión
3. Grados No-Maquinables y resistentes al desgaste
 - a. C9 Sin resistencia al impacto (Alta fragilidad)
 - b. C10 Impacto ligero
 - c. C11 Alto impacto
4. Grados No-Maquinables y resistentes al impacto
 - a. C12 Ligero
 - b. C13 Medio
 - c. C14 Alto

Clasificación ISO

En 1964 la ISO desarrollo una clasificación para los carburos cementados, basados en la recomendación ISO R513 “Aplicación de carburos para el maquinado por desprendimiento de viruta”. Los grados se produjeron por varios fabricantes y son divididos por 3 grupos de “Código-Color”. (Isakov, y otros, 2009)

Los grados altamente aleados de carburo de tungsteno, los cuales son grados multicarburo (Letra “P”, color Azul)

Designación de grados P

- | | |
|-------|-------|
| ➤ P01 | ➤ P30 |
| ➤ P10 | ➤ P40 |
| ➤ P20 | ➤ P50 |

Los grados aleados de carburo de tungsteno los cuales sean grados multicarburo (Letra “M”, color Amarillo, generalmente con menos de carburo de titanio que los grados P) para el maquinado de aceros, super-aleaciones base níquel, hierro fundido dúctil. (Isakov, y otros, 2009)

Designación de grados M

- | | |
|-------|-------|
| ➤ M10 | ➤ M30 |
| ➤ M20 | ➤ M40 |

Para los grados de carburo de tungsteno lineales (Letra “K”, color rojo) para maquinado de fundición gris, metales no ferrosos y materiales no metálicos.

Designación de grados P

- | | |
|-------|-------|
| ➤ K01 | ➤ K30 |
| ➤ K10 | ➤ K40 |
| ➤ K20 | |

En cada categoría, la designación de los números menores es para altas velocidades y avances ligeros, mientras que los números mayores son para velocidades bajas y/o avances altos. Al incrementar

la numeración implica aumentar la dureza y disminuir la templabilidad y la resistencia al desgaste de los carburos cementados. Los grados multcarburo del P01 al P50 y del M10 al M40 contienen varias combinaciones de carburo de tungsteno, carburo de titanio, carburo de tantalio y carburo de niobio unidos con cobalto, estos grados y del C5 al C8 tiene una composición química similar, microestructura, propiedades y aplicaciones.

Actualmente los carburos cementados más comúnmente utilizados para el torneado de aceros tienen una composición que contiene WC-TiC-(Ta,Nb)C-Co. La cantidad de cada componente en un grupo dado con el mismo grupo de aplicación depende de los fabricantes de herramientas de corte.

“La selección del grado apropiado depende del tipo de acero a maquinarse, su templabilidad, operaciones de maquinado, parámetros de corte y las recomendaciones del fabricante de la herramienta de corte manufacturada en algún tipo de carburo”.

La dureza típica de los carburos cementados utilizados para el maquinado de acero se encuentra en el rango de 88 a 92 HRA o de 1100 a 1600 HV respectivamente. (Isakov, y otros, 2009)

Cermets

Los cermets son producto de la aplicación de metalurgia de polvos, que consiste en partículas cerámicas unidas con un metal, típicamente partículas de TiC, TiN, TiCN, para la unión se incluye, níquel cobalto y molibdeno. Las partículas de carburo proveen resistencia al desgaste y las partículas metálicas proveen dureza. (Isakov, y otros, 2009)

Clasificación

La clasificación ISO y la U.S. Industry Code utilizada en la clasificación de los carburos cementados pueden usarse para los cermets, por lo cual para el maquinado son C8, C7 y C6 (U.S. Industry Code) con su equivalente P01, P10, P20, M10 y M20 del código ISO.

La dureza de los cermets de carbonitruro de titanio es aproximadamente comparable a los carburos cementados, sin embargo la dureza de los cermets a altas temperaturas de operación es considerablemente elevada en comparación con los carburos cementados, esto permite avanzar a altas velocidades de corte y aguantar la resistencia al desgaste del tamaño del flanco mas allá que los carburos. (Isakov, y otros, 2009)

Cerámicos

Existen dos grandes grupos de cerámicos utilizados en el corte de metales, uno basado en el Óxido de Aluminio (Al_2O_3) o comúnmente conocido como alúmina, y otro basado en el Si_3N_4 . Los insertos de corte a base de cerámicos son producidos por prensado en caliente o por sinterizado.

Los cerámicos tienen una alta dureza en caliente y resistencia a la oxidación, lo cual reduce el desgaste de la herramienta a altas temperaturas. Estas propiedades hacen de los cerámicos una apropiada herramienta de corte para altas velocidades de maquinado, en comparación con los carburos cementados, los cerámicos tienen un esfuerzo a cortante menor y son más frágiles, lo cual implica aplicaciones de corte limitadas para ciertas condiciones de corte. La dureza de los cerámicos y la

resistencia a la oxidación reduce el desgaste de la herramienta a altas temperaturas, estas propiedades hacen que los cerámicos sean apropiados para el corte de metales a altas velocidades, incluyendo metales difíciles de maquinar. (Isakov, y otros, 2009)

Nitruro Cúbico de Boro Policristalino (PCBN)

Es el material siguiente al diamante en la escala de dureza, es utilizado en la industria de la manufactura como una herramienta abrasiva de extrema dureza como herramienta de corte, el PCBN es comúnmente utilizado para el maquinado de aceros de alta dureza, aceros grados herramienta, hierro fundido (Duro) y aleaciones de alta dureza. (Isakov, y otros, 2009)

Técnicas Avanzadas de Manufactura

Existen situaciones en las que los medios mecánicos para la producción de piezas no son satisfactorios, económicamente viables o incluso posibles por alguna de las siguientes razones:

- La resistencia y dureza del material de la pieza de trabajo son muy elevadas, por lo común superiores a 400 HB.
- El material de la pieza de trabajo es muy frágil para maquinarlo sin dañar la pieza, por lo común son aleaciones con severos tratamientos térmicos, vidrios cerámicos y partes de metalurgia de polvos.
- La pieza de trabajo es muy flexible o muy esbelta para soportar las fuerzas del maquinado o rectificado, o resulta difícil sujetar las partes en dispositivos de soporte y sujeción.
- La forma de la parte es compleja, incluyendo características como perfiles internos o externos u orificios con relaciones elevadas de longitud a diámetro en materiales muy duros.
- Existen requerimientos especiales en cuanto a acabado superficial y tolerancias dimensionales que no pueden obtenerse con otros procesos de manufactura o que no son económicos mediante procesos alternos.
- No es deseable la elevación de la temperatura o los esfuerzos residuales desarrollados en la pieza de trabajo durante s procesamiento. (Kalpakjian, 2008)

Entonces han sido desarrolladas técnicas a base de química, electricidad, rayos laser y haces de alta energía para retirar material de las piezas de trabajo metálicas y no metálicas, estos métodos avanzados se introdujeron en la década de los 40's y fueron inicialmente llamados métodos de *maquinado no convencional* o *no tradicional* entonces este tipo de procesos no retiran material en forma de viruta como en los maquinados de acción mecánica, sino por disolución química, ataque químico, fusión, evaporación y acción hidrodinámica, por lo cual una de las ventajas de estos procesos es que la dureza del material de la pieza de trabajo no es relevante. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado químico

El maquinado químico o CM por sus siglas en ingles se efectúa mediante la disolución química y el uso de reactivos y atacantes, como soluciones acidas o alcalinas, este proceso es uno de los mas antiguos de los maquinados avanzados, y se utiliza en el grabado de piedras y metales, en la producción de circuitos impresos y dispositivos microelectrónicos. (Kalpakjian, 2008)

Fresado químico

En el fresado químico se producen cavidades poco profundas en placas, laminas, forjas y extrusiones, por lo regular para la reducción global de peso, el ataque selectivo del reactivo químico sobre la superficie de material se controla mediante capas removibles de material llamadas *enmascaramiento*, o mediante la inmersión parcial en el reactivo. (Kalpakjian, 2008)

El procedimiento es el siguiente:

1. Si la pieza a maquinar tiene esfuerzos residuales del proceso anterior, primero deben relevarse dichos esfuerzos para evitar el alabeo después del fresado químico.
2. La superficie a maquinar deberá encontrarse perfectamente limpia y libre de residuos producidos por algún tratamiento térmico, para adherir el material enmascarador.
3. Se aplica el material enmascarador, una práctica común es enmascarar con cintas o pinturas enmascarantes aunque también se utilizan plásticos y elastómeros, los cuales no deben reaccionar con el reactivo químico.
4. De ser necesario el enmascarante se retira de las regiones que se deseen atacar.
5. Las superficies expuestas se maquinan químicamente con reactivos atacantes como hidróxido de sodio para el aluminio, soluciones de ácido clorhídrico y nítrico para los aceros o cloruro férrico para los aceros inoxidables.
6. Después del maquinado las partes deben lavarse totalmente para evitar reacciones posteriores con cualquier residuo atacante o mediante la exposición al mismo.
7. Se retira el resto de material enmascarador y se limpia y revisa la parte, este material no se disuelve en presencia del reactivo de maquinado pero por lo general si logra disolverse por otro tipo de solvente.
8. Si es necesario se pueden realizar operaciones adicionales de acabado en la parte del fresado químico.
9. Esta secuencia se puede repetir para producir cavidades escalonadas en las piezas de trabajo.

El fresado químico es muy utilizado en la industria aeroespacial, para el ataque de fuselajes o partes extruidas de estructuras aéreas, este proceso también es utilizado para la fabricación de dispositivos microelectrónicos, en donde se le llama *ataque húmedo*. El fresado químico en las fundiciones puede causar superficies desniveladas por la porosidad del material. (Kalpakjian, 2008)

Troquelado químico

El troquelado químico es similar al de los metales laminado al cizallar la sección del laminado, sin embargo la diferencia es que en este caso el material retirado de la pieza de trabajo es disuelto químicamente, las aplicaciones comunes es el troquelado sin dejar rebaba en las tarjetas para circuitos impresos, tableros decorativos y estampados en láminas muy delgadas (véase la figura 2.16), así como la producción de formas complejas y pequeñas. (Kalpakjian, 2008)

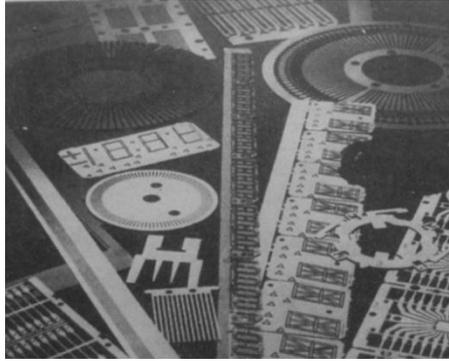


Figura 2.16 Ejemplo de piezas obtenidas mediante troquelado químico (Kalpakjian, 2008)

Troquelado fotoquímico

Es una modificación del fresado químico, el material se retira por lo general de una delgada lámina mediante técnicas utilizadas en el procesamiento de fotografías. Se pueden troquelar formas complejas sin rebabas sobre metales hasta de 0.0025 mm de espesor, este proceso en ocasiones se denomina *maquinado fotoquímico* y el procedimiento consiste en los siguientes pasos:

1. Se prepara el diseño de la parte a troquelar con una ampliación de hasta 100x, después se produce un negativo fotográfico y se reduce el tamaño al tamaño de la parte terminada, al negativo del diseño se le llama *boceto*, el dibujo original que es agrandado, permite que los errores inherentes del diseño se reduzcan en la medida de la reducción para obtener la imagen definitiva del boceto.
2. La lamina en bruto se cubre con un material fotosensible (fotorresistente) mediante inmersión, rociado, vaciado centrifugo o recubrimiento con rodillos y se seca en un horno, a este recubrimiento se le llama *emulsión*.
3. El negativo se coloca sobre la pieza recubierta y se somete a la luz ultravioleta, que endurece las áreas expuestas.
4. Se desarrolla la pieza lo que disuelve las áreas no expuestas.
5. Después la pieza se sumerge en un baño reactivo (como en el fresado químico), lo que ataca y retira las áreas expuestas.
6. Se retira el enmascarador y se lava totalmente la parte para retirar los residuos químicos.

Las aplicaciones más comunes son el fabricado de pantallas finas, tarjetas de circuitos impresos, laminados para motores eléctricos, resortes planos y pantallas para televisores a color. El proceso también es capaz de troquelar piezas de trabajo y materiales frágiles. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado electroquímico

El ECM por sus siglas en inglés es básicamente el inverso de la electrodeposición en donde un electrolito actúa como portador de corriente y la alta velocidad de movimiento del electrolito en el espacio de la herramienta y la pieza arranca y arrastra los iones metálicos de la pieza antes de que tengan oportunidad de depositarse en la herramienta.

La herramienta de forma, ya sea sólida o tubular por lo general se produce con latón, cobre, bronce o acero inoxidable, por otra parte el electrolito es un fluido inorgánico altamente conductor como solución acuosa de nitrato de sodio, es bombeado a través de los canales de la herramienta a una velocidad de 10 a 16 m/s, mientras que una fuente de poder suministra corriente directa en un intervalo de 20 a 25 VDC manteniendo las densidades de corriente que para la mayoría de aplicaciones es de 20 a 200 A/cm² de la superficie activa maquinada. Existen equipos que manejan capacidades de corriente bastante elevadas como 40,000 A y tan bajas como 5A, por consiguiente la rapidez de penetración de la herramienta es proporcional a la densidad de corriente, la velocidad de remoción de material se encuentra típicamente en el intervalo de 1.5 a 4 mm³ por A-min, entonces como la velocidad de remoción de material es solo función de la velocidad de intercambio iónico, no afecta la dureza, resistencia, o tenacidad del material de trabajo. (Kalpakjian, 2008)

Las aplicaciones más recientes del ECM incluyen el *micromaquinado* para la industria electrónica, una modificación del ECM es el *maquinado electrolítico con forma de tubo* STEM por sus siglas en inglés, utilizado para taladrar orificios profundos de diámetro pequeño, llegando a taladrar orificios de 0.5mm de diámetro con una relación de profundidad a diámetro de 300:1. (Kalpakjian, 2008)

El proceso ECM deja una superficie brillante y sin rebabas, de hecho es utilizado como proceso de rebabeo, no provoca ningún daño térmico en la parte maquinada, tampoco existe desgaste en la herramienta y el proceso es capaz de producir formas complejas. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado por pulso electroquímico (PECM)

Es un proceso de refinamiento del ECM, utiliza densidades muy elevadas de corriente del orden de 1 A/mm², pero la corriente es de pulsos y no directa como en el ECM convencional, al realizar pulsos de carga de corriente se elimina el consumo elevado del electrolito, lo que limita el uso de ECM en el proceso de fabricación de moldes y matrices, las investigaciones han demostrado que el PECM mejora la vida a la fatiga, las tolerancias obtenidas por lo común van de 20 a 100 μm., el proceso de EDM y PECM pueden combinarse en la misma máquina, sin embargo se corre el riesgo que al cambiar entre uno y otro proceso ocurra una desalineación de pieza-electrodo. Lo cual ocasionaría que el pulido causado por el PECM ocurra donde el gap es menor y el resto de la superficie presente pasivación. (Kalpakjian, 2008)

Rectificación electroquímica

La ECG combina el ECM con el rectificado convencional, los abrasivos tienen dos funciones:

1. Servir como aislantes entre el disco y la pieza de trabajo
2. Retirar mecánicamente productos electrolíticos del área de trabajo

Las densidades de corriente van de 1 a 3 A/mm². En el ECG la mayor parte de la remoción de material se efectúa mediante la acción electrolítica y por lo regular menos del 5% de metal se retira mediante la acción abrasiva del disco, en consecuencia la material se mantiene frío y el disco tiene muy poco desgaste. (Kalpakjian, 2008)

El ECG es adecuado para aplicaciones similares a las del fresado, rectificado y aserrado, pero no se adapta a las operaciones de estampado de matrices, este proceso puede aplicarse eficazmente a carburos y aleaciones de alta resistencia, existen máquinas de rectificado electroquímico con control numérico que mejoran notablemente la repetitividad y el control dimensional aumentando la productividad. (Kalpakjian, 2008)

Electroerosión

Una de las técnicas avanzadas de manufactura es la electroerosión, la cual es un procedimiento que basando se en el empleo directo de la corriente eléctrica con lo cual se consigue la fiel reproducción de la forma de un electrodo útil de manera automática, en una pieza determinada, si bien en forma complementaria, es decir que una forma positiva genera a una negativa y viceversa. (Camprubi Graell, 2007)

Para llevar a cabo su cometido de reproducción de formas, la electroerosión requiere utilizar corrientes pulsantes unidireccionales de elevada energía. Se puede afirmar pues que con la electroerosión nació un nuevo y revolucionario sistema de mecanizado de metales, que a diferencia de los hasta entonces conocidos para este no cuentan ni la dureza ni la tenacidad del material de la pieza de trabajo, sin embargo el sistema tiene sus condicionantes, y uno de ellos es que para llevar a cabo el mecanizado electro-erosivo los materiales tiene que ser necesariamente conductores de electricidad. (Camprubi Graell, 2007)

El método se caracteriza por el hecho de que la eliminación del material se obtiene gracias a la sucesión de descargas eléctricas pulsantes separadas en el tiempo. Es decir, que cada vez salta una sola descarga y entre dos descargas consecutivas existe un lapso de tiempo de inactividad, llamado tiempo de pausa. (Camprubi Graell, 2007)

Un arco eléctrico cuando es conducido de un punto A hacia un punto B a través de algún medio como el aire, este es incontrolable, pues la zona circundante a la descarga se ioniza fuertemente y esto hace que la descarga se propague de forma ramificada, para que esto no suceda, la electroerosión se lleva a cabo en el seno de un líquido dieléctrico, con lo cual la descarga es perfectamente precisa y controlable, dicho fluido dieléctrico juega un papel de suma importancia en el proceso. (Camprubi Graell, 2007)

Dentro de los diversos métodos de mecanizado de metales por electroerosión se pueden citar, el mecanizado por chispas, el sistema de electro-contacto, el ánodo-mecánico y el de impulsos, es preciso hablar del sistema por chispas o por impulsos, los demás tienen poca aplicación práctica. Para el mecanizado por chispas se han venido desarrollando diversos circuitos llamados de régimen independiente, conocidos también por circuitos de relajación. (Camprubi Graell, 2007)

Todos estos circuitos se caracterizan por llevar, entre otros, algún elemento acumulador de energía para producir la descarga, el circuito básico elemental se comprende de dos circuitos bien definidos, el de carga y el de descarga.

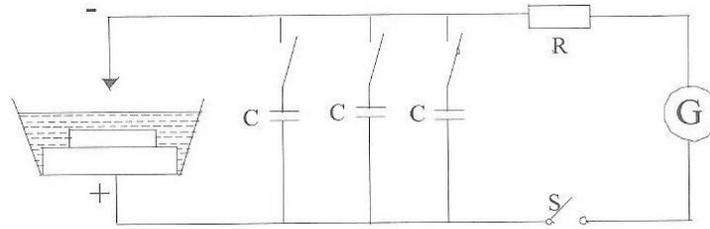


Figura 2.14 Circuito de carga y descarga para EDM (Camprubi Graell, 2007)

El circuito de carga consta de una fuente de corriente continua G, una resistencia de regulación R, y una batería de capacitores C. (Camprubi Graell, 2007)

El sistema de control del GAP

Una de las condiciones necesarias para que se produzca la erosión mediante descargas, es la de que exista una distancia o espacio apropiado entre la pieza y el electrodo, dicho espacio es denominado “GAP” (palabra inglesa que significa, espacio, intersticio) que es donde se produce la carga, si la separación entre la pieza y el electrodo llega a ser nula, se produce un cortocircuito entre ambos, con lo cual habrá conducción de corriente por contacto pero no habrá descarga, si por el contrario la distancia entre el electrodo y la pieza es demasiado grande, la intensidad del campo eléctrico no será suficiente para crear las condiciones propicias para crear la descarga disruptiva y por lo tanto no habrá ionización, por lo tanto el mecanismo encargado del control de esta distancia es un servomecanismo de control de avance del electrodo, dicho mecanismo es una parte esencial del proceso de electroerosión, ya que de él depende la estabilidad del electro-erosionado y el buen rendimiento de la máquina, dicho mecanismo debe mantener el “GAP” de forma constante, tal que la distancia entre el electrodo y la pieza puede ser comprendida entre 0.002 y 0.1 mm según el régimen de trabajo. (Camprubi Graell, 2007)

Es importante conocer y analizar la zona “GAP” el cual está formado por tres estados principales a los que se pueden denominar como: gap de circuito abierto, gap nominal o de trabajo y gap de cortocircuito, en cada uno de ellos se producen impulsos de características distintas, en el primero los impulsos son solamente de tensión, no hay por lo tanto circulación de corriente entre el electrodo y la pieza y por lo tanto no hay erosión. En el gap de trabajo se emiten impulsos de tensión y de corriente alternadamente, y es cuando la máquina trabaja en óptimas condiciones, y en el gap de cortocircuito solo circula corriente entre el electrodo y la pieza pero no existe erosión a causa de la ausencia de una descarga disruptiva.

En la práctica, entre el gap de circuito abierto y el gap de corto circuito existen infinidad de gap de trabajo con diversas variaciones del impulsos tanto de corriente como de tensión, estos últimos aumentan conforme el gap aumenta, lo cual disminuye los de corriente, esto baja el rendimiento de arranque de material, en consecuencia la velocidad de arranque V_a es directamente proporcional al número de impulsos efectivos n_i de trabajo:

$$V_a = K * n_i$$

A medida que el número de impulsos efectivos crece, también lo hace el arranque de material y en consecuencia deberá aumentar la velocidad de avance del electrodo hacia la pieza. Por lo tanto la velocidad de avance será:

$$V_{avance} = \frac{K \cdot n_i}{S}$$

Es decir que la velocidad de avance será el valor de arranque de material dividido por la superficie (S) frontal del electrodo.

El electrodo es elemento del cual se ha de hacer uso para realizar el mecanizado por electro-erosión al igual que en el sistema electroquímico, en principio cualquier material conductor puede ser apto para la fabricación de electrodos, no obstante dependiendo de ciertas características propias de cada elemento, harán que este se comporte mejor o peor, entre los materiales que son aptos para la fabricación de electrodos se pueden dividir en dos grupos, los metálicos y no metálicos:

Entre los metálicos se pueden destacar:

- Cobre electrolítico
- Cobre al cromo o al telurio
- Cuprotungsteno
- Plata tungsteno
- Aluminio y sus aleaciones
- Latón
- Tungsteno puro
- Acero

Entre los no metálicos encontramos a los grafitos y sus distintas variedades. (Camprubi Graell, 2007)

EDM con alambre

Una variante del EDM es el EDM con alambre, este proceso es similar al corte de contornos con una sierra de banda, un alambre de movimiento lento se desplaza dentro del material erosionando solo el espesor del mismo, este proceso se utiliza para cortar placas de hasta 300mm de espesor y para fabricar punzones, herramientas y matrices a partir de metales duros. (Kalpakjian, 2008)

En general el alambre es fabricado a partir de metales como latón cobre, tungsteno o molibdeno y también son fabricados con recubrimientos múltiples, comúnmente el diámetro de alambre es de 0.30mm para cortes de desbaste y de 0.20mm para cortes de acabado, el alambre debe tener una alta conductividad eléctrica y resistencia a la tensión puesto que el esfuerzo que actúa sobre el por lo regular es del 60% de su resistencia a la tensión.

Por lo general el alambre solo se utiliza una vez ya que es relativamente económico en comparación con el tipo de operación que realiza, se desplaza a una velocidad constante que va de 0.15 a 9 m/min y se mantiene en un espacio constantes durante el corte, la tendencia de fluidos dieléctricos es utilizar fluidos transparentes e baja viscosidad. (Kalpakjian, 2008)

Rectificación por descarga eléctrica

En la rectificación por descarga eléctrica o EDG, el disco está fabricado de latón o grafito y no contiene abrasivos, el material se retira de la superficie de trabajo mediante descargas por chispa entre el disco rotatorio y la pieza de trabajo. El proceso ECDG es más rápido que el EDG sin embargo el primero utiliza mucho más potencia que el EDG.

En el aserrado con EDM se utiliza un arreglo similar a la sierra de banda o sierra circular con el mismo circuito eléctrico para el EDM, se pueden producir cortes estrechos con altas tasas de remoción de material, debido a que las fuerzas de corte son despreciables, este proceso puede utilizarse en componentes delgados y esbeltos. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado por rayo laser

En el maquinado por rayo láser LBM la fuente de energía es un láser que concentra energía óptica sobre la superficie de la pieza de trabajo, la fuente de energía de alta densidad concentrada funde y evapora porciones de la pieza de manera controlada, este proceso se requiere para maquinar varios metales metálicos y no metálicos. (Kalpakjian, 2008)

En el LBM la efectividad y conductividad térmica de las superficies de la pieza de trabajo, así como su calor latente de fusión y evaporación son parámetros físicos importantes, cuanto menores sean los valores que toman estas cantidades más eficiente será el proceso, la profundidad de corte se puede expresar como:

$$t = \frac{CP}{vd}$$

Donde t es la profundidad, C una constante para el proceso, P la entrada de potencia, v la velocidad de corte y d el diámetro del punto del laser. Los picos de densidad de energía de los rayos laser se encuentran en el intervalo de 5 a 200kW/mm². Por lo general la superficie producida por el LBM es una superficie rugosa y que por lo general es afectada por el calor, en donde si es necesario se deberá realizar un tratamiento térmico para liberar esfuerzos o atribuir propiedades iniciales. (Kalpakjian, 2008)

El corte por rayo láser asistido por alta presión de gas inerte (nitrógeno o argón) se usa en acero inoxidable y aluminio para dejar una arista libre de óxido y mejora la soldabilidad. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado por haz de electrones

El maquinado por haz de electrones o EBM consiste en electrones de alta velocidad que golpean la superficie de trabajo y generan calor. Las aplicaciones del EBM son similares a las del LBM sin embargo el EBM requiere un medio de vacío para poder efectuar el proceso, el EBM se puede utilizar para cortar gran variedad de materiales, el acabado superficial es mejor y la anchura de corte es mucho mas estrecha que la de otros procesos de corte térmico. (Kalpakjian, 2008)

La interacción del haz de electrones con la superficie de trabajo produce peligrosos rayos X, por lo tanto el equipo debe ser utilizado por personal altamente capacitado, el corte por arco de plasma

PAC utiliza haces de plasma para cortar con rapidez laminas metálicas y placas ferrosas y no ferrosas, las temperaturas son muy elevadas, del orden de 9400 °C, en consecuencia el proceso de corte es rápido, la anchura de corte es pequeña y el acabado superficial es bueno, se pueden cortar partes de hasta 150mm de espesor, las velocidades de remoción son mucho más altas comparadas con el proceso EDM y LBM. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado por chorro de agua

La fuerza ejercida por el fluido es el resultado del cambio de momento de la corriente y de hecho es el principio en el que se basa la operación de turbinas de agua y de gas, en el maquinado por chorro de agua WJM o maquinado hidrodinámico, esta fuerza se utiliza en operaciones de corte y rebabeo, el chorro de agua actúa como una sierra y corta una estrecha ranura en el material, por lo regular se utiliza una presión de unos 60ksi para obtener una operación eficiente, los diámetros de boquillas varían de 0.05mm a 1 mm, pueden cortarse diversos tipos de materiales, como plásticos, textiles, hule, madera, papel, piel, materiales aislantes, ladrillo y materiales compositos. (Kalpakjian, 2008)

Esta tecnología es acoplada con robots de posicionamiento multieje, con lo cual ofrece una versatilidad 3D para el maquinado de distintos materiales, las ventajas del proceso son:

- Los cortes se pueden iniciar en cualquier lugar sin necesidad de realizar taladrados previos al inicio del corte
- No se produce calor
- No ocurre deflexión en el resto de la pieza lo cual supone una ventaja para el maquinado de materiales flexibles.
- La pieza de trabajo solo se moja ligeramente
- Las rebabas producidas son mínimas
- Es un proceso de manufactura ambientalmente seguro. (P. Groover, 2007)

Maquinado por chorro abrasivo de agua

En el AWJM el chorro de agua contiene partículas abrasivas como carburo de silicio u oxido de aluminio, que incrementan la velocidad de remoción de material, superando la velocidad del WJM, se pueden cortar materiales metálicos y no metálicos, compositos avanzados en diversos espesores o en varias capas. El tamaño mínimo de orificio que se puede producir hasta la fecha es de unos 3mm, la máxima profundidad es de 25mm, en los sistemas modernos de AWJM el nivel óptimo de abrasivos en el chorro de agua se controla automáticamente, la vida útil de las boquillas se ha mejorado produciéndolas con rubíes, zafiros y materiales compositos con base de carburo. (Kalpakjian, 2008)

Maquinado por chorro abrasivo

El maquinado por chorro abrasivo AJM dirige un chorro de alta velocidad de aire seco, nitrógeno o bióxido de carbono que contiene partículas abrasivas contra la superficie de trabajo en condiciones controladas, el impacto de las partículas desarrolla una fuerza suficientemente concentrada para realizar operaciones como corte de pequeños orificios, ranuras o patrones intrincados en materiales metálicos y no metálicos muy duros o frágiles, rebabeo o retiro de pequeñas proyecciones de las partes,

recorte y biselado, remoción de óxidos y otras películas superficiales, y limpieza general de componentes con superficies irregulares.

La presión de gas de suministro es del orden de 125psi, la velocidad del chorro puede llegar a los 300m/s y se controla por medio de una válvula. Por lo general las boquillas se fabrican con carburo de tungsteno y con zafiro los cuales tienen resistencia al desgaste abrasivo. Como el abrasivo tiende a redondear las esquinas, deben evitarse las esquinas agudas en el diseño para maquinados de chorro abrasivo. Existe algún riesgo en el uso de este proceso debido a partículas suspendidas en el aire, este problema se puede evitar mediante el proceso de maquinado por chorro abrasivo de agua. (Kalpakjian, 2008)

Capítulo 3

Planeación de la Manufactura del Sistema

Planeación de la manufactura

Haciendo referencia a los procesos de manufactura antes expuestos, así como a las herramientas computacionales existentes para determinar su fiabilidad y conjuntarlos a los procesos físicos, es necesario analizar las condiciones de los diferentes componentes del sistema mecánico a manufacturar.

Entonces tomando en cuenta lo definido por la fase de diseño conceptual (ver figura 3.1), se puede observar que el sistema consta de una cantidad considerable de piezas mecánicas (ver figura 3.2) y estimando su producción en acero inoxidable AISI 304, el cual es un tipo de acero que cumple con las necesidades de aplicación a la industria alimenticia, entonces como ya se verá más adelante, este tipo de material por sus propiedades mecánicas tiene unas condiciones de maquinado que implica un tiempo prolongado durante la operación, además de que representa un costo significativo. (Sclater, y otros, 2007)

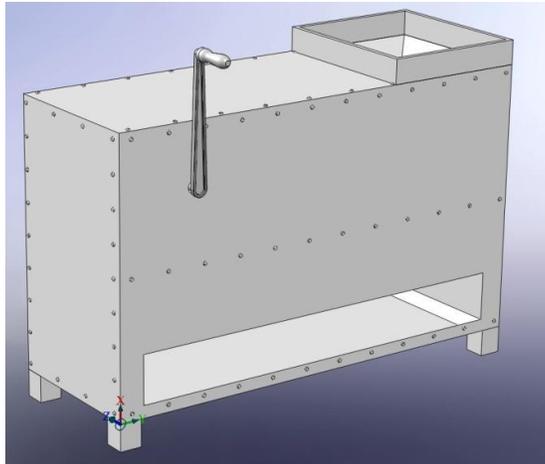


Figura 3.1 Esquema a bloque de la máquina peladora de habas secas **Fuente:** Propia

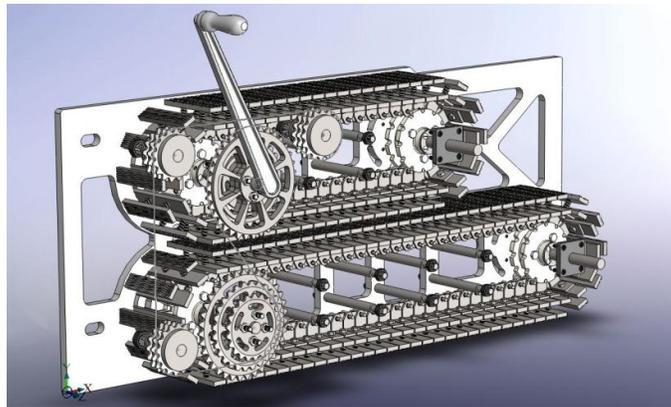


Figura 3.2 Mecanismo de pelado de una máquina peladora de habas secas **Fuente:** Propia

Es necesario iniciar con el análisis de los parámetros formales de cada componente de un sistema simplificado del mecanismo de pelado (para mayor información de la determinación del sistema y la obtención de datos o parámetros formales del haba consultar el anexo B), en este sistema

simplificado o herramental mecánico, se pretende que se lleve a cabo la misma función de pelado, pero con el mínimo de costo y tiempo, con la finalidad de ofrecer una idea realista del proceso así como la funcionalidad del sistema en base a lo previsto en el diseño conceptual.

Con respecto a la parte del costo, se ha de implementar el sistema simplificado en un material diferente al planeado para aplicación alimenticia, pues de AISI 304 se ha de utilizar AISI 1020, el cual es acero al bajo carbono, o acero comercial, cabe hacer mención que el sistema planeado consta de un movimiento continuo y cíclico de los componentes de pelado, sin embargo a simple vista se nota que la apertura central del sistema permanece fija, aunque las placas abrasivas son montadas a un juego de tornillos que fungen como pernos de desplazamiento amortiguados con un par de resortes de ajuste a la geometría del haba, en consecuencia el sistema simplificado consta de una configuración para la calibración de altura para efectos de pruebas a diferentes aperturas entre placas abrasivas, el herramental mecánico que es un sistema simplificado del modelo del mecanismo de pelado propuesto para realizar esta función se ilustra como sigue (ver figura 3.3). (L. Norton, 2009) (N. Childs, 2004)



Figura 3.3 Herramental Mecánico o Sistema Simplificado de Pelado de Habas Secas **Fuente:** Propia

Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) Aplicada

Entonces de acuerdo a las condiciones de corte de la cáscara del haba determinadas mediante pruebas experimentales a la misma, se definen los siguientes parámetros de prueba a la placa abrasiva auxiliándonos del análisis de elemento finito en el software SolidWorks® y puesto que el sistema fue simplificado a un modelo en 2D para efectos de análisis, se procede a determinar que la fuerza de aplicación a 45° es de 101.85N asignando una fuerza vertical del peso del sistema el cual teóricamente es de 2.9 kg y por efecto de la gravedad es de 28.449N agregados a la componente vertical de 72.02N entonces se genera una fuerza resultante a 45° de 142.084N, sobre la placa abrasiva, despreciando el peso del producto.

Se procede a definir las cargas y fijaciones del sistema virtual para su análisis de elemento finito, por lo que los barrenos ciegos de la placa abrasiva se consideran fijos (ver figura 3.4), mientras que las nervaduras de la placa se analizan con las componentes de fuerza por separado (ver figura 3.5 y 3.6 y 3.7).

