
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN ACCESORIO DE ROBOT
PARA MANIPULAR PROBETAS A ALTA TEMPERATURA**

T E S I S

que presenta para obtener el grado de Maestro en Ciencias

ALEX BERNARDO PIMENTEL MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS

MC Rigoberto Zamora Alarcón

Dedicatoria

A mi familia

...Por siempre creer en mí.

A mis amigos y maestros

...por su apoyo y paciencia

Agradecimiento

Un agradecimiento muy especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a través de su programa de becas nacionales en el cual participe bajo el registro CVU 268270, así como también a mi asesor de tesis Rigoberto Zamora Alarcón por el tiempo y paciencia brindados.

Índice

Índice de figuras.....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Objetivo.....	vii
Hipótesis.....	vii
Metas.....	vii
Justificación	viii
Capítulo 1 Introducción	2
1.1 Tenazas para altas temperaturas.....	2
1.1.1 Diseños más comunes	2
1.2 Manipulación de material sometido a tratamiento térmico	2
1.3 Robots industriales y los efectores finales	3
1.3.1 Partes que componen un robot	3
1.3.2 Definición de efector final	4
1.3.3 Historia de la evolución de los efectores finales	5
1.3.4 Clasificación.....	6
1.3.5 Efectores finales tipo pinza	8
1.3.6 Pinzas hidráulicas.....	8
1.3.7 Pinzas eléctricas	9
1.3.8 Pinzas mecánicas.....	10
1.3.9 Proyectos de investigación	11
1.3.10 Consideraciones importantes de los efectores finales	15
1.3.11 Métodos de programación de robots	18
Capítulo 2 Marco teórico	22
2.1 Ingeniería del diseño	22
2.1.1 Modelos de diseño.....	24
2.2 Diseño para la manufactura.....	29
2.3 Métodos de evaluación de alternativas de diseño	33
2.3.1 Método del valor técnico ponderado	33

2.3.2 Método de selección de alternativas por árboles de decisión coste-beneficio	34
2.4 Clasificación de materiales	35
2.4.1 Clasificación y sistema de numeración para aceros	36
2.5 Métodos de selección de material	39
2.6 Termofluencia en los materiales	43
2.7 Procesos de manufactura.....	45
2.7.1 Operación de proceso.....	46
2.7.2 Operación de ensamble	50
2.8 Tolerancias	51
2.9 Tratamientos térmicos.....	53
2.9.1 Temple	55
2.9.2 Revenido	56
2.9.3 Recocido.....	57
2.9.4 Normalizado.....	57
2.9.5 Endurecimiento superficial	58
2.9.6 Consideraciones de seguridad que se deben tomar en cuenta.	58
2.10 Software de diseño, de ingeniería y creatividad.....	59
2.10.1 Software de Diseño (CAD/CAM/CAE).....	59
2.10.2 Programas de Autodesk, Inc.	60
2.10.3 Programas de Product Development Technology, PTC. Inc.....	61
2.10.4 Productos de Dassault Systèmes	62
2.10.5 Programas AEF	63
Capítulo 3 Desarrollo experimental	66
3.1 Especificaciones para el diseño.....	66
3.2 Inventario de material y equipo de laboratorio	66
3.3 Condiciones de operación del accesorio de la mano de robot.....	68
3.3.1 Temperatura	68
3.3.2 Características del robot Mitsubishi Movemaster.....	71
3.4 Propuestas de diseño para el accesorio de la mano de robot.....	75
3.5 Selección de la mejor propuesta y adaptación a la mano de robot.....	76
3.5.1 Capacidad de los servomotores del robot.....	80
3.5.2 Fuerza de agarre necesario	82

3.6 Selección del material de construcción	83
3.7 Análisis numérico	87
3.8 Fatiga teórica.....	90
3.9 Selección de los procesos de manufactura	91
3.10 Fabricación y ensamble del prototipo	93
3.11 Pruebas con dispositivo.....	96
3.11.1 Sujeción de probetas	96
3.11.2 Corrida del programa	97
3.12 Normas aplicables	99
Capítulo 4 Resultados y Conclusiones.....	103
Referencias.....	108
Anexos	110
Anexo 1 Tabla de tolerancias y ajustes según norma ansi	110
Anexo 2 Investigación de productos análogos.....	111
Anexo 3 Planos del prototipo	112
Anexo 4 Instrucciones de programación.....	115
Anexo 5 Diagrama de flujo	116
Anexo 6 Formatos CM-2 A y B de la STPS.	117
Anexo 7 Trabajo generado de esta tesis.....	119

Índice de figuras

Figura 1. 1 Algunos diseños comunes de tenazas.....	3
Figura 1. 2 Analogía entre el brazo de un cuerpo humano y el robot industrial	4
Figura 1. 3 Elementos de comunes en un robot industrial	5
Figura 1. 4 Distintos diseños de efectores finales tipo pinza	7
Figura 2. 1 Modelo lineal del proceso de diseño.....	26
Figura 2. 2 Identificación de los aceros según AISI	38
Figura 2. 3 Esquema de una máquina para ensayo de termofluencia.....	44
Figura 2. 4 Maneras de definir manufactura: a) Como proceso técnico y b) Como proceso económico	46
Figura 2. 5 Procesos comunes de deformación.....	48
Figura 2. 6 Operaciones comunes de maquinado.....	49
Figura 2. 7 Sector izquierdo del diagrama hierro-carbón.....	54
Figura 3. 1 Robot eléctrico Mitsubishi.....	68
Figura 3. 2 Acercamiento izquierdo-central al diagrama Fe-C	69
Figura 3. 3 Ciclo térmico para el templeado.....	70
Figura 3. 4 Elementos del Robot.....	71
Figura 3. 5 Dimensiones externas del robot Mitsubishi.....	72
Figura 3. 6 Espacio de trabajo del robot	72
Figura 3. 7 Nomenclatura y capacidad de movimiento del robot	73
Figura 3. 8 Dimensiones del gripper instalado.....	74
Figura 3. 9 Vista de planta del laboratorio.....	75
Figura 3. 10 Diseño adaptado para ajustar al robot.....	80
Figura 3. 11 Centro de masa y volumen del accesorio.....	80
Figura 3. 12 Distancia al centro de gravedad del accesorio	81
Figura 3.13 a) Representación de las fuerzas b) Diagrama de las fuerzas en el punto 1	88
Figura 3.14 Esfuerzos principales máximos para la parte B	89
Figura 3.15 Esfuerzo principal máximo para la parte C	90
Figura 3. 16 Distintas posiciones del robot Mitsubishi.....	97

RESUMEN de la tesis de Alex Bernardo Pimentel Mendoza, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA. Mexicali, Baja California, México. Julio de 2010.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN ACCESORIO DE ROBOT PARA MANIPULAR
PROBETAS A ALTA TEMPERATURA

Resumen aprobado por:

M.C. Rigoberto Zamora Alarcón
Director de tesis

RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño de un accesorio de efector final para el robot Mitsubishi Movemaster EX, con la finalidad de poder integrarlo en el manejo de material para realizar un proceso de temple en probetas de acero AISI 1018. El prototipo propuesto se realizó tomando en cuenta la masa y tamaño que dan como resultado la carga útil máxima del robot, las probetas a utilizar en el tratamiento térmico, las condiciones de temperatura y el espacio de trabajo. La propuesta de diseño presentada es sencilla y robusta permitiendo que sea fácilmente modificable para adaptarse a otro efector final que estuviera instalado en un robot distinto al utilizado para éste trabajo. Las ventajas de recomendar un diseño, para su posterior fabricación, son por un lado reducir costos comparado con la adquisición de un modelo comercial y, por el otro, poder diseñarlo conforme a las necesidades específicas de los laboratorios en los cuales se pretende implementar ya que por el tiempo de duración de las prácticas de laboratorio, se requiere que la instalación sea sencilla, rápida y con el menor número de herramientas posible. Además de lo anterior, la implementación del accesorio resulta en una mayor interacción de los alumnos con equipo operativo en procesos reales. El modelo se presenta con el programa de diseño Solidworks, mientras que el análisis por elementos finitos se hace con el apoyo de Ansys V11.