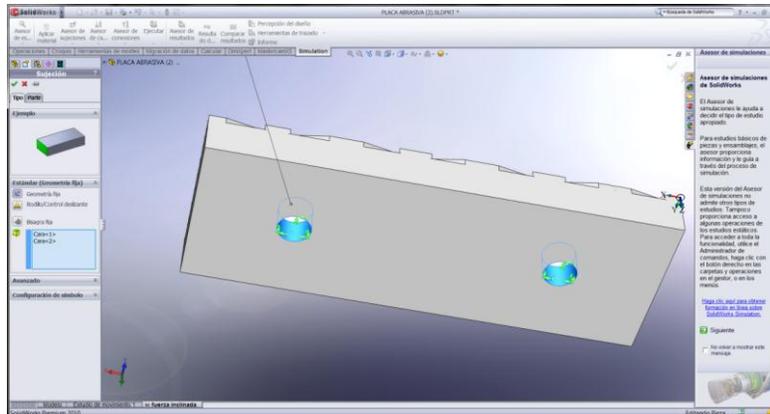


Figura 3.4 Definición de geometrías fijas para el análisis Fuente: Propia

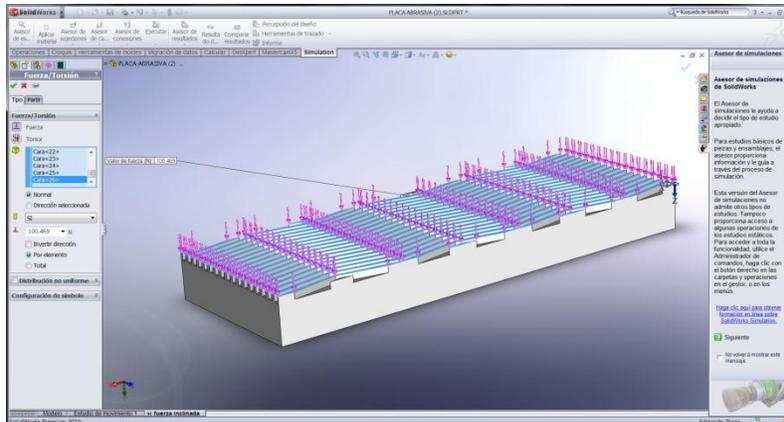


Figura 3.5 Aplicación de fuerzas verticales sobre placa abrasiva Fuente: Propia

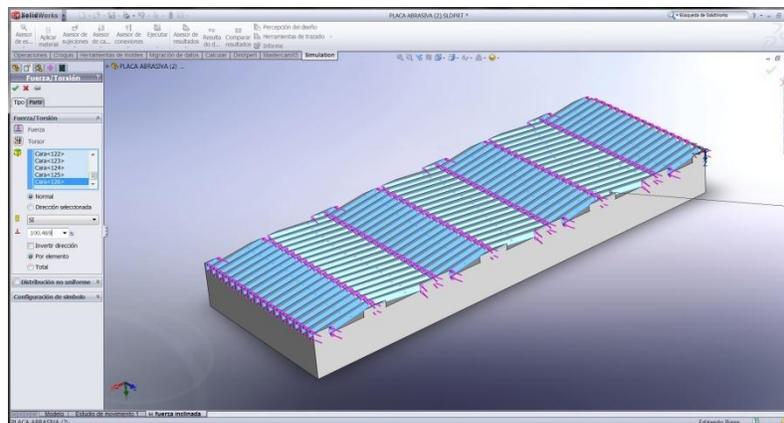


Figura 3.6 Aplicación de fuerzas horizontales sobre placa abrasiva Fuente: Propia

Entonces la fuerza compuesta sobre este componente se ilustra de la siguiente manera:

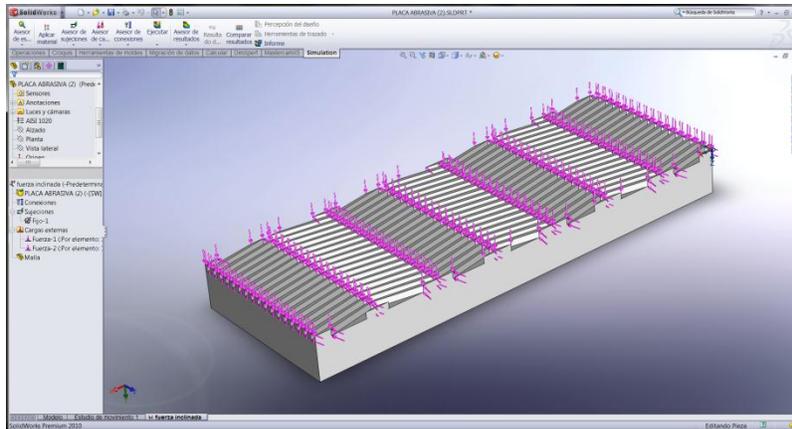


Figura 3.7 Resultante de las fuerzas compuestas Fuente: Propia

Se procede a definir el mallado para análisis de elemento finito (ver figura 3.8) bajo los parámetros estándar del software así como la definición de los valores Von Mises.

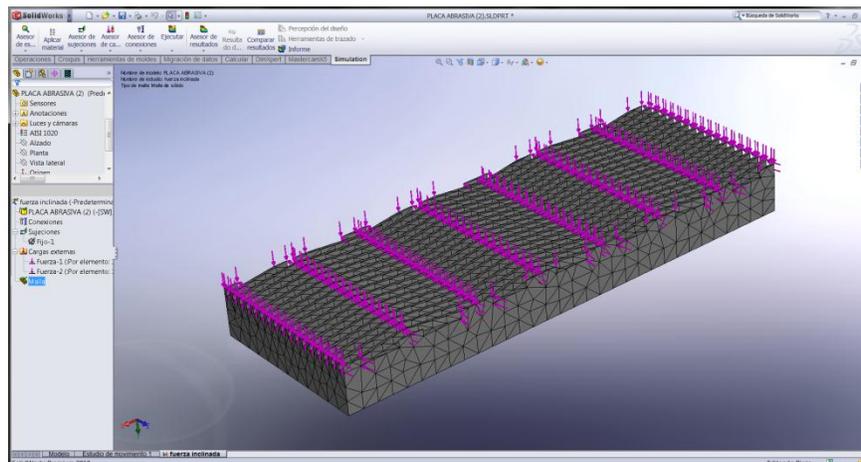


Figura 3.8 Mallado estándar con Solidworks Fuente: Propia

Al ejecutar el análisis del componente se tiene el siguiente resultado según los valores en base a Von Mises (ver figura 3.9).

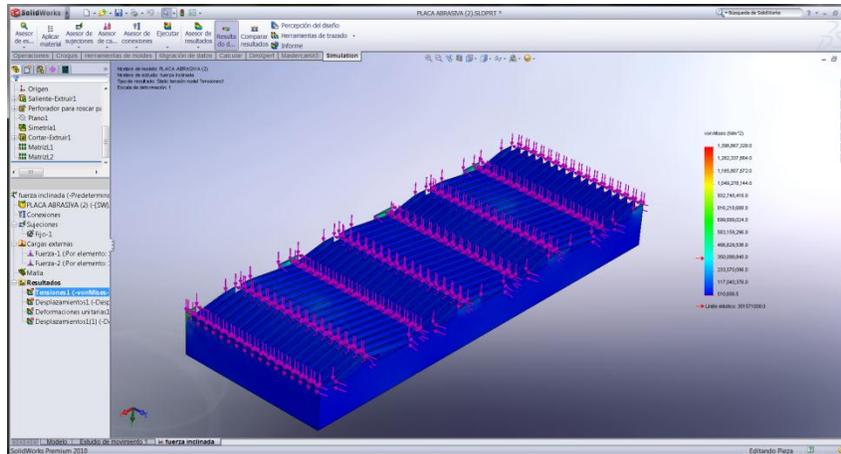


Figura 3.9 Esquema de tensiones para el elemento **Fuente: Propia**

Ahora al ver la parte de las sujeciones de la geometría de la placa abrasiva que es en si la parte que absorbería el esfuerzo de la placa durante el pelado se nota lo siguiente (ver figura 3.10):

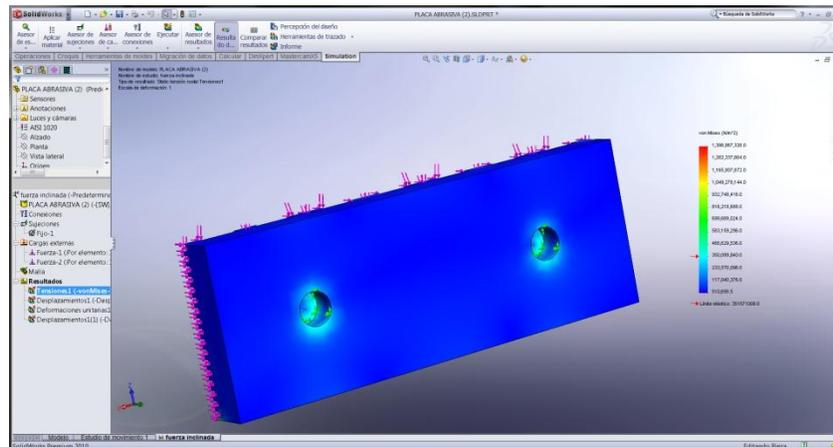


Figura 3.10 Esquema de tensiones para el elemento sujetado mecánicamente **Fuente: Propia**

En este análisis se obtiene el resultado del esfuerzo máximo generado por las condiciones de pelado el cual es de 351.57 MPa cuyo valor está muy por debajo de los 205 GPa del módulo elástico del material simulado.

Con respecto a los desplazamientos generados en la geometría se tiene el siguiente gráfico (ver figura 3.11), ésta figura muestra el desplazamiento generado por el esfuerzo del pelado el cual es cercano a 2.257×10^{-2} mm entonces es despreciable par fines de diseño e implementación.

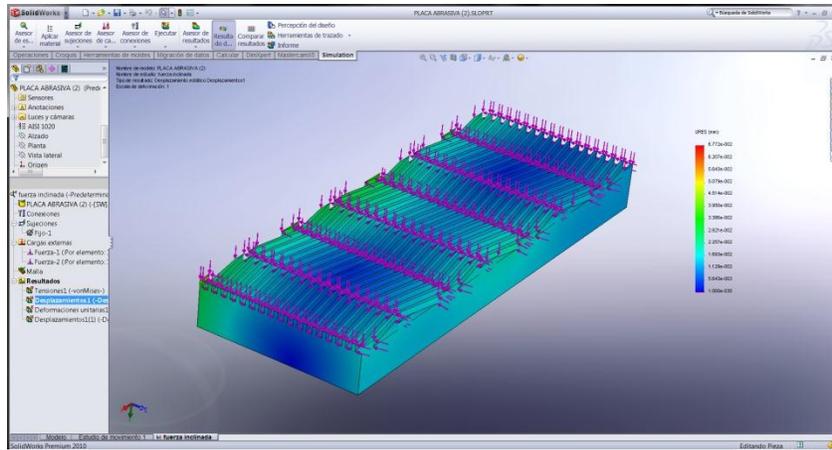


Figura 3.11 Análisis de desplazamiento de la geometría **Fuente:** Propia

La simulación anterior es determinante para aprobar el diseño y por ende la implementación de manufactura del componente mecánico denominado como placa abrasiva en el modelo simplificado del mecanismo de pelado de habas secas.

Ahora es necesario analizar los demás componentes mecánicos de acuerdo a los esfuerzos a los que son sometidos, por lo que se sigue con el poste guía (ver figura 3.12) el cual funge como un perno conductor de desplazamiento del buje que soporta al arreglo de placas abrasivas de la parte superior, por ello haciendo un análisis del ensamble del componente se tiene que este elemento se encuentra fijo de la parte superior y de la inferior (ver figura 3.13).



Figura 3.12 Poste guía para ser analizado **Fuente:** Propia

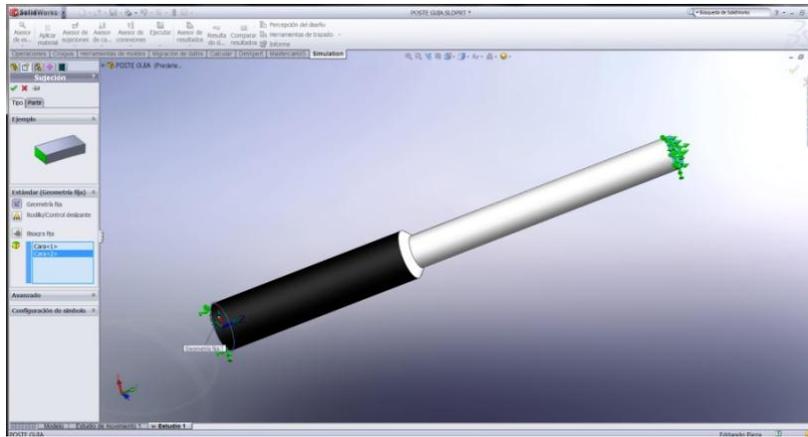


Figura 3.13 Sujeción de caras para el análisis **Fuente:** Propia

Se procede a cargar las fuerzas generadas en ambos planos para el poste guía con lo que se tiene una fuerza a lo largo del componente de 105.107 N compuesta por los elementos de peso sujetos a este elemento además del esfuerzo generado al momento de pelado, en la componente horizontal se tiene una fuerza de 100.469 N entonces se ilustra a continuación (ver figura 3.14)

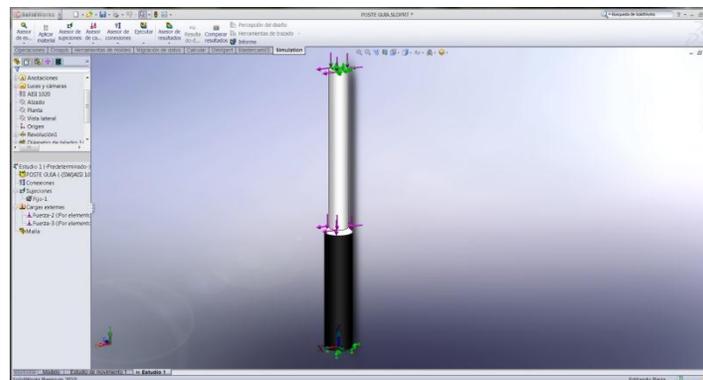


Figura 3.14 Componentes de fuerza para el análisis del poste guía **Fuente:** Propia

Se procede al mallado y al análisis y se obtiene lo siguiente (ver figura 3.15):

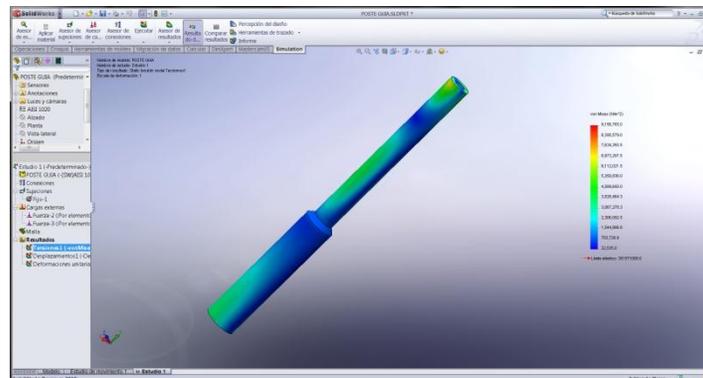


Figura 3.15 Simulación de los esfuerzos de tensión generados en el poste guía **Fuente:** Propia

Los esfuerzos presentados según el mapa de colores del gráfico mostrado en la figura 3.15 obtienen una resultante de alrededor de 3.067 MPa de esfuerzo máximo en donde se sitúa el componente deslizando y la sujeción a los demás componentes.

Con respecto al desplazamiento generado por el sistema analizado se observa lo siguiente (ver figura 3.16). De acuerdo con lo mostrado en el mapa de colores del desplazamiento generado y según la escala automática del software se obtiene una resultante cercana a los 4.876×10^{-3} mm en la zona media que es la zona de colocación del elemento deslizando. De forma concluyente se deduce que el diseño del componente es aceptable.

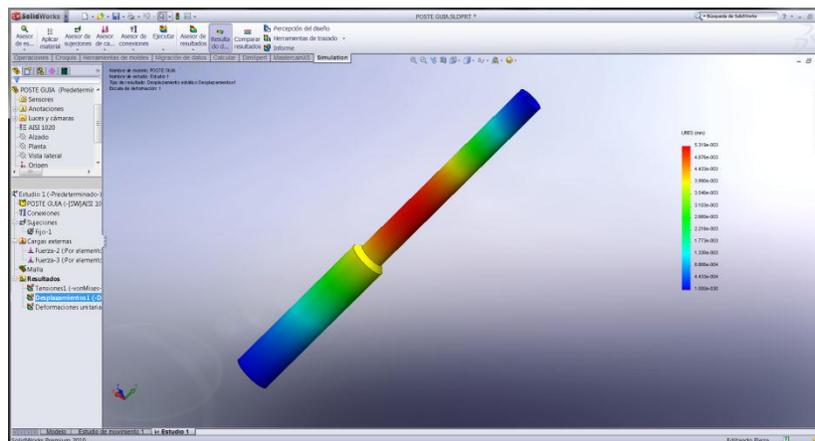


Figura 3.16 Simulación de los desplazamientos generados en el poste guía **Fuente:** Propia

Se procede a realizar el análisis del riel conductor donde se efectúa el deslizamiento del arreglo de placas abrasivas teniendo los siguientes resultados (ver figura 3.17)

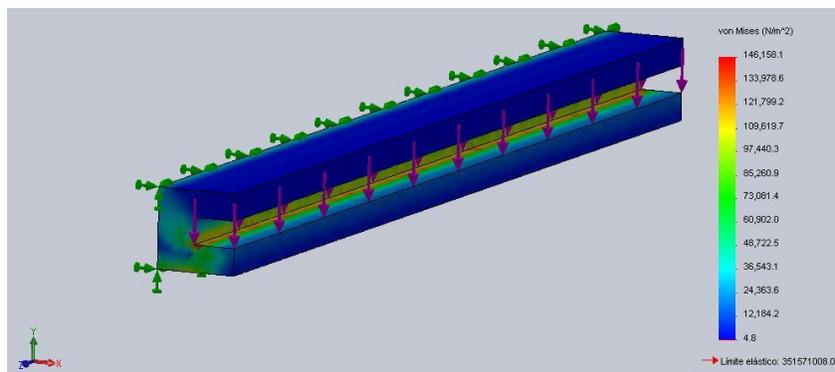


Figura 3.17 Análisis de esfuerzos en riel conductor **Fuente:** Propia

Se puede observar que según los parámetros de simulación y la escala emitida por el software, los esfuerzos se concentran en el vértice de la pieza sin embargo el esfuerzo máximo registrado un valor alrededor de 121.8 MPa, valor que se encuentra lejos del esfuerzo máximo, posteriormente se realiza la simulación de los efectos de desplazamiento según los parámetros de simulación a lo cual se tiene que

este componente sufriría un desplazamiento de la geometría inicial cercano a 1.967×10^{-5} en el borde de la pieza lo cual se puede despreciar (ver figura 3.18).

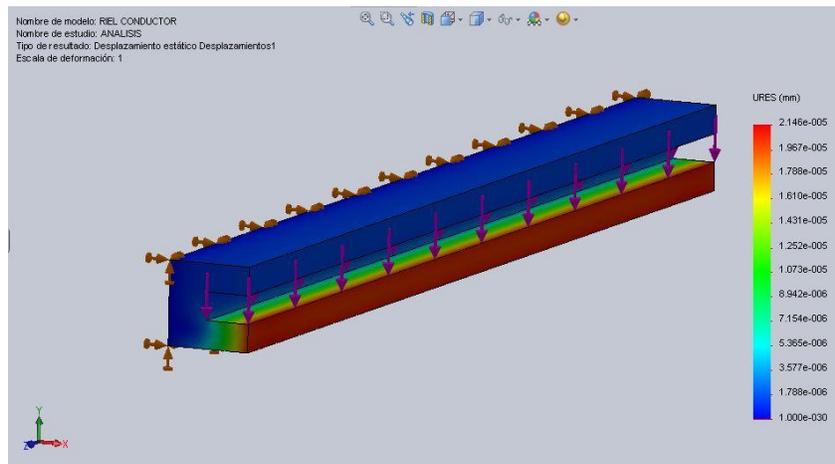


Figura 3.18 Análisis de desplazamiento de la geometría en función de las cargas de simulación **Fuente:** Propia

Derivado de lo anterior se puede concluir que el diseño del herramental mecánico es estable, por lo cual se procede a pasar a la siguiente fase que es la planeación de la manufactura del mismo.

Definición de las operaciones y secuencia de manufactura

De acuerdo a lo realizado en secciones anteriores, y tomando como referencia los planos de especificación geométrica de los componentes (ver en anexo A) es necesario realizar un análisis del proceso de manufactura para cada componente, entonces se analiza la siguiente tabla de comparación de geometrías según cada componente, con lo cual se ha de determinar, el proceso de manufactura a utilizar (ver tabla 3.1)

Tabla 3.1 Identificación de procesos según planos de especificación **Fuente:** Propia

No.	PIEZA	TORNEADO			FRESADO			TALADRADO		MACHUELEADO	DOBLADO	PROCESO AVANZADO
		CILINDRO	CONO	ESFERA	PERFIL EN BORDE	RANURA PLANA	SUPERFICIE PLANEADA	BARRENO CIEGO	BARRENO PASADO	ROSCADO		GEOMETRIA COMPLEJA
1	BUJE DESLIZANTE											
2	PALANCA DE ELEVACION								•			
3	PLACA ABRASIVA				•			•				•
4	PLACA DE ARREGLO DE TABLILLA ARASIVA				•		•		•			
5	PLACA SUPERIOR DE FIJACION				•				•			
6	POSTE GUIA	•						•		•		
7	RIEL DESLIZANTE				•	•						
8	SEPARADOR TRANSVERSAL				•							
9	SUJETADOR DE RIELES DESLIZANTES										•	

Es necesario resaltar que no aparecen los componentes que son de obtención comercial, además de que el material utilizado ya se ha mencionado que es el AISI 1020 de uso comercial. Finalmente la

conclusión a la que se llega con la tabla anterior es que para poder manufacturar los componentes, es necesario implementar al menos, los siguientes procesos (ver tabla 3.2)

Tabla 3.1 Identificación de procesos según planos de especificación **Fuente:** Propia

No.	PROCESOS IDENTIFICADOS
1	CILINDRADO EN TORNO
2	REFRENTADO EN TORNO
3	FRESADO FRONTAL
4	FRESADO PERIFERICO
5	FRESADO DE PLANEADO
6	TALADRADO DE BARRENO CIEGO
7	TALADRADO DE BARRENO PASADO
8	MACHUELEADO
9	DOBLADO
10	PROCESO AVANZADO

Tomando en cuenta que toda pieza sufre un cambio desde que es procesada inicialmente al agregar energía y modificar su estructura, geometría o propiedades mediante la adición de energía, el proceso inicial, de las piezas en cuestión es la modificación de la geometría inicial de la materia prima pues es por convención que la fabricación del material a utilizar se comercializa en una presentación por tramos de dimensiones definidas en pies por lo que algunos de los materiales son comercializados en barras, perfiles, placas, etc, la medida estándar de la presentación del material, es por lo regular de 20 pies o 6.096 metros de largo, según sea perfil tubular, o barra, en consecuencia habrá necesidad de cortar el material que contenga la forma final de la pieza inscrita en el material mismo.

Después de haberse maquinado la forma deseada es necesario llevar a cabo un proceso de acabado del mismo según las especificaciones, o previo a un tratamiento superficial, como por ejemplo el hecho de prevenir la corrosión mediante el uso de pintura que recubra la superficie y evite la corrosión del metal, pues dicho efecto es desfavorable para cualquier pieza mecánica.

Se procede entonces a implementar la siguiente tabla para definir la secuencia de las operaciones de manufactura involucradas en la fabricación del herramental mecánico para el pelado de habas secas (ver tabla 3.3). Finalmente al definir la secuencia de operaciones de manufactura para cada componente del herramental mecánico, se procede a agrupar dichas operaciones, en tanto se define completamente la secuencia de operaciones por cada elemento (ver figura 3.19).

En este punto es claro que dado que existen unos planos de fabricación se especifica el contenido implícito de operaciones a realizar, sin embargo una pieza puede contener más de una operación repetitiva del mismo proceso de manufactura, por ejemplo, si en una placa existen 5 barrenos pasados y 2 barrenos ciegos, el proceso de taladrado es demandado 7 veces, por consiguiente el proceso se aplica las mismas veces a una pieza, sin embargo cambian las condiciones de maquinado, lo cual tiene como consecuencia el cambio en los tiempos entre una y otra operación, por ello dicho conteo unitario se realizo para cada pieza, multiplicándolo por el número de piezas existentes en el ensamble total, dando como resultado un conteo global de operaciones de manufactura (ver tabla 3.4).

Tabla 3.3 Secuencia de procesos de manufactura según componente **Fuente:** Propia

No.	NOMBRE DE LA PIEZA	PROCESO PRIMARIO (APROXIMACION)			PROCESO DE MANUFACTURA								PROCESO DE ACABADO				TRATAMIENTO SUPERFICIAL	
		OXICORTE	ABRASION	PLASMA	ASERRADO	TORNEADO	FRESADO	TALADRADO	MACHUELEADO	OTRO	ELECTROEROSIONADO	MAQUINADO QUIMICO	HAZ DE ELECTRONES	ABRASION	RECTIFICADO	PULIDO	HORNEADO	PINTURA
1	BUJE DESLIZANTE				1								2				3	
2	PALANCA DE ELEVACION				1		2						3				4	
3	PLACA ABRASIVA				1	2	3	4		5			6					
4	PLACA DE ARREGLO DE TABLILLA ABRASIVA		1			2	3						4				5	
5	PLACA SUPERIOR DE FIJACION		1				2						3				4	
6	POSTE GUIA				1	3	2	4	5				6				7	
7	RIEL DESLIZANTE				1		2						3				4	
8	SEPARADOR TRANSVERSAL				1								2				3	
9	SUJETADOR DE RIELES DESLIZANTES				1				2 DOBLADO				3				4	

La secuencia de operaciones es definida de acuerdo a los procesos más comunes utilizados en un taller convencional, sin embargo es claro que de acuerdo a la capacidad del Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la Universidad Tecnológica de la Mixteca el proceso disponible para el maquinado avanzado es la electroerosión.



Figura 3.19 Agrupación de operaciones de manufactura para cada componente del herramental **Fuente:** Propia

Es posible observar que existen operaciones en común, entre piezas lo cual genera un recorrido dentro de las estaciones o lugares destinados a la producción o maquinado de cierto tipo, por ende para este caso una estación está representada por una maquina que representa la operación de maquinado específica según sea el caso.

Tabla 3.4 Total de operaciones involucradas en el proceso de manufactura del herramental de pelado **Fuente:** Propia

CONCEPTO DE PROCESO	CANTIDAD ACUMULADA
CORTE POR ABRASION	3
CORTE POR ASERRADO	36
TORNEADO	8
FRESADO	108
TALADRADO	89
MACHUELEADO	44
DOBLADO	1
ELECTROEROSIONADO	20
ACABADO POR ABRASION	39
PINTURA	19
TOTAL	367

Es muy importante resaltar que las operaciones de unión y ensamble son consideradas como una operación de transición entre los procesos iniciales y el producto final, por ello agrupan dentro de la estación de unión y ensamble del diagrama de recorrido de la figura 3.20, así como también han sido agrupadas las piezas según las operaciones que demanda, entonces según lo expresado en el diagrama de recorrido un grupo de piezas (Grupo I) consta de las piezas A, B, y C mientras el Grupo II consta de D, E, F y G y por último el Grupo III de H e I, también se puede observar que , las operaciones de corte primario, las de taladrado y roscado y las de acabado han sido agrupadas por su similitud entre ellas. (M. Walker, 1996)

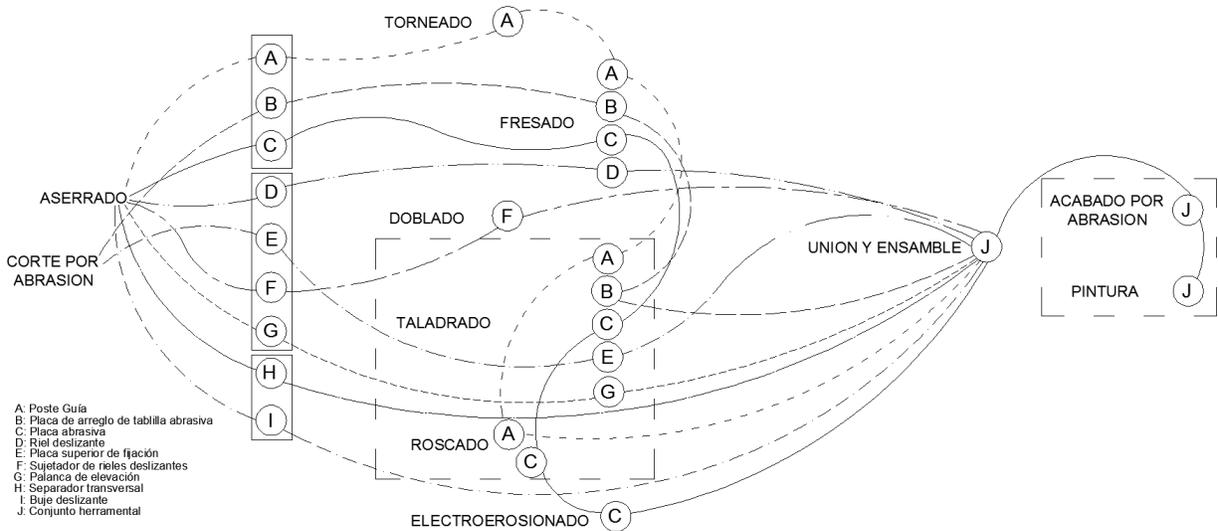


Figura 3.20 Diagrama de recorrido de las diferentes piezas en las operaciones de manufactura **Fuente:** Propia

Después de haber definido la secuencia de manufactura de las diferentes piezas del herramental mecánico es importante determinar la relación de unión que existe entre los componentes para así poder determinar el tipo de proceso en la estación de unión y ensamble, para ello es posible auxiliarse con la tabla 3.5, que define la relación de unión. (M. Walker, 1996)

Tabla 3.5 Uniones entre componentes **Fuente:** Propia

COMPONENTES DEL SISTEMA	BUJE DESLIZANTE	PALANCA DE ELEVACION	PLACA ABRASIVA	PLACA DE ARREGLO DE TABLILLA ABRASIVA	PLACA SUPERIOR DE FIJACION	POSTE GUIA	RESORTE DE AJUSTE	RIEL DESLIZANTE FIJO	RIEL DESLIZANTE MOVIL	SEPARADOR TRANSVERSAL	SUJETADOR DE RIELES DESLIZANTES	TORNILLO DE ELEVACION	TORNILLO DE AJUSTE EN PLACA SUPERIOR	TORNILLO DE PALANCA	TUERCA DE FIJACION	TORNILLO DE PLACA ABRASIVA
BUJE DESLIZANTE	--								A							
PALANCA DE ELEVACION	--	--			B							B				
PLACA ABRASIVA	--	--	--	B			B									B
PLACA DE ARREGLO DE TABLILLA ABRASIVA	--	--	--	--			B									B
PLACA SUPERIOR DE FIJACION	--	--	--	--	--	B							B	B	B	
POSTE GUIA	--	--	--	--	--	--		A		A			B			
RESORTE DE AJUSTE	--	--	--	--	--	--	--									B
RIEL DESLIZANTE FIJO	--	--	--	--	--	--	--	--								
RIEL DESLIZANTE MOVIL	--	--	--	--	--	--	--	--	--		A					
SEPARADOR TRANSVERSAL	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
SUJETADOR DE RIELES DESLIZANTES	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	A				
TORNILLO DE ELEVACION	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			B	
TORNILLO DE AJUSTE EN PLACA SUPERIOR	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
TORNILLO DE PALANCA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
TUERCA DE FIJACION	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
TORNILLO DE PLACA ABRASIVA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A: SOLDADURA ELECTRICA

B: UNION MECANICA

Nótese que en esta tabla se han incluido los elementos comerciales, ya que en la operación de unión y ensamble si participan interactuando con los demás componentes.

Ya que ha sido definida la secuencia de operaciones de manufactura es momento de avanzar a la siguiente fase donde se calculan las variables descriptivas de cada operación, luego entonces con estos datos es posible calcular tiempos teóricos de procesamiento, y finalmente calcular un valor estimado del tiempo de producción de un herramental mecánico para el descascarado de habas secas, mientras que en etapas posteriores se implementará físicamente, el proceso de fabricación. (Alting, 1996)

Calculo de parámetros descriptivos de los procesos de mecanizado

Una vez definida la ruta a seguir por parte de la pieza en el proceso de manufactura, se procede a calcular el valor de las variables descriptivas según sea el proceso de manufactura, se procede a generar una hoja de datos que contenga la información específica para la fabricación de la pieza. (Alting, 1996)

Como inicio se tiene el cálculo de los parámetros de torneado para un material dado, por lo cual es necesario determinar las condiciones de corte para su manufactura, en la figura 3.21 se exhibe el proceso de torneado con sus parámetros funcionales para el cálculo de las variables.