ABSTRACT of the thesis, presented by Alex Bernardo Pimentel Mendoza, in order to obtain the MASTER OF ENGINEERING DEGREE. Mexicali, Baja California, México. Julio de 2010.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN ACCESORIO DE ROBOT PARA MANIPULAR
PROBETAS A ALTA TEMPERATURA

Approved by:

M.C. Rigoberto Zamora Alarcón
Thesis advisor

ABSTRACT

This work presents the design of an attachment to the robot end effector MoveMaster Mitsubishi EX, with the purpose to integrate the management of material to make a quenching process in AISI 1018 steel samples. The proposed prototype was made taking into account the maximum payload of the robot, the specimens used, the conditions of temperature and workspace. The design proposal submitted is simple and robust allowing it to be easily modified to suit other end of arm installed in a robot. The advantages of recommending a design for subsequent production are on the one hand reduce costs compared with the acquisition of a commercial model and, on the other, to design it according to the specific needs of laboratories which are intended to implement because by the duration of the laboratory practices, requires that the installation is simple, fast and with as few tools as possible. Besides the above, the implementation of attachment results in greater student interaction with the operational equipment in real processes. The model is presented with the software Solidworks and the Finite Element Method analysis has been made with Ansys V11.

Objetivo

Diseño y fabricación de un accesorio de efector final, para el robot Mitsubishi Movemaster, que facilite la manipulación de piezas a alta temperatura en el laboratorio de ingeniería mecánica, mejorando las condiciones de seguridad y trabajo en tratamientos térmicos.

Hipótesis

Es posible la fabricación de un accesorio para la mano del robot Mitsubishi Movemaster, con ayuda de programas de diseño y métodos de evaluación de alternativas, que permitan su adaptación para trabajar con material a alta temperatura en hornos para tratamiento térmico dentro del laboratorio de ingeniería mecánica.

Metas

1. Proponer distintas alternativas de diseño para el accesorio y compararlas por medio de los criterios del diseño para la manufactura/ensamble y métodos de selección de alternativas.
2. Seleccionar el mejor diseño para fabricar un prototipo funcional del accesorio para efector final, que sea robusto, fácil fabricar y con un ensamble rápido.
3. Realizar pruebas al prototipo.

Justificación

Una parte importante de las asignaturas que se ofertan dentro de las distintas carreras en ingeniería son las prácticas de laboratorio, ya que con ellas se favorece el desarrollo de las habilidades del alumno, además de familiarizarlo con el manejo de equipo, lo que complementa la parte teórica de los cursos. Un factor primordial en el desarrollo de una práctica de laboratorio es la seguridad ya que nos permite evitar accidentes, tanto a los alumnos como al equipo.

Por esto, dentro del laboratorio de procesos de manufactura se pretende incluir prácticas donde los alumnos puedan interactuar con equipo operativo y no solo simulen alguna operación como se realiza actualmente permitiéndoles así, observar un proceso real.

Para realizar lo anteriormente expuesto, se propone una estación de trabajo donde el robot Mitsubishi Movemaster EX lleva a cabo la carga y descarga de probetas en un horno eléctrico para realizar un tratamiento térmico. Sin embargo, para hacer esto posible se tiene el inconveniente de tener una mano en el robot que no es la adecuada para realizar la operación, por lo que es necesario adaptarla. El aporte principal del trabajo es de orientar la aplicación de un robot manipulador hacia una actividad en la que este tipo de máquinas no se encuentran trabajando actualmente

Capítulo 1

Introducción



Es duro caer, pero es peor no haber intentado nunca subir
Theodore Roosevelt

Capítulo 1. Introducción

1.1 Tenazas para altas temperaturas

Son manos artificiales conocidas desde épocas remotas, que llegaron sin cambio alguno al presente. Sirven para sujetar las piezas a alta temperatura y poder manipularlas.

Son dos elementos de acero suave, cruzados y unidos por un eje remachado. Los brazos resultan bastante largos para reducir la afección del calor y permiten por elasticidad insertar una argolla para inmovilizarlos, manteniendo el agarre sin necesidad de apretar. [1]

1.1.1 Diseños más comunes

Las piezas que se sujetan con tenazas tienen formas diversas, por lo que el diseño de éstas puede adoptar formas muy variadas ya que depende de la forma del material que se desea manipular. Algunos de los diseños más comunes se ilustran en la figura 1.1. Las partes que mantienen las piezas se denominan: mordazas, ejes, el ojo y las garras, ramales o brazos.

1.2 Manipulación de material sometido a tratamiento térmico

Durante las operaciones de tratamiento térmico, siempre trabájese en parejas. Una persona puede abrir y cerrar la puerta del horno, mientras que otra manipula la parte caliente. La parte tratada térmicamente debe colocarse en el horno de modo que pueda sacarse en una forma conveniente. Esto evita que el operario deje caer piezas calientes y ayuda a lograr un tratamiento térmico exitoso.

Los hornos de atmósfera controlada nunca deben abrirse sin antes cortar el suministro del gas. Si no se hace así, puede provocarse una explosión. [2]

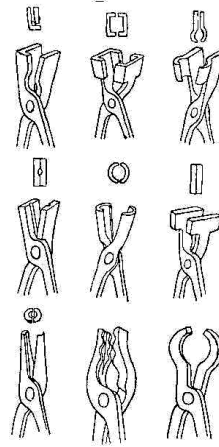


Figura 1. 1 Algunos diseños comunes de tenazas.

1.3 Robots industriales y los efectores finales

En 1921 el escritor Checoslovaco Karel Capek escribió la novela satírica conocida como R.U.R.* en la cual introdujo la palabra robot la cual significaba esclavo. En dicha novela las máquinas jugaban el papel de personas pero trabajando al doble de intensidad. En esencia un robot industrial está formado de dos elementos el manipulador (o “brazo”) y el controlador del robot. El controlador contiene el sistema microprocesador y las unidades de control de energía.

1.3.1 Partes que componen un robot

La constitución física de la mayor parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano (como es el caso del robot industrial de este proyecto), por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cintura, hombro, brazo, codo, muñeca, etc. [3]

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

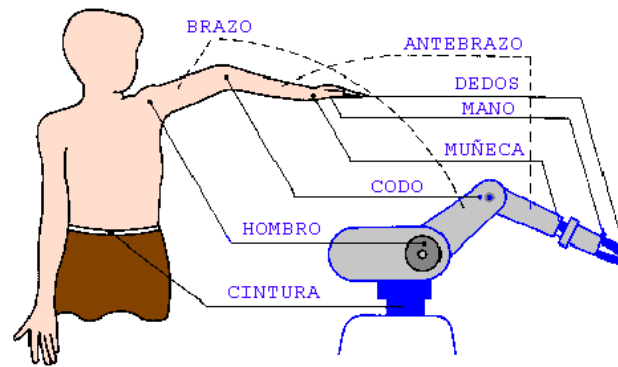


Figura 1. 2 Analogía entre el brazo de un cuerpo humano y el robot industrial

En la figura 1.2 se hace una analogía entre las partes de un robot manipulador y las de la extremidad del cuerpo humano, mientras que en la fig. 1.3 se ilustra de manera más detallada el robot.

1.3.2 Definición de efector final

Un efector final es un dispositivo que se une a la muñeca del brazo del robot para realizar una tarea específica. Algunas veces se hace referencia a ello denominándolo mano del robot. La mayoría de las máquinas de producción requieren artefactos especiales y herramientas diseñadas para una operación en particular, y un robot no es una excepción. El efector final es una parte de las herramientas de uso especial para un robot.

Por norma general, los efectores finales se deben inspeccionar técnicamente para la tarea particular que van a realizar. Esto se puede realizar comparando un dispositivo disponible comercialmente y adaptándolo a la aplicación.

La mayoría de los fabricantes de robots tienen grupos especiales de técnicos cuya función es la de diseñar los efectores finales y proporcionar servicios de consulta para sus clientes. Para el caso específico de nuestro trabajo será una pinza de sujeción para materiales a altas temperaturas. [4]

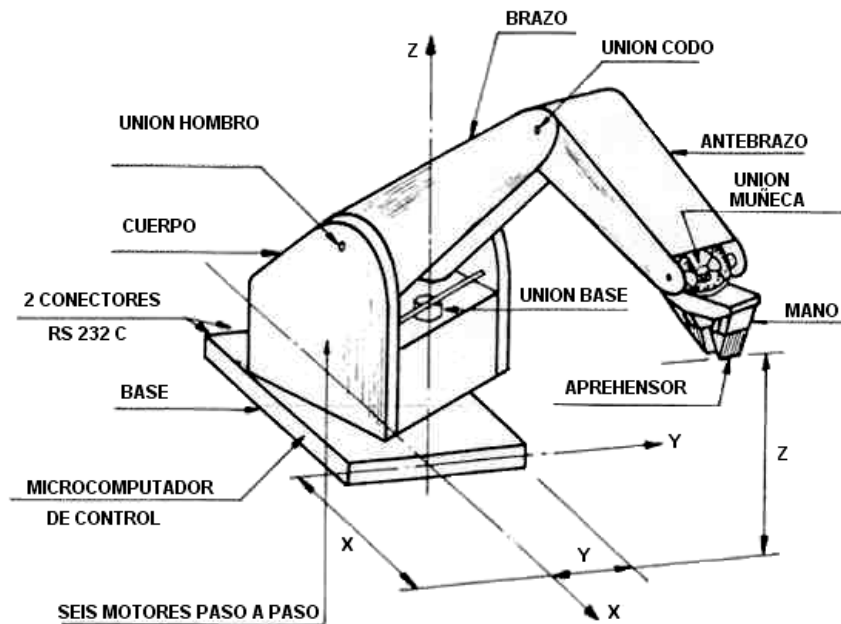


Figura 1. 3 . Elementos de comunes en un robot industrial

El efector final o mano del robot es la interface física por medio de la cual un robot puede realizar una operación.

Existen varias categorías de manos para robot, cada una con sus ventajas y desventajas que las hacen aplicables en para aplicaciones específicas. [5]

1.3.3 Historia de la evolución de los efectores finales

Hace 30 o 40 años se disponía de pocas pinzas como efectores finales y la gran mayoría consistía en alternar o vincular un mecanismo impulsado por un cilindro integrado o adjunto. Esto permitía al usuario tener una gran fuerza de agarre en un paquete bastante pequeño.

Hoy en día las pinzas son más complejas y capaces. Se utilizan diferentes mecanismos de accionamiento incluyendo piñón y cremallera, cámaras, scrolls, y combinaciones de estos

sistemas. Algunas pinzas cuentan con un sofisticado sistema de retroalimentación de velocidad, posición y control de fuerza. [6]

Los robots y manipuladores desde sus inicios han sido utilizados para realizar diversas tareas como manipulación de material, inspección en plantas nucleares, exploración espacial, prótesis humanas, entre otras.

Para esto, diseño de los efectores finales utilizados, se hace generalmente pensando en las necesidades del usuario del robot. Estos dispositivos pueden ser fabricados por un proveedor o por el propio dueño del sistema robótico.

El diseño de prótesis humanas es un desafío tecnológico importante. El antropomorfismo es uno de los factores principales que se deben observar en proyectos de prótesis para los miembros superiores o en el desarrollo de grippers que asemejen lo más exactamente posible la mano humana, y en consecuencia, la reproducción de los movimientos y las formas naturales de los dedos llegan a ser muy importantes.

En la figura 1.4 se muestran diversos diseños de pinzas para robot, sin embargo, hasta ahora la mejor pinza universal conocida es la mano humana. Un paso más en la evolución de los efectores finales ha llevado a utilizar tendones artificiales y alambres musculares para emular los movimientos de la mano humana. [7]

1.3.4 Clasificación

Existe una amplia gama de efectores finales necesarios para realizar una gran variedad de funciones de trabajo diferentes. Estos tipos se pueden dividir en dos categorías principales:

- 1.- Pinzas
- 2.- Herramientas

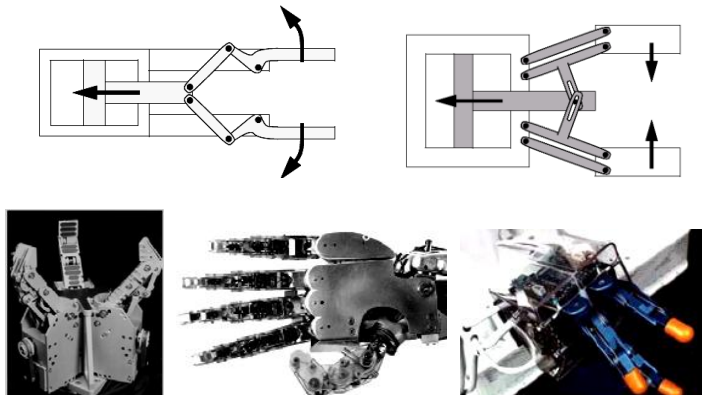


Figura 1. 4 Distintos diseños de efectores finales tipo pinza

Las pinzas son efectores finales que se utilizan para agarrar y sostener objetos. Los objetos suelen ser piezas que tienen que ser movidas por el robot. Se tiende a pensar en las pinzas como en dispositivos de agarre mecánico, pero existen modos alternativos de sujeción de objetos que implican el uso de imanes, ventosas, etc. Una pinza mecánica es un efector final que utiliza dedos mecánicos impulsados por un mecanismo para agarrar una pieza. Los dedos, algunas veces llamados uñas, son los accesorios de la pinza que están en contacto con la pieza.

En muchas aplicaciones se exige al robot que manipule una herramienta en vez de una pieza de trabajo. En la mayoría de las aplicaciones de robot en las que se manipula una herramienta esta última está unida directamente a la muñeca del robot; en estos casos la herramienta es el efector final.[4]

Algunos ejemplos de herramientas utilizadas como efectores finales en aplicaciones de robot incluyen:

- Herramienta de soldadura por puntos.
- Soplete de soldadura por arco.
- Tobera de pintura por pulverización.
- Husillos giratorios para operaciones tales como: taladro, rasurado, cepillado y rectificado.
- Aplicaciones de cemento líquido para montaje.

-
- Sopletes de calentamiento.
 - Herramienta de corte por chorro de agua. [8]

1.3.5 Efectores finales tipo pinza

En la industria actual, una de las actividades más frecuentemente realizadas por robots la constituye el transporte de materia prima y piezas para diferentes procesos. Esto incluye su interacción con máquinas CNC, bandas transportadoras, almacenes, e incluso otros robots. Para transportar dichos objetos, las pinzas se han convertido en el instrumento por excelencia. Son sencillas, resistentes, prácticas y económicas. Además, las pinzas pueden utilizarse para manipular distintas herramientas de un mismo proceso, en lugar de montarlas directamente en el robot, haciendo más eficiente el cambio entre ellas. [9]

Podemos clasificar las pinzas en base al tipo de impulsión con la cual funcionan, en hidráulicas, eléctricas, neumáticas y mecánicas. A continuación se explican las características principales de cada una de ellas.

1.3.6. Pinzas hidráulicas

Existen operaciones que requieren grandes presiones de trabajo. Para este tipo de operaciones es necesario utilizar pinzas hidráulicas, cuyo rango máximo de presión oscila entre los 5 y los 14 MPa. Sin embargo, como suele suceder en otras áreas donde la hidráulica es una opción, la implementación de este tipo de sistemas resulta costosa, poco precisa, carece de limpieza y es propensa a fugas.

Como lo menciona Hessler de Robotic Industries Association en 2007, la desventaja de la hidráulica es que existe la necesidad de lidiar con aceite, una bomba y un depósito. En robótica, es indeseable tener cerca cualquier cosa hidráulica. Los usuarios de robots no quieren el aceite o la suciedad, y no quieren tomar el riesgo de una fuga. La mayoría de los robots operados hidráulicamente han sido reemplazados por eléctricos sólo por esta razón.

Las pinzas hidráulicas se diseñan para propósitos muy específicos y son las que se utilizan con menos frecuencia, sólo cuando las presiones de trabajo y las fuerzas a desarrollar son tan grandes que el uso de otro tipo de pinza es imposible.

Las pinzas neumáticas son las más utilizadas, debido a su bajo costo principalmente. La mayoría de las industrias cuenta con instalaciones neumáticas, por lo que su implementación es relativamente simple. Comparadas con las pinzas hidráulicas, las neumáticas tienen una gran ventaja en cuanto a la limpieza.

La presión máxima que las pinzas neumáticas pueden ejercer se encuentra entre los 690 y los 830 KPa, aunque pueden alcanzar incluso 1 MPa. Debido a eso, se encuentran limitadas a la manipulación de objetos con bajo peso. Asimismo, estos dispositivos alcanzan únicamente posiciones extremas, siendo imposible la sujeción de objetos con dimensiones diferentes a las establecidas en su diseño.

Una de las principales aplicaciones de este sistema es en la industria alimenticia, donde se requiere un alto grado de limpieza y se cuenta ya con compresores y circuitos neumáticos. Además, en este tipo de industria, los objetos a manipular suelen ser envases frágiles (de vidrio, pete, cartón, etc.), los cuales se dañarían si la presión de sujeción fuera excesiva.