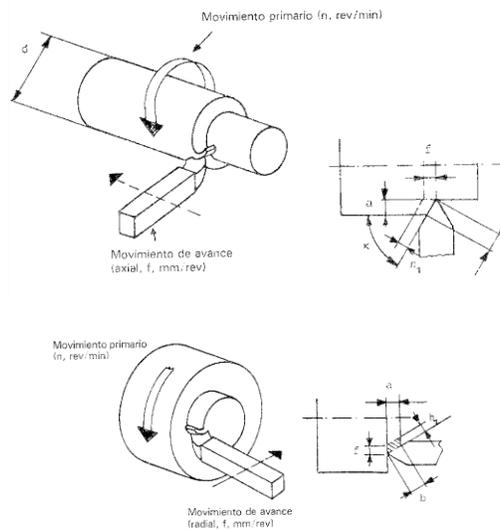


Figura 3.21 Esquema de corte para la determinación de las condiciones de corte en el torneado (Alting, 1996)

De acuerdo a las ecuaciones descriptivas del proceso se tienen las siguientes expresiones que describen formalmente el proceso (ver figura 3.22).

$$\begin{aligned}
 N &= \text{Velocidad de giro de la pieza de trabajo, rpm} \\
 f &= \text{Avance, mm/rev o pulg/rev} \\
 v &= \text{Velocidad de avance, o velocidad lineal de la herramienta a lo largo de la pieza de} \\
 &\quad \text{trabajo, mm/min o pulg/min} \\
 &= fN \\
 V &= \text{Velocidad superficial (tangencial) de la pieza de trabajo, m/min o pies/min} \\
 &= \pi D_o N \text{ (para velocidad máxima)} \\
 &= \pi D_{prom} N \text{ (para velocidad promedio)} \\
 l &= \text{Longitud de corte, mm o pulgadas} \\
 D_o &= \text{Diámetro original de la pieza de trabajo, mm o pulgadas} \\
 D_f &= \text{Diámetro final de la pieza de trabajo, mm o pulgadas} \\
 D_{prom} &= \text{Diámetro promedio de la pieza de trabajo, mm o pulgadas} \\
 &= (D_o + D_f)/2 \\
 d &= \text{Profundidad de corte, mm o pulgadas} \\
 &= (D_o - D_f)/2 \\
 t &= \text{Tiempo de corte, s o min} \\
 &= l/fN \\
 \text{MRR} &= \text{mm}^3/\text{min o pulg}^3/\text{min} \\
 &= \pi D_{prom} d f N \\
 \text{Torque} &= N \cdot m \text{ o libras} \cdot \text{pie} \\
 &= F_c D_{prom} / 2 \\
 \text{Potencia} &= \text{kW o hp} \\
 &= (\text{Torque})(\omega), \text{ en la que } \omega = 2\pi N \text{ rad/min}
 \end{aligned}$$

Figura 3.22 Parámetros y fórmulas de torneado (Kalpakjian, 2008)

Basado en los parámetros y fórmulas de torneado es que se han determinado las condiciones de corte para las piezas que requieran trabajo de torneado, cabe hacer mención que para los cálculos se ha hecho uso de tablas predeterminadas para el proceso, a continuación se presentan las tablas predefinidas (ver figura 3.23) (Toledo Matus, 1989)

Recomendaciones generales para operaciones de torneado							
Material de la pieza de trabajo	Herramienta de corte	Condiciones iniciales de propósito general			Intervalo para rectificado y acabado		
		Profundidad de corte, mm (pulg)	Avance, mm/rev (pulgadas/rev)	Velocidad de corte, m/min (pies/min)	Profundidad de corte, mm (pulg)	Avance, mm/rev (pulgadas/rev)	Velocidad de corte, m/min (pies/min)
Aceros de bajo carbono y de libre maquinado	Carburo sin recubrimiento	1.5-6.3 (0.06-0.25)	0.35 (0.014)	90 (300)	0.5-7.6 (0.02-0.30)	0.15-1.1 (0.006-0.045)	60-135 (200-450)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	"	"	245-275 (800-900)	"	"	120-425 (400-1400)
	Carburo con triple recubrimiento	"	"	185-200 (600-650)	"	"	90-245 (300-800)
	Carburo con recubrimiento de TiN	"	"	105-150 (350-500)	"	"	60-230 (200-750)
	Cerámico de Al ₂ O ₃	"	0.25 (0.010)	395-440 (1300-1450)	"	"	365-550 (1200-1800)
	Cermet	"	0.30 (0.012)	215-290 (700-950)	"	"	105-455 (350-1500)
Aceros de medio y alto carbono	Carburo sin recubrimiento	1.2-4.0 (0.05-0.20)	0.30 (0.012)	75 (250)	2.5-7.6 (0.10-0.30)	0.15-0.75 (0.006-0.03)	45-120 (150-400)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	"	"	185-230 (600-750)	"	"	120-410 (400-1350)
	Carburo con triple recubrimiento	"	"	120-150 (400-500)	"	"	75-215 (250-700)
	Carburo con recubrimiento de TiN	"	"	90-200 (300-650)	"	"	45-215 (150-700)
	Cerámico de Al ₂ O ₃	"	0.25 (0.010)	335 (1100)	"	"	245-455 (800-1500)
	Cermet	"	0.25 (0.010)	170-245 (550-800)	"	"	105-305 (350-1000)
Fundición de hierro gris	Carburo sin recubrimiento	1.25-6.3 (0.05-0.25)	0.32 (0.013)	90 (300)	0.4-12.7 (0.015-0.5)	0.1-0.75 (0.004-0.03)	75-185 (250-600)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	"	"	200 (650)	"	"	120-365 (400-1200)
	Carburo con recubrimiento de TiN	"	"	90-135 (300-450)	"	"	60-215 (200-700)
	Cerámico de Al ₂ O ₃	"	0.25 (0.010)	455-490 (1500-1600)	"	"	365-855 (1200-2800)
	Cerámico de SiN	"	0.32 (0.013)	730 (2400)	"	"	200-990 (650-3250)

Figura 3.23 Avances sugeridos para operación en torno (Kalpakjian, 2008)

A continuación se presentan los datos del fresado de componentes mecánicos teniendo un esquema de corte como se muestra en la figura 3.24.

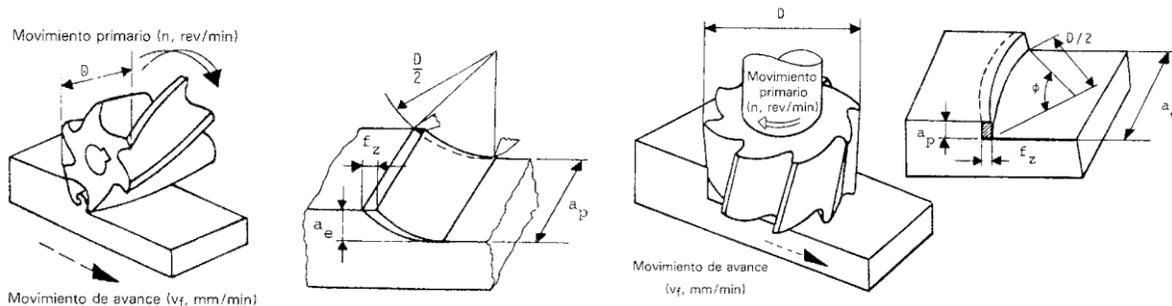


Figura 3.24 Esquema de corte en la operación de fresado (Alting, 1996)

Ahora se presentan las formulas descriptivas del proceso en la figura 3.25

- N = Velocidad rotacional del cortador de fresado, rpm
 f = Avance, mm/diente o pulgadas/diente
 D = Diámetro del cortador, mm o pulgadas
 n = Número de dientes del cortador
 v = Velocidad lineal de la pieza de trabajo o velocidad de avance, mm/min o pulgadas/min
 V = Velocidad superficial del cortador, m/min. o pies/min.
 $= DN$
 f = Avance por diente, mm/diente o pulgadas/diente
 $= v/Nn$
 l = Longitud de corte, mm o pulgadas
 t = tiempo de corte, s o min
 $= (l + l_c)/v$, en la que l_c = medida del primer contacto del cortador con la pieza de trabajo
 MRR = mm^3/min . o pulg^3/min .
 $= wdv$, en la que w es el ancho del corte
 Torque = $N \cdot m$ o $\text{lb} \cdot \text{pie}$
 $= F_c D/2$
 Potencia = kW o hp
 $= (\text{Torque})(\omega)$, en la que $\omega = 2\pi N$ radianes/min

Figura 3.25 Parámetros y formulas de fresado (Kalpakjian, 2008)

Y las condiciones de avance sugeridas se ilustran en la figura 3.26

Recomendaciones generales para operaciones de fresado					
Material	Herramienta de corte	Condiciones iniciales de propósito general		Variedad de condiciones	
		Avance mm/diente (pulgadas/diente)	Velocidad m/min (pies/min)	Avance mm/diente (pulgadas/diente)	Velocidad m/min (pies/min)
Aceros de bajo carbono y de maquinado libre	Carburo sin recubrimiento, carburo recubierto, cermets	0.13–0.20 (0.005–0.008)	120–180 (400–600)	0.085–0.38 (0.003–0.015)	90–425 (300–1400)
Aceros aleados					
Blandos	Cermets sin recubrimiento, recubiertos	0.10–0.18 (0.004–0.007)	90–170 (300–550)	0.08–0.30 (0.003–0.012)	60–370 (200–1200)
Duros	Cermets, PcBN	0.10–0.15 (0.004–0.006)	180–210 (600–700)	0.08–0.25 (0.003–0.010)	75–460 (250–1500)
Hierro fundido, gris					
Blando	Cermets sin recubrimiento, recubiertos, SiN	0.10–0.20 (0.004–0.008)	120–760 (400–2500)	0.08–0.38 (0.003–0.015)	90–1370 (300–4500)
Duro	Cermets, SiN, PcBN	0.10–0.20 (0.004–0.008)	120–210 (400–700)	0.08–0.38 (0.003–0.015)	90–460 (300–1500)
Acero inoxidable, Austenítico	Cermets sin recubrimiento, recubiertos	0.13–0.18 (0.005–0.007)	120–370 (400–1200)	0.08–0.38 (0.003–0.015)	90–500 (300–1800)
Aleaciones de alta temperatura	Cermets sin recubrimiento, recubiertos, SiN, PcBN	0.10–0.18 (0.004–0.007)	30–370 (100–1200)	0.08–0.38 (0.003–0.015)	30–550 (90–1800)
Aleaciones de titanio	Cermets sin recubrimiento, recubiertos	0.13–0.15 (0.005–0.006)	50–60 (175–200)	0.08–0.38 (0.003–0.015)	40–140 (125–450)
Aleaciones de aluminio					
Maquinado libre	PCD sin recubrimiento, recubiertos	0.13–0.23 (0.005–0.009)	610–900 (2000–3000)	0.08–0.46 (0.003–0.018)	300–3000 (1000–10,000)
Alto silicio	PCD	0.13 (0.005)	610 (2000)	0.08–0.38 (0.003–0.015)	370–910 (1200–3000)
Aleaciones de cobre	PCD sin recubrimiento, recubiertos	0.13–0.23 (0.005–0.009)	300–760 (1000–2500)	0.08–0.46 (0.003–0.018)	90–1070 (300–3500)
Plásticos	PCD sin recubrimiento, recubiertos	0.13–0.23 (0.005–0.009)	270–460 (900–1500)	0.08–0.46 (0.003–0.018)	90–1370 (300–4500)

Figura 3.26 Avances sugeridos para operación de fresado (Kalpakjian, 2008)

Ahora se presenta el esquema de corte del proceso de taladrado (ver figura 3.27).

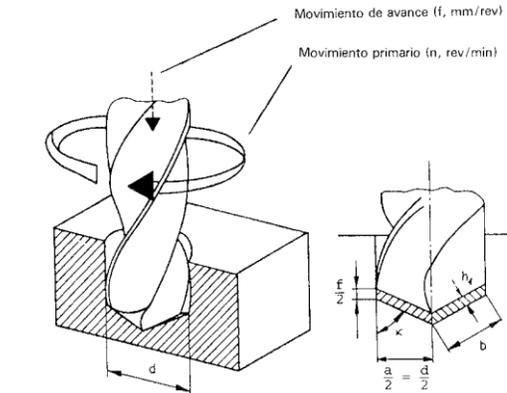


Figura 3.27 Esquema de corte en la operación de taladrado (Alting, 1996)

A continuación en la figura 3.28 se presenta la tabla de avances sugeridos

Recomendaciones generales de velocidades y avances en taladrado						
Material de la pieza de trabajo	Velocidad superficial		Diámetro de la broca			
	m/min	pies/min	Avance, mm/rev (pulgadas/rev)		rpm	
			1.5 mm (0.060 pulgada)	12.5 mm (0.5 pulgada)	1.5 mm	12.5 mm
Aleaciones de aluminio	30-120	100-400	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	6400-25,000	800-3000
Aleaciones de magnesio	45-120	150-400	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	9600-25,000	1100-3000
Aleaciones de cobre	15-60	50-200	0.025 (0.001)	0.25 (0.010)	3200-12,000	400-1500
Aceros	20-30	60-100	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	4300-6400	500-800
Aceros inoxidables	10-20	40-60	0.025 (0.001)	0.18 (0.007)	2100-4300	250-500
Aleaciones de titanio	6-20	20-60	0.010 (0.0004)	0.15 (0.006)	1300-4300	150-500
Hierros fundidos	20-60	60-200	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	4300-12,000	500-1500
Termoplásticos	30-60	100-200	0.025 (0.001)	0.13 (0.005)	6400-12,000	800-1500
Termofijos	20-60	60-200	0.025 (0.001)	0.10 (0.004)	4300-12,000	500-1500

Figura 3.28 Avances sugeridos para operación de taladrado (Kalpakjian, 2008)

Es preciso mencionar que para realizar el cálculo de las potencias de cada proceso es necesario auxiliarse de una tabla de energía específica por material de trabajo, la cual se muestra en la figura 3.29

Material	Energía específica	
	W · s/mm ³	hp · min/pulg ³
Aleaciones de aluminio	0.4-1	0.15-0.4
Hierros fundidos	1.1-5.4	0.4-2
Aleaciones de cobre	1.4-3.2	0.5-1.2
Aleaciones de alta temperatura	3.2-8	1.2-3
Aleaciones de magnesio	0.3-0.6	0.1-0.2
Aleaciones de níquel	4.8-6.7	1.8-2.5
Aleaciones refractarias	3-9	1.1-3.5
Aceros oxidables	2-5	0.8-1.9
Aceros	2-9	0.7-3.4
Aleaciones de titanio	2-5	0.7-2

Figura 3.29 Energía consumida por diversos materiales (Kalpakjian, 2008)

Finalmente para el despliegue de las instrucciones específicas de manufactura para cada componente se procede a realizar los cálculos pertinentes, quedando de la siguiente manera para la pieza poste guía la cual cuenta con un proceso de torneado, fresado de las caras cilíndricas, para fines de alineación en el torno, y el proceso de taladrado en una de las caras planas para posteriormente ser roscado mediante un machuelo de 1/4" 20NC, por lo que se tiene lo siguiente para los datos del poste guía y las condiciones de material y herramienta (ver tabla 3.6):

Tabla 3.6 Condiciones de fresado para "Poste Guía" **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA	POSTE GUIA
---------------------------	------------

MATERIAL DE TRABAJO	
ESPECIFICACION	AISI 1020
DUREZA	111 HB
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa
ELONGACION	25%
REDUCCION DE ÁREA	50%
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa
MAQUINABILIDAD	72%

SECUENCIA DE OPERACIONES
ASERRADO
FRESADO
TORNEADO
TALADRADO
MACHUELEADO
ACABADO POR ABRASION
PINTURA

FRESADO DE COMPONENTES

HERRAMIENTA DE TRABAJO Y TIPO DE OPERACIÓN
CORTADOR VERTICAL DE 3/4" C/RECUB
OPERACIÓN DE PLANEADO DE CARA

DE LA HERRAMIENTA		
DIAMETRO DE CORTE	19.05	mm
NUMERO DE DIENTES	4	Gav.

DIMENSIONES DE FRESADO		
LONGITUD DE MAQUINADO	19.05	mm
TOTAL DE PROFUNDIDAD	1.5	mm
PASOS DE DESBASTE	1	
PASOS DE DESBASTE	1	
PROFUNDIDAD DE CORTE DESBASTE	1	mm
PROFUNDIDAD DE CORTE ACABADO	0.5	mm

SUMARIO		
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO	0.42	min
VOLUMEN DESPRENDIDO	1.63	mm ³
VOLUMEN TEORICO	0.54	mm ³
DESVIACION	1.09	mm ³

MAQUINADO PARA DESBASTE		
VELOCIDAD DEL HUSILLO DESBASTE	400	RPM
VELOCIDAD DE CORTE DESBASTE	23.94	m/min
AVANCE POR DIENTE DESBASTE	0.2	mm/diente
VOLUMEN DE ARRANQUE DESBASTE	6.10	cm ³ /min
VELOCIDAD DE AVANCE DESBASTE	320	mm/min
TIEMPO DE MAQUINADO DESBASTE	0.179	min
POTENCIA DESBASTE	0.763	HP
TORQUE DESBASTE	13.62	Nm

MAQUINADO PARA ACABADO		
VELOCIDAD DEL HUSILLO ACABADO	750	RPM
VELOCIDAD DE CORTE ACABADO	44.89	m/min
AVANCE POR DIENTE ACABADO	0.08	mm/diente
VOLUMEN DE ARRANQUE ACABADO	2.29	cm ³ /min
VELOCIDAD DE AVANCE ACABADO	240	mm/min
TIEMPO DE MAQUINADO ACABADO	0.238	min
POTENCIA ACABADO	0.286	HP
TORQUE DESBASTE	2.72	Nm

Seguindo la secuencia de operaciones se calcula el proceso de torneado (ver tabla 3.7)

Tabla 3.7 Condiciones de torneado para “Poste Guía” **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		POSTE GUIA
MATERIAL DE TRABAJO		
ESPECIFICACION	AISI 1020	
DUREZA	111 HB	
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa	
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa	
ELONGACION	25%	
REDUCCION DE ÁREA	50%	
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa	
MAQUINABILIDAD	72%	

SECUENCIA DE OPERACIONES	
ASERRADO	
FRESADO	
TORNEADO	
TALADRADO	
MACHUELEADO	
ACABADO POR ABRASION	
PINTURA	

TORNEADO DE COMPONENTES

HERRAMIENTA DE TRABAJO Y TIPO DE OPERACIÓN	
BURIL DE 3/8" HSS	
CILINDRADO	

DIMENSIONES PIEZA	
LONGITUD DE CILINDRADO	110 mm
DIAMETRO ORIGINAL	19.05 mm
DIAMETRO FINAL	13 mm

MAQUINADO PARA DESBASTE	
PASOS DE DESBASTE	2
AVANCE f(mm/rev)	0.35 mm/rev
VELOCIDAD DEL HUSILLO	450 RPM
PROFUNDIDAD DE CORTE DESBASTE	1.5 mm
VELOCIDAD DE CORTE V (m/min)	26.93 m/min
ÁREA DE CORTE O SECC. DE VIRUTA	0.525 mm ²
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	14.14 cm ³ /min
TIEMPO DE MAQUINADO X PASO DESB	0.70 min
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO DESB	1.40 min
POTENCIA	1.58 HP
TORQUE	24.35 Nm
FUERZA DE CORTE	2660.71 N

SUMARIO	
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO	2.44 min
VOLUMEN DESPRENDIDO	19.76 mm ³
VOLUMEN TEORICO	16.75 mm ³
DESVIACION	3.01 mm ³

MAQUINADO PARA ACABADO	
PASOS DE ACABADO	1
AVANCE DE ACABADO	0.15 mm/rev
VELOCIDAD DEL HUSILLO DE ACABADO	700 RPM
PROFUNDIDAD DE CORTE ACABADO	0.025 mm
VELOCIDAD DE CORTE V (m/min)	28.64 m/min
ÁREA DE CORTE O SECC. DE VIRUTA	0.00375 mm ²
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	0.01 cm ³ /min
TIEMPO DE MAQUINADO X PASO ACAB	1.05 min
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO ACAB	1.05 min
POTENCIA	0.001 HP
TORQUE	0.02 Nm
FUERZA DE CORTE	2.44 N

HERRAMIENTA DE TRABAJO Y TIPO DE OPERACIÓN	
BURIL DE 3/8" HSS	
REFRENTADO	

DIMENSIONES PIEZA	
DIAMETRO DE REFRENTADO	19.05 mm
PROFUNDIDAD DE SUP DE REFRENTADO	1.2 mm
DIAMETRO FINAL	13 mm

MAQUINADO PARA DESBASTE	
PASOS DE DESBASTE	1
AVANCE	0.35 mm/rev
VELOCIDAD DEL HUSILLO	450 RPM
PROFUNDIDAD DE CORTE DESBASTE	1 mm
VELOCIDAD DE CORTE V (m/min)	26.93 m/min
ÁREA DE CORTE O SECC. DE VIRUTA	0.35 mm ²
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	9.43 cm ³ /min
TIEMPO DE MAQUINADO X PASO DESB	0.06 min
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO DESB	0.06 min
POTENCIA	1.05 HP
TORQUE	16.23 Nm
FUERZA DE CORTE	1759.38 N

SUMARIO	
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO	0.06 min
VOLUMEN DESPRENDIDO	0.57 mm ³
VOLUMEN TEORICO	0.34 mm ³
DESVIACION	0.23 mm ³

MAQUINADO PARA ACABADO	
PASOS DE ACABADO	1
AVANCE DE ACABADO	0.15 mm/rev
VELOCIDAD DEL HUSILLO DE ACABADO	700 RPM
PROFUNDIDAD DE CORTE ACABADO	0.2 mm
VELOCIDAD DE CORTE V (m/min)	41.89 m/min
ÁREA DE CORTE O SECC. DE VIRUTA	0.03 mm ²
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	1.26 cm ³ /min
TIEMPO DE MAQUINADO X PASO ACAB	0.002 min
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO ACAB	0.002 min
POTENCIA	0.140 HP
TORQUE	2.16 Nm
FUERZA DE CORTE	454.4 N

Para la operación de taladrado (ver tabla 3.8)

Tabla 3.8 Condiciones de taladrado para “Poste Guía” **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		POSTE GUIA	
MATERIAL DE TRABAJO		SECUENCIA DE OPERACIONES	
ESPECIFICACION	AISI 1020	ASERRADO	
DUREZA	111 HB	FRESADO	
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa	TORNEADO	
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa	TALADRADO	
ELONGACION	25%	MACHUELEADO	
REDUCCION DE ÁREA	50%	ACABADO POR ABRASION	
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa	PINTURA	
MAQUINABILIDAD	72%		
TALADRADO DE COMPONENTES			
PARAMETROS DE CORTE			
DIAMETRO DE BROCA	5.159	mm	
VELOCIDAD DE AVANCE	0.27	mm/rev	
VELOCIDAD DEL HUSILLO	350	RPM	
ESPESOR DE TRABAJO	20	mm	
ALTURA DE LA PUNTA DE BROCA	0.83	mm	
TIEMPO DE MAQUINADO	0.220	min	
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	32.92	mm ³ /seg	
POTENCIA	0.221	HP	
TORQUE	4.49	Nm	

Es necesario mencionar que la operación de aserrado se realizó con un excedente de 1.5mm con la finalidad de aproximar la geometría final y posteriormente fresar, tornear, y taladrar, la operación de machueleado consumió un tiempo real de 55 segundos por efectos del retroceso del machuelo para alivio del ángulo de corte

El acabado por abrasión se refiere al proceso posterior al ensamblado, así como también el proceso de pintura, el cual fue llevado a cabo en conjunto con las piezas ensambladas.

Con respecto a la pieza RIEL DESLIZANTE se tiene lo siguiente para su proceso de manufactura respecto al careado de los lados para efectos de alineación ver tabla 3.9.

Tabla 3.9 Condiciones de fresado para “Riel Deslizante” Fuente: Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		RIEL DESLIZANTE	
MATERIAL DE TRABAJO			
ESPECIFICACION	AISI 1020		
DUREZA	111 HB		
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa		
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa		
ELONGACION	25%		
REDUCCION DE ÁREA	50%		
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa		
MAQUINABILIDAD	72%		
SECUENCIA DE OPERACIONES			
ASERRADO			
FRESADO			
ACABADO POR ABRASION			
PINTURA			

FRESADO DE COMPONENTES			
HERRAMIENTA DE TRABAJO Y TIPO DE OPERACIÓN			
CORTADOR VERTICAL DE 3/4" C/RECUB			
OPERACIÓN DE PLANEADO DE CARA			
DE LA HERRAMIENTA			
DIAMETRO DE CORTE	19.05	mm	
NUMERO DE DIENTES	4	Gav.	
DIMENSIONES DE FRESADO			
LONGITUD DE MAQUINADO	19.05	mm	
TOTAL DE PROFUNDIDAD	1.5	mm	
PASOS DE DESBASTE	1		
PASOS DE DESBASTE	1		
PROFUNDIDAD DE CORTE DESBASTE	1	mm	
PROFUNDIDAD DE CORTE ACABADO	0.5	mm	
SUMARIO			
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO	0.42	min	
VOLUMEN DESPRENDIDO	1.63	mm ³	
VOLUMEN TEORICO	0.54	mm ³	
DESVIACION	1.09	mm ³	
MAQUINADO PARA DESBASTE			
VELOCIDAD DEL HUSILLO DESBASTE	400	RPM	
VELOCIDAD DE CORTE DESBASTE	23.94	m/min	
AVANCE POR DIENTE DESBASTE	0.2	mm/diente	
VOLUMEN DE ARRANQUE DESBASTE	6.10	cm ³ /min	
VELOCIDAD DE AVANCE DESBASTE	320	mm/min	
TIEMPO DE MAQUINADO DESBASTE	0.179	min	
POTENCIA DESBASTE	0.763	HP	
TORQUE DESBASTE	13.62	Nm	
MAQUINADO PARA ACABADO			
VELOCIDAD DEL HUSILLO ACABADO	750	RPM	
VELOCIDAD DE CORTE ACABADO	44.89	m/min	
AVANCE POR DIENTE ACABADO	0.08	mm/diente	
VOLUMEN DE ARRANQUE ACABADO	2.29	cm ³ /min	
VELOCIDAD DE AVANCE ACABADO	240	mm/min	
TIEMPO DE MAQUINADO ACABADO	0.238	min	
POTENCIA ACABADO	0.286	HP	
TORQUE DESBASTE	2.72	Nm	

Ahora se muestran los datos del proceso de fresado para el ranurado del alojamiento de los demás componentes ver tabla 3.10.

Tabla 3.10 Ranurado de “Riel Deslizante” **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA	RIEL DESLIZANTE
---------------------------	-----------------

MATERIAL DE TRABAJO	
ESPECIFICACION	AISI 1020
DUREZA	111 HB
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa
ELONGACION	25%
REDUCCION DE ÁREA	50%
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa
MAQUINABILIDAD	72%

SECUENCIA DE OPERACIONES
ASERRADO
FRESADO
ACABADO POR ABRASION
PINTURA

FRESADO DE COMPONENTES

HERRAMIENTA DE TRABAJO Y TIPO DE OPERACIÓN	
CORTADOR VERTICAL DE 1/4" C/RECUB	
OPERACIÓN DE PLANEADO DE CARA	

DE LA HERRAMIENTA		
DIAMETRO DE CORTE	6.35	mm
NUMERO DE DIENTES	4	Gav.

DIMENSIONES DE FRESADO		
LONGITUD DE MAQUINADO	250	mm
TOTAL DE PROFUNDIDAD	10	mm
PASOS DE DESBASTE	3	
PASOS DE ACABADO	1	
PROFUNDIDAD DE CORTE DESBASTE	3	mm
PROFUNDIDAD DE CORTE ACABADO	1	mm

SUMARIO		
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO	4.38	min
VOLUMEN DESPRENDIDO	16.68	mm ³
VOLUMEN TEORICO	15.88	mm ³
DESVIACION	0.81	mm ³

MAQUINADO PARA DESBASTE		
VELOCIDAD DEL HUSILLO DESBASTE	400	RPM
VELOCIDAD DE CORTE DESBASTE	7.98	m/min
AVANCE POR DIENTE DESBASTE	0.15	mm/diente
VOLUMEN DE ARRANQUE DESBASTE	4.57	cm ³ /min
VELOCIDAD DE AVANCE DESBASTE	240	mm/min
TIEMPO DE MAQUINADO DESBASTE	1.095	min
POTENCIA DESBASTE	0.572	HP
TORQUE DESBASTE	10.21	Nm

MAQUINADO PARA ACABADO		
VELOCIDAD DEL HUSILLO ACABADO	750	RPM
VELOCIDAD DE CORTE ACABADO	14.96	m/min
AVANCE POR DIENTE ACABADO	0.08	mm/diente
VOLUMEN DE ARRANQUE ACABADO	1.52	cm ³ /min
VELOCIDAD DE AVANCE ACABADO	240	mm/min
TIEMPO DE MAQUINADO ACABADO	1.095	min
POTENCIA ACABADO	0.191	HP
TORQUE ACABADO	1.82	Nm

La operación de aserrado se realizó con un excedente de 1.5mm con la finalidad de aproximar la geometría final y posteriormente fresar.

Para el caso específico de la placa abrasiva se han omitido los datos del perfilado del borde de la misma aun cuando se ha realizado físicamente, esto por cuestión de que el tiempo consumido, y las condiciones de corte son despreciables respecto a la totalidad de operaciones realizadas. Sin embargo puesto que se trata de una operación avanzada como es el electroerosionado, los cálculos se enfocan a la operación de fresado lineal del grafito para electroerosión, sin embargo dado que se trata de una geometría compleja es necesario utilizar la tecnología CNC para su implementación, por lo que en la tabla 3.11 se definen los parámetros de corte para el maquinado del grafito para electroerosión, dicho bloque de grafito tiene una dimensión de 83 x 83 mm.

Tabla 3.11 Calculo de las condiciones de corte para el grafito de electroerosión. **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA ELECTRODO DE GRAFITO	
MATERIAL DE TRABAJO GRAFITO PARA EDM	
SECUENCIA DE OPERACIONES FRESADO CNC	
FRESADO DE COMPONENTES	
HERRAMIENTA DE TRABAJO Y TIPO DE OPERACIÓN	
CORTADOR VERTICAL PLANO DE 1/32" HSS RANURADO EN GEOMETRIA COMPLEJA	
DE LA HERRAMIENTA	
DIAMETRO DE CORTE	0.7938 mm
NUMERO DE DIENTES	4 Gav.
DIMENSIONES DE FRESADO	
LONGITUD DE MAQUINADO	10 mm
TOTAL DE PROFUNDIDAD	1 mm
PASOS DE DESBASTE	3
PASOS DE ACABADO	1
PROFUNDIDAD DE CORTE DESBASTE	0.3 mm
PROFUNDIDAD DE CORTE ACABADO	0.1 mm
SUMARIO	
TIEMPO TOTAL DE MAQUINADO	0.27 min
VOLUMEN DESPRENDIDO	0.01 mm ³
VOLUMEN TEORICO	0.01 mm ³
DESVIACION	0.00 mm ³
MAQUINADO PARA DESBASTE	
VELOCIDAD DEL HUSILLO DESBASTE	2500 RPM
VELOCIDAD DE CORTE DESBASTE	6.23 m/min
AVANCE POR DIENTE DESBASTE	0.02 mm/diente
VOLUMEN DE ARRANQUE DESBASTE	0.05 cm ³ /min
VELOCIDAD DE AVANCE DESBASTE	200 mm/min
TIEMPO DE MAQUINADO DESBASTE	0.058 min
POTENCIA DESBASTE	0.006 HP
TORQUE DESBASTE	0.02 Nm
MAQUINADO PARA ACABADO	
VELOCIDAD DEL HUSILLO ACABADO	3000 RPM
VELOCIDAD DE CORTE ACABADO	7.48 m/min
AVANCE POR DIENTE ACABADO	0.01 mm/diente
VOLUMEN DE ARRANQUE ACABADO	0.01 cm ³ /min
VELOCIDAD DE AVANCE ACABADO	120 mm/min
TIEMPO DE MAQUINADO ACABADO	0.097 min
POTENCIA ACABADO	0.001 HP
TORQUE ACABADO	0.00 Nm

El cálculo fue definido para una longitud arbitraria de 10 mm sin embargo bajo las condiciones de maquinado del grafito y las de la herramienta se definen los demás parámetros, en donde el más importante es la velocidad de avance, pues al introducirla al software CAD / CAM planea las rutas y recorridos en función de la geometría de la herramienta y la geometría a maquinar, por ello se hace uso de la herramienta CAD/CAM Solid Works® para realizar el diseño de geometría del molde a maquinar en grafito para EDM mediante CAD y atribuirle propiedades CAM mediante los módulos adjuntos al mismo (ver figura 3.30).

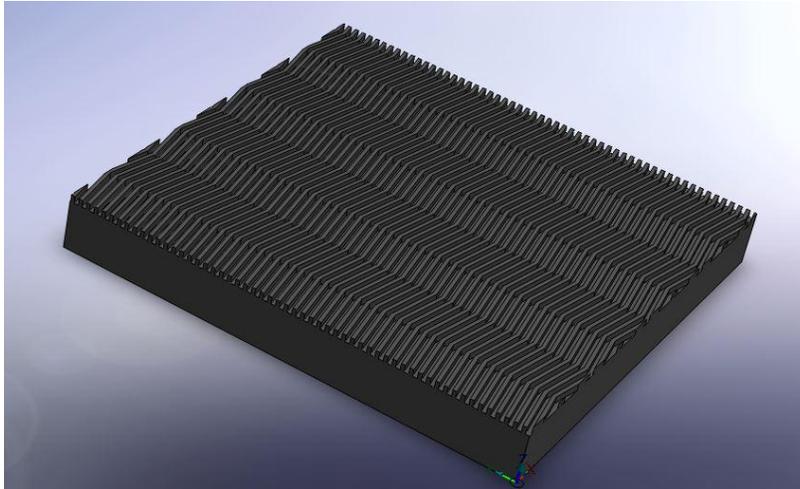


Figura 3.30 Modelado de la geometría del molde de grafito para EDM **Fuente:** Propia

Para el modelo realizado en el software se procede a cargar sus propiedades físicas (figura 3.31)

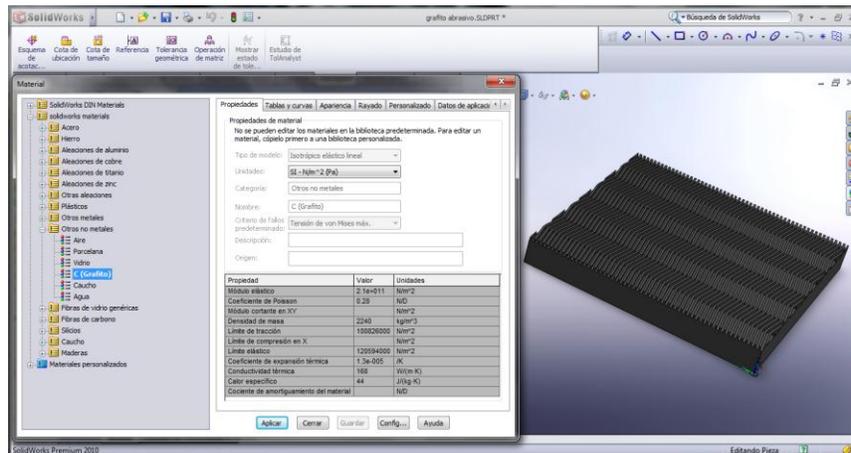


Figura 3.31 Carga de los datos de propiedades físicas en el software **Fuente:** Propia

En esta parte es necesario exportar el archivo generado a otro software CAD/CAM como lo es VisiCAD®, en donde se tiene la siguiente interfaz para el modulo de maquinado de piezas (CAM) ver figura 3.32:

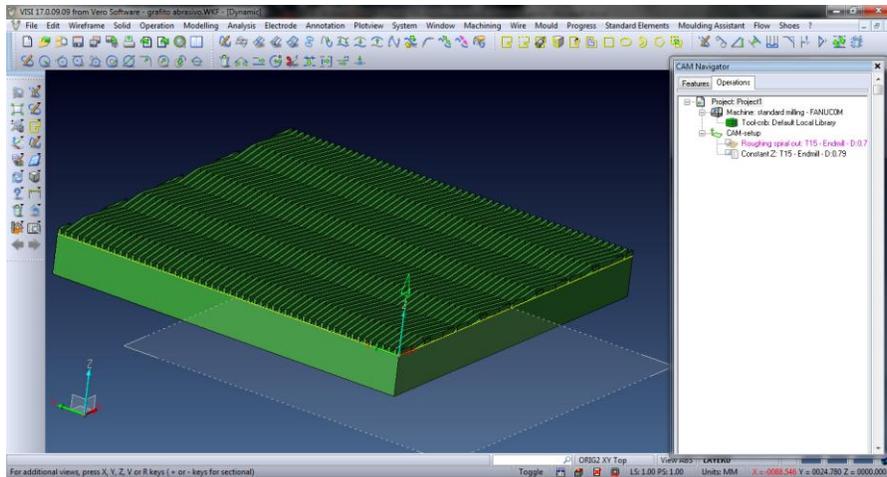


Figura 3.32 Interfaz de asistencia en la manufactura **Fuente:** Propia

El siguiente paso es realizar la simulación de los recorridos teóricos de la herramienta declarada al software (véase figura 3.33 y 3.34)

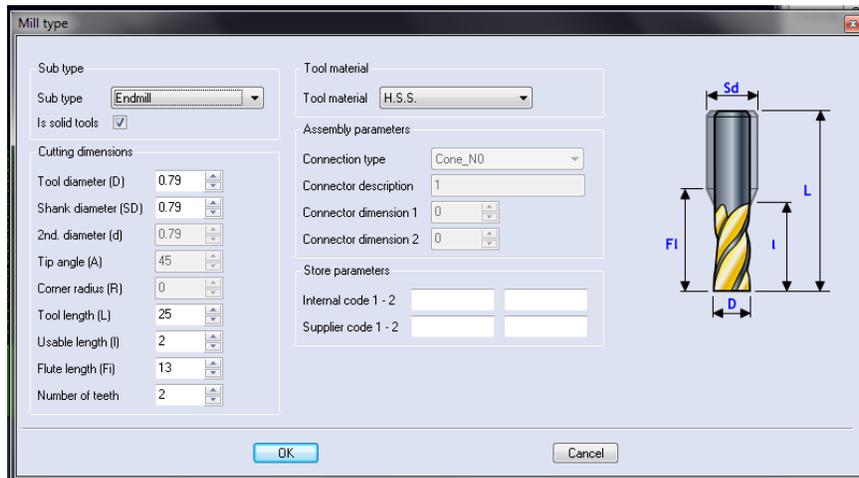


Figura 3.33 Interfaz para la determinación de la herramienta a utilizar **Fuente:** Propia

Posteriormente se determinan las condiciones de corte y parámetros de trabajo durante el maquinado, para ello es necesario cargar los datos que requiere el software:

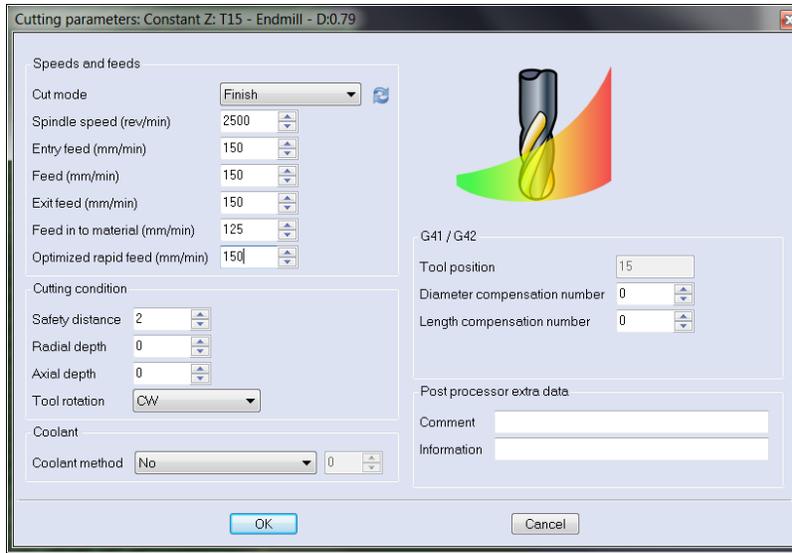


Figura 3.34 Determinación de las condiciones de corte **Fuente:** Propia

Se toma el parámetro promedio de la velocidad de corte calculado en la tabla 3.11 (figura 3.34). Finalmente se generan las trayectorias de la herramienta en base a lo que se ha declarado en los campos que el software requiere para calcular las trayectorias según la geometría y las velocidades de corte y avances según los datos de la herramienta, refrigerante, y tipo de material a maquinarse.