1.3.7 Pinzas eléctricas

Uno de los requerimientos que se presentan con mayor frecuencia en la industria es la sujeción de diferentes tipos de pieza, para lo cual las pinzas eléctricas son bastante útiles. Esto se debe al rango de posiciones que pueden alcanzar.

Las pinzas eléctricas son accionadas por medio de servomotores o motores a pasos. Esto les proporciona gran precisión y buena velocidad. No requieren de una instalación eléctrica además de la ya empleada por el robot mismo. Se utilizan en aplicaciones donde no se requiere mucha fuerza y debido a que están libres de humedad y de polvo, son ideales para trabajar en industrias donde la limpieza deba ser prioritaria.

Según lo menciona la Robotic Industries Associations, la mayor ventaja de las pinzas eléctricas es el control. A un sistema de pinzas eléctricas se le puede agregar un microprocesador a un reducido costo adicional, que puede usarse para variar la fuerza de agarre y la velocidad, permitiendo el manejo de piezas de diferentes formas y tamaños. Esto disminuye la necesidad de cambiar los efectores finales para acomodar diferentes tipos de partes (como en operaciones de ensamblaje).

Otra desventaja que se puede observar en las pinzas eléctricas es que presentan cierta robustez ya que se necesita que el motor se encuentre montado en el interior. Conjuntamente, tienden a proporcionar menos fuerza que las neumáticas.

1.3.8 Pinzas mecánicas

Este tipo de pinzas no es manejado como tal por todos los autores por el hecho de que toda pinza está provista de un mecanismo que le permite interactuar con el objeto. Lo que convierte a la pinza en hidráulica, neumática o eléctrica es el sistema de impulsión que da el movimiento de entrada al mecanismo. De acuerdo al mecanismo que poseen, las pinzas mecánicas pueden clasificarse en pinzas paralelas y pinzas angulares. Los dedos de las primeras se desplazan en forma lineal, siendo más utilizadas en la sujeción de piezas rectangulares y cuadradas. Los dedos de las segundas se desplazan alrededor de un pivote y requieren el uso de muescas para la sujeción de piezas redondas. Las pinzas paralelas mayormente usadas son las de dos dedos, aunque para algunas aplicaciones es necesario el uso de tres o más.

La figura 1.5a muestra el mecanismo más simple. Representa un par de pinzas que para cerrar o abrir, giran alrededor de un perno y se requieren dos fuerzas iguales en sentido contrario. En la figura 1.5b, dos articulaciones y dos apoyos reemplazan al par de fuerzas, haciendo necesaria únicamente la aplicación de una fuerza.

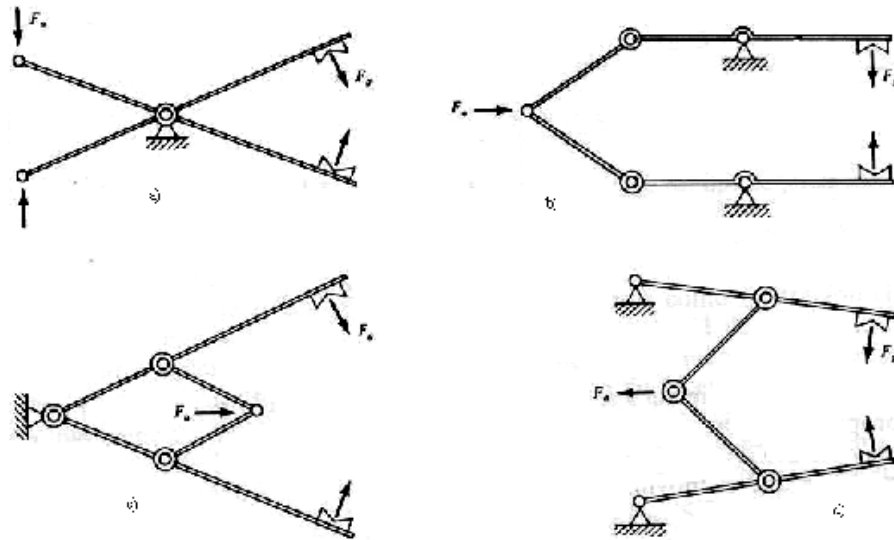


Fig. 1.5 Algunos tipos de pinzas angulares

Podemos también reducir la cantidad de apoyos y mover los elementos en donde la fuerza es aplicada, como se muestra en la figura 1.5c o podemos reducir la holgura al colocar dos soportes, como se muestra en la figura 1.5d.

En conclusión, existe una gran diversidad de aplicaciones industriales para las cuales es necesario el uso de pinzas. A partir de los requerimientos de cada una de ellas, debe seleccionarse el tipo de impulsión, el tamaño, el material, la forma y tamaño de los dedos, entre otros aspectos. Algunas de las pinzas presentadas poseen cierta flexibilidad en cuanto al tamaño de las piezas que pueden sujetar. Es nuestra intención presentar un efector final con una flexibilidad mayor en cuanto a tamaños y formas, a un precio más accesible.

1.3.9. Proyectos de investigación

En la manufactura flexible, se ha hecho necesario el uso de pinzas (o *grippers*) capaces de sujetar piezas de diferentes formas y tamaños. Esta flexibilidad se ha conseguido, en cierta forma, con la implementación de pinzas eléctricas, con ventosas, o bien, con pinzas que buscan imitar la mano humana. A continuación se presenta una serie de trabajos que se han realizado con esta finalidad.

Hernández en 2003 realizó la selección de un conjunto de efectores finales para un brazo mecánico. Su trabajo incluye un análisis de las ventajas y desventajas de cierto tipo de pinza con respecto a otro. Este trabajo no abarca aspectos de diseño, sino que se limita a la selección de equipo ya disponible en el mercado.

En ese mismo año Chávez propuso un modelo mecánico para el desarrollo de un brazo artificial adaptable como prótesis. Este proyecto parece prometedor a futuro puesto que contempla una mano artificial de cinco dedos, sin embargo, carece de un desarrollo detallado de los componentes y del funcionamiento del brazo, así como de una solución definida.

Existen algunos proyectos relacionados con la fabricación de mecanismos semejantes a la mano humana. Se refieren principalmente a los realizados para la fabricación de prótesis. En este aspecto, hay algunos trabajos que hemos decidido tomar como base.

Uno es el diseño realizado por Nava y Rodríguez en 2003, en el que se utilizan, como en la mayoría de los mecanismos de este tipo, resortes que devuelven los dedos a su posición inicial. El estudio anatómico no es minucioso, sin embargo, el movimiento está servo-controlado.

Por otro lado se encuentra el proyecto realizado por Medina y Serrano en 2006 donde se realiza el control de una prótesis de antebrazo que utiliza señales electromiográficas, es decir, que convierte la actividad eléctrica asociada con el movimiento del músculo en registros visuales o de sonido que pueden ser utilizados para controlar el movimiento del motor.

Los diferentes trabajos hacen uso de distintos tipos de transmisión para imitar el movimiento de la mano. Nava y Rodríguez contemplan el uso de chicotes de acero y rodillos para la apertura y cierre de la misma. Medina y Serrano utilizan un sistema de poleas, resortes y engranes, al igual que un motor a pasos, para el mecanismo de agarre de objetos, y otro motor a pasos para la rotación de la muñeca (fig. 1.6).

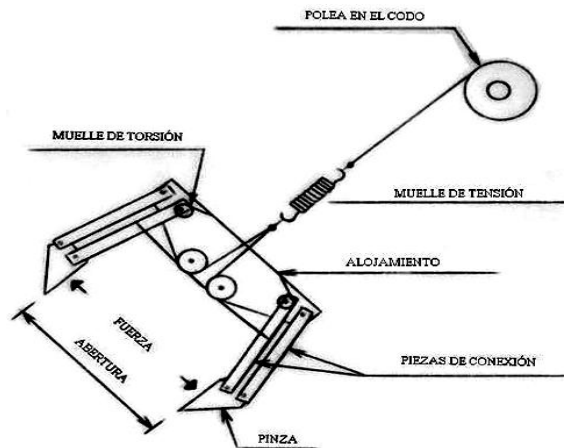


Fig. 1.6 Diagrama de poleas para control de la pinza de Medina y Serranos (2006)

La prótesis de Cota y Espinosa (2006), posee tendones de acero y un sistema de poleas, al igual que la de Medina y Serrano, pero con un diseño diferente. Cortez (2006) analiza también la alternativa de un sistema de poleas y tendones de acero, sin embargo, se decide por la colocación de motores en cada junta. Debido a que su proyecto se refiere a una mano robot controlada vía internet que reproduce los movimientos censados por un guante con fibra óptica, la tesis está enfocada principalmente al control del movimiento. Lo anterior explica la elección de servomotores para cada articulación

El gripper de Dollar y Howe (2006) es accionado por poleas y tendones, de tal manera que basta un movimiento en la base para abrir o cerrar la pinza. Un análisis de este tipo de mecanismos, es efectuado también y se refiere a las diferentes posiciones que los dedos pueden tomar para la sujeción de piezas cilíndricas en diferentes posiciones. Su trabajo presenta una simulación variando la configuración de las articulaciones y la cantidad de grados sub-actuados.

Uno de los proyectos más recientes es la de Nasser (2006) que trata del diseño de una prótesis de mano antropomórfica, sub-actuada, de quince grados de libertad, con un movimiento de actuación por dedo. Cada dedo es totalmente independiente del otro y está diseñado para adaptarse a objetos de cualquier geometría. Esta prótesis tiene la habilidad de realizar agarres puntuales, además de cilíndricos.

En cuanto al diseño mecánico de los efectores finales tipo pinza auto-conformables, se puede mencionar el trabajo de Suárez y Grosch en 2004. Su proyecto consta de una palma con cuatro dedos de cuatro grados de libertad cada uno, e incluye además las partes eléctrica-electrónica y de control. El trabajo terminado puede observarse en la figura 1.7.

Existe también una serie de grippers auto-conformables basados en la mano humana, pero sin ser antropomórficos, por el hecho de que están enfocados a la realización de tareas industriales en lugar de tener como finalidad el constituir una prótesis.

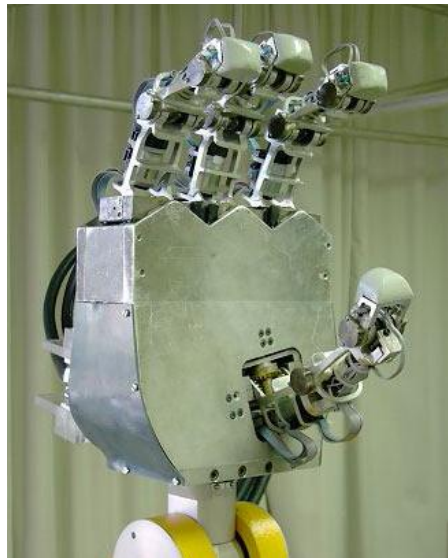


Fig. 1.7 Mano mecánica MA-I (Suárez y Grosch).

La *Karlsruhe Dexterous Hand* es una pinza de este tipo, con cuatro dedos colocados perpendicularmente uno de otro. Osswald y Wörn en 2001 se dedicaron también a explicar los diferentes diseños, sistemas de actuación y de sensado, que un gripper auto-conformable es capaz de utilizar.

Una forma poco convencional de resolver el problema de la auto-conformabilidad de un gripper, es colocar múltiples eslabones en serie acoplados mediante un intrincado sistema de poleas. Esto permite la obtención de una fuerza de sujeción uniforme a lo largo de toda su

superficie. Si el sistema de poleas es accionado en sentido contrario, los eslabones se enrollan hacia el exterior, liberando el objeto según Hirose-Fukushima Robotics Lab, en 2006.

En otro caso, Villa Aguilar en 2006 plantea el problema del control en dos dimensiones, de cierta forma, se aborda, con los conocimientos básicos de síntesis y análisis de mecanismos, el proyecto es semiautomático, no presenta ningún problema en su diseño, se emplean mecanismos de cuatro barras, poleas y cable, que tienen la función de actuar conjuntamente para abrir y cerrar los dos dedos de la mano. [10]

1.3.10 Consideraciones importantes de los efectores finales

Por lo general, el efector final está montado en el brazo del manipulador. En la mayoría de los robots industriales, se ponen diferentes arreglos en los hoyos de montura del brazo, con lo que el efector final se puede montar en diferentes posiciones.

Cada robot manipulador es capaz de levantar un cierto número de kilogramos. A esta capacidad se le llama carga útil. Por ejemplo, cierto robot es capaz de levantar 10 kg. Si se monta un efector final que pesa 2 kg, entonces la capacidad máxima que el robot puede levantar se reduce a 8 kg. Por lo tanto, el usuario debe saber el peso del efector final para determinar la carga útil actual del robot. Si el peso que se agrega al final del brazo del robot excede su capacidad de carga, entonces las especificaciones de repetitividad y precisión del robot se verán afectadas.

Otro aspecto importante es que el programador del robot debe poder controlar las acciones y la trayectoria del efector final a través del programa. Por lo tanto, debe ser capaz de mover el efector final a la misma posición una y otra vez. Además, el programador debe estar consciente que el añadir un efector final al manipulador incrementará el tamaño del límite de trabajo del robot. Por ejemplo, un típico brazo de robot articulado tiene un límite de trabajo de 6 pies aproximadamente. Cuando se le agrega una herramienta como efector final al manipulador, el límite de trabajo de éste se incrementa 1.5 pies. Este simple incremento en el

tamaño del límite de trabajo del robot puede significar que ahora el robot no se ajusta al área para el cual fue planeado. El tamaño de la pieza que el robot moverá también es de gran importancia, ya que si la parte se extiende más allá de la pinza incrementará aún más el límite de trabajo del robot.

Dentro de los efectores finales se encuentran las pinzas, las cuales se componen de dos secciones: los dedos que agarran la pieza y el circuito de impulsión que hace que el dedo abra y cierre.

Hay muchos factores que se deben considerar en el diseño de pinzas para robot. Por ejemplo, la pinza debe ser tan flexible como la mano humana; esto significa que la pinza debe tener muchos dedos que puedan agarrar la pieza. Los dedos de las pinzas deben tener sensores para detectar si la pieza está presente. Además, los dedos deben ser capaces de doblarse, tal como lo hacen los dedos humanos. Finalmente, los dedos deben ser capaces de moverse independientemente.

Cada una de estas características son las de una mano humana. Idealmente, nosotros quisiéramos que las pinzas de robot tuvieran estas características pero la reproducción de una mano como la humana es muy costosa.

La característica principal que un diseñador debe considerar cuando selecciona una pinza para robot es que tan bien se adapta a la tarea que desempeñará.

La persona que está diseñando una pinza para robot debe considerar muchos factores clave. La siguiente lista describe algunos de los criterios de diseño para pinzas de robot:

- ✓ La pieza que la pinza va a agarrar debe estar dentro de su alcance.
- ✓ Los dedos de la pinza deben ser autoajustables y capaces de tomar piezas de distintos tamaños.
- ✓ Los cojines de los dedos de la pinza deberán ser utilizados cuando se manipulen piezas delicadas.

-
- ✓ Las pinzas de los robots y los accesorios de las herramientas deben trabajar juntos de modo que la pinza pueda alcanzar la prensa de sujeción.
 - ✓ La pinza del robot debe estar en la posición correcta para agarrar la pieza. Si la pieza es pesada, los dedos deben agarrar la pieza cerca o en su centro de gravedad. Si la pinza toma la pieza en el centro, ésta se puede ladear.
 - ✓ La pinza debe tomar la pieza en el área donde es más larga. [11]
 - ✓ Bajo peso para permitir una mayor carga útil e incrementar la velocidad.
 - ✓ Fijar dimensiones mínimas por el tamaño del objeto y separaciones del área de trabajo.
 - ✓ Máxima fuerza, por seguridad y para prevenir daños.
 - ✓ Mantenimiento fácil y rápido.
 - ✓ Medidas de seguridad para que la pieza no caiga cuando la energía falle.
 - ✓ Tratar que el centro de gravedad de la pieza está centrada cerca del robot para reducir los efectos inerciales.
 - ✓ Fabricar los dedos con las mismas características de forma de la pieza.
 - ✓ La pinza debe tolerar cierta variación en la posición de la pieza.
 - ✓ Diseñar para cambios rápidos de las pinzas con un número pequeño de herramientas.
 - ✓ Eliminar esquinas filosas.
 - ✓ Utilizar materiales ligeros y taladrar los marcos cuando sea posible.
 - ✓ Analizar alternativas de diseño.