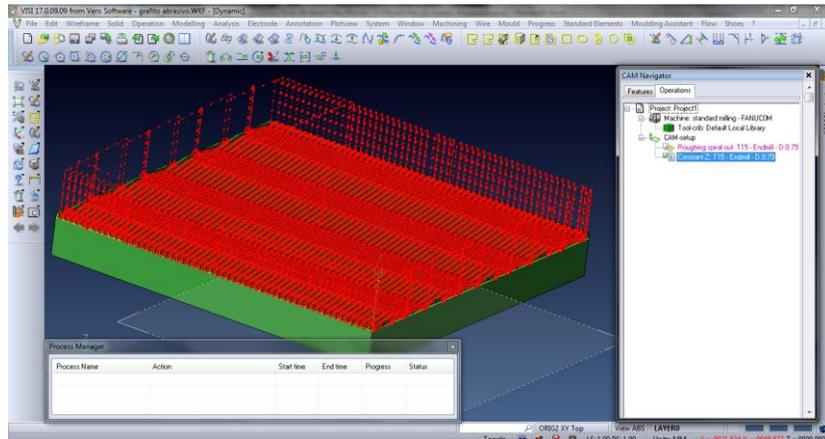


Figura 3.35 Generación de trayectorias durante el maquinado **Fuente:** Propia

Ahora se procede a simular el recorrido de las herramientas declaradas para el maquinado de la pieza, para lo cual se hace uso del módulo integrado al software. Para este caso fue utilizada una herramienta de un diámetro de 1/32" como ya se mencionó anteriormente, motivo por el cual en la siguiente figura se muestra la geometría de la misma (figura 3.35 y 3.36).

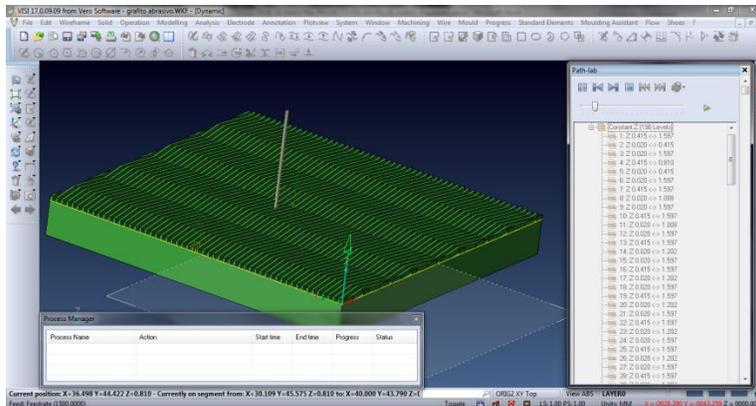


Figura 3.36 Simulación del recorrido de la herramienta **Fuente:** Propia

En esta parte se genera el código CNC para el maquinado y se emite la hoja de datos del programa en donde se estima el tiempo total de maquinado (figura 3.37).

Database Name	C:\Visi17\Workf\grafito abrasivo.WKF					
Project Engineer	ing.	Date	Wed Nov 07 12:34:55 2012			
Project Folder	C:\Visi17\Workf\					
Post Processor	FANUCDM.CFG					

Strategy	Tool No.	Tool	Assembly name	Internal Code	Presetting	Diameter (D x r)	Side Allowance	Bottom Allowance	Spindle Speed	Feed	Coolant	Min Z	Toolpath Length; (mm)	Time
Constant Z	15	Endmill	-	-	0	0.79x0	0	0	2500	150	No	0.02	29243.5715	03:14:57
													Total Time	03:14:57

Total Part Size (From ABS)			Total Toolpath Size (From ABS)		Tape File Locations (Manual Input)		
Min	Max		Min	Max			
X	0	83	X	-0.5233	83.4667		
Y	0	84	Y	-0.7775	84.7591		
Z	-8.8	1.2	Z	0.02	11.2		

Figura 3.37 Estimación del tiempo en maquinado CNC **Fuente:** Propia

En la figura 3.37 se ilustra que el tiempo estimado para el maquinado del electrodo de grafito es un poco mayor de 3hrs.

Con respecto al proceso de electroerosionado es preciso señalar que los parámetros de operación se representan mediante valores teóricos dependientes de la conexión y tipo de circuito de conexión interna de la máquina, para ello es necesario revisar las especificaciones técnicas de la máquina electroerosionadora, o realizar mediciones muy específicas sobre ciertos componentes de la máquina, por otra parte el sistema de filtrado se puede modelar matemáticamente para su reemplazo o sustitución sin embargo no es preciso abordar este tema en este proyecto dado que para realizar un estudio formal del sistema de filtrado es necesario formalizar la cantidad de partículas dispersas en el medio dieléctrico, finalmente este parámetro es función del tipo de electrodo, y el tipo de material a maquinar, lo cual representa una gran variabilidad de acuerdo al uso de la máquina bajo diferentes condiciones, entonces es preciso mencionar que la máquina con la que se cuenta es una electroerosionadora marca SURE FIRST modelo ED-203.

Basándonos en las recomendaciones de operación del fabricante, es posible estimar que la corriente requerida para el erosionado con un electrodo de grafito de un área de 83 x 83mm es de 6 a 12A, en consecuencia, basándose en las instrucciones de uso de la máquina se define que se ha de operar a una corriente de 13A con condiciones de acabado, lo cual implica una operación a 38V y 50 μ s de descarga con una relación de la posición 1 de acuerdo a la escala de la máquina la cual presupone una descarga que favorece el efecto de desgaste entre el electrodo y la pieza de trabajo en una condición de servicio cuidando la superficie de la pieza de trabajo (consultar el anexo A para referenciar la hoja de datos de la máquina).

Estos parámetros seleccionados, se estima produzcan una rugosidad superficial de 7.3 μ m sin embargo para poder corroborar dicho parámetro sería necesario medirlo mediante un rugosímetro, equipo con el que no se cuenta en el laboratorio.

De la geometría planeada se puede deducir el volumen negativo del electrodo en mm³ el cual finalmente es el volumen del material retirado de la pieza a maquinarse, por ello se calcula que existe un volumen de maquinado de 4498.74 mm³, y bajo las condiciones de operación seleccionadas en la máquina se tiene que existe una remoción de material de 83mm³/min, con lo que se puede calcular el tiempo teórico de maquinado, pues se pretende incluir tres tablillas abrasivas por ciclo de EDM lo cual presupone que el total de tablillas al ser de 20 unidades, se pueden manufacturar en 7 ciclos con 1 tablilla de repuesto, entonces el tiempo teórico de cada ciclo es de 54.2 minutos, lo que implica un tiempo total de producción de tablillas tan solo para el electroerosionado de 6 horas y 19.4 minutos.

Para los cálculos del taladrado de los barrenos ciegos a machuelearse en las tablillas abrasivas se muestra en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Calculo de parámetros de taladrado para la placa abrasiva **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		PLACA ABRASIVA
MATERIAL DE TRABAJO		
ESPECIFICACION	AISI 1020	
DUREZA	111 HB	
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa	
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa	
ELONGACION	25%	
REDUCCION DE ÁREA	50%	
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa	
MAQUINABILIDAD	72%	
SECUENCIA DE OPERACIONES		
ASERRADO		
FRESADO		
TALADRADO		
MACHUELEADO		
ELECTROEROSIONADO		
ACABADO POR ABRASION		
TALADRADO DE COMPONENTES		
PARAMETROS DE CORTE		
DIAMETRO DE BROCA	5.159	mm
VELOCIDAD DE AVANCE	0.27	mm/rev
VELOCIDAD DEL HUSILLO	350	RPM
ESPESOR DE TRABAJO	4	mm
ALTURA DE LA PUNTA DE BROCA	0.83	mm
TIEMPO DE MAQUINADO	0.051	min
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	32.92	mm ³ /seg
POTENCIA	0.221	HP
TORQUE	4.49	Nm

Para la placa superior de fijación se tiene el siguiente calculo (ver tabla 3.13)

Tabla 3.13 Calculo de parámetros de taladrado para la placa superior de fijación **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		PLACA SUPERIOR DE FIJACION	
MATERIAL DE TRABAJO			
ESPECIFICACION	AISI 1020		
DUREZA	111 HB		
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa		
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa		
ELONGACION	25%		
REDUCCION DE ÁREA	50%		
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa		
MAQUINABILIDAD	72%		
SECUENCIA DE OPERACIONES			
CORTE POR ABRASION			
TALADRADO			
ACABADO POR ABRASION			
PINTURA			
TALADRADO DE COMPONENTES			
PARAMETROS DE CORTE			
DIAMETRO DE BROCA	6.35	mm	
VELOCIDAD DE AVANCE	0.27	mm/rev	
VELOCIDAD DEL HUSILLO	350	RPM	
ESPESOR DE TRABAJO	6.35	mm	
ALTURA DE LA PUNTA DE BROCA	1.02	mm	
TIEMPO DE MAQUINADO	0.078	min	
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	49.88	mm ³ /seg	
POTENCIA	0.334	HP	
TORQUE	6.81	Nm	

Estos datos de maquinado se replican 4 veces por la disposición geométrica de la pieza.

Para la placa de arreglo de tablillas abrasivas se tiene el siguiente calculo (ver tabla 3.14)

Tabla 3.14 Calculo de parámetros de taladrado para la placa de arreglo de tablilla abrasiva **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		PLACA DE ARREGLO DE TABLILLA ABRASIVA	
MATERIAL DE TRABAJO			
ESPECIFICACION	AISI 1020		
DUREZA	111 HB		
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa		
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa		
ELONGACION	25%		
REDUCCION DE ÁREA	50%		
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa		
MAQUINABILIDAD	72%		
SECUENCIA DE OPERACIONES			
CORTE POR ABRASION			
FRESADO			
TALADRADO			
ACABADO POR ABRASION			
PINTURA			
TALADRADO DE COMPONENTES			
PARAMETROS DE CORTE			
DIAMETRO DE BROCA	6.35	mm	
VELOCIDAD DE AVANCE	0.27	mm/rev	
VELOCIDAD DEL HUSILLO	350	RPM	
ESPESOR DE TRABAJO	6.35	mm	
ALTURA DE LA PUNTA DE BROCA	1.02	mm	
TIEMPO DE MAQUINADO	0.078	min	
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	49.88	mm ³ /seg	
POTENCIA	0.334	HP	
TORQUE	6.81	Nm	

Nótese que las condiciones de corte para la placa de arreglo de tablillas y la placa superior son iguales, solo que las ultimas son replicadas 20 veces por cada pieza, lo que da un tiempo aproximado de 3.12 minutos tan solo para el proceso, sin tomar en cuenta el posicionamiento de la pieza entre ciclo y ciclo de montar y desmontar la misma.

Finalmente para la pieza de palanca de elevación se tiene el siguiente calculo (tabla 3.15)

Tabla 3.15 Calculo de parámetros de taladrado para la palanca de sujeción **Fuente:** Propia

NOMBRE DE LA PIEZA		PALANCA DE ELEVACION	
MATERIAL DE TRABAJO			
ESPECIFICACION	AISI 1020		
DUREZA	111 HB		
ESFUERZO DE FLUENCIA	205 Mpa		
ESFUERZO MAXIMO	380 Mpa		
ELONGACION	25%		
REDUCCION DE ÁREA	50%		
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa		
MAQUINABILIDAD	72%		

SECUENCIA DE OPERACIONES	
ASERRADO	
TALADRADO	
ACABADO POR ABRASION	
PINTURA	

TALADRADO DE COMPONENTES			
PARAMETROS DE CORTE			
DIAMETRO DE BROCA	6.35	mm	
VELOCIDAD DE AVANCE	0.27	mm/rev	
VELOCIDAD DEL HUSILLO	350	RPM	
ESPESOR DE TRABAJO	6.35	mm	
ALTURA DE LA PUNTA DE BROCA	1.02	mm	
TIEMPO DE MAQUINADO	0.078	min	
VOLUMEN DE ARRANQUE DE VIRUTA	49.88	mm ³ /seg	
POTENCIA	0.334	HP	
TORQUE	6.81	Nm	

Las operaciones de fresado en los últimos componentes por considerarse despreciables respecto al proceso global, además de que los tiempos de las operaciones de aserrado, acabado por abrasión y pintura son estimados en base a la experiencia del tesista.

Dado lo anterior y tras haber recopilado la información general, se concluye la siguiente tabla para efectos de concluir la planeación de la manufactura de los componentes del herramental mecánico para el desprendimiento de la cascara de habas secas (ver tabla 3.16)

Tabla 3.16 Concentrado global de los tiempos estimados de manufactura de un herramental mecánico para el descascarado de haba seca **Fuente:** Propia

CONCEPTO DE PROCESO	CANTIDAD DE OPERACIONES	TIEMPO DE EJECUCION [min]
CORTE POR ABRASION	3	6
CORTE POR ASERRADO	36	55
TORNEADO	8	20
FRESADO	108	21.06
TALADRADO	89	6.43
MACHUELEADO	44	40.3
DOBLADO	1	35
ELECTROEROSIONADO	20	574.4
ACABADO POR ABRASION	39	18
PINTURA	19	15
TOTAL	367	791.19

Se concluye que teóricamente el proceso efectivo de trabajo para la manufactura de un herramental mecánico para el desprendimiento de la cáscara del haba pelada es de 13 horas con 19 minutos y 11.4 segundos.

Capítulo 4

Manufactura del Sistema

Manufactura del herramental de pelado

Durante la manufactura del prototipo simplificado o herramental mecánico se habrá de clasificar cada componente según su geometría final y su proceso para obtenerlo. Por lo anterior y partiendo de la capacidad del Laboratorio de Tecnología Avanzada de Manufactura de la UTM, se define lo siguiente.

El laboratorio dispone de la siguiente maquinaria para realizar trabajos tanto programables mediante control numérico como de modo convencional y manual:

- Fresadora CNC de 3 ejes
- Torno CNC
- Sistema de corte de aceros laminados CNC por plasma (Cortes en 2D)
- Prensa mecánica de 100 Ton. De presión
- Inyectora de plástico
- Torno paralelo convencional de operación manual
- Minitorno paralelo convencional de operación manual
- Fresadora vertical universal
- Taladro fresador
- Máquina de termo-formado de plásticos laminados
- Máquina de soldadura de punto por resistencia
- Máquina de soldadura por arco eléctrico
- Máquina manual de corte por plasma

Entonces una vez definida la capacidad del sistema de manufactura en las instalaciones de la UTM, se procede a

Fresado de componentes

Al implementar el proceso de fabricación de los componentes, se pretende que las tablillas abrasivas al tener una geometría “NO” comercial es necesario fabricarlas, y esto será posible mediante el proceso de manufactura EDM, lo cual implica la fabricación de un molde de grafito que contenga el negativo de la geometría a imprimir en las piezas metálicas, (Toledo Matus, 1989)

Finalmente se procede a generar el código necesario para maquinar la pieza modelada, mediante el uso del post-procesador del software, con el cual mediante la declaración de nuestro origen en la pieza es con respecto a este sistema de coordenadas que se generan todas las posiciones de la herramienta para poder generar la geometría deseada en el material, dicho código es introducido a la máquina de control numérico, la cual carga las coordenadas del programa generado y posiciona la herramienta según sea el caso y sigue las instrucciones de acuerdo a las sentencias a lo largo de la rutina. La pieza es montada en la máquina teniendo especial cuidado con la alineación de la misma a la mesa, para lo cual se ha utilizado un indicador de caratula, el cual mide la desviación de acuerdo al recorrido de la mesa en los ejes X y Y, por el contrario para calibrar el eje Z se utiliza la herramienta misma para determinar la separación del cortador con la superficie de la pieza a maquinar (figura 4.1).



Figura 4.1 Lectura de código NC por parte de la máquina fresadora CNC **Fuente:** Propia

Al final del maquinado del grafito la pieza quedó como se ilustra a continuación (ver figura 4.2 y 4.3), y es comparada con la modelada en CAD:

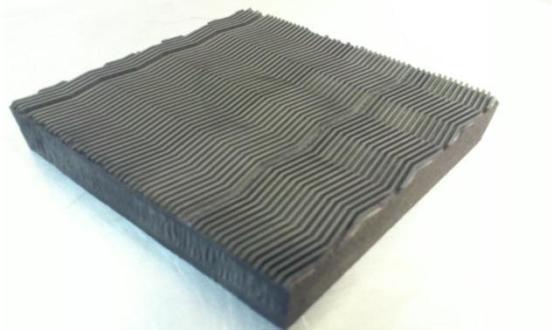


Figura 4.2 Pieza física maquinada en grafito para EDM mediante CNC **Fuente:** Propia

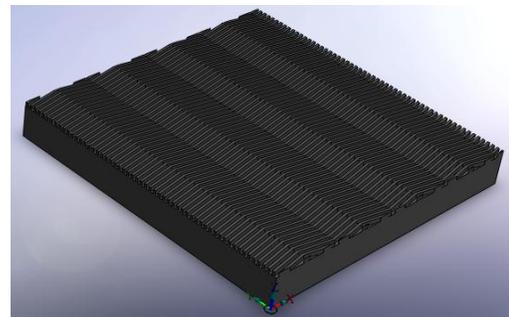


Figura 4.3 Pieza modelada en CAD para desarrollo CAM **Fuente:** Propia

Se puede observar que el desarrollo CAD y las asistencia CAM son implacables en los proceso de manufactura moderna, para lo cual se demuestra con la fabricación del molde en grafito para llevar a cabo el proceso EDM en el metal de las tablillas abrasivas que serán montadas en el prototipo simplificado del sistema de pelado de haba seca.

Fresado Convencional

En esta sección se hará referencia al fresado convencional de piezas, en donde se tiene que tomar como referencia los parámetros de corte calculados en la sección de desarrollo del sistema, por lo cual al ajustar la maquina a los parámetros deseados, se procede a maquinar sobre el material AISI 1020 en una barra de perfil cuadrado de 3/4", con un cortador de carburo de 1/4" de diámetro con recubrimiento especial "X-MAX" denominado así por el fabricante de la herramienta TraversTool®. La pieza es cuidadosamente colocada en la prensa mecánica, la cual mediante el movimiento de la mesa de sujeción y un indicador de nivel de ángulo como es una escuadra de 90°, así como un indicador de

caratula, es alineada para generar un recorrido paralelo a las paredes de la pieza a maquinar. (Toledo Matus, 1989)



Figura 4.4 Fresado convencional del riel del prototipo simplificado. **Fuente:** Propia

Finalmente al llegar a la profundidad especificada, se procede a retirar la pieza de la maquina, por lo que se procede a maquinar el resto de piezas similares que en nuestro caso son 4 en total (véase figura 4.5).



Figura 4.5 Piezas terminadas después del fresado convencional. **Fuente:** Propia

Con estas piezas se concluye la fase de fresado convencional, respecto a la implementación física del desarrollo CAD previo a esta sección.

Torneado de componentes

Al igual que en el apartado que trata sobre el fresado de componentes tanto CNC como convencional, es necesario ahora implementar físicamente el torneado de componentes, en base al diseño CAD previamente establecido, por tal motivo y dadas las condiciones de torneado calculadas en la sección de desarrollo del sistema, se procede a calibrar la máquina para las condiciones establecidas en base a cálculos teóricos, por lo cual se muestra en la siguiente imagen (figura 4.6) el maquinado de los postes guía.



Figura 4.6 Torneado de componentes del prototipo simplificado. **Fuente:** Propia

Al término del maquinado se procedió a la corroboración de dimensiones planeadas, para lo cual al cumplir con las mismas, ahora se avanzó con el proceso de manufactura para los siguientes componentes.

Maquinado Avanzado

Con respecto a los acabados superficiales, es necesario maquinar sobre la superficie de las tablillas abrasivas un acabado rugoso que sea capaz de aumentar el coeficiente de fricción entre el haba y el actuador de pelado, razón por la cual es necesario maquinar con esta geometría abrasiva todas las tablillas implicadas en el acto, para lo cual se hará uso de la técnica de electroerosionado o EDM por sus siglas en ingles y tomando en cuenta que el molde en grafito de densidad media ha sido maquinado con ayuda de un equipo de fresado CNC se procede a poner en marcha la máquina de EDM (ver figura 4.7) para el maquinado de las tablillas metálicas, cabe señalar que los parámetros han sido calculados en la sección de desarrollo del sistema, por lo que se cargan los datos en la máquina para así proceder con el maquinado.

Una vez fijada la prensa para sujetar las placas a maquinar, se montan las mismas tomando como referencia geométrica el nivel de la mesa de sujeción de la maquina, así como la nivelación del electrodo cual ha sido montado, la alineación es crucial en especial porque en este caso la producción se realizará en serie en varios ciclos de trabajo, pues hay que electroerosionar 20 placas metálicas, mediante juegos de tres por ciclo, aun en el último ciclo, en donde solo se montarán las tres placas para ser electroerosionadas, quedando una como repuesto.



Figura 4.7 Máquina de electroerosionado perteneciente a la UTM. **Fuente:** Propia

En la siguiente figura se muestra la maquina una vez que se ha alineado, y se han montado las piezas a erosionar, así como también el electrodo de grafito montado el equipo de EDM (figura 4.8).



Figura 4.8 Material y electrodo montados y alineados en la máquina de EDM. **Fuente:** Propia

Después del proceso de electroerosionado se desmontan las piezas de la máquina y se prepararan las demás piezas para iniciar el ciclo nuevamente, siendo evidente su proceso de maquinado en la superficie erosionada (figura 4.9).

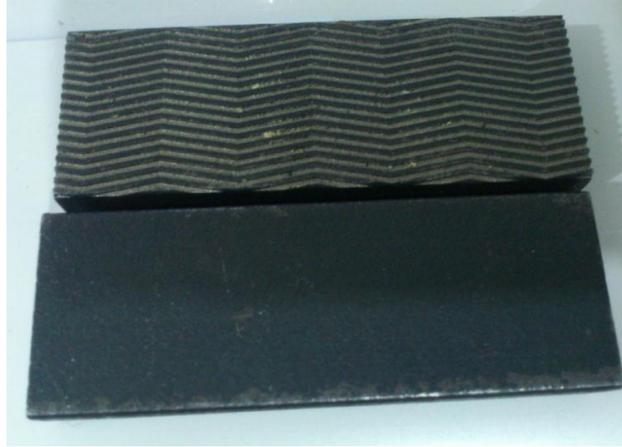


Figura 4.9 Comparación del acabado superficial mediante el proceso EDM. **Fuente:** Propia

Al término de los ciclos, se han maquinado el total de placas abrasivas necesarias para la implementación del prototipo simplificado del sistema de pelado de habas secas.

Taladrado de componentes

Basándonos en el diseño CAD previamente desarrollado, es necesario barrenar o taladrar algunos componentes mecánicos, tal es el caso de las placas con un arreglo de barrenos para el alojamiento de los tornillos de soporte de las placas abrasivas, estos barrenos se realizarán con una broca de 1/4" en una placa de 1/4" de espesor, con un total de 20 barrenos por placa y contando con 2 placas, para así finalmente contabilizar 40 barrenos pasados a lo largo del material, mientras que también se realizaron 40 barrenos ciegos en la parte posterior de las placas abrasivas, con una profundidad de 4 mm, a continuación se presenta el proceso físico de taladrado en la placa de acero (figura 4.10).



Figura 4.10 Proceso de taladrado en una placa metálica. **Fuente:** Propia

Finalmente, para completar la fabricación de componentes, se procedió al corte de placa, corte de tubo, soldadura para el ensamble, auxiliado de dispositivos de alineación como un nivel de burbuja de agua, y una palpador de caratula el cual indica la alineación del componente (figura 4.11).



Figura 4.11 Uso de herramientas convencionales para la producción de piezas metálicas **Fuente:** Propia

Ensamble de componentes

Una vez que se han manufacturado los componentes se han soldado, se ha medido su posición relativa, y se han generado los subensambles, se realiza el ensamblado previo de los componentes para verificar la movilidad y ensamble esperado (véase figura 4.12)



Figura 4.12 Ensamble previo de los componentes antes de la fijación definitiva y del acabado final. **Fuente:** Propia

Una vez que se ha realizado el ensamble preliminar y se han evaluado las dimensiones esperadas, y la movilidad entre componentes, se procede a realizar el proceso de acabado de los subensambles al ser finalizado el proceso con una limpieza superficial mediante un método abrasivo como es el lijado de superficies y la adición de pintura a los componentes para ofrecer una buena presentación así como el cuidado de las superficies contra la corrosión (figura 4.13).



Figura 4.13 Proceso de pintura a los componentes del herramental mecánico **Fuente:** Propia

Al término del proceso de pintura de los componentes se procede al ensamble final para así pasar a la fase de aplicación de pruebas del mismo (figura 4.14).



Figura 4.14 Ensamble terminado del prototipo simplificado del sistema de pelado de haba seca. **Fuente:** Propia



Figura 4.15 Ensamble virtual de los componentes diseñados mediante CAD. **Fuente:** Propia

Como puede observarse al comparar el sistema virtual con el real, es evidente que el real contiene más piezas, las cuales han sido acopladas para efectos del accionamiento manual del deslizamiento del ensamble de placas abrasivas a través de los rieles de deslizamiento.

Con esto culmina la fase de implementación de manufactura del sistema planeado inicialmente partiendo de un diseño conceptual elaborado para el desempeño de una máquina peladora de habas secas, al final del ensamblado, se recopiló el tiempo tomado a las actividades realizadas y se llegó al resultado mostrado en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Comparación de tiempos estimados y reales en la producción de un herramental mecánico para el pelado de habas secas. **Fuente:** Propia

CONCEPTO DE PROCESO	CANTIDAD DE OPERACIONES	TIEMPO DE EJECUCION [min]	TIEMPO REAL [min]
CORTE POR ABRASION	3	6	8
CORTE POR ASERRADO	36	55	45
TORNEADO	8	20	25
FRESADO	108	21.06	25
TALADRADO	89	6.43	9
MACHUELEADO	44	40.3	55
DOBLADO	1	35	35
ELECTROEROSIONADO	20	574.4	810
ACABADO POR ABRASION	39	18	20
PINTURA	19	15	18
TOTAL	367	791.19	1050

Se puede concluir que existe una diferencia del 24.6% debido a la implementación física y la aproximación de los parámetros de trabajo, dichos cálculos de planeado son estimados en base a valores de formulas que describen la mayor parte del proceso, además de que no incluyen el posicionamiento y sujeción de piezas, los traslados entre estaciones y que la carga de trabajo se reparte entre una sola persona para desarrollar todas las operaciones antes mencionadas, en conclusión el tiempo de trabajo efectivo real para producir un herramental mecánico para el pelado de habas secas es de 17 horas y 30 minutos de trabajo continuo y solo de operaciones de manufactura.

Capítulo 5

Pruebas de Desempeño

Pruebas de desempeño

Ya ensamblado el herramental mecánico de pelado de habas secas, se procedió a realizarle pruebas de desempeño con el producto para lo que se tomaron 60 habas y se sometieron al sistema manufacturado, cabe mencionar que se tomo esta muestra de tamaño arbitrario respondiendo este numero de muestra al tipo de pruebas realizadas, se agruparon de 20 piezas mediante pruebas individuales variando la apertura entre las placas abrasivas en donde el sistema absorba el esfuerzo en los resortes y en donde la presión sea moderada, derivando en que solo se éxito de pelado completo de 6 habas, desprendimiento de la cascara mayor al 50% fue de 8 habas, y con rasgado y desprendimiento escaso 11 habas, las 35 restantes no sufrieron cambio alguno, sin embargo a reserva de desarrollar una caracterización futura del procedimiento de pruebas la eficiencia fue del 23%.

Posteriormente se realizó un cambio en los resortes de las placas abrasivas, y también en estas mismas, con un acabado diferente (ver figura 5.1) y conseguidas en el campo comercial, entonces aprovechando la dirección del acabado superficial del nuevo actuador de pelado, se ponen de forma contraria en base a su desplazamiento para generar un efecto de volcado del producto (efecto presente en las pruebas iniciales) ya que la disposición nueva es implementada tanto en el sistema superior como en el inferior (ver figura 5.2).

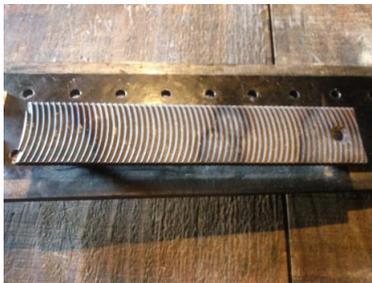


Figura 5.1 Nuevo actuador de pelado **Fuente:** Propia

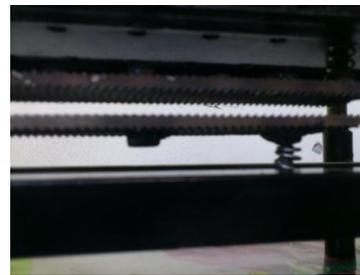


Figura 5.2 Dirección contraria de los actuadores de pelado para su desplazamiento relativo **Fuente:** Propia

Finalmente se realizaron pruebas con el nuevo sistema abrasivo mejorando notablemente la eficiencia en una muestra igual a la anterior el pelado completo fue de 27 habas peladas por completo (45%), sin embargo ahora existe un elemento nuevo que es el de merma del producto, ya que por la disposición física del nuevo actuador y el ajuste de alturas el haba tiende a rasgarse o en el pero de los casos a romperse por lo que el porcentaje de merma es del 20% bajo las condiciones de pruebas iniciales al sistema (Figura 5.3).



Figura 5.3 Sistema con el nuevo actuador **Fuente:** Propia

Capítulo 6

Conclusiones y Definición de
Nuevas Líneas de Investigación

Conclusiones

Al desarrollar este sistema e implementarlo físicamente como ya se mostró existen diversas ideas concluyentes, respecto a este proyecto, pues hay recordar, que se ha partido del diseño conceptual generado de la nada, es decir, crear, sistemas nuevos acoplando los existentes es una tarea que conlleva, así como conceptualizar algo que no existe al menos documentado, es un gran logro llegar al punto en donde se focaliza una vertiente de diversas perspectivas que concurren en un solo producto.

El desarrollo de este sistema ha aportado diversos entornos de análisis y grietas lo suficientemente profundas para su análisis, entre las aportaciones se tiene lo siguiente:

- Generación de datos característicos de una planeación de manufactura completa y específica de las operaciones pues ya que el perfil del postgrado lo demanda.
- Generar las bases para el cálculo del despliegue de costos de operación en un taller convencional, pues al tener los tiempos efectivos de operación y los fundamentos del proceso de manufactura es posible entablar una relación estrecha que es base de el cálculo global de una producción en serie.
- Este proyecto ofrece un panorama general de la aplicación directa de herramientas de ingeniería con el fin de ofrecer fiabilidad al producto a mostrar.
- Como consecuencia del proyecto se obtuvieron datos formales del producto a procesar, del cual no encuentran documentados al menos los parámetros encontrados.
- El sistema permite hacer un partir de un diseño el cual tiene la versatilidad de sufrir cambios a lo largo de su proceso iterativo de mejora.
- Este sistema es pionero en el campo de procesamiento de habas secas mediante un sistema totalmente mecánico.

Con respecto a las líneas de investigación para la mejora del sistema desarrollado se pudieron identificar las siguientes:

1. Caracterización formal de las propiedades del haba
2. Mejora del diseño mecánico mediante la propuesta y análisis de sistemas de complejidad menor.
3. Mejorar la ingeniería de producción en líneas de ensamble para producción en serie
4. Desarrollar un análisis experimental que despliegue los parámetros de prueba al sistema para caracterizar la fase de pruebas de desempeño
5. Estimular el diseño para un sistema de alimentación que ejerza la función de selección por tamaños
6. Determinar un sistema de separación de la cascara del fruto al final del pelado mecánico
7. Aplicar sistemas automáticos para una operación basada en sistemas de instrumentación.