Factores que se deben considerar:

- ✓ Pieza de trabajo
 - Dimensión, masa, geometría, posibilidades de daño en la pieza.
- ✓ Actuadores
 - Mecánicos, magnéticos, de vacío, etc.
- ✓ Fuente de energía
 - Eléctrica, neumática, hidráulica, mecánica.
- ✓ Rango de la fuerza de agarre

-
- Masa del objeto, coeficiente de fricción entre la pinza y la pieza, aceleración máxima durante el movimiento.
 - ✓ Posicionamiento
 - Longitud de la pinza, precisión y repetitividad del robot, tolerancia en las medidas de la pieza.
 - ✓ Mantenimiento
 - Número de ciclos requeridos, uso de piezas sometidas a desgaste separables, capacidad de mantenimiento.
 - ✓ Ambiente
 - Temperatura, humedad, suciedad, polvo, etc.
 - ✓ Protección contra temperatura
 - Protectores térmicos, dedos más largos, sistema de enfriamiento separado, materiales resistentes a la temperatura.
 - ✓ Materiales
 - Fuerte, resistente, durable, resistente a la fatiga, costo, facilidad de fabricación, coeficiente de fricción, conveniencia para el ambiente.
 - ✓ Otros puntos
 - Dedos intercambiables, diseños estándar, usar placas de montaje, diseño flexible para acomodar cambios en los productos. [12]

1.3.11 Métodos de programación de robots

Los robots industriales pueden programarse utilizando varias técnicas o métodos. Los métodos más básicos empleados en algunos de los primeros robots hidráulicos, utilizaban tambores rotatorios. Estos métodos de programación mecánica obtenían el control de la secuencia y de la distancia de recorrido. Más recientemente, para sincronizar en secuencia los movimientos de los robots neumáticos y de las unidades modulares ha sido aplicado el uso de

controladores lógicos programables. Se tratan todos ellos de sistemas de control no servo, que utilizan simple retroalimentación proveniente de interruptores limitadores o de detectores de proximidad. Los robots totalmente controlados por servo emplean unidades controladoras dedicadas, basadas en microprocesador. Esto permite el empleo de técnicas complejas en y fuera de línea de programación.

Programación en línea: Aquí se utiliza el brazo del robot mismo durante la operación directa de programación. Cuando la tarea que se está programando es compleja el tiempo de programación puede resultar exageradamente largo. Básicamente existen dos métodos de programación en línea: aprendizaje mediante conducción guiada a través de la tarea y aprendizaje mediante caja de enseñanza. También es posible programar directamente desde una terminal de computadora conectada al controlador, lo que en principio es similar al método de aprendizaje por caja de enseñanza.

Programación fuera de línea: Programar fuera de línea significa la creación de un programa para una tarea robótica. Sin la necesidad de físicamente conectado con el robot, ni cerca de él. De hecho, cuando se combina con técnicas de simulación, la programación fuera de línea puede llevarse a cabo antes de decidir qué robot adquirir para una aplicación específica. La simulación gráfica del robot y de su entorno ofrece muchos beneficios al ingeniero industrial y al programador. Los paquetes de simulación tienen la capacidad de modelar el robot de manera cinemática y a veces de manera dinámica, para dar una representación animada, visual y en tiempo real de cómo funcionará el robot bajo condiciones programadas. La simulación se está convirtiendo en una herramienta de programación de robots de popularidad creciente en la industria, en la educación y en la investigación. [13]

Capítulo 2

Marco teórico



*Las personas no son recordadas por el número de veces que fracasan, sino por
el número de veces que tienen éxito
Thomas Alba Edison*

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Ingeniería del diseño

El diseño como tarea consiste en pensar (idear) y describir una estructura que aparece como una portadora de características deseadas (particularmente funciones); el diseño como proceso consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción de una estructura que las satisfaga. De esta manera, se podría entender al individuo que diseña, como un medio de transformación de información, que proviene inicialmente del cliente, pero que se alimenta también de conocimiento propio del diseñador y conocimiento adquirido durante el proceso, para dar lugar a una estructura imaginada que una vez hecha realidad, confirma las características con las que se pensó.

Hoy día se habla del diseño como una ciencia y se reconoce la interacción de un gran conjunto de características dentro de su definición, como por ejemplo: solución de problemas, toma de decisiones, creatividad, búsqueda heurística, evolución, aprendizaje, negociación, conocimiento, optimización, organización, satisfacción de necesidades, etc.; todos ellos necesarios, pero no suficientes por si solos (aisladamente).

Los estudios sobre el proceso de diseño, entre otras cosas, ha dejado como resultado un sin número de propuestas para representarlo (modelos descriptivos), para realizarlo (modelos prescriptivos), para entenderlo (modelos cognitivos) y para automatizarlo (modelos computacionales); además de la gran cantidad de técnicas y herramientas que sirven para asistirlo. Aún así, se puede afirmar que el desarrollo ha sido desequilibrado. El proceso de diseño se suele subdividir en dos clases de acciones mentales: el análisis y la síntesis. Los sistemas de apoyo al diseño se han centrado especialmente en el análisis, incluso se puede decir que los currículos académicos de la ingeniería se sesgan hacia esa misma tendencia, dejando a la síntesis un tanto en el aire, bajo el supuesto de que la experiencia y el conocimiento del ingeniero de diseño son suficientes para desarrollarla con éxito. Sin embargo, las exigencias del mundo globalizado actual, por productos cada vez más

competitivos, más creativos, más innovadores, han desvelado la necesidad de que la etapa de síntesis, aquella en la que la creatividad juega papel fundamental, sea mejor asistida. Este reconocimiento ha dado lugar a nuevas tendencias de las investigaciones en la ingeniería de diseño.

El termino anglosajón design hace referencia a toda la actividad de desarrollo de una idea de producto, de tal manera que se acerca más al concepto castellano de proyecto, entendido como el conjunto de planteamientos y acciones necesarias para llevar a cabo y hacer realidad una idea.

Las diferentes definiciones de diseño que se encuentran en la literatura evidencian el concepto antes explicado. Por ejemplo, Pugh (1990) lo define bajo el término “diseño total” como la actividad sistemática desarrollada para satisfacer una necesidad y que cubre todas las etapas desde la identificación de la necesidad hasta la venta del producto. Pahl y Beitz (1995) lo definen como una actividad que afecta a casi todas las áreas de la vida humana, utiliza leyes de la ciencia, se basa en una experiencia especial y define los requisitos para la realización física de la solución.

La vinculación del dominio funcional al dominio físico es el objetivo del diseño según Suh (1990), lo cual implica una continua interacción entre lo se quiere conseguir y la forma como se consigue.

El ICSID (International Council of Societies of Industrial Design, 2004) define diseño como una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas, en todo su ciclo de vida. Por lo tanto, es el factor principal de la humanización innovadora de las tecnologías, y el factor crítico del intercambio cultural y económico.

Se puede hablar de que el diseño busca la satisfacción de una necesidad, es decir, aborda la solución a una situación problemática. Un segundo elemento importante es que para lograr obtener tal solución se debe tener en cuenta el entorno en el que se aplicará y las interrelaciones entre sus componentes, es decir, tener un enfoque sistémico, lo cual implica

una actuación multidisciplinaria y la consideración de todo el ciclo de vida del producto. La tercera consideración tiene que ver con las limitaciones impuestas por factores externos de orden físico, económico, social y funcional, a lo que comúnmente se le denomina restricciones. Y el cuarto elemento que define al diseño es su identificación como una actividad creativa por excelencia, en la que se tiene la posibilidad de desplegar en toda su magnitud esta característica inherente del ser humano.

En resumen, el diseño se entiende como el desarrollo de una estructura o un sistema que sea portador de características deseadas (particularmente, funciones) y que logra básicamente por la transformación de información sobre condiciones, necesidades, demandas, requisitos y exigencias, en la descripción de una estructura capaz de satisfacer esas demandas, que pueden incluir no solo los deseos del cliente, sino también requisitos de todo el ciclo de vida, esto es, de todos los estados intermedios por los que pasa el producto.

2.1.1 Modelos de diseño

En general se entiende como modelo de diseño la forma de representación del proceso que desarrolla el diseñador en su labor. Los modelos y métodos de diseño se pueden enmarcar dentro del campo que los expertos califican como investigación en diseño, cuyo objetivo genérico es establecer nuevas formas o recomendaciones que potencien la eficiencia en el diseño. Cross (1999) clasifica los modelos de diseño en dos grupos: descriptivos y prescriptivos, mientras que Takeda (1990) adiciona dos más: cognitivos y computacionales. Los modelos descriptivos muestran la secuencia de actividades que ocurren en diseño, dentro de los cuales se puede mencionar el modelo básico y el modelo de French. Los prescriptivos, como su nombre lo indica, prescriben un patrón de actividades de diseño, como lo intentan Archer, Pahl, Beitz, el de March y el de Pugh entre otros. Mientras que los cognitivos, explican el comportamiento del diseñador y los computacionales, expresan la forma en que un ordenador podría desarrollar la tarea de diseño.

Conviene hacer una breve presentación de estos modelos con el fin de identificar las diferentes etapas y fases que se desarrollan en el proceso de diseño. En la tabla 2.1 se puede observar a los autores representativos y sus modelos de diseño propuesto.

Tabla 2. 1 Autores representativos y sus modelos de diseño propuesto

Autores Representativos	Descripción
Asimow (1962)	Dos etapas: • Planeación y Morfología • Diseño detallado.
Jones (1963)	La intuición y los aspectos no-rationales tienen el mismo rol que los lógicos y los procedimientos sistemáticos.
Archer (1963),	Listas de chequeo (¡más de 229 items!), para verificar tres fases: • Análisis. • Creatividad • Ejecución.
Alger y Hays (1964)	Énfasis en la valoración de alternativas del proyecto.
Alexander (1964)	Análisis riguroso del problema. Adaptación del programa de diseño al problema específico División del problema complejo en subgrupos de problemas.
Luckman (1967)	Método AIDA, tres fases: • Análisis • Síntesis • Evaluación. No son lineales sino interactivas.
Levin (1966)	Caracterización de propiedades de sistemas. Relación causa – efecto (controlables y no controlables)
Gugelot (1963) Burdell (1976)	Información sobre necesidades del usuario. Aspectos funcionales Exploración de posibilidades funcionales Decisión Detalle: cálculos, normas, estándares. Prototipo.
Jones (1970)	No es un método, pero expone dos tendencias: Caja negra: la parte más importante del diseño se realiza en el subconsciente del diseñador, no puede ser analizada. Caja de cristal: todo el proceso se hace transparente.
Jones (1971) Alexander Tudela	Contracorriente: Los métodos de diseño destruyen la estructura mental del diseñador. Se produce una abolición de la racionalidad funcional.
Manuri (1974)	No es correcto proyectar sin método. Indica que primero se hace un estudio sobre materiales y procesos, que alimentan la generación de ideas.
Maldonado (1977) Dorfles (1977)	Deben integrarse al proceso de diseño los factores: funcionales, simbólicos o culturales, de producción.
Bonsiepe (1985)	Dos métodos: Reducción de la complejidad de Alexander. Búsqueda de analogías o Sinéctica de Gordon.
Quarante (1992)	Para cada problema hay un método. No universalidad de métodos.

Modelos descriptivos del diseño: El modelo lineal del proceso de diseño, aunque resulta muy básico, permite identificar las fases del diseño que son comúnmente aceptadas por la mayoría de investigadores. La Figura 2.1 muestra las fases de diseño conceptual, preliminar y detallado.

En la primera fase se buscan conceptos o principios de solución al problema, para la cual se analiza el problema identificado, se sintetiza una o varias posibles soluciones y se evalúan con respecto a restricciones (especificaciones) impuestas. Algunos la denominan fase de síntesis del diseño. En esta fase se generan principios de solución, pero no se obtienen estructuras de solución lo suficientemente válidas (o acabadas) como para materializar la respuesta al problema.

Sin embargo, es la etapa que demanda del diseñador una alta dosis de abstracción y de creatividad, caracterizada por la incertidumbre del éxito y por la dinámica de la evolución hacia estructuras válidas.

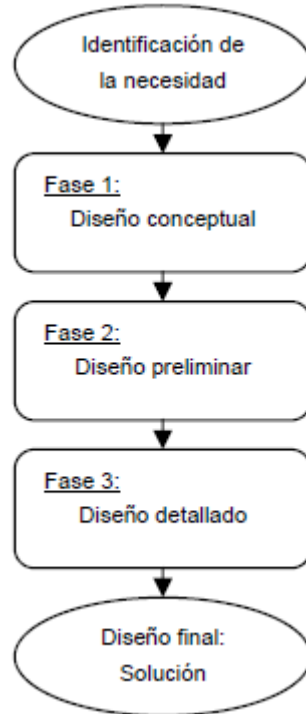


Figura 2. 1 Modelo lineal del proceso de diseño

En la fase de diseño preliminar se avanza en la concretización de una solución al problema, determinando componentes e interacciones con el suficiente grado como para poderla evaluar objetivamente. Se obtienen formas específicas, materiales propuestos y planos de conjunto con dimensiones generales, que representan al producto como un conjunto organizado de piezas, componentes, enlaces y acoplamientos. Se puede decir, que esta fase es más comprendida por los ingenieros de diseño que la anterior, dada la formación curricular específica.

La fase de diseño de detalle corresponde a la generación de todas las especificaciones necesarias para la producción del producto-solución. La elaboración de planos de detalle, la determinación de etapas de fabricación, la identificación de proveedores, etc., son típicas actuaciones en esta fase, que es la mejor desarrollada a nivel empresarial, dado su interés particular y su organización orientada a la materializar soluciones.

Así, estas fases, además de describir el proceso, evidencian la diferenciación de intereses en la práctica del diseño. La primera, suele ser de interés para los investigadores de diseño que buscan mejores métodos para abordar la tarea. La segunda, interesa especialmente a los académicos que quieren forjar profesionales capaces de concretar soluciones, y la tercera, es de interés de la industria o del nivel empresarial que quiere materializar productos innovadores.

Existen otros modelos descriptivos mucho más elaborados, como el de French (1999), pero en esencia sigue existiendo un acuerdo en la predominancia de aquellas tres fases descritas.

Modelos prescriptivos: Como se mencionó, los modelos prescriptivos además de describir, dan pautas para desarrollar cada una de las fases y etapas del proceso de diseño. En esta categoría existe una gran variedad de propuestas, siendo las más conocidas las de Archer, VDI21, March, Pugh y Pahl y Beitz (Cross, 1999). Se presenta a continuación los dos últimos por ser representativos de las tendencias en la definición de modelos prescriptivos de diseño.

El modelo denominado Total Design propuesto por Pugh (1990) está basado en un núcleo descriptivo del proceso, compuesto de actividades genéricas (válidas para cualquier producto que se diseñe) tales como: análisis de mercado, diseño conceptual, diseño de detalle, fabricación y venta. Aparte del núcleo, existirán las “especificaciones de diseño” que son aquellas características particulares que rodean al caso concreto que se esté abordando y que delimitan el campo de actuación del núcleo del diseño. Pero las principales características de este modelo son: la necesaria interacción de tantas disciplinas como sea necesario para resolver el problema, sean estas disciplinas técnicas o no; la definición clara de las especificaciones de diseño, que serán tenidas en cuenta durante todo el proceso y que definen la “frontera del diseño”; y el continuo acercamiento a la solución mediante la retroalimentación que conduce a estadios intercalados de divergencia (generación de conceptos) y convergencia (evaluación sistemática).

Esta aproximación gradual a la solución es denominada por Pugh como método de convergencia controlada y utiliza una matriz de valoración que enfrenta a las alternativas de solución contra los criterios previamente establecidos.

El método de Pahl y Beitz utiliza la teoría de sistemas para sustentar la propuesta de trabajo a través de funciones y subfunciones, que combinan los efectos físicos con las características geométricas y los materiales, para que surja el principio de solución. El método centra su atención en el denominado «embodiement design» (diseño de conjunto), pero para ello, propone un desarrollo de proyecto por módulos funcionales separados, lo cual tiene como ventaja la simplificación del análisis, pero la desventaja de que puede llegarse a una propuesta de conjunto muy compleja (Syed, Agarwal y Malik, 2000). Es uno de los métodos más utilizados en el diseño mecánico.

Algunos críticos del tema sugieren que los modelos no son aplicables tal como se presentan en forma teórica. Por ejemplo Rasmussen (1994) indica que en lugar de tales modelos secuenciales, que pretenden mostrar al diseño como un proceso ordenado, se debe percibir el diseño como una compleja interacción entre las diferentes personas y de estas con el ambiente, de manera que se considera al diseño como un proceso variable y oportunista, que

no puede ser predecible y, además, cuyas decisiones se toman bajo la perspectiva particular que el diseñador reconoce dentro de ese contexto.

Al analizar cada uno de los métodos de diseño aquí expuestos se puede concluir que a pesar de las diferencias que pueden existir entre ellos, muestran algunas coincidencias que llevan a afirmar el reconocimiento de etapas comunes, como es el caso concreto de la etapa de generación de conceptos de diseño, esto es, de alternativas de solución al problema que se aborda en un momento determinado y en el cual la creatividad es protagonista principal.