Finalmente este sistema es el inicio del desarrollo tecnológico para el pelado de habas secas que impulsará al sector agrícola directamente relacionado.

MESOGRAFIA

Alting Leo Procesos para Ingeniería de Manufactura [Libro]. - México D.F. : Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 1996. - 970-15-0198-5.

Camprubi Graell Albert Electro-erosión [Libro]. - Mexico D.F. : ALFA OMEGA GRUPO EDITOR, S.A., 2007. - 978-970-15-1306-4.

Casillas A.L. Máquinas Calculos de Taller [Libro]. - España : Editorial MAQUINAS.

Cebollada Pras F. y Torres Portero M.A. Principios Ergonómicos Generales para Aplicar en el Diseño de Máquinas Seguras Bajo Normativa Europea [Conferencia]. - Santander, España : XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 2002.

D. Hiscox Gardner 1800 Mechanical Movements Devices and Appliances [Libro]. - New York : Dover Publications, Inc., 2007. - 0-486-45743-5.

Emadi Bagheer y Abbaspour-Fard Modelling of mechanical peeling of vegetables on the basis of energy consumption [Conferencia]. - Bangkok, Thailand : Department of Agricultural Machinery Ferdowsi University of Mashhad, 2007.

Emadi Bagheer, Abbaspour-Fard An innovative mechanical peeling method of vegetables [Conferencia]. - Bangkok, Thailand : Proceedings International Agricultural Engineering Conference, 2007.

Isakov Edmund y Ph. D. Cutting Data for Turning of Steel [Libro]. - New York : Industrial Press Inc., 2009. - 978-0-8311-3314-6.

Kalpakjian Serope Manufactura, Ingeniería y Tecnología [Libro]. - México : Pearson Educación, 2008. - 978-970-26-1026-7.

L. Norton Robert Diseño de Maquinaria [Libro]. - México D.F. : Mc Graw Hill, 2009. - 978-970-10-6884-7.

M. Walker Jack Handbook of manufacturing engineering [Libro]. - New York : Marcel Dekker, Inc., 1996. - 0-8247-8962-8.

N. Childs Peter R. Mechanical Design [Libro]. - Great Britain : Elsevier Ltd., 2004. - 0 7506 5771 5.

Oberg Erik y D. Jones Franklin Machinery's Handbook 28th Edition [Libro]. - New York : Industrial Press, 2008. - 978-0-8311-2800-5.

P. Groover Mikell Fundamentos de Manufactura Moderna [Libro]. - Mexico D.F. : Mc. GrawHill Interamericana, 2007. - 978-970-10-6240-1.

Prat Bartés Albert Control y mejora de la calidad [Libro]. - [s.l.] : Ediciones UPC, 1998.

Sclater Nail, y Chironis Nicholas P. Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook [Libro]. - United States Of America : McGraw Hill, 2007. - 978-0-07-146761-2.

Toledo Matus Jesús FRESADORA Apuntes para el alumno [Libro]. - México D.F. : Instituto Politécnico Nacional, 1989. - 968-292358-1.

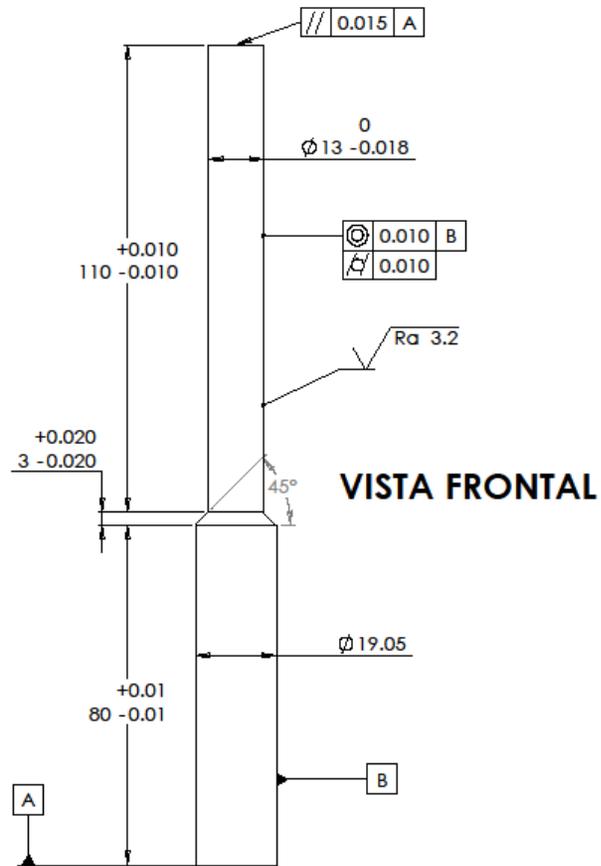
Westermann Verlag Georg Herramientas Máquinas Trabajo [Libro]. - España : REVERTÉ S.A., 2003. - 84-291-6021-3.

ANEXO

A

**Documentos de referencia para la manufactura y
pruebas de fiabilidad**

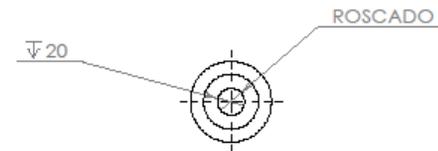
**PLANOS DE FABRICACIÓN DEL HERRAMENTAL
MECÁNICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA
CASCARA DE HABAS SECAS.**



VISTA FRONTAL

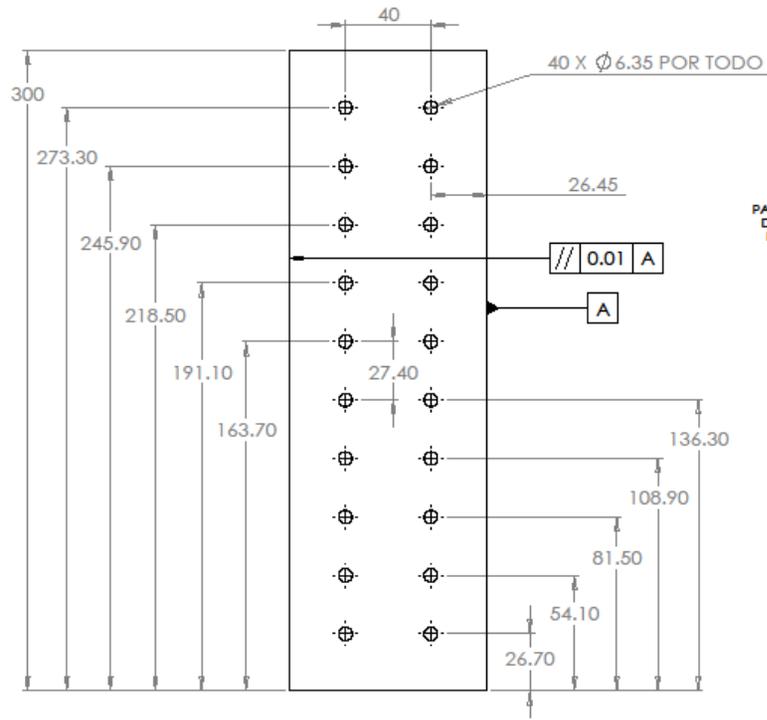


VISTA ISOMETRICO



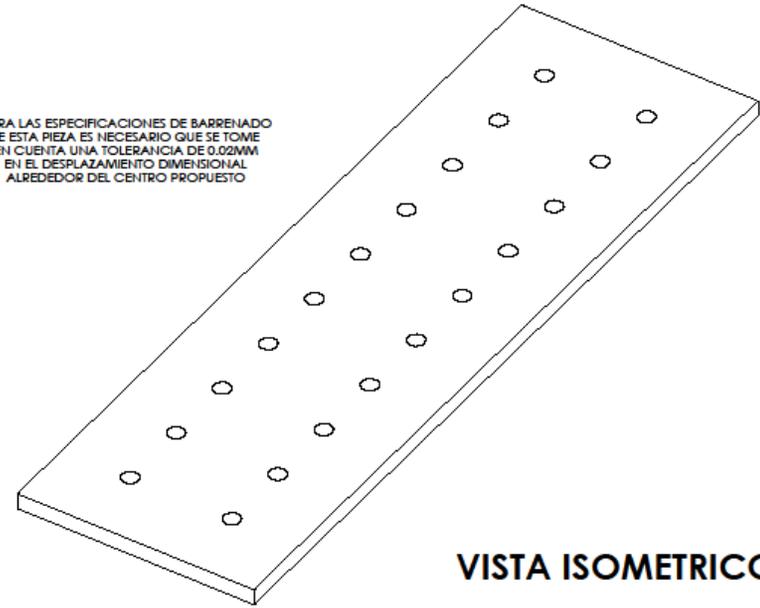
VISTA SUPERIOR

		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DISEÑO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO EL ROSCADO ES BAJO LA ESPECIFICACION 1/4" 20 NC CON UN BARRENO DE 13/64" A LA PROFUNDIDAD ESPECIFICADA		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE LA MIXTECA
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE U.L.O. h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO I / PIEZA A		NOMBRE DE LA PIEZA POSTE GUIA
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2		REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
A3	ESCALA N/E	DISEÑO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL		
HOJA 1 DE 1				

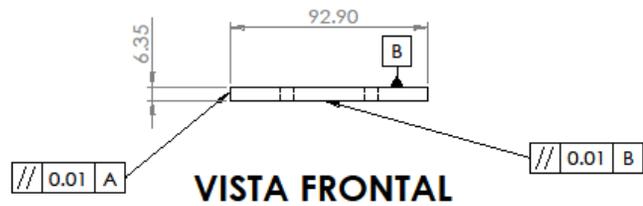


VISTA SUPERIOR

PARA LAS ESPECIFICACIONES DE BARRENADO DE ESTA PIEZA ES NECESARIO QUE SE TOMEN EN CUENTA UNA TOLERANCIA DE 0.02MM EN EL DESPLAZAMIENTO DIMENSIONAL ALREDEDOR DEL CENTRO PROPUESTO

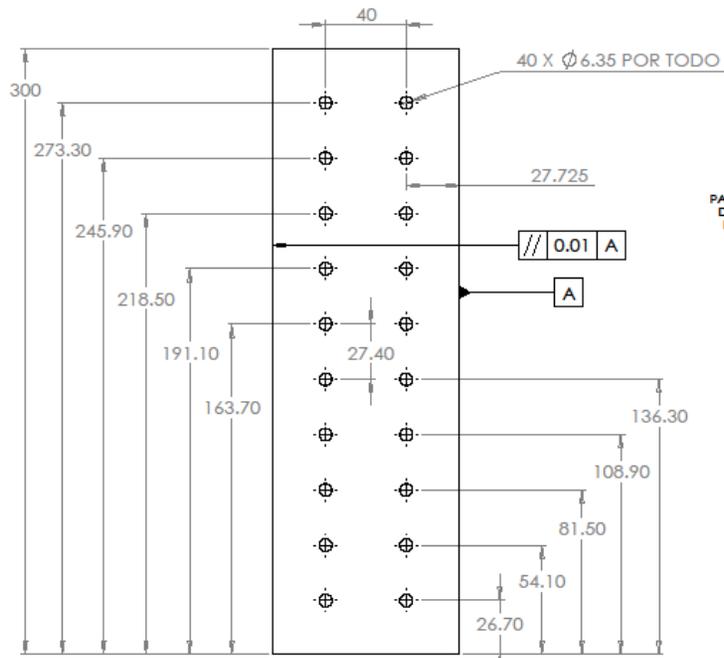


VISTA ISOMETRICO



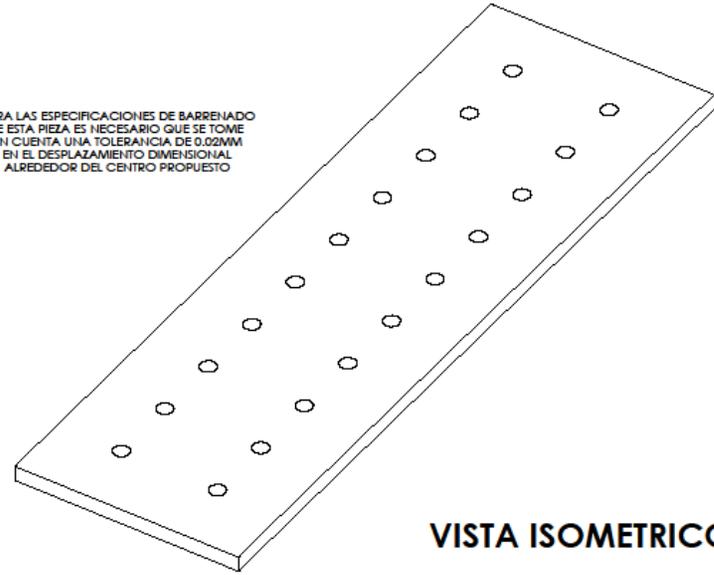
VISTA FRONTAL

		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
				DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
				PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA
				NOMBRE DE LA PIEZA PLACA DE ARREGLO DE TABLILLAS ABRASIVAS A
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE I.S.O. H7/g6	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO I / PIEZA B		REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2		
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL		
HOJA 1 DE 1				

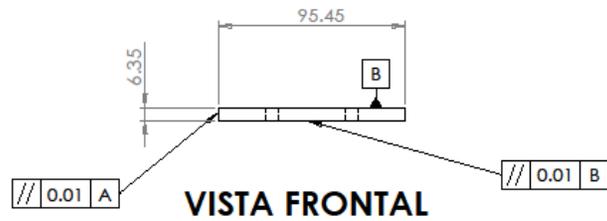


VISTA SUPERIOR

PARA LAS ESPECIFICACIONES DE BARRENADO DE ESTA PIEZA ES NECESARIO QUE SE TOMEN EN CUENTA UNA TOLERANCIA DE 0.02MM EN EL DESPLAZAMIENTO DIMENSIONAL ALREDEDOR DEL CENTRO PROPUESTO

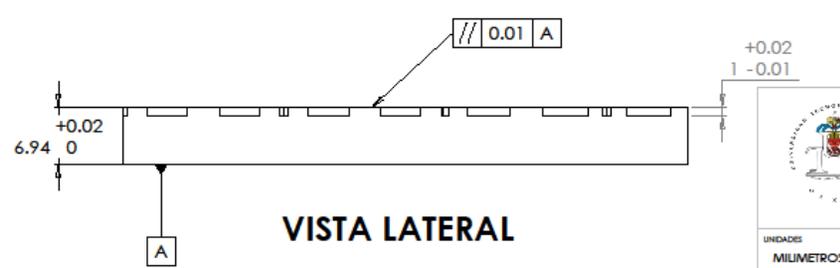
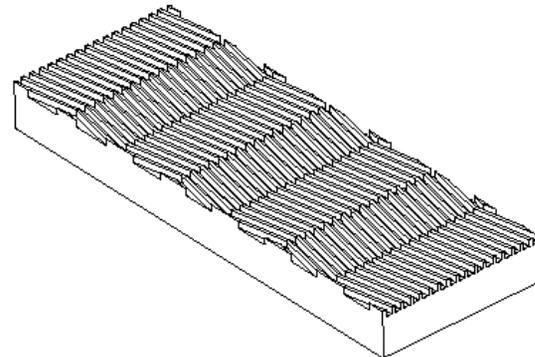
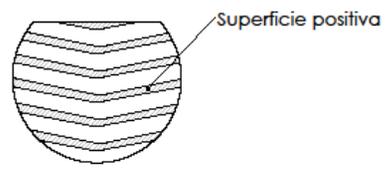
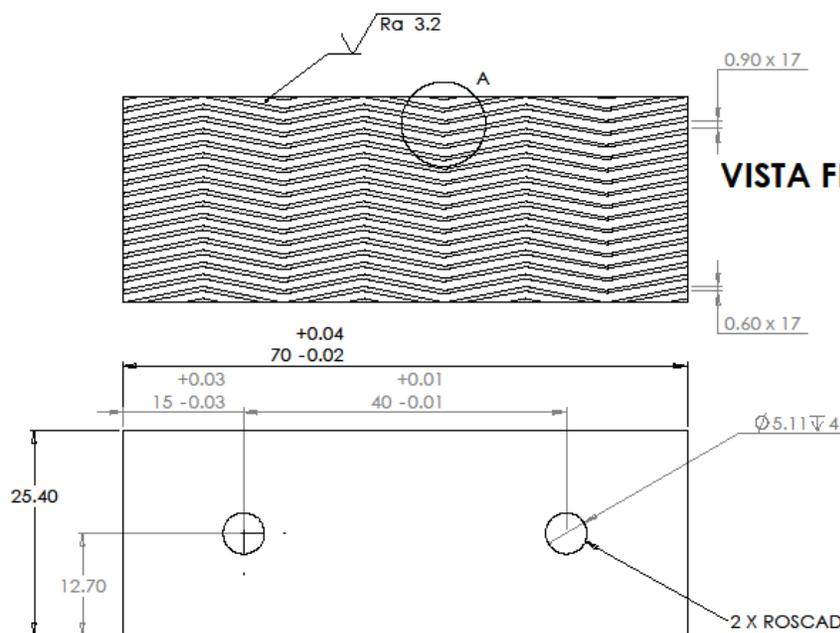


VISTA ISOMETRICO

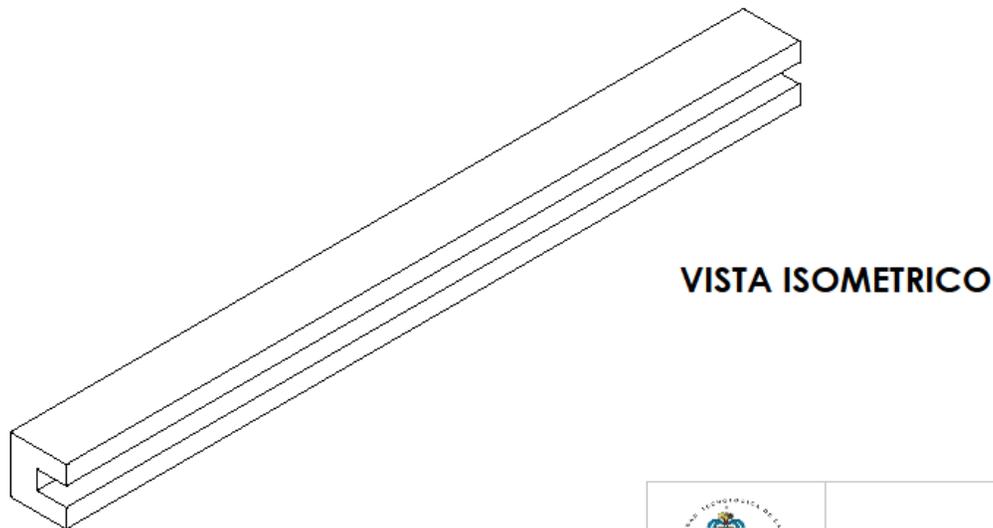
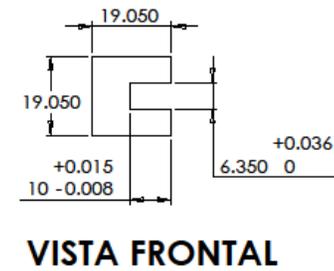
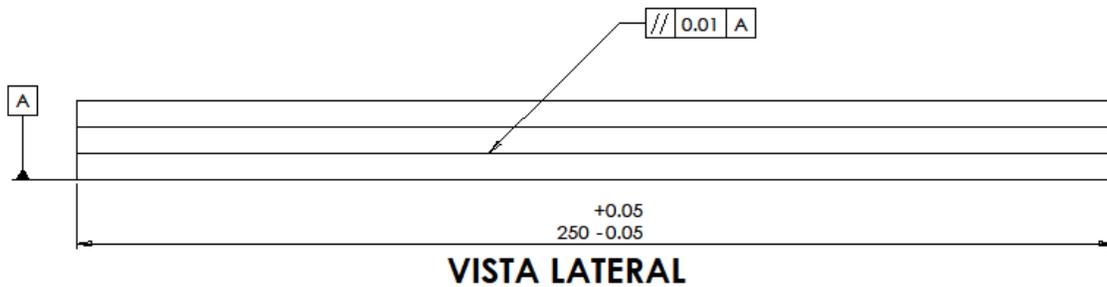


VISTA FRONTAL

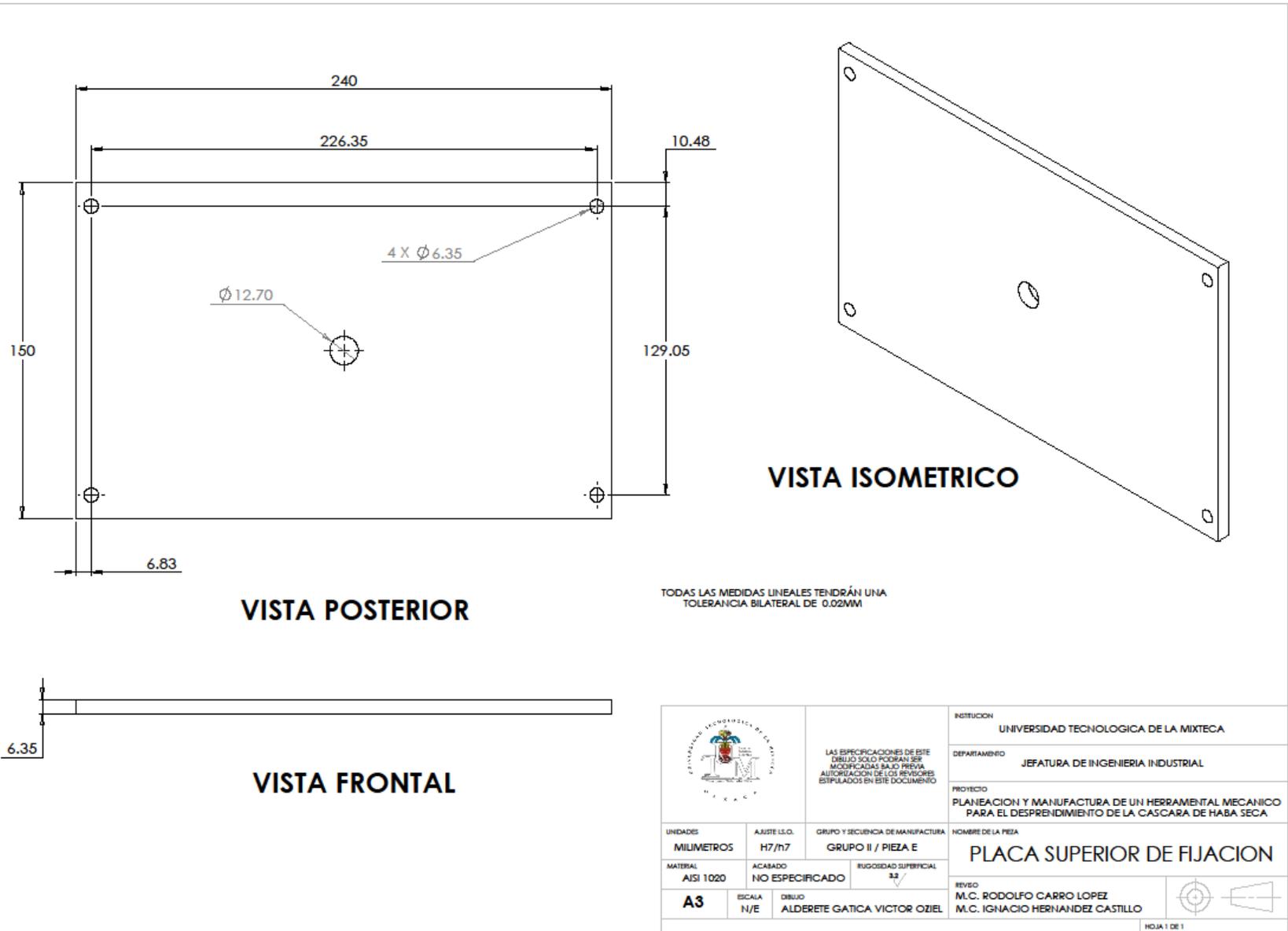
		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
		GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO 1 / PIEZA B		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE I.S.O. H7/g6	PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA		NOMBRE DE LA PIEZA PLACA DE ARREGLO DE TABLILLAS ABRASIVAS B
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2		REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL		



		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DISEÑO SON SOLO PORRAS SIN MODIFICARLAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO. EL ROSCADO ES BAJO LA ESPECIFICACION 1/4-20 UNC CON UN BARRIDO DE AL MENOS 13547 A LA PROFUNDIDAD ESPECIFICADA.		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.S.O. H7/n7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO 1 / PIEZA C		NOMBRE DE LA PIEZA PLACA ABRASIVA
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2		REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL		



		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
		GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO II / PIEZA D		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.S.D. H9	PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA		NOMBRE DE LA PIEZA RIEL DESLIZANTE
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	REVISO M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO	
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL		
HOJA 1 DE 1				



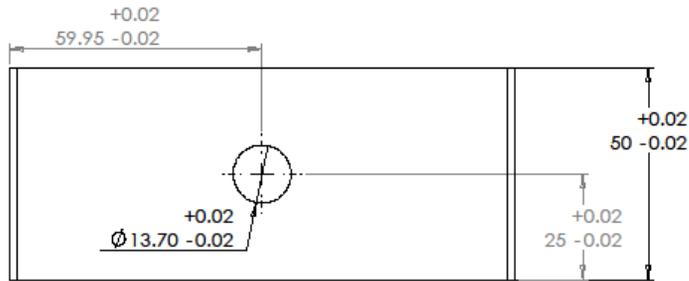
VISTA POSTERIOR

VISTA ISOMETRICO

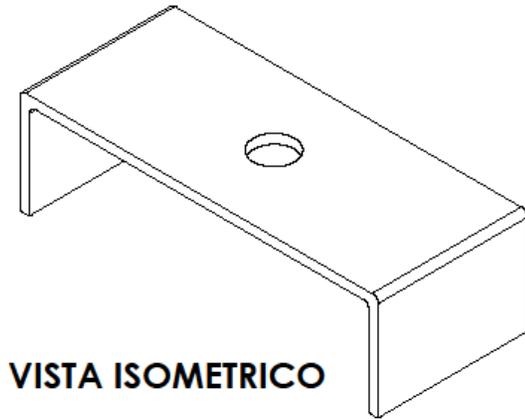
VISTA FRONTAL

TODAS LAS MEDIDAS LINEALES TENDRÁN UNA TOLERANCIA BILATERAL DE 0.02MM

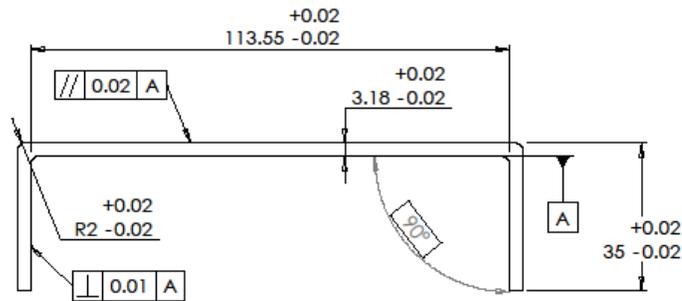
		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SÓLO PODRÁN SER MODIFICADAS BAJO PREVA AUTORIZACIÓN DE LOS RESPONSABLES EMPLEADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.S.O. H7/h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO II / PIEZA E	
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	NOMBRE DE LA PIEZA PLACA SUPERIOR DE FIJACION
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	REVISO M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
			
HOJA 1 DE 1			



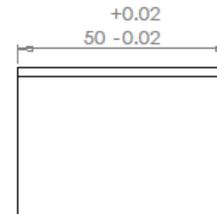
VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMETRICO

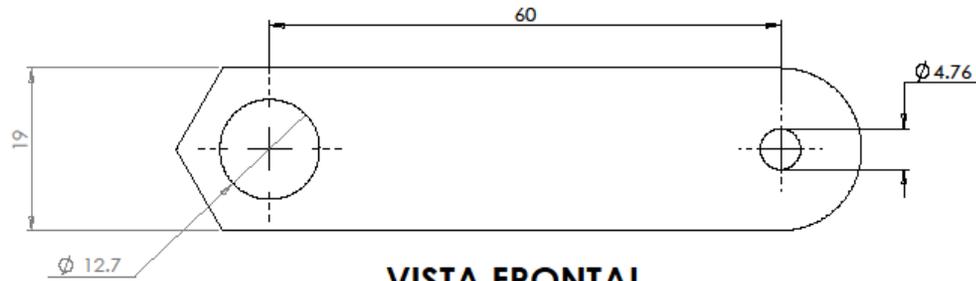


VISTA FRONTAL

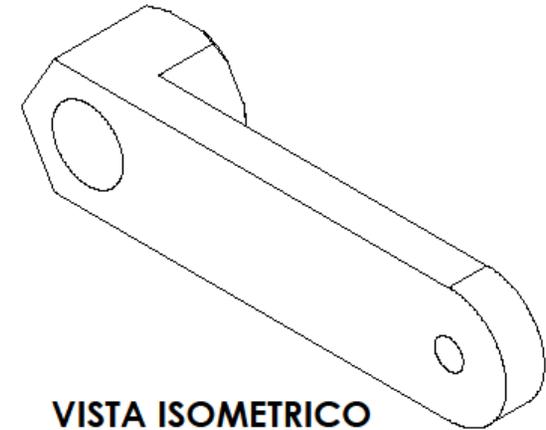


VISTA LATERAL

		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SÓLO PODRÁN SER MODIFICADAS SILO PREVIAMENTE AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
		NOMBRE DE LA PIEZA SUJETADOR DE RIELES DESLIZANTES	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.L.O. H7/h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO II / PIEZA F	REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	
HOJA 1 DE 1			

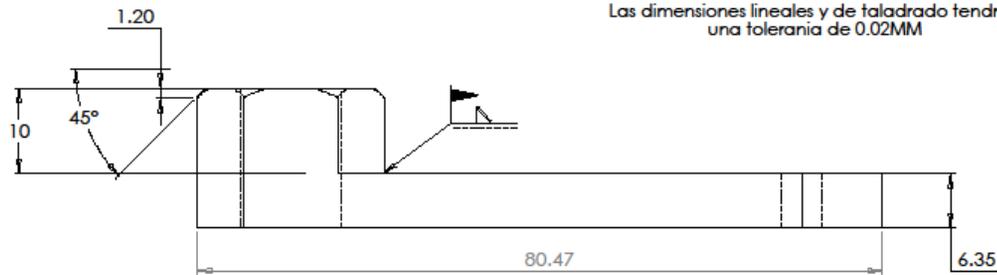


VISTA FRONTAL



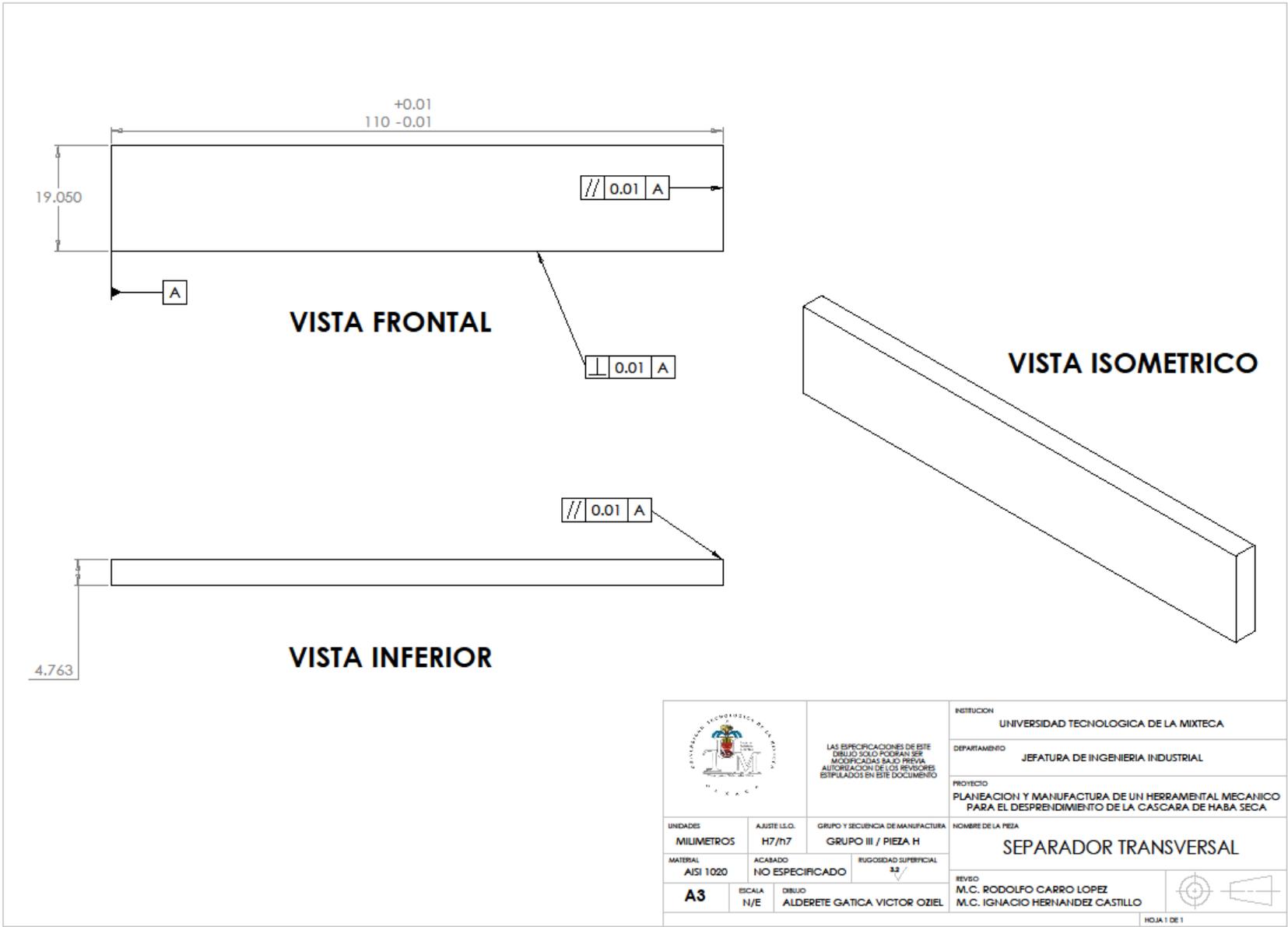
VISTA ISOMETRICO

Las dimensiones lineales y de taladrado tendrán una tolerancia de 0.02MM

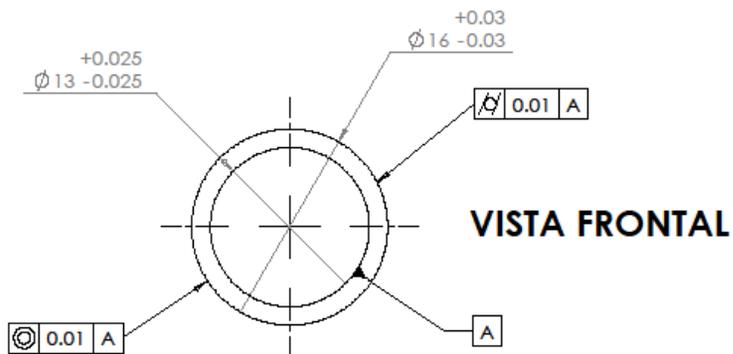
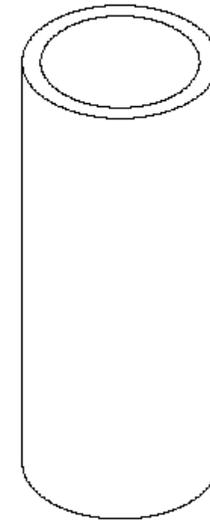
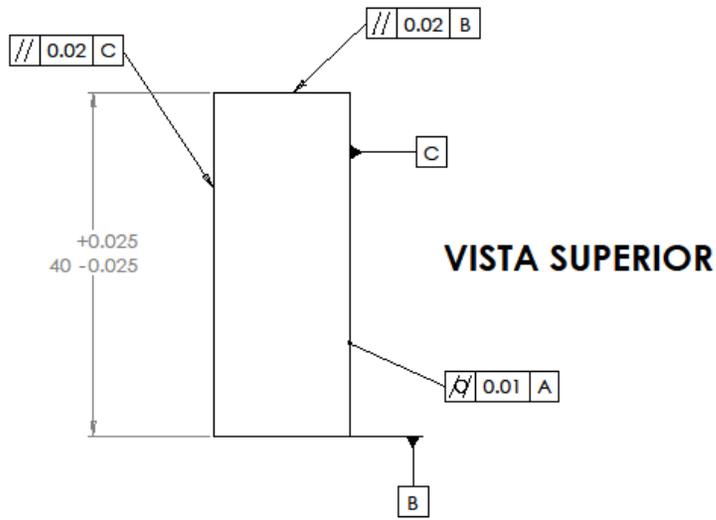


VISTA INFERIOR

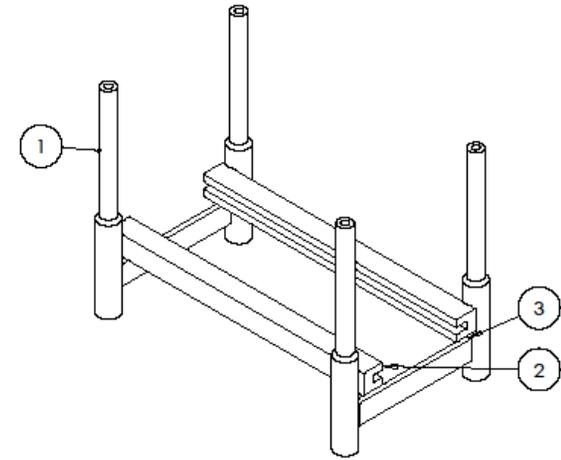
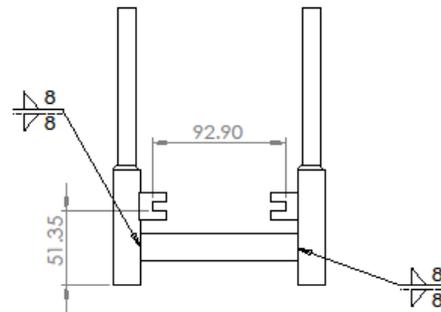
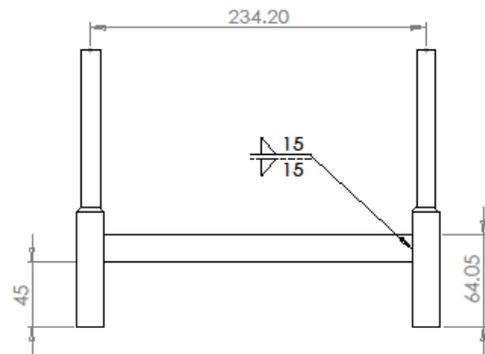
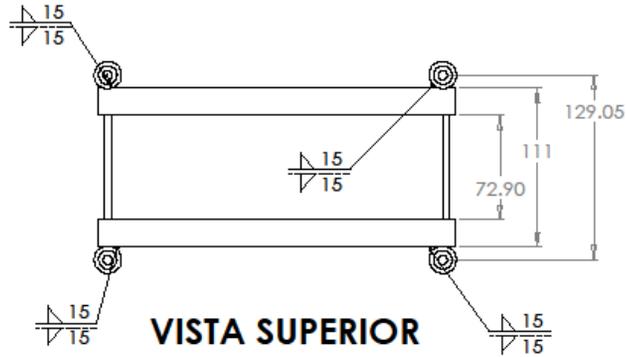
		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO.		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
		GRUPO II / PIEZA G		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE I.S.O. H7/h7	MATERIAL AISI 1020		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA
A3	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	ESCALA N/E	NOMBRE DE LA PIEZA PALANCA DE ELEVACION
DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL			REVISO M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO	
HOJA 1 DE 1				



		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SÓLO PODRÁN SER MODIFICADAS BAJO PREVA AUTORIZACIÓN DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO.		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
				DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
				PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.L.O. H7/h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO III / PIEZA H		NOMBRE DE LA PIEZA SEPARADOR TRANSVERSAL
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2		REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL		
				HOJA 1 DE 1

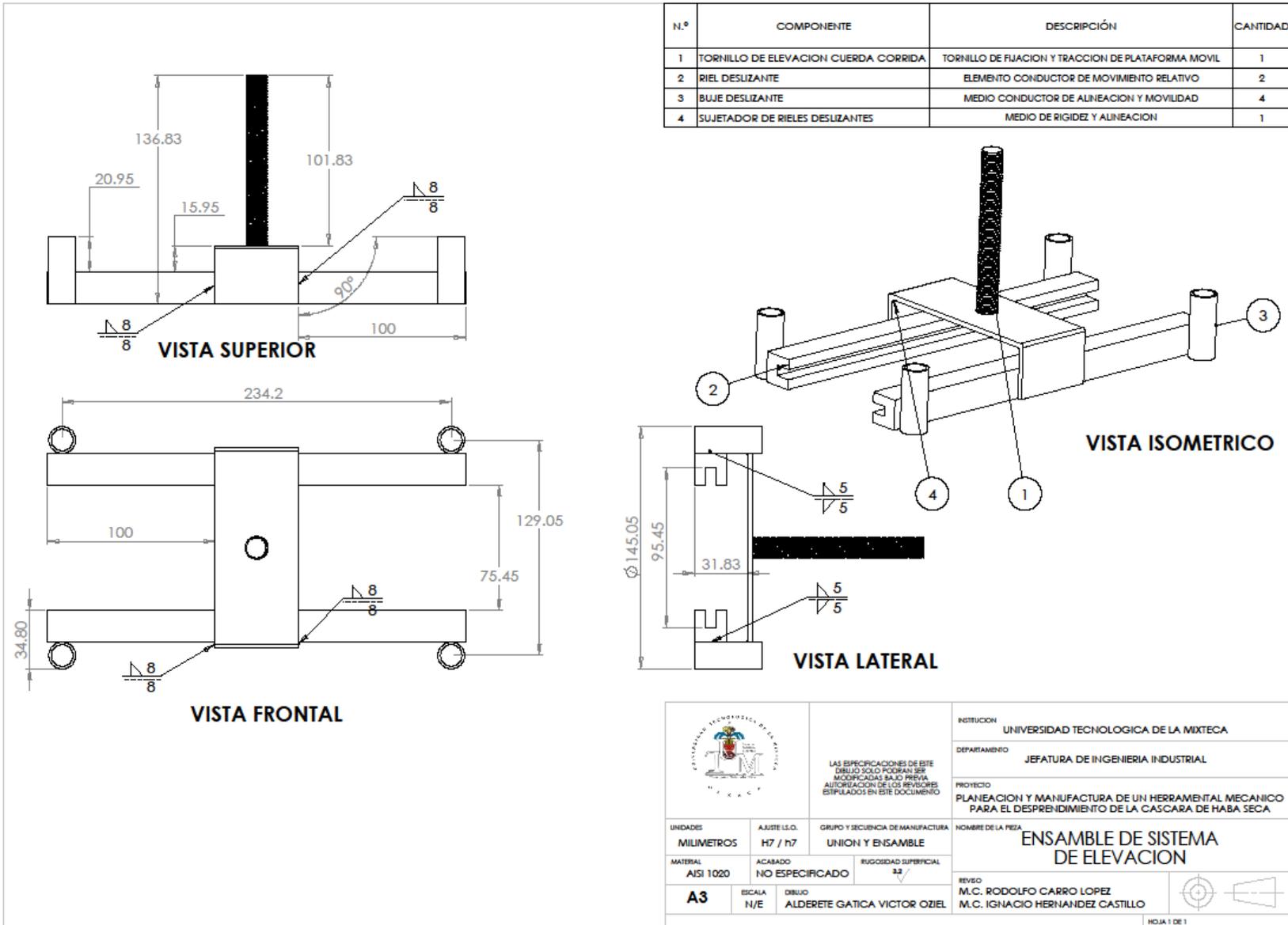


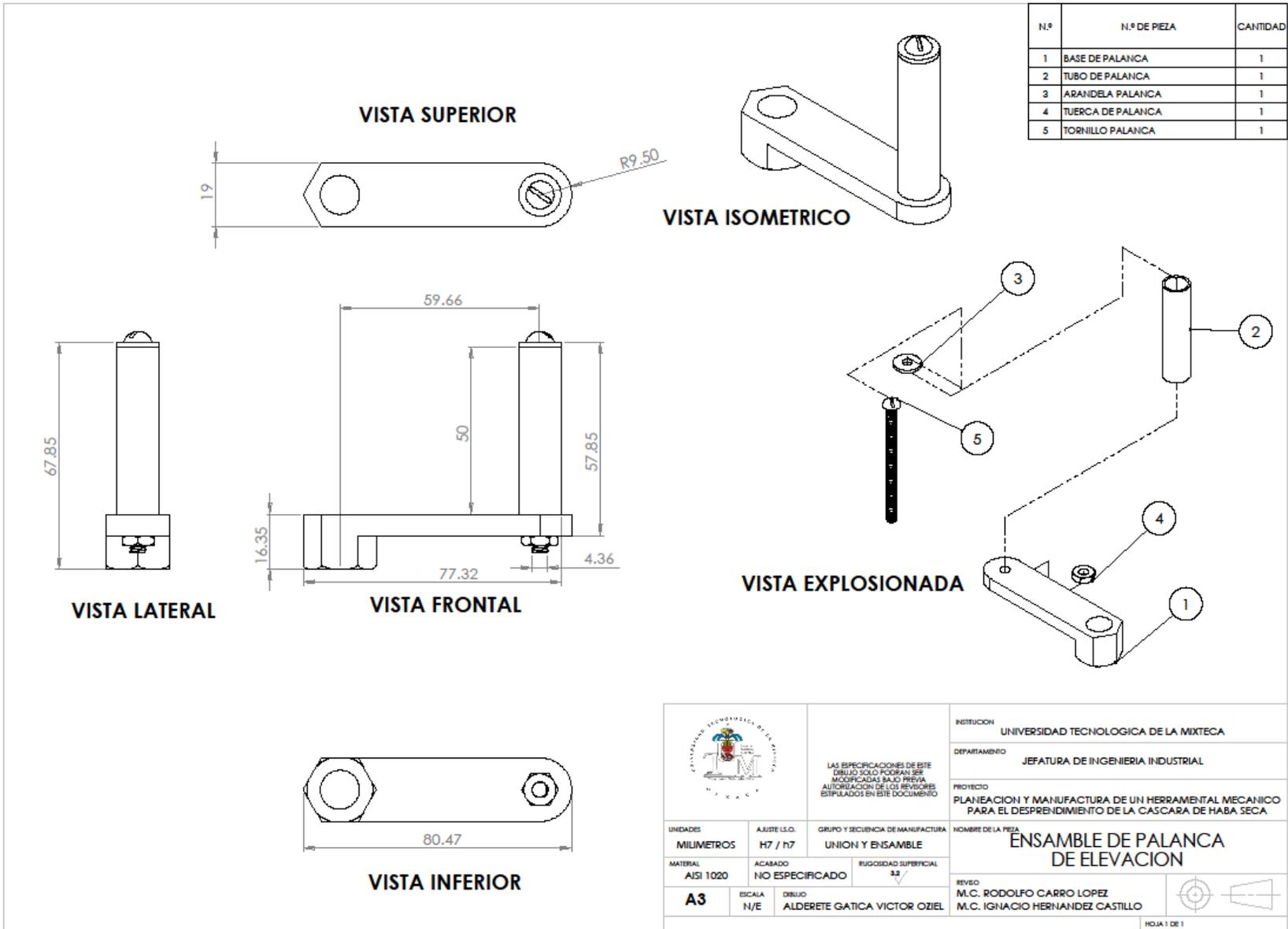
		LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS SILO PREVIAMENTE AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
UNIDADES MILIMETROS		AJUSTE L.S.O. H7/h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA GRUPO III / PIEZA I	PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	NOMBRE DE LA PIEZA BUJE DESLIZANTE		
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO		
HOJA 1 DE 1					



N.º	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	POSTE GUIA	SOPORTE VERTICAL DE ALINEACION GLOBAL	4
2	RIEL DESLIZANTE	POSICIONAMIENTO DE ENSAMBLE CON MOVILIDAD	2
3	SEPARADOR TRANSVERSAL	SOPORTE TRANSVERSAL DE RIGIDEZ	2

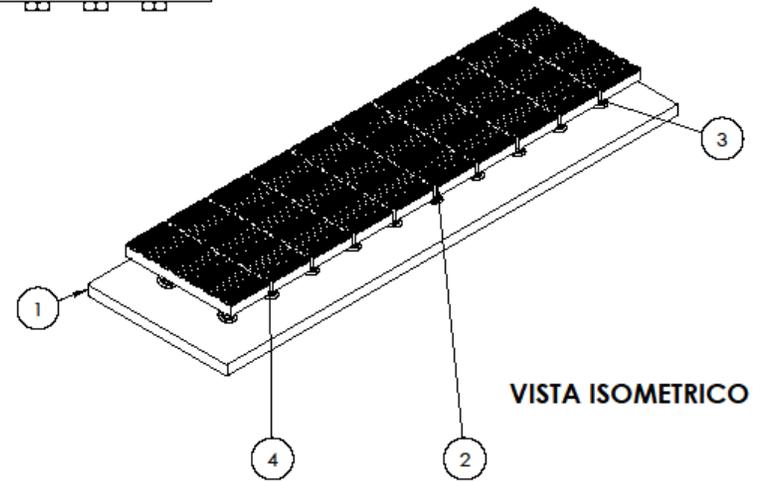
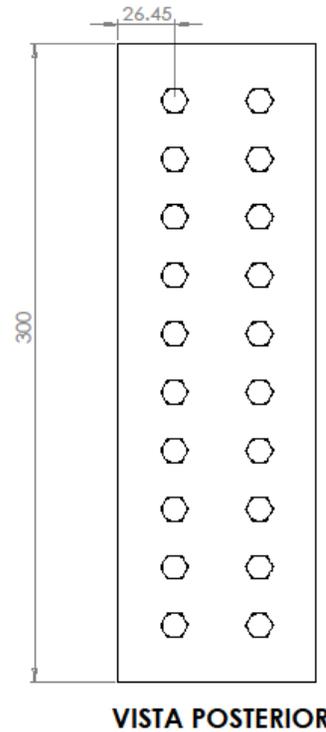
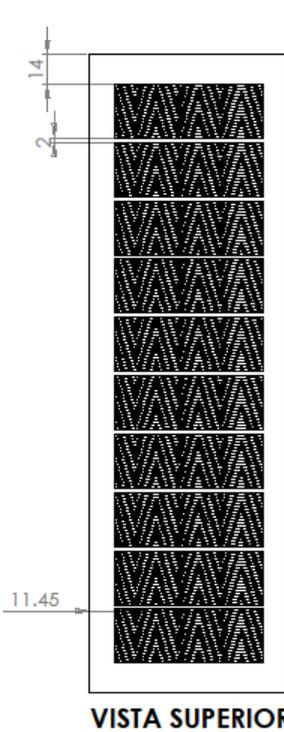
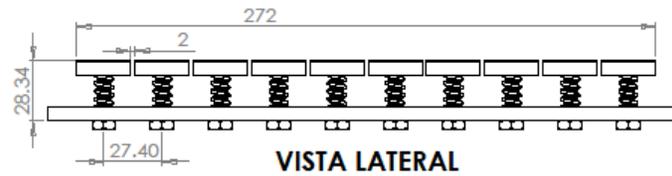
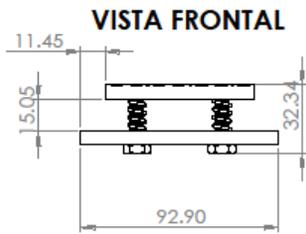
		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO REVISIA AUTORIZADA DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.S.O. H7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA UNION Y ENSAMBLE	NOMBRE DE LA PIEZA ENSAMBLE DE BASE
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	
HOJA 1 DE 1			





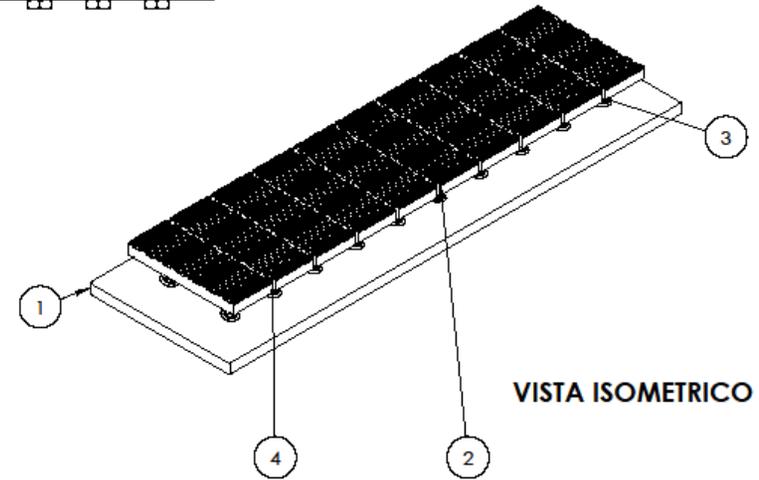
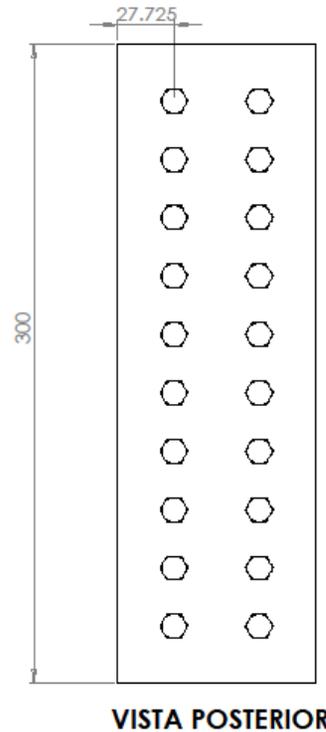
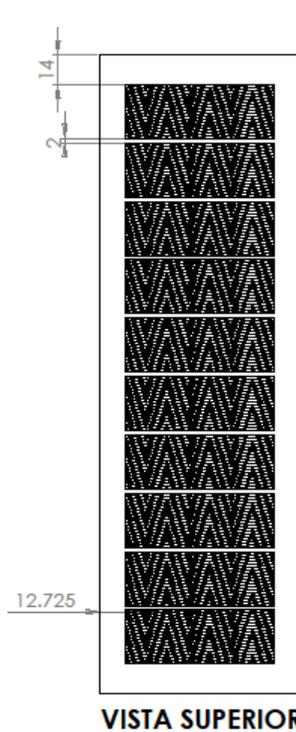
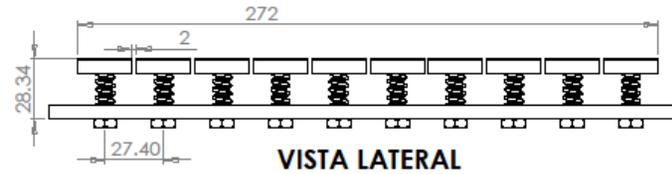
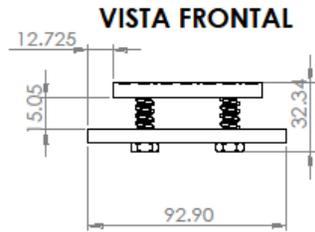
		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DISEÑO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
		NOMBRE DE LA PIEZA ENSAMBLE DE PALANCA DE ELEVACION	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.L.O. H7 / h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA UNION Y ENSAMBLE	REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	
HOJA 1 DE 1			

N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PLACA PLACA DE ARREGLO DE TABLILLAS ABRASIVAS A	ELEMENTO MOVIL	1
2	PLACA ABRASIVA	EFFECTOR FINAL	10
3	TORNILLO DE SUJECION	SOPORTE Y ALINEACION	20
4	RESORTE	AJUSTE EN LA OPERACION	20



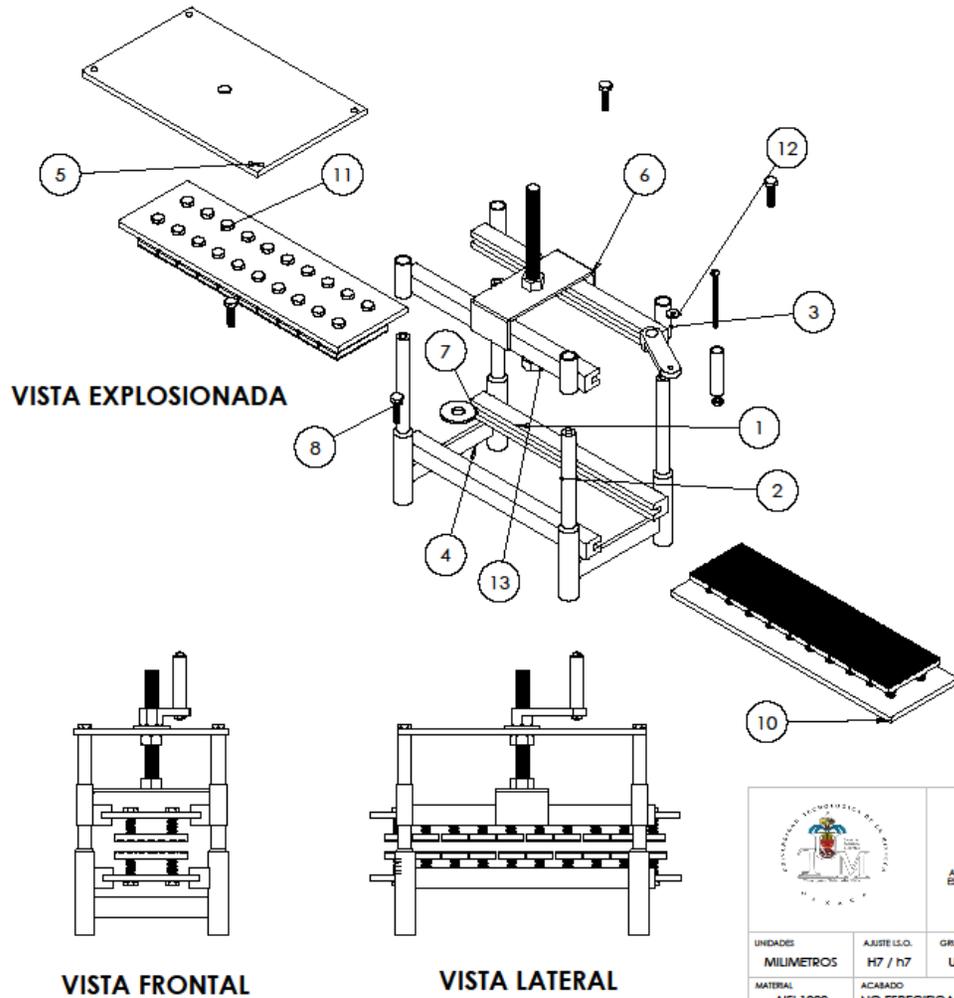
		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DISEÑO SÓLO PODRÁN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE U.S.O. H7 / h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA UNION Y ENSAMBLE	
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	NOMBRE DE LA PIEZA ENSAMBLE DE SISTEMA DE TABLILLAS ABRASIVAS A
A3	ESCALA N/E	DISEÑO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
			
HOJA 1 DE 1			

N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PLACA PLACA DE ARREGLO DE TABLILLAS ABRASIVAS B	ELEMENTO MOVIL	1
2	PLACA ABRASIVA	EFFECTOR FINAL	10
3	TORNILLO DE SUJECION	SOPORTE Y ALINEACION	20
4	RESORTE	AJUSTE EN LA OPERACION	20

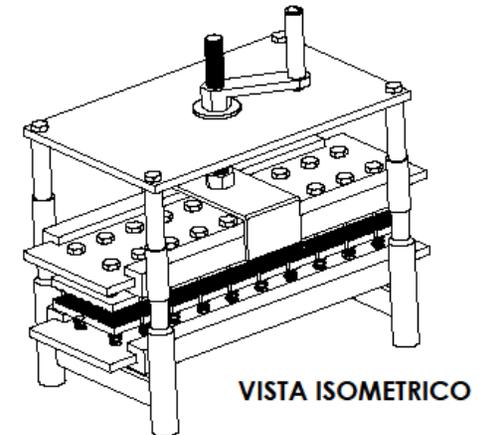


		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SÓLO PODRÁN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.O. H7 / n7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA UNION Y ENSAMBLE	
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	NOMBRE DE LA PIEZA ENSAMBLE DE SISTEMA DE TABLILLAS ABRASIVAS B
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	REVISO M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO
			
HOJA 1 DE 1			

ESQUEMA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL PELADO DE HABAS SECAS



N.º	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	RIEL DESLIZANTE	4
2	POSTE GUIA	4
3	BIJUE DESLIZANTE	4
4	SEPARADOR TRANSVERSAL	2
5	PLACA SUPERIOR DE FIJACION	1
6	SISTEMA DE ELEVACION	1
7	ARANDELA	1
8	TORNILLO SUPERIOR	4
9	TUERCA DE PALANCA	1
10	SISTEMA DE TABILLAS ABRASIVAS A	1
11	SISTEMA DE TABILLAS ABRASIVAS B	1
12	PALANCA DE ELEVACION	1
13	TUERCA DE SUJECION	1



		INSTITUCION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA	
		DEPARTAMENTO JEFATURA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
LAS ESPECIFICACIONES DE ESTE DIBUJO SOLO PODRAN SER MODIFICADAS BAJO PREVIA AUTORIZACION DE LOS REVISORES ESTIPULADOS EN ESTE DOCUMENTO		PROYECTO PLANEACION Y MANUFACTURA DE UN HERRAMENTAL MECANICO PARA EL DESPRENDIMIENTO DE LA CASCARA DE HABA SECA	
		NOMBRE DE LA PIEZA ENSAMBLE GENERAL DEL SISTEMA	
UNIDADES MILIMETROS	AJUSTE L.S.O. H7 / h7	GRUPO Y SECUENCIA DE MANUFACTURA UNION Y ENSAMBLE	
MATERIAL AISI 1020	ACABADO NO ESPECIFICADO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL 3.2	
A3	ESCALA N/E	DIBUJO ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL	
		REVISOR M.C. RODOLFO CARRO LOPEZ M.C. IGNACIO HERNANDEZ CASTILLO	
			

Documentos de referencia

- **Diseño experimental Taguchi L32 para la determinación de los parámetros de corte de la cáscara de haba seca**
- **Hoja de referencia de parámetros de operación de la electroerosionadora Marca SURE FIRST Modelo ED-203**

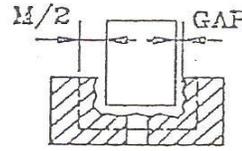


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
MAESTRIA EN TECNOLOGIA AVANZADA DE MANUFACTURA
DISEÑO EXPERIMENTAL TAGUCHI L32 PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE FUERZA

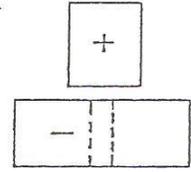
NO.	ORIENTACION	ANGULO	F PENETRACION [N]	F RASGADO [N]	F FRACTURA [N]	F SEPARACION [N]
1	TRANSVERSAL	45°	60.92	119.96	211.52	29.04
2	TRANSVERSAL	45°	85.25	122.96	183.24	16.58
3	TRANSVERSAL	45°	107.13	94.59	170.59	36.10
4	TRANSVERSAL	45°	58.47	83.45	238.78	24.53
5	TRANSVERSAL	45°	83.78	146.83	210.72	22.96
6	TRANSVERSAL	45°	68.38	150.67	175.06	19.82
7	TRANSVERSAL	45°	65.83	136.20	195.10	47.09
8	TRANSVERSAL	45°	67.30	151.66	183.67	51.99
9	TRANSVERSAL	30°	83.58	138.06	162.72	51.99
10	TRANSVERSAL	30°	67.39	144.59	174.24	28.94
11	TRANSVERSAL	30°	47.68	81.05	233.70	45.03
12	TRANSVERSAL	30°	90.45	121.50	230.85	53.37
13	TRANSVERSAL	30°	100.26	132.16	196.29	10.99
14	TRANSVERSAL	30°	101.04	114.41	226.05	5.49
15	TRANSVERSAL	30°	124.39	107.17	191.56	23.94
16	TRANSVERSAL	30°	62.39	84.38	201.56	33.55
17	LONGITUDINAL	45°	151.86	85.37	230.81	35.90
18	LONGITUDINAL	45°	82.89	113.29	213.90	36.49
19	LONGITUDINAL	45°	79.36	121.12	226.34	33.35
20	LONGITUDINAL	45°	78.68	151.15	161.45	15.21
21	LONGITUDINAL	45°	67.30	152.00	215.65	16.58
22	LONGITUDINAL	45°	44.05	104.29	213.37	46.60
23	LONGITUDINAL	45°	62.98	145.44	196.45	58.76
24	LONGITUDINAL	45°	79.46	90.03	203.17	16.41
25	LONGITUDINAL	30°	104.48	97.47	223.38	46.37
26	LONGITUDINAL	30°	62.39	152.58	169.74	52.19
27	LONGITUDINAL	30°	97.71	134.16	162.93	54.67
28	LONGITUDINAL	30°	64.35	96.61	160.82	54.14
29	LONGITUDINAL	30°	92.21	137.02	227.59	41.60
30	LONGITUDINAL	30°	101.93	110.73	187.64	28.39
31	LONGITUDINAL	30°	91.13	113.08	170.54	54.57
32	LONGITUDINAL	30°	93.39	130.59	229.85	2.32
FUERZA PROMEDIO			79.32	118.47	197.80	28.68
DESVIACION ESTANDAR			22.53	23.31	25.09	16.17
FUERZA MAXIMA REQUERIDA			101.85	141.79	222.89	44.86
FUERZA MINIMA REQUERIDA			56.79	95.16	172.71	12.51

CONCEPTO DE APLICACIÓN DE FUERZA	MEDICION	F MEDIA	% DESV F MEDIA	% DESV GLOBAL F MEDIA	% DESV F PROM	% DESV GLOBAL F PROM
FUERZA DE PENETRACION TRANSVERSAL A 45°	74.63	82.14	9.14	5.37	5.91	6.51
FUERZA DE PENETRACION TRANSVERSAL A 30°	84.65		3.06		6.72	
FUERZA DE PENETRACION LONGITUDINAL A 45°	80.82		1.60		1.90	
FUERZA DE PENETRACION LONGITUDINAL A 30°	88.45		7.68		11.51	
FUERZA DE RASGADO TRANSVERSAL A 45°	125.79	120.77	4.16	2.39	6.17	3.23
FUERZA DE RASGADO TRANSVERSAL A 30°	115.42		4.43		2.58	
FUERZA DE RASGADO LONGITUDINAL A 45°	120.34		0.36		1.57	
FUERZA DE RASGADO LONGITUDINAL A 30°	121.53		0.63		2.58	
FUERZA DE FRACTURA TRANSVERSAL A 45°	196.09	199.35	1.64	2.77	0.87	2.80
FUERZA DE FRACTURA TRANSVERSAL A 30°	202.12		1.39		2.19	
FUERZA DE FRACTURA LONGITUDINAL A 45°	207.64		4.16		4.98	
FUERZA DE FRACTURA LONGITUDINAL A 30°	191.56		3.91		3.15	
FUERZA DE SEPARACION TRANSVERSAL A 45°	31.01	34.22	9.37	11.05	8.12	19.29
FUERZA DE SEPARACION TRANSVERSAL A 30°	31.66		7.47		10.39	
FUERZA DE SEPARACION LONGITUDINAL A 45°	32.41		5.27		13.01	
FUERZA DE SEPARACION LONGITUDINAL A 30°	41.78		22.10		45.66	

Electrode Material : GRAPHITE POCO EIM-2
 Workpiece Material : STEEL (SKD-11)
 Dielectric : DAPHNE HL- 25
 Flushing : 0.05 kg/cm²
 Idle Voltage : 100 v



Graphite



Steel

Setting Values					Test Conditions									Refer- ence
Pos.	Us	Pos.	Volt V	Cur- rent A	Surface finish				Undersize mm		Stock Remoral		Wear Rate %	Minimal Surface mm ²
					Ra	Rmax	Ra	Rmax	2Gap	M ²	mm ³ /min	g/min		
4	20	1	40	8	4.2	26		19	0.16	0.257	44	0.35	1.3	
	50	1	40	10	6.5	40		26	0.18	0.301	54	0.43	0.4	
	75	1	40	11	7.1	44		29	0.20	0.335	55	0.44	0.2	
	100	1	40	12	7.5	47		36	0.21	0.366	55	0.44	0.1	
	150	1	40	12	7.6	47		41	0.22	0.392	60	0.48	0.05	
	200	1	40	12	7.8	56		48	0.23	0.423	60	0.48	0.02	
*5	50	1	38	13	7.3	47		32	0.19	0.330	83	0.66	0.4	
	100	1	38	16	7.7	52		43	0.22	0.397	91	0.73	0.2	
	150	1	38	17	8.1	53		48	0.23	0.423	98	0.78	0.1	
	200	1	38	17	8.2	55		57	0.23	0.447	85	0.68	0.05	
	300	1	38	17	8.8	61		59	0.24	0.465	76	0.61	0.02	
	400	1	38	17	9.2	73		63	0.25	0.488	63	0.50	—	

Sure
First

TEST DATA

970060024

3/6

ANEXO

B

**Desarrollo del diseño conceptual de un herramienta
mecánico para el desprendimiento de la cáscara de haba
seca y la determinación de los parámetros de corte de la
cáscara de haba seca**

Obtención de los parámetros de mecánica del corte de la cáscara de haba seca

Es preciso seleccionar las variables de las cuales se obtendrán datos formales, que servirán como entradas piloto de información, para el desarrollo cuantitativo y objetivo del sistema de pelado, por ello, es importante remarcar las siguientes variables como variables descriptivas del sistema formal en cuestión.

1. *Dureza de la cáscara:* Esta variable es importante definirla ya que provee valores de la cantidad de fuerza necesaria para poder rasgar o penetrar la cáscara, es importante mencionar que esta variable se confrontara con algunas de las variables que a continuación se enlistan, con la finalidad de delimitar el rango de trabajo del parámetro fuerza.
2. *Dureza del fruto:* Es necesario definir esta variable ya que al confrontarla con la dureza de la cáscara, definirá los límites de fuerza necesarios para penetrar la cáscara, pero no rasgar o dañar el fruto, parámetro que servirá para determinar el concepto de penetración y rasgadura de la cáscara, para la selección de una herramienta de corte.
3. *Angulo de incidencia:* Una vez definidas las variables 1 y 2 es necesario determinar el ángulo de incidencia de la herramienta de corte de tal forma que las resultantes vectoriales de fuerza ofrezcan el mejor rendimiento esperado.
4. *Fuerza necesaria para separar el fruto de la cáscara:* Como consecuencia de las variables anteriores se pueden delimitar los parámetros de corte y separación de la cáscara mediante el análisis de las fuerzas obtenidas como función de las durezas y el ángulo de incidencia respectivamente.
5. *Tamaño promedio del producto:* se deberá integrar al análisis el factor dimensional promedio del producto (haba), lo cual ofrecerá un esbozo inicial de la dimensión aproximada de los actuadores de corte durante la función de pelado.
6. *Morfología del producto:* Es bien sabido que el producto en cuestión (haba) tiene una geometría asimétrica e irregular, con cierto patrón de forma común entre los especímenes, el cual se encuadrará de manera tal que se definan los planos, formas primarias y básicas que en conjunto describan la geometría del haba en forma de figuras y planos para efecto de la configuración de los actuadores de pelado con respecto al producto, lo cual sugiere los grados de movilidad de dichos actuadores.
7. *Metodología del pelado:* Es de vital importancia determinar la forma en que se realizara el pelado del haba, ya que se necesita caracterizar el haba en cuanto a sus puntos estratégicos de su geometría misma, es decir, que partiendo de esta premisa, se clarifica la idea del mecanismo más sencillo de penetración y separación de la cáscara con el fruto para los cual es importante conocer las zonas susceptibles de falla o tendientes a la fractura por parte de la cáscara.

En resumen, la dureza de la cáscara y la dureza del fruto definen los límites de fuerza permisibles por el producto para un pelado que no atente contra la integridad del fruto, lo cual al tener un ángulo de incidencia, que resulte relacionando las componentes vectoriales y las limitantes físicas del sistema, ofrezcan un bosquejo de la cinemática de pelado, lo cual a su vez sugiere una fuerza necesaria con una componente vectorial necesaria para inducir la separación del fruto de la cáscara, sin embargo, es necesario permitir que las características geométricas del producto propicien la asignación de la movilidad y dimensión de los actuadores de pelado, y en consecuencia, faciliten la determinación de la metodología de pelado, la cual, implica sugerir, mecanismos que ofrezcan la expectativa de rendimiento necesario.

Análisis físico del conjunto fruto-cáscara

En esta etapa es conveniente definir el comportamiento del conjunto fruto-cáscara (Haba sin pelar) bajo ciertas condiciones de análisis, cabe mencionar que dichas condiciones son definidas en base a propuestas conceptuales del proceso del haba sin pelar, es decir que el objeto de análisis se someterá a ciertas pruebas básicas con la finalidad de generar una expectativa del comportamiento del objeto en cuestión, por lo que a continuación se han de definir las pruebas a realizarle al producto. Es preciso mencionar que esencialmente las pruebas más contundentes serán las mecánicas, sin embargo es necesario incluir en el análisis, el efecto químico y térmico, por lo que entonces se procede a efectuar pruebas con un ataque químico y puesto que se trata de un producto orgánico y recordando que el sistema a desarrollar va enfocado a un mercado en el cual solo se tiene al alcance los productos domésticos de uso corriente, es conveniente realizar el ataque químico con un ácido de un pH no tan agresivo y de uso común, entonces se ha de proceder a utilizar jugo de limón del cual su pH es de 2.4 y en consecuencia el experimento tratará de incluir, las siguientes variables, para conformar una prueba que genere una expectativa general del sistema en un sistema sencillo, por ello se han de someter 4 habas con cáscara en un recipiente de vidrio sumergidas en jugo de limón, dicho recipiente se someterá al efecto de una temperatura baja, es decir se ha de congelar en un refrigerador doméstico, por lo cual después de cierto tiempo se ha de sacar una muestra y se realizará el desprendimiento de la cáscara, y se han de comparar, por lo cual se espera que al hacer un experimento de 4 tiempos diferentes de tratamiento (24, 48, 72 y 96 hrs) se determine la efectividad del efecto del ataque químico y del efecto térmico, por otra parte en búsqueda del efecto del calor sobre el producto entonces se ha de efectuar el análisis utilizando microondas de un horno doméstico, lo cual induce el calor desde dentro del fruto, lo cual ha de generar un efecto de interés a este proyecto, cabe mencionar que en ambos experimentos se ha de definir la cuestión económica que estos representan puesto que el proyecto de incluir alguno de estos factores al ser viables tendría que acoplar un subsistema al equipo general que cumpla con la condición que ha de facilitar el pelado del haba, o determinar la manera de que el productor lo realice en un equipo externo o alternativo para lograr el objetivo, razón por la cual se ha de efectuar un análisis de lo que representa elegir cada una de las opciones propuestas.

El experimento consta de los siguientes parámetros, para los cuales se ha de definir de la siguiente manera:

1. CALOR (Q)
2. TIEMPO (t)
3. ACIDEZ O BASICIDAD (pH)

4. TEMPERATURA (T)
5. FACILIDAD DE PELADO (Fa_p)

Entonces se ha de definir la siguiente relación de variables en forma de función:

$$Fa_p(Q, pH, T, t)$$

Luego entonces, se ha de obtener la siguiente tabla (Cabe mencionar que se ha definido un rango de parámetros para Fa_p en donde 1 es deficiente, 2 implica moderado y 3 favorable):

Tabla AB1 Combinación de variables para determinar el efecto térmico y químico sobre la cáscara.

MUESTRA	Q [↑,↓]	pH	T [°C]	T	Fa _p
1	↓	2.4	[-3,+5]	24 hrs	1
2	↓	2.4	[-3,+5]	48 hrs	1
3	↓	2.4	[-3,+5]	72 hrs	2
4	↓	2.4	[-3,+5]	96 hrs	3
1	↑	-	[70,95]	15 seg	1
2	↑	-	[70,95]	20 seg	3
3	↑	-	[70,95]	25 seg	2
4	↑	-	[70,95]	30 seg	1

Existen dos opciones viables de acuerdo a los parámetros necesarios para el pelado del fruto, sin embargo cada una representa ciertas limitantes en cuanto a su implementación física dentro del sistema a desarrollar, ya que en la primera en donde se trabaja a una temperatura baja, implicaría la necesidad de realizar un proceso de enfriamiento del fruto con cáscara en conjunto con la solución acida por lo que esto favorecería el pelado, posterior en el sistema a desarrollar, a lo cual el productor argumenta que durante este proceso el producto es modificado químicamente, lo cual mermaría directamente la calidad del mismo, razón por la cual se decide descartar el sistema en donde se incluye una variación del pH que favorezca el pelado e implique una disminución de la temperatura hasta el congelamiento con la finalidad de “ablandar” la cáscara y así facilitar en gran medida el desprendimiento de la misma, por otra parte es necesario realizar el análisis del siguiente experimento en el cual se ha incluido una de las técnicas de calentamiento de alimentos de última generación la cual es el uso de microondas, en el cual se han sometido a prueba 4 muestras de habas sin pelar, el experimento en donde se ha expuesto durante un tiempo de 20 segundos al efecto de las microondas ha dado un buen resultado, ya que al paso del tiempo al estar expuesto a dicha energía, se han formado algunas bolsas de vapor entre el fruto y la cáscara, lo cual hace referencia a la hipótesis en la cual se enuncia que debido a la humedad contenida en el fruto, y puesto que el principio de acción de las microondas se referencia a realizar la oscilación de las moléculas de agua o grasas, entonces en si la evaporación de las moléculas de agua se realiza desde dentro del fruto, lo cual genera una cámara de vapor entre la cáscara y el fruto, la cual al alcanzar cierta presión y temperatura tiende a desplazar la cascara fuera del fruto, pero sin romperla, lo cual posteriormente al retirar las microondas tiene un efecto muy favorable para el pelado del fruto, incluso con frotar los dedos sobre el fruto a pelar es muy fácil desprender la cáscara del mismo, sin embargo al realizar un análisis de costo de acuerdo a las cantidades, tiempo y precio corriente de la energía eléctrica por unidad de tiempo se tiene que el costo por el tratamiento de 5 kg de haba es de \$6,000.00 por hora, es importante señalar que estos costos han sido estimados en base al tamaño de muestra sometida al análisis y la cantidad estadística de habas dentro de un kilogramo de producto, dicha relación de costo productividad invalida la opción del uso de microondas sobre el producto para inducir un pelado mucho más fácil de realizar.

Luego entonces una vez concluidos los experimentos anteriores, se ha de trabajar el desarrollo de un sistema que actué mecánicamente sobre el producto, y retomando lo descrito en la fase de antecedentes de este proyecto, se tiene que en base al prototipo de máquina de pelado que actualmente se encuentra en poder del productor, se determina el siguiente esquema para el conjunto de actuadores mecánicos para realizar la función de pelado:

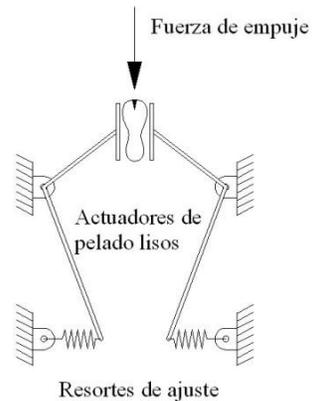


Figura AB1 Esquema actual del sistema de pelado

Es necesario mencionar que en el sistema que se esquematiza en la figura anterior existe la problemática en donde solo el producto del tamaño adecuado es pelado, lo cual hace referencia a la deficiencia de la fuerza aplicada por los actuadores, los cuales por cierto tienen una superficie plana, la cual ofrece muy poca resistencia al paso del producto, por lo cual, inicialmente se ha de pensar en un actuador con una superficie de un acabado rugoso que ha de dificultar el paso del fruto a través de los actuadores, así como también en el sistema actual existe un problema de calibración de la fuerza, esto refiere directamente a los resortes de ajuste, los cuales al parecer ejercen una fuerza mucho mayor a la soportada por el fruto, lo cual se traduce en que las habas de mayor tamaño a la apertura de los actuadores han de romperse debido a la fuerza excesiva aplicada al fruto, en contraparte las habas de menor tamaño a la apertura del sistema pasan de largo sin ser procesadas, en consecuencia solo las que casualmente tienen la dimensión correcta son rasgadas por los actuadores, lo cual implica una eficiencia de pelado muy baja ya que solo una parte del total de carga a pelar es procesada y desafortunadamente solo un porcentaje muy pequeño de esa parte es pelada con una satisfacción pobre para el productor.

Determinación estadística del tamaño del haba

Una vez que se ha expuesto la situación anterior con respecto a las limitantes que presenta el sistema actual con el cual se ha experimentado mecánicamente el pelado del haba, necesario comenzar con el análisis dimensional del producto, en el cual será posible determinar cuál será dimensión de ajuste para el sistema a desarrollar, es decir que se ha de definir el tamaño del haba en base a un análisis estadístico de la misma, con lo cual al tener las dimensiones promedio del producto se tendrá una idea de la calibración de los actuadores en caso de así requerirlo,

Por lo tanto en base a la geometría genérica que describe al fruto se tiene el siguiente esquema, para la toma de mediciones del tamaño del haba, lo cual ha de sugerir el tamaño promedio de la misma y entonces poder delimitar el tamaño extremo, es decir en una escala de clasificación general determinar el tamaño normal, pequeño y grande, esto con la finalidad de que ya que es evidente que la carga de producto contiene diversos tamaños, este estudio ha de condicionar al sistema alternativo al mecanismo de

pelado el cual es el subsistema de selección, el cual trabajara en base a las medidas que este estudio arroje, con lo cual se han de definir tres sistemas de pelado, internamente, el cual es el sistema de pelado para el tamaño normal, pequeño y grande, el cual al final convergerá en el producto pelado en base a esta clasificación tripartita.

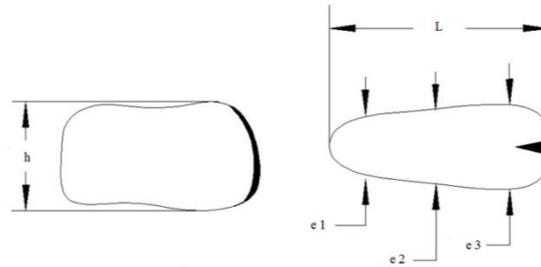


Figura AB2 Esquema dimensional de la geometría del haba

Por lo tanto de acuerdo a la medición de una muestra de 162 habas, ha arrojado los siguientes datos dimensionales promedio para las partes definidas en el esquema de dimensionamiento:

Tabla AB2 Dimensiones promedio del haba y su desv. Estd.

CONCEPTO	L [mm]	h [mm]	e3 [mm]	e2 [mm]	e3 [mm]
DIMENSIÓN MEDIA	24.13	17.17	6.09	6.68	9.12
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2.58	1.65	0.77	0.73	1.2

A partir de los datos anteriores se podrá definir cuáles son las medidas extremo, las cuales se calcularán en base a una aproximación 3σ , para la distribución de los datos y así definir cuál será la dimensión de tamaño pequeño y grande: (Prat Bartés, 1998)

$$\mu \pm 3\sigma$$

Entonces al calcular los límites se tiene lo siguiente:

Tabla AB3 Dimensiones promedio del haba según clasificación estadística

TAMAÑO	L	h	e1	e2	e3
PEQUEÑO	16.39	12.21	3.55	4.50	5.50
NORMAL	24.13	17.17	5.85	6.68	9.12
GRANDE	31.88	22.13	8.14	8.86	12.73

Una vez que se han calculado los tamaños estadísticos de la clasificación, estas quedan de la siguiente forma al redondear los valores para efectos de implementación física en el sistema, puesto que el ajuste no deberá ser de precisión:

Tabla AB4 Dimensiones promedio del haba según clasificación estadística

TAMAÑO	L	h	e1	e2	e3
PEQUEÑO	17	12	4	5	6
NORMAL	24	17	6	7	9
GRANDE	32	22	8	9	13

Ya que se han obtenido los datos anteriores de acuerdo a las dimensiones tomadas en la muestra de habas, esta información será muy útil para el dimensionamiento del sistema de clasificación de habas para la parte de alimentación del sistema, es decir, que la clasificación mecánica se realizara de acuerdo a estas mediciones.

Mediante la impresión en papel de las medidas limite calculadas a una escala 1:1 se obtuvo el siguiente resultado:



Figura AB3 Clasificación física del tamaño del haba según lo calculado

Análisis físico del haba

En esta parte se analizará el comportamiento de conjunto cáscara-fruto, con la finalidad de obtener datos formales de su resistencia al desprendimiento de la cáscara, en consecuencia se obtendrán datos de la fuerza necesaria para separar la cáscara del fruto, además de que también se realizarán pruebas de esfuerzo al fruto sin cáscara, lo cual ha de definir el parámetro límite de resistencia antes de la fractura para el fruto, lo cual ha de fijar el parámetro máximo de fuerza a aplicar antes de que el fruto se rompa, para lograrlo entonces se ha de efectuar un diseño de experimentos, en el cual se incluyen ciertas variables tales como ángulos de incidencia orientación del haba al ser indentada, como consecuencia se obtendrá la fuerza necesaria para penetrar la cáscara, además de realizar pruebas de resistencia del fruto sin cáscara, para saber su resistencia a la fractura.

Para lograr lo antes expuesto se procede a utilizar un diseño de experimentos auxiliándose de la técnica Taguchi, para lo cual se implementa un experimento L32 con 2 factores que son la orientación y el ángulo de incidencia, así como 2 niveles cada uno, dicho diseño experimental es calculado con ayuda del software MiniTab®, para la orientación existe la posición longitudinal y transversal, mientras que los niveles para el ángulo de incidencia es de 30° y 45° de inclinación para el indentador. Cabe hacer mención que dicho experimento se ha de implementar físicamente con ayuda de ciertos instrumentos, tales como la fresadora universal, la cual tiene la opción de girar de posición el cabezal que tiene el husillo y porta la herramienta, con esto se adquiere fijación para la prueba, además con la ayuda de una prensa mecánica montada la mesa de la fresadora es posible fijar el producto para ser indentado, además de adaptar un sujetador a la máquina para sostener un medidor digital de fuerza, entonces con esta configuración es posible realizar las pruebas necesarias.



Figura AB4 Medidor digital de fuerza

Obtención de datos y caracterización de parámetros

Dada la configuración anterior se procede a realizar las pruebas pertinentes obteniendo los datos que a continuación se muestran:

Tabla AB5 Parámetros de fuerza involucrados en el pelado de habas secas

CONCEPTO EVALUADO	F PENETRACIÓN [N]	F RASGADO [N]	F FRACTURA [N]	F SEPARACIÓN [N]
FUERZA PROMEDIO	79.32	118.47	197.80	28.68
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	22.53	23.31	25.09	16.17
FUERZA MÁXIMA REQUERIDA	101.85	141.79	222.89	44.86
FUERZA MÍNIMA REQUERIDA	56.79	95.16	172.71	12.51

Lo anterior concluye que se considera despreciable el ángulo comprendido entre los 30° y 45° para la aplicación de la fuerza aunque es importante mencionar que la incidencia a 30° tiende a deslizar el indentador por encima de la cascara por efecto de la estructura superficial lisa de la cáscara, mientras que la inclinación de 45° favorece la incidencia directa sobre la cáscara.

Durante la realización de esta prueba se encontró un fenómeno muy singular, el cual se explica a continuación en la figura AB5 y es que al realizar la prueba de indentación según la orientación, se detectó que las habas tienen una “zona pivote” o “zona vulnerable” que favorece el pelado. Al definir la zona pivote se tiene que cuando esta zona ha sido rasgada o cortada por ambas caras del haba, las zonas secundarias A o B son susceptibles al desprendimiento completo de ambas partes.

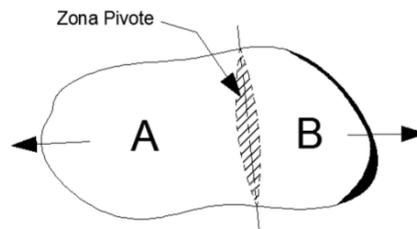


Figura AB5 Zona Vulnerable de la cascara del haba

Lo anterior se puede demostrar con lo ilustrado en las siguientes figuras (véase figura AB6 y AB7):



Figura AB6 Rasgado de la zona vulnerable del haba



Figura AB7 Separación completa de la Zona A y B

De las imágenes mostradas se puede deducir que si esa zona es estimulada por actuadores mecánicos, la separación del fruto se torna más sencilla.

Diseño Conceptual del Mecanismo de Pelado

Es necesario delimitar el mecanismo a realizar la función de pelado del haba de acuerdo a las condiciones actuales del prototipo de pelado desarrollado como inicialmente por parte de un productor del estado de Puebla, el cual como se había mencionado anteriormente tiene el esquema de funcionamiento de la figura, sin embargo al analizar el mecanismo actual es necesario distinguir ciertos factores que han sido descartados en el diseño del mismo. De acuerdo al esquema actual del prototipo de pelado, se puede observar que existen ciertos factores que crean las condiciones necesarias en el sistema para que se lleve a cabo el pelado del producto, los cuales se enumeran a continuación: (L. Norton, 2009)

1. Fuerza de empuje, la cual impulsa o induce al producto a pasar por los actuadores
2. Actuadores que apliquen una fuerza de reacción sobre la cáscara del producto
3. Resortes de ajuste que tienen como función absorber la variación de tamaños e irregularidades del producto.

Dados estos factores y como ya se había expuesto anteriormente, existen fallas en cuanto a la fuerza ejercida por los resortes, ya que es muy fácil inducir que la fuerza ejercida por los mismos excede la resistencia de la cáscara y del producto, lo que implica que en sí, se considerarían como elementos rígidos dentro del sistema actual, lo que ocasiona que las habas de mayor tamaño se fracturen en su totalidad, y por el contrario las de menor tamaño a la calibración de apertura entre los actuadores pasen de largo, por lo tanto en conclusión no están cumpliendo con su función principal, la cual es de ajuste, por ello, es imprescindible determinar los parámetros mecánicos del producto y entonces calcular las características de los resortes de ajuste, por otra parte, se debe mencionar que en relación a la fuerza de empuje, en el sistema actual es necesario incluir un actuador extra que realice la función mecánicamente, lo cual finalmente eleva la complejidad del mecanismo de alimentación al sistema y requiere en consecuencia mayor energía para su operación dado que existen mas elementos a los cuales hay que transmitir potencia, así como también los actuadores de pelado tienen una superficie lisa, lo cual

implica que las fuerzas de fricción involucradas en el proceso trabajan en su mínima magnitud, lo cual causa un decremento en la eficiencia del proceso. Es necesario resaltar que el mecanismo actual trabaja individualmente con el producto, lo cual es un parámetro que incrementa el tiempo del proceso al actuar sobre cada una de las habas durante el proceso. (L. Norton, 2009) (N. Childs, 2004)

Al tomar en cuenta los factores anteriores y después de haber aplicado ciertas técnicas en cuanto al diseño del producto, como *brain-storming* se tienen ciertas alternativas que sugieren un posible pelado efectivo, aunque son propuestas preliminares, hay que tomar en cuenta su posible efectividad para realizar el proceso.

Las propuestas alternativas al proceso actual, dirigidas a solucionar la problemática central estimando los parámetros funcionales antes mencionados son las siguientes:

1. Sistema de discos abrasivos en donde un polímero acoplado a una superficie rugosa cumple con la opción de ajuste al producto al absorber las irregularidades del producto.
2. Tina giratoria con superficie interna abrasiva, en este sistema se exhiben fuerzas causadas por el movimiento rotacional de una carga de producto el cual por acción centrífuga empuja al producto hacia la periferia del recipiente y lograría el pelado.
3. Tina giratoria con superficie interna lisa y con una carga combinada de habas y arena, en este punto la arena funge como factor abrasivo y existen las mismas fuerzas que el punto anterior.
4. Canal conductor de producto, en el cual, unos actuadores de separado empujan a las habas en contra de unas ranuras dispuestas a cierta inclinación por la cuales sale aire a alta presión, lo cual se esperaría fungiera como una cuchilla dada la ranura y la presión del fluido.
5. En un canal de propulsión el producto es eyectado hacia una pared de acabado rugoso, dispuesto a cierta inclinación en donde se efectúa la fractura primaria de la cáscara, posteriormente mediante una banda transportadora el producto es conducido hacia un contenedor de maya donde sale aire a alta presión y el producto es nuevamente eyectado hacia otra superficie similar a la anterior dispuesta de la misma forma, en donde se esperaría, el aire es descargado periódicamente y la probabilidad de que el mismo penetre entre la cáscara y el fruto estimule el pelado antes de volver a impulsar al choque en la siguiente superficie.
6. Placas rígidas con acabado abrasivo y movimiento de vaivén y sistema de ajuste mediante resortes, en esta propuesta se ve implicado un movimiento limitado del mecanismo por carga ya que se necesita un factor externo para la descarga del producto una vez pelado.
7. Sistema de banda abrasiva acoplada a un juego de catarinas de tracción lo cual emula una banda transportadora en donde se tienen unos separadores que conducen al producto en sentido contrario al giro de la banda abrasiva.
8. Sistema de dados individuales en donde el haba es tomada y conducida a unos actuadores de corte con una cuchilla y separación de la cáscara, esto sucede mediante la conducción por rieles y la determinación estadística de la geometría promedio del producto para ajustar y aprensar correctamente el producto durante el corte y separación.

9. Sistema de rodillos de ajuste y una banda rígida con acabado abrasivo, en esta propuesta se ha de definir una diferencia de velocidades entre los actuadores superiores e inferiores lo cual en teoría crearía un efecto de volcado y conducción del producto teniendo en este evento la fuerza de empuje y la evacuación del producto en el sistema.

Una vez que se han explicado a grandes rasgos las propuestas del sistema se tiene ahora una idea un tanto cuanto más clara de lo que se ha de desarrollar.

Recopilación de Opciones de Diseño

Ahora es momento de ampliar el funcionamiento de las opciones de diseño del sistema, en donde se han de determinar sus ventajas y desventajas para luego ser analizadas y definir la opción más viable para su desarrollo e implementación, por lo tanto se tiene lo siguiente:

1. Sistema de discos abrasivos

En esta propuesta, como ya se ha mencionado antes se tiene el siguiente esquema (ver figura AB8)

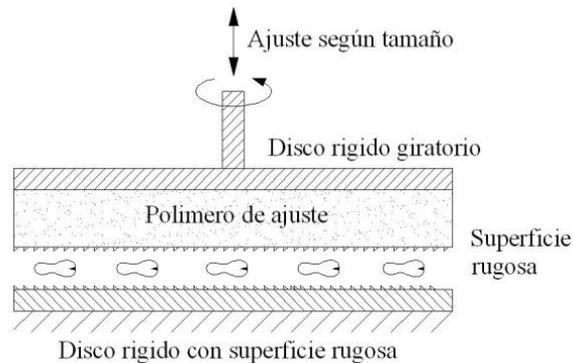


Figura AB8 Esquema del sistema de discos abrasivos

Como se puede observar, este sistema cuenta con dos componentes circulares rígidos, en donde el que se encuentra dispuesto en la parte superior cuenta con la opción de ajuste de acuerdo a la carga, además de que el mismo está acoplado a un polímero de ajuste principal, el cual ha de absorber la irregularidad de la geometría del producto y por lo tanto ha de ajustar el componente abrasivo o actuador final sobre el cuerpo del mismo, el disco dispuesto en la parte inferior puede encontrarse fijo de tal forma que solo el componente superior ejerza el movimiento necesario para efectuar el pelado, así como también cabe señalar que es una opción viable proveer de movimiento al componente inferior en sentido contrario al otro con el objetivo de incrementar la fuerza de pelado y disminuir el tiempo del mismo, en este sistema la carga de producto es necesario estimarla de acuerdo al área promedio ocupada por el producto, es decir que hay que estimar el área del haba proyectada desde una vista superior, posteriormente realizar la comparación con el área efectiva de trabajo de los discos abrasivos y entonces encontrar la cantidad promedio de habas a cargar y en consecuencia conocer en peso la carga de haba por ciclo.

2. *Tina giratoria con superficie interna abrasiva*

En esta propuesta se ha de someter la carga de producto de forma tal, que quede internamente en el recipiente, la carga se ha de determinar de acuerdo al volumen a contener del recipiente y como en el caso anterior se ha de comparar con el volumen promedio del producto y entonces se podrá calcular el peso de la misma y así saber cuánto se ha de cargar por ciclo, en tanto se tiene el siguiente esquema (ver figura AB9)

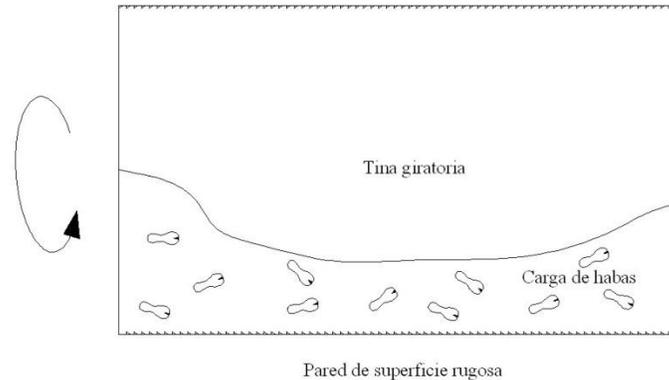


Figura AB9 Esquema del sistema de una tina con superficie interna abrasiva

Este sistema funciona como una tómbola comparable con un sistema de lavado, sin embargo la carga de habas ha de introducirse y al momento de realizar el movimiento circular, se han de generar fuerzas de empuje hacia la pared del recipiente por la acción centrífuga del sistema, en este punto se ha de definir cierto ciclo de operación ya que no se tiene un sistema que actúe o arrastre el producto en contra de la pared abrasiva y en sentido contrario al giro inicial, sin embargo, por la sencillez del sistema, se sugiere un costo cómodo para su implementación aunque para efectos de la eficiencia de pelado no se tiene una idea concreta, sin embargo es una opción que ofrece alguna expectativa de efectividad del proceso de pelado.

3. *Tina giratoria con superficie interna lisa*

En esta propuesta se tiene una esquema muy parecido al anterior sin embargo esta basada en el sistema de pulido de vértices de piezas mecánicas para excluir rebabas de los bordes, en el cual es incluido un elemento abrasivo como es la arena, por lo cual este sistema sugiere combinar la carga de producto con arena y entonces realizar el mismo ciclo del proceso anterior, y en tanto proponer una superficie interna lisa ya que es elemento abrasivo se encuentra dentro de la misma carga, este sistema propone un sistema de bajo costo pero el inconveniente es que el contacto del producto con la arena puede inducir una contaminación del producto una vez pelado y en consecuencia incluir un proceso posterior para el tratamiento del producto y entonces así limpiarlo de lo que haya sido contaminado, y por ello se tiene el siguiente esquema de trabajo (Ver figura AB10)

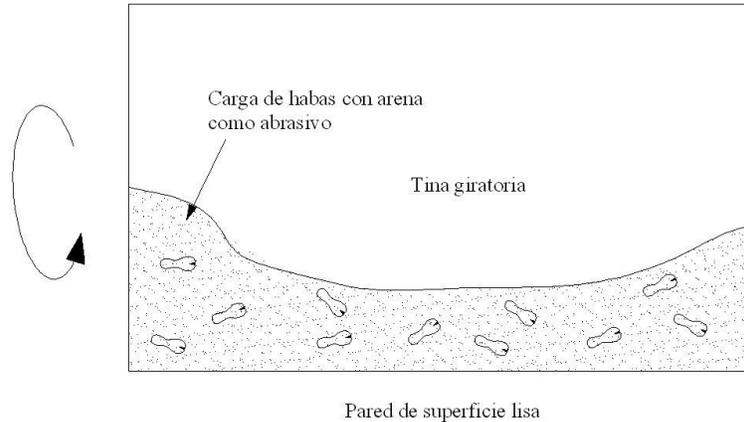


Figura AB10 Esquema del sistema de una tina con superficie interna lisa

Es preciso mencionar que se ha de encontrar solución al problema de balance de masas y fuerzas de acuerdo a lo esperado referente a la formalización de los parámetros del producto.

4. Canal conductor de producto con ranuras de salida de aire a alta presión

En esta propuesta se tiene una disposición de elementos en donde existe un canal donde se hace pasar al producto mediante un juego de separadores mecánicos, que ejercen una fuerza de empuje de un extremo a otro, además de que a lo largo del canal se ha de tener un arreglo de ranuras de tal forma que por las mismas ha de salir una carga de aire a alta presión simulando una cuchilla dada la presión del fluido, dichas ranuras han de estar a cierta inclinación que vaya en contra del trayecto a seguir por el producto y entonces al acelerar el fluido dada la presión del mismo, se forzarán a penetrar la cáscara y entonces realizar el pelado del producto, lo cual ha de estimular el desprendimiento de la cáscara por el mismo efecto del aire, para lo cual se tiene el siguiente esquema (figura AB11)

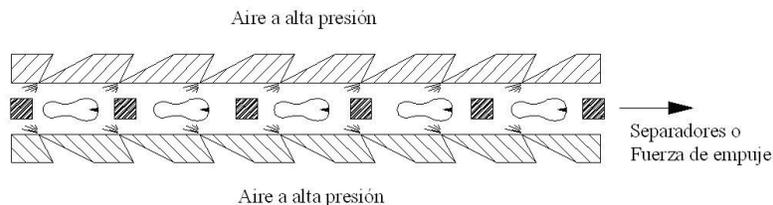


Figura AB11 Esquema del sistema con trabajo de aire a alta presión fungiendo como elemento cortante

La manufactura de este sistema sugiere una cantidad considerable de componentes a fabricar, además de implementar un sistema neumático que sea capaz de suplir el aire a la presión necesaria para crear el efecto esperado, lo cual implica una carga de aire lo suficientemente rápida y eficaz del sistema en cuanto a presión y distribución del fluido para así tener las pérdidas mínimas de presión en el mismo durante el proceso de pelado, además de que será necesario implementar un mecanismo de transmisión de potencia mecánica para el movimiento de los separadores de producto.

5. Canal de propulsión del producto con aire a alta presión

Esta propuesta sugiere un canal en donde el producto es eyectado a alta velocidad por efecto de aire a alta presión hacia una pared inclinada con acabado abrasivo, logrando así mediante el impacto, la fractura de la cáscara del haba, posteriormente el haba con la cáscara fracturada o desprendida en alguna parte de la misma, ha de caer en una banda transportadora que la conducirá hacia otro compartimiento donde el producto será impulsado nuevamente mediante aire a alta presión a otra pared inclinada con acabado abrasivo, en donde con ayuda del impacto previo y el aire aplicado nuevamente se estimulará el pelado del producto, lo cual presupone una alta probabilidad de lograr el objetivo en estas etapas de la propuesta, sin embargo es de notarse que la implementación de este sistema necesitará de un sistema neumático lo suficientemente efectivo para proveer la cantidad necesaria de aire a la presión deseada, así como también la implementación de las superficies abrasivas en forma inclinada y el sistema de tracción para la conducción del producto hacia la siguiente fase (ver figura AB12)

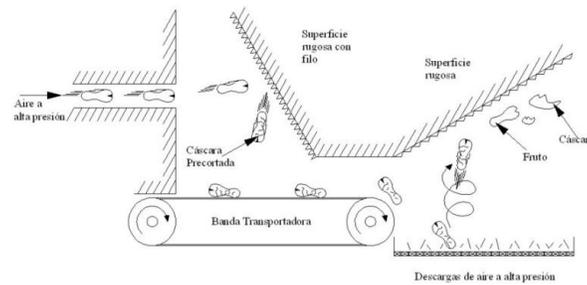


Figura AB12 Esquema de propulsión del producto en dos etapas.

6. Placas rígidas con acabado abrasivo y movimiento de vaivén

Se ha propuesto un sistema en donde hay dos placas rígidas con acabado abrasivo, una de ellas tiene la libertad de movimiento, y describe una trayectoria circular, la cual se traduce en un movimiento de vaivén generando presión hacia abajo en donde se encuentra la otra placa que se ha de fijar a un par de resortes los cuales realizarán el ajuste de irregularidades del producto (ver figura AB13) en este sistema es evidente que se tiene un movimiento limitado por parte de la placa en movimiento, además de que la carga de producto ha de ser descargada de alguna manera externa al sistema mismo, y dado que tiene una poca capacidad de carga efectiva entonces esto agrega tiempo al proceso total.

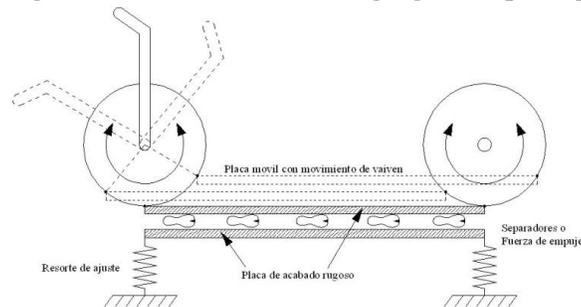


Figura AB13 Esquema de placas rígidas con acabado abrasivo y movimiento de vaivén.

7. Sistema de banda abrasiva acoplada a un juego de catarinas de tracción

Este sistema consta de un juego de bandas flexibles abrasivas parecidas a las lijas convencionales, las cuales han de tener una disposición acoplada a un sistema de rodillos de tracción los cuales realizarán el trabajo necesario para impulsar dichas bandas y poder efectuar la operación de pelado, por otra parte existe una sistema de separadores que conducen el producto en sentido contrario al movimiento de las bandas abrasivas, es importante mencionar que a lo largo del trayecto de operación de la banda flexible se tiene un sistema de rodillos de ajuste los cuales ejercerán una fuerza de empuje hacia la parte inferior del dispositivo lo cual efectuará el ajuste de la banda abrasiva en movimiento al producto durante su recorrido véase figura AB14 en dicha figura se puede apreciar que la banda inferior permanece fija y son ajuste, esto con la finalidad de que el sistema de ajuste de la parte superior presione al producto contra la superficie inferior en movimiento y al tener los separadores actuando en contra del movimiento de las bandas se puede esperar un pelado efectivo.

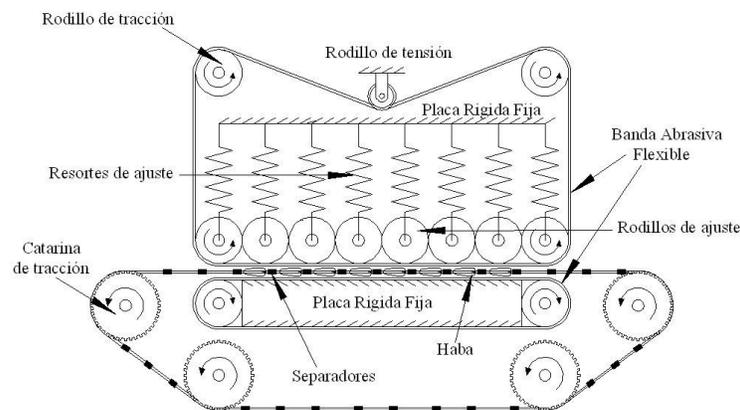


Figura AB14 Esquema del sistema de banda abrasiva acoplada a un juego de catarinas de tracción.

Al observar el esquema de funcionamiento del sistema propuesto se ilustra el hecho de que en dicha propuesta existe una gran cantidad de componentes a manufacturar, sin embargo la expectativa de desempeño que se tiene es muy alta dado el sistema de ajuste que sugiere ya que es segmentado y ofrece individualidad hacia el producto durante el proceso, además de que la fuerza de empuje es inducida mecánicamente y forzaría al producto a ser pelado, sin embargo dadas estas ventajas se tiene una desventaja con respecto a la cuestión de mantenimiento del sistema, dado que al hablar de bandas abrasivas flexibles con la consistencia de las lijas comerciales, esto implica un alto desgaste para el sistema y entonces se tendrían cambios de bandas en un periodo de tiempo muy corto lo cual generaría un costo de insumos y pérdida de tiempo entre cierto número de ciclos, además de que el desgaste al hacer la operación de pelado implicaría el agregar al producto un contaminante por efecto del desprendimiento del elemento abrasivo de la banda, lo cual agrega un proceso extra para la limpieza del producto, y puesto que ya se ha definido que la tendencia de los equipos en la actualidad es libre de mantenimiento, es necesario evocar las ventajas y desventajas que representa la implementación de este sistema.

8. Sistema de dados individuales

En este sistema se propone realizar un análisis genérico de la geometría del haba, y en función de ello construir unos dados de sujeción para aprensar individualmente cada una de ellas ver figura AB15, dichos dados han de ser conducidos por un riel que ha de tener marcada cierta trayectoria en donde en alguna parte del recorrido se ha de conducir el producto hacia una parte donde se encuentra una cuchilla fija y dos pequeños rodillos abrasivos o de goma ver figura AB16 esto con la finalidad de que el haba sea cortada en la parte superior de la misma y en seguida los rodillos desprendan fácilmente la cáscara por lo menos hasta donde se encuentra sujetado el fruto, y en consecuencia después ser depositada en un alojamiento que se ha de someter a vibración mecánica para terminar el proceso de pelado ya que como se mencionó en la parte del análisis de la cáscara y el fruto, la parte inferior de la cáscara una vez que la superior después de la zona crítica de fractura de misma es más simple el desprendimiento total.

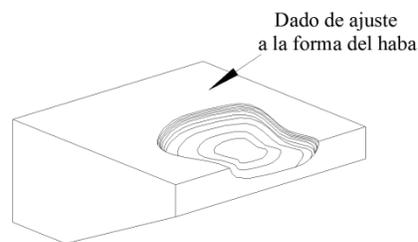


Figura AB15 Dado metálico maquinado de acuerdo a la geometría promedio del haba.

Dado lo anterior se tiene el siguiente esquema de funcionamiento del sistema propuesto:

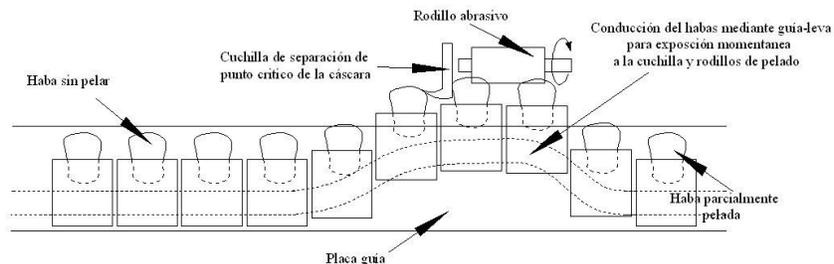


Figura AB16 Esquema del sistema de dados individuales.

Para la parte de separación parcial de la cáscara se tiene el siguiente esquema visto desde una parte frontal, en donde el haba ha sido cortada por la cuchilla y ha liberado la unión en el punto crítico de la cáscara, cabe mencionar que la exposición a la cuchilla debe ser momentánea puesto que solo basta con fracturar dicho punto crítico y en seguida alejar el cortador y por ello se propone el trayecto mediante una guía de trayecto variable como si fuese un sistema de seguidor-leva, entonces se tiene lo siguiente:

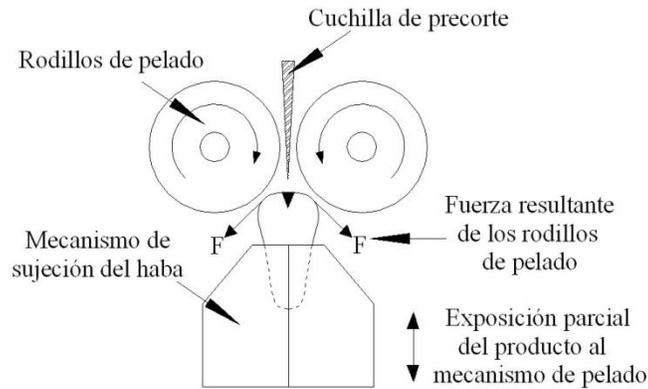


Figura AB17 Esquema del sistema de separación parcial de la cáscara.

En este sistema dado lo expuesto con respecto a la zona crítica de fractura en la cáscara cabría la posibilidad de sugerir una variante del sistema en la cual para efectos de una mejor sujeción del producto, se propone tomar el haba de la parte más gruesa con los dados, y hacer el mismo procedimiento pero con los rodillos dispuestos en la parte inferior lo cual implica modificar el trayecto inducido hacia la parte baja para el pelado parcial, sin embargo en esta variante no se contempla el uso de una cuchilla puesto que la fuerza ejercida por los rodillos abrasivos hacia abajo debe ser suficiente para que la cáscara sea desprendida ya que la sujeción debe ser buena en la parte superior para permitir el arrancamiento de la cáscara, con lo cual se tiene lo siguiente ver figura AB18

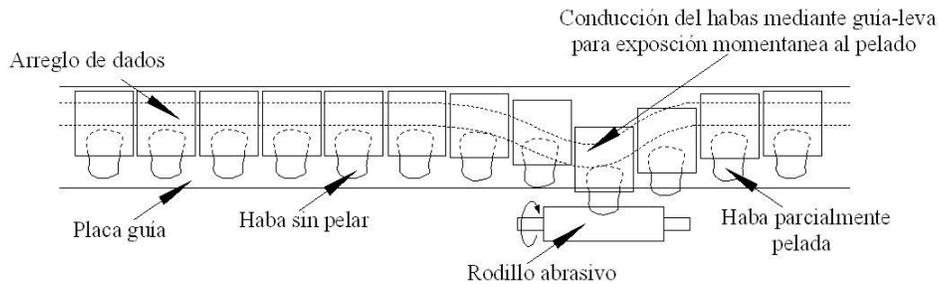


Figura AB18 Esquema del sistema de separación parcial de la cáscara sin necesidad de cuchilla.

Una vez explicado el sistema variante se ilustra el esquema para los rodillos de separación:

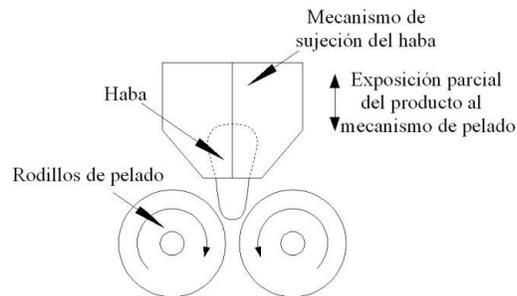


Figura AB19 Esquema del sistema de rodillos de separación parcial de la cáscara.

En esta propuesta es evidente el gran trabajo que implica el manufacturar cada uno de los componentes del sistema ya que son numerosos, y además se requiere de una gran precisión en cuanto al

maquinado de los mismos así como la implementación de los acopladores para evitar desfasamientos al momento de realizar el recorrido, así como también definir la trayectoria adecuada para el funcionamiento esperado, además de que el arreglo de los componentes de transmisión de potencia mecánica implican un gran arreglo de componentes y elementos mecánicos, con lo cual finalmente se agrega complejidad al sistema así como también peso, costo y dimensionamientos del mismo.

9. Sistema de rodillos de ajuste y una banda rígida con acabado abrasivo

La propuesta que a continuación se expone consta de un sistema similar al de la propuesta No. 7 sin embargo se tienen diferentes parámetros de trabajo ya que se ha de omitir el uso de los separadores que fuercen mecánicamente al producto a pasar por los actuadores de pelado, puesto que en este sistema se propone construir una banda segmentada compuesta por elementos rígidos con un acabado abrasivo, de tal forma que cada elemento o tablilla abrasiva se ajuste a la longitud promedio del haba ver figura AB20, al acoplar dichas tablillas abrasivas se ha de tener como resultado una banda abrasiva de elementos rígidos y para compensar la fuerza de empuje se propone implementar las catarinas de tracción con una diferencia de velocidades de tal forma que conduzcan el producto de un extremo hacia el otro pero generando un efecto de volcado a lo largo del recorrido, y puesto que el sistema esta compuesto por rodillos de ajuste que aplican fuerza hacia la parte fija inferior se esperaría que el pelado se efectúa de forma correcta al desprender la cáscara durante el recorrido ya que las fuerzas resultantes generadas deberán ser mayores a la resistencia a la fractura de la cáscara pero menores a la resistencia a la fractura del fruto, con lo cual al definir dichos límites de fuerza aplicada y teniendo en cuenta que el producto es conducido y evacuado de forma inducida por el mismo sistema adicionado con el efecto de volcado contrarrestado por los rodillos de ajuste la expectativa de tener un efectivo proceso de pelado es muy prometedora.

La disposición de las tablillas abrasivas trabaja mediante un sistema de bisagra ver figura AB21 acopladas para generar una banda continua flexible pero muy resistente al desgaste ya que está compuesta por elementos metálicos, lo cual tiene ventaja sobre el sistema de la propuesta No. 7 sin embargo agrega un costo de fabricación mayor, lo cual podría ser comparado con el costo de mantenimientos al realizar un análisis económico del sistema final.

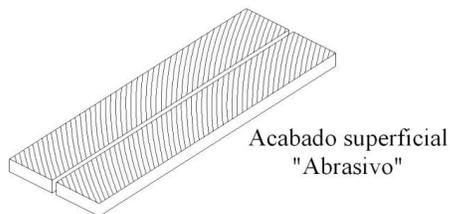


Figura AB21 Arreglo de tablillas rígidas con acabado superficial abrasivo

Figura AB22 Acoplamiento de tablillas mediante bisagras

Dado que el acoplamiento es mediante bisagras y existen unos rodillos de ajuste en la parte media del sistema, entonces se tiene la siguiente disposición geométrica para permitir el paso de las bisagras y cumplir la función de ajuste de los rodillos véase figura AB23

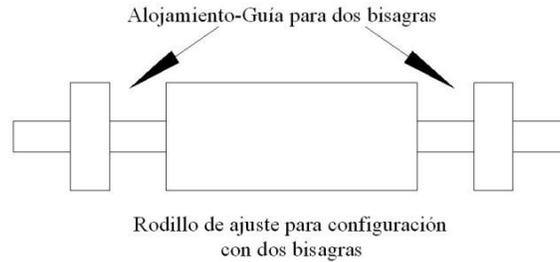


Figura AB23 Disposición geométrica del rodillo de ajuste

Luego entonces se tiene la siguiente disposición para el sistema propuesto:

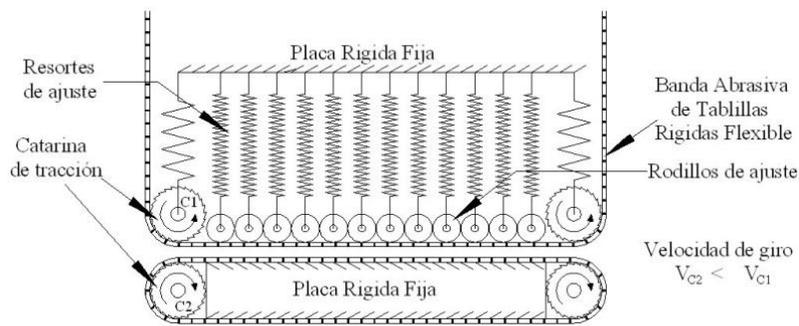


Figura AB24 Sistema de rodillos de ajuste y una banda rígida con acabado abrasivo

Con la finalidad de realizar un sistema lo más sencillo posible es necesario definir el sistema de tracción dadas las limitantes de los componentes antes expuestos, por ello se propone que las catarinas de tracción tengan una geometría de alojamiento para la misma bisagra lo cual ahorra componentes mecánicos para la transmisión de potencia como cadenas o correas externas que finalmente agregan peso, costo y dimensionamiento al sistema figura AB25

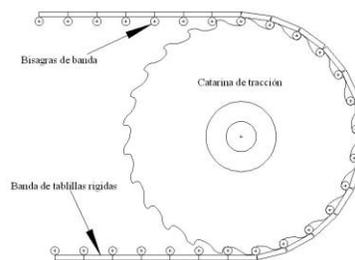


Figura AB25 Catarina de tracción propuesta para dar movimiento a la banda abrasiva

Una vez que se han expuesto las diversas propuestas para solucionar el problema central es necesario tomar en cuenta las ventajas y desventajas que representa la elección de cada una de ellas, lo cual es definido en la siguiente parte.

Análisis y Selección del Diseño Viable

Ya que han sido vistas las diferentes propuestas es necesario analizar lo que representa cada una de ellas, lo cual de acuerdo a la metodología a utilizar (Diseño Total) es imprescindible hacer uso de la llamada matriz de convergencia controlada donde se confrontan las ventajas y desventajas de cada sistema contra lo esperado en cuanto a desempeño y funcionalidad por parte de las especificaciones y necesidades del usuario.

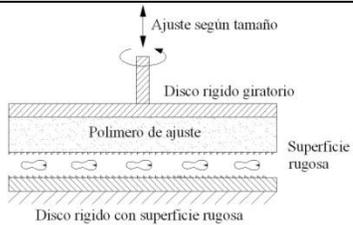
Tabla AB6 Matriz de convergencia controlada para el análisis de las propuestas.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	<i>P_R 1</i>	<i>P_R 2</i>	<i>P_R 3</i>	<i>P_R 4</i>	<i>P_R 5</i>	<i>P_R 6</i>	<i>P_R 7</i>	<i>P_R 8</i>	<i>P_R 9</i>
Tipo de actuador	+	-	-	+	-	+	+	+	+
Fuerza de empuje	-	-	-	-	+	-	+	+	+
Sistema de ajuste	+	-	-	-	-	+	+	+	+
Componentes a manufacturar	+	+	+	-	-	+	+	-	+
Costo de operaciones	+	+	+	-	-	+	-	-	-
Mantenimiento	+	+	+	-	-	-	-	-	+
Daño esperado al producto	-	-	-	+	-	-	+	+	+
Complejidad del sistema	+	+	+	+	-	+	-	-	-
Suma de (+)	6	4	4	3	1	5	5	4	6
Suma de (-)	2	4	4	5	7	3	3	4	2

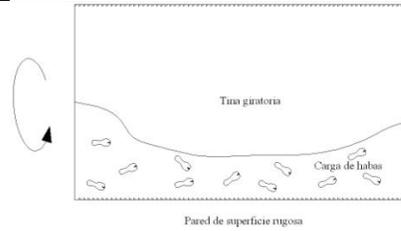
Ahora partiendo del hecho en que como se puede observar en la matriz de convergencia existe una ponderación de igual magnitud para la propuesta 1 y 9 (*Sistema de discos abrasivos y Sistema de rodillos de ajuste y una banda rígida con acabado abrasivo respectivamente*) es necesario discernir más específicamente cual es la opción más viable de acuerdo al desempeño deseado y a los parámetros requeridos por el usuario. Cabe hacer mención de que dichas ponderaciones y análisis han sido comparadas con respecto al mecanismo actual, el cual aún se encuentra en fase de prototipo y muestra un desempeño inferior a las expectativas por parte de los productores.

Es necesario determinar cuáles son los factores determinantes para el uso e implementación de cada propuesta, por ello se ha de desarrollar la siguiente matriz de comparación:

Tabla AB7 comparativa de factores de relevancia en las propuestas

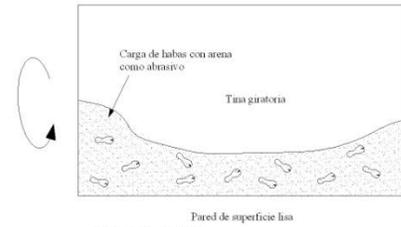
PROPUESTA	ESQUEMA	FACTOR
PR1	 <p style="text-align: center;">Ajuste según tamaño Disco rígido giratorio Polímero de ajuste Superficie rugosa Disco rígido con superficie rugosa</p>	<p>Implementación de un sistema de ajuste mediante polímeros y un sistema rígido mediante componentes abrasivos metálicos, cerámicos o plásticos o alguna combinación de ellos.</p>

PR2



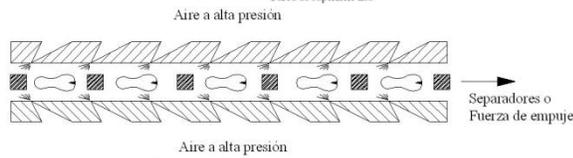
Maquinado de a superficie interna de la tina contenedora con la finalidad de generar una superficie abrasiva para que al momento de alcanzar las condiciones de masa y velocidad se efectúe un daño masivo a la cáscara del haba.

PR3



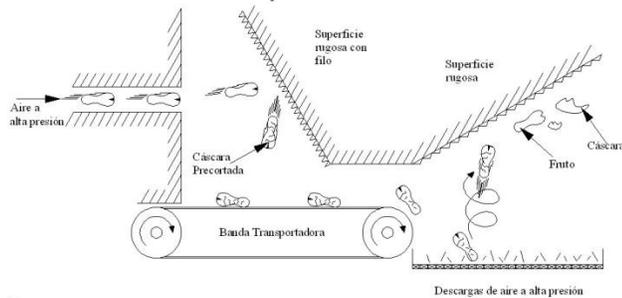
Adición de un material abrasivo en forma granular que efectúe una acción abrasiva durante el paso del producto a través del sistema abrasivo

PR4



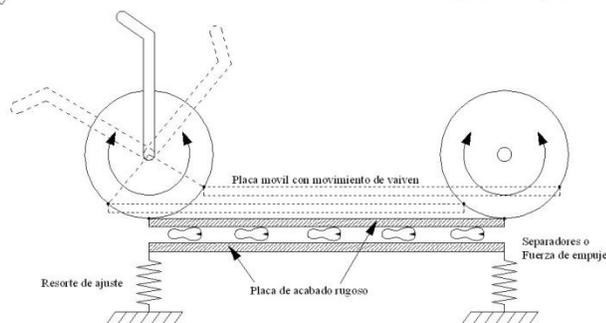
Adición de aire a alta presión, implementando la instalación necesaria para su uso, por lo que la manufactura de este sistema incrementa el costo significativamente

PR5



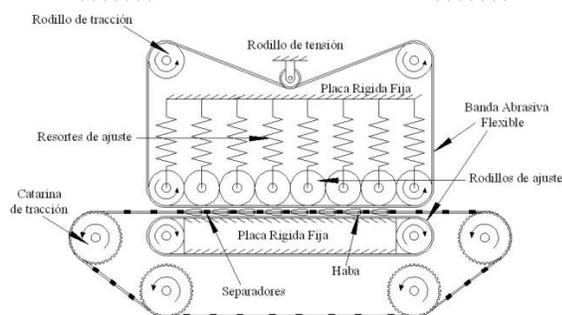
Sistema que combina aire y su instalación que conlleva así como una sección dividida de descargas de aire en conjunto con el transporte del producto.

PR6



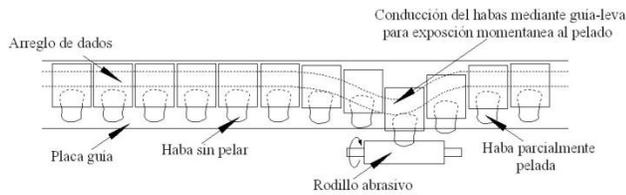
Sistema de vaivén que finalmente dificultaría la alimentación y descarga del producto.

PR7



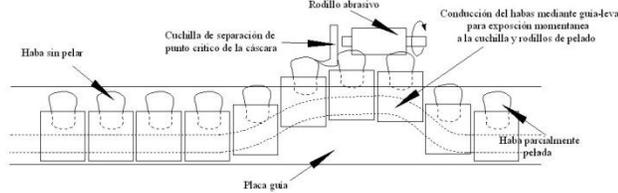
Banda flexible, que generaría por efecto del desgaste cambios en la banda flexible con gran frecuencia. Además de incluir un elemento conductor de empuje del producto en sentido inverso al del giro de las bandas

PR8



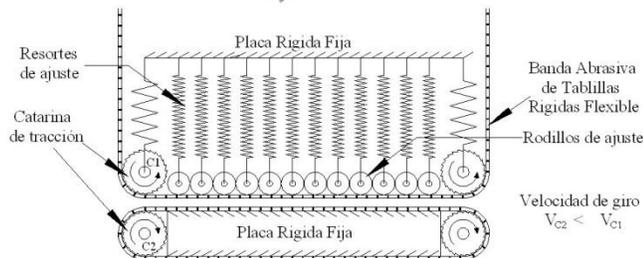
Sistema que implica la fabricación de dados de ajuste estadístico a la forma del haba, lo cual incrementa el costo así como también debe actuar mediante un sistema de alimentación de haba en haba.

PR8.1



Sistema variante del PR8 en donde existen los dados de alojamiento del producto así como implicar un gran costo de fabricación e implementación.

PR9



Sistema que excluye un elemento conductor y genera un efecto de volcado en el producto obligándolo a tener una fuerza de contacto entre el actuador rígido y el producto.

Dada la matriz anterior y con el sistema de selección mediante la matriz de convergencia controlada es se tiene a los dos exponentes más fuertes que es la propuesta 1 y la 9, por consiguiente se ha de desarrollar el sistema de la propuesta 9.

Diseño de mecanismos funcionales

Dada la idea del esquema de pelado y aunque se ha mencionado que este proyecto solo define el sistema de pelado, es necesario sugerir un sistema de mecanismos funcionales para los otros dos sistemas de la máquina de pelado de habas secas, partiendo de sistema actual en el prototipo del sistema de pelado en Oyameles Puebla, el cual tiene el siguiente esquema:

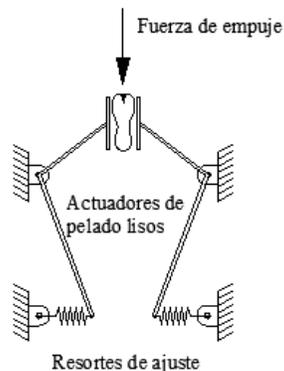


Figura AB25 Esquema actual del sistema de pelado

Es importante señalar que este sistema cuenta con unos actuadores de pelado con una superficie lisa, los cuales son accionados mediante un par de resortes que generan una fuerza de palanca para los actuadores, por lo que dichos actuadores no se encuentran calibrados a la fuerza necesaria que se

requiere para que el haba sea pelada, entonces como primer punto de diseño se tiene el sistema de ajuste y del sistema a la forma irregular del haba, posteriormente otro punto de vital importancia es el acabado superficial del actuador, por lo que estos dos puntos aunados a la selección de la propuesta en donde se tiene el siguiente esquema (ver figura AB26). Se procede a generar el proceso conceptual y de especificación técnica para el desarrollo del prototipo.

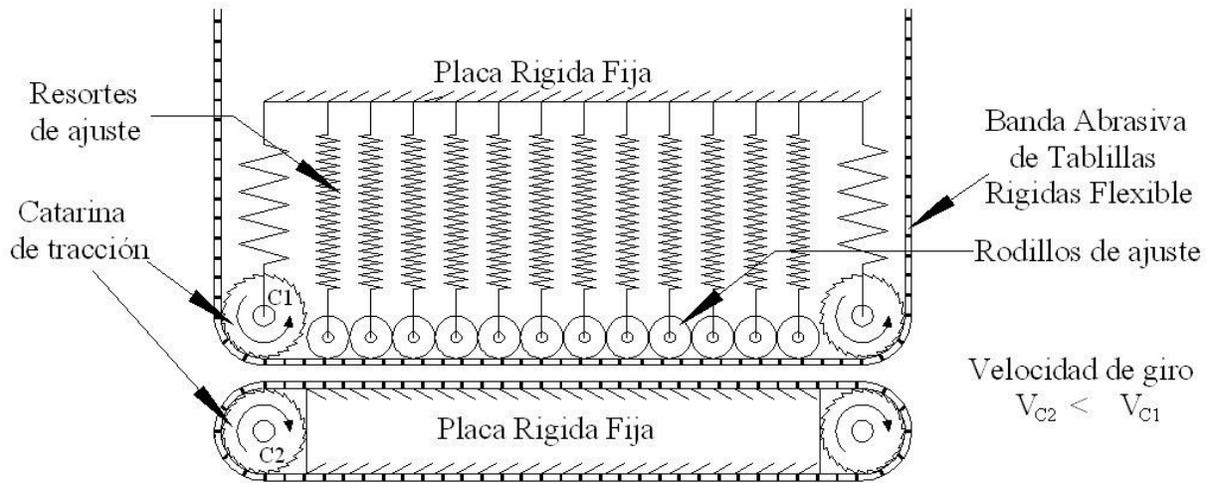


Figura AB26 Esquema seleccionado para su desarrollo

En dicho esquema es de vital importancia hacer referencia a que ambas bandas se mueven en la misma dirección pero con diferentes velocidades, esto con la finalidad de crear un efecto de volcado del producto durante su desplazamiento entre las bandas abrasivas (véase figura AB27)

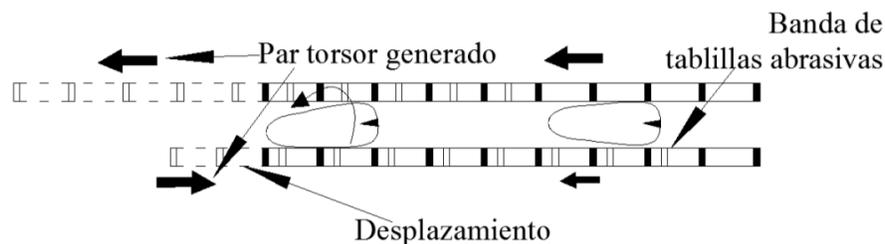


Figura AB27 Esquema del efecto producido por la diferencia de velocidades

Una vez que se ha definido el movimiento necesario de los actuadores de pelado, se procede a delimitar la idea mediante la ayuda de un sistema CAD, puesto que es hora de definir los componentes del sistema. Por consecuencia, dado que se trata de un sistema de tablillas abrasivas independientes, montadas en un sistema cíclico, es necesario diseñar una pista cerrada para el movimiento de los componentes.

En primera instancia se diseña el actuador independiente ajustado al tamaño estadístico del haba, este consta de un sistema de ajuste a la geometría del haba mediante la acción de un par de resortes de compresión, también está dotado de un perno de tracción ya que se prevé que se someterá al funcionamiento en un circuito cerrado de movimiento, por ello exhibe la geometría propuesta, además

de ser fabricado a base de partes de perfiles estructurales comerciales con la finalidad de contar con la disposición de los materiales.

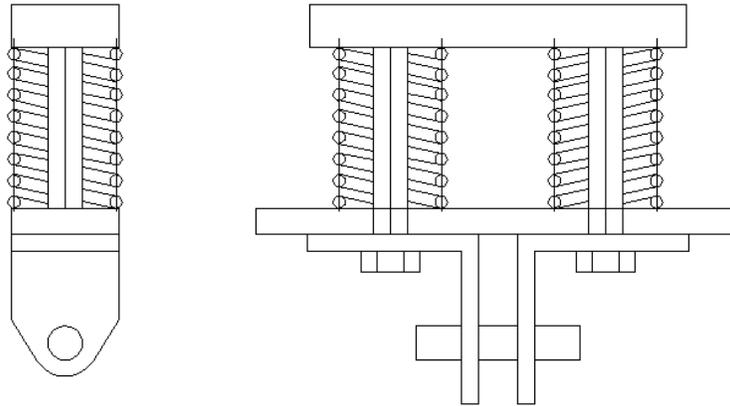


Figura AB28 Diseño del actuador de pelado

Las medidas propuestas serán en base al tamaño definido del haba, además de tomar en cuenta las especificaciones primarias de los usuarios, así como también cuidar el costo y el peso del prototipo, con esto, es necesario aclarar que si existiera algún cambio en el sistema de acuerdo a como sea necesario se deberá hacer en cuanto a geometría dimensión o material.

Por otra parte se planea que el sistema de pelado viaje a través de una pista cerrada formando un ciclo del proceso de pelado (véase figura AB29)

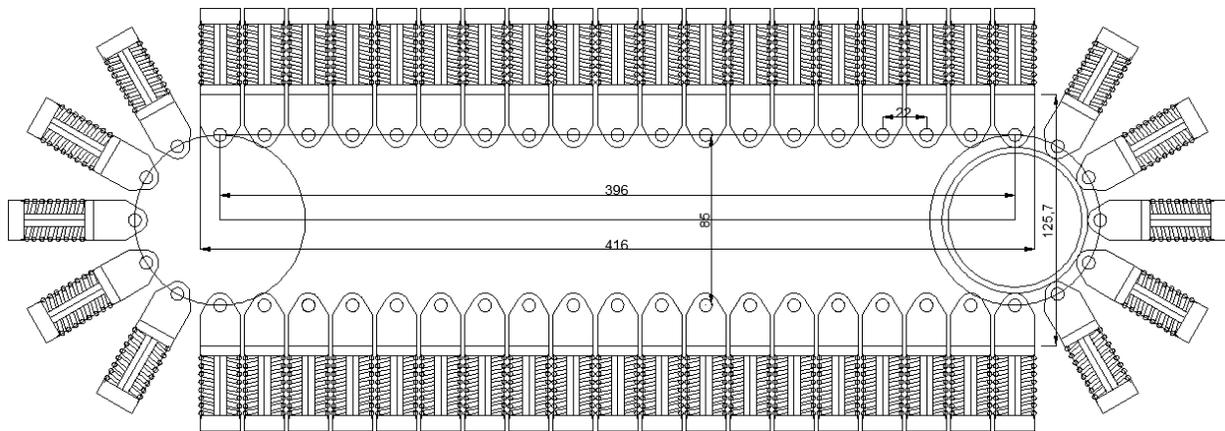


Figura AB29 Diseño de la pista de movimiento cíclico del sistema

Puesto que se está proponiendo un sistema de movimiento continuo en un circuito cerrado, es necesario determinar que se pretende fabricar 2 bandas abrasivas como las de la figura AB29 Con longitudes entre ejes diferentes de tal manera que sobre la más larga sean depositadas las habas para que sean transportadas automáticamente alimentando al sistema y conduciéndolas al proceso de pelado mediante el volcado del haba (véase figura AB30)

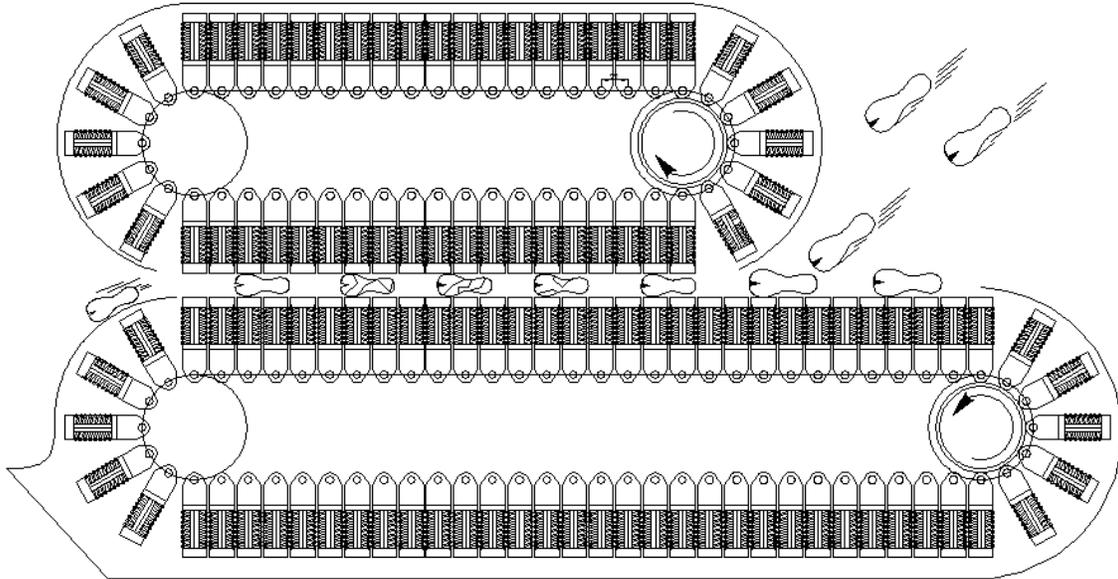


Figura AB30 Diseño de la pista de pelado con alimentador de producto

Habrá que definir su diseño geométrico y dimensional, el software a utilizar será SolidWorks  el cual permite el diseño de componentes mecánicos, así como su ensamblaje, simulación FEM y despliegue de dibujos técnicos.