Esta conclusión es importante para la investigación que aquí se presenta, toda vez que queda claro que la fase de generación de ideas creativas es algo reconocido, pero a la vez, poco tratado en la literatura de ingeniería de diseño.

Como una segunda conclusión importante de esta discusión, se puede afirmar que los modelos de diseño pueden ser útiles en la medida que reúnan dos condiciones básicas:

- Que se tenga claridad total de lo que hay detrás, es decir, una visión de que el modelo no es otra cosa que una herramienta que puede orientar un proceso, pero que no lo debe limitar ni subyugar. El método representado estará sometido al proceso y no al contrario.
- El solo modelo no es suficiente para garantizar un correcto diseño, principalmente debido a la incapacidad de representar el contexto del proyecto como un sistema y un sistema con interacciones complejas. [14]

2.2 Diseño para la manufactura

Las decisiones acerca del material, la geometría de partes, las tolerancias, el acabado de superficies, el agrupamiento de partes y las técnicas de ensamble limitan la cantidad de procesos de manufactura que pueden usarse para hacer una parte determinada. Es importante

que el ingeniero de manufactura actúe como un consejero para el ingeniero de diseño en cuestiones de capacidad de manufactura.

Un diseño de producto que es funcionalmente superior y al mismo tiempo puede producirse a un costo mínimo representa la máxima promesa de éxito en el mercado. Las carreras exitosas en la ingeniería del diseño se construyen sobre productos exitosos.

Algunos términos que se asocian frecuentemente con este intento de influir de manera favorable en la manufacturabilidad de un producto son el diseño para manufactura (en inglés design for manufacturing, DFM) y diseño para ensamble (design for assembly, DFA), por supuesto, el DFM y el DFA están inseparablemente acoplados, por lo que los llamaremos DFM/A. El ámbito del DFM/A se expande en algunas compañías para incluir no sólo aspectos de capacidad de manufactura sino también de comercialización, aplicación de pruebas, capacidad de servicio y de mantenimiento, etc. Esta visión más amplia requiere aportaciones de muchos departamentos, además del de diseño e ingeniería de manufactura.

El diseño para manufactura y ensamble es un enfoque para el diseño de productos que incluye sistemáticamente consideraciones sobre la capacidad de manufactura y de ensamble en el diseño. El DFM/A incluye:

- 1) cambios en la organización
- 2) principios y pautas de diseño.

Cambios en la organización en el DFM/A. Para instrumentar el DFM/A, una compañía debe hacer cambios en su estructura organizacional, a fin de proporcionar una interacción más cercana y una mejor comunicación entre el personal de diseño y manufactura. Con frecuencia, se consigue formando equipos de proyectos que consisten en diseñadores de productos, ingenieros de manufactura y otros especialistas para diseñar el producto.

Principios y pautas de diseño. El DFM/A también incluye principios y pautas que indican cómo diseñar un producto determinado para una máxima capacidad de manufactura. Muchas de estas son pautas de diseño universales tales como las que se presentan en la tabla

2.2. Son conocimientos basados en la experiencia que se aplican a casi cualquier situación de diseño de productos.

En ocasiones las pautas entran en conflicto. Por ejemplo, una indicación para el diseño de partes es hacer la geometría lo más sencilla posible. Sin embargo, en el diseño del ensamble, algunas veces son deseables características de partes adicionales para evitar el acoplamiento incorrecto de los componentes. En estos casos, el diseño para manufactura de partes entra en conflicto con el diseño para ensamble y debe encontrarse un punto de equilibrio que consiga el mejor balance entre los lados opuestos del conflicto.

Entre los beneficios que se citan comúnmente para el DFM/A están:

- 1) menor tiempo para llevar el producto al mercado.
- 2) una transición sin dificultades hacia la producción.
- 3) menos componentes en el producto final.
- 4) un ensamble más fácil.
- 5) menores costos de producción.
- 6) mayor calidad de productos.
- 7) mayor satisfacción de los clientes. [15]

Tabla 2. 2 Principios y pautas para el DFM/A

PAUTA	INTERPRETACIÓN Y VENTAJAS
Minimizar la cantidad de componentes	Costos de ensamble reducidos. Mayor confiabilidad en el producto final. Desensamble más fácil en el mantenimiento y servicio de campo. Con frecuencia es más fácil la automatización con una cuenta de partes reducida. Menos partes por adquirir, reducción en los costos de pedidos.
Utilizar componentes estándar comerciales	Menores esfuerzos de diseño. Menor cantidad de partes. Es posible un mejor control del inventario. Evita el diseño de componentes con ingeniería personalizada. Es posible hacer descuentos por cantidades.
Usar partes comunes a través de las líneas de producción	Es posible aplicar tecnología de grupos. Es posible hacer descuentos por volumen. Permite el desarrollo de celdas de manufactura.

Diseñar para facilitar la fabricación de partes	Usar procesos de formas netas y casi netas cuando sea posible. Simplifica la geometría de partes; evita características innecesarias. Evitar una aspereza de superficie mayor que la necesaria porque podría requerirse un procesamiento adicional.
Diseñar partes con tolerancias dentro de la capacidad de los procesos	Evitar tolerancias menores que la capacidad de proceso. Especificar tolerancias bilaterales.
Diseñar el producto a prueba de errores en el ensamble	El ensamble debe ser inequívoco. Componentes diseñados para que sólo puedan ensamblarse de un modo. En ocasiones deben agregarse características especiales a los componentes.
Minimizar componentes flexibles	Éstos incluyen componentes hechos de hule, cinturones, juntas, cables eléctricos y similares.
Diseñar para facilitar el ensamble	Incluye características tales como biselado y ahusamiento en partes que coinciden. Usar una parte base a la que se agregan componentes. Usar diseño modular. Diseñar un ensamble para la adición de componentes desde una dirección, por lo general en forma vertical. Evitar sujetadores roscados (tornillos, pernos, tuercas) cuando sea posible, sobre todo cuando es un ensamble automatizado; usar técnicas de ensamble rápido tales como agarre automático y pegado. Minimizar la cantidad de sujetadores distintos.
Usar un diseño modular	Cada subensamble debe constar de 5 a 15 partes. Un mantenimiento y servicio en campo más fáciles. Facilita el ensamble automatizado y manual. Reduce los requerimientos de inventario. Reduce el tiempo de ensamble.
Formar partes y productos para facilitar el empaque	Compatible con el equipo de empaque automatizado. Facilita el envío al cliente.
Eliminar o reducir los ajustes	Muchos productos ensamblados requieren ajustes y calibraciones. Éstos deben minimizarse porque con frecuencia consumen tiempo en el ensamble
Eliminar o reducir el ajuste requerido	Muchos productos ensamblados requieren ajuste. El diseño de productos debe minimizar la cantidad de ajustes necesarios, dado que consumen tiempo en el ensamble.

2.3 Métodos de evaluación de alternativas de diseño

Una vez que las alternativas han sido generadas, se ha de proceder a evaluar las distintas alternativas para ver cuáles de ellas nos permiten obtener la mayor cobertura de los objetivos propuestos en el inicio del diseño. Se expondrá de forma sintética algunas de las técnicas que pueden ser articuladas en la evaluación de las alternativas generadas en el diseño conceptual preliminar o de detalle de un producto o proceso industrial. Sin embargo, el método seleccionado para la evaluación de las alternativas de diseño es el Valor Técnico Ponderado.

2.3.1 Método del valor técnico ponderado

En este método se parte del hecho de que se han establecido un conjunto de criterios para la valoración de las distintas soluciones entre los que cabe mencionar:

- a) Economía o Coste.
- b) Estético
- c) Ergonomía
- d) Peso
- e) Etc.

Estos criterios de valoración suelen tener distinta importancia en el proceso de elección, para lo que se hace necesario jerarquizar los mismos y asignarle un peso en función a su posición en la evaluación jerárquica. Un método que se puede articular para la jerarquización de los criterios es el de las comparaciones apareadas, consistente en formar una matriz (matriz de dominancia binaria) como la de la tabla 2.3 y asignarle a la casilla correspondiente i-j un uno si el criterio de la fila (i) es más importante que el de la columna (j) y cero en caso contrario. La suma de los unos de cada fila (i) nos permitirá establecer la jerarquía de criterios y fijar su peso, en una escala de 1 a 10 por ejemplo.

Tabla 2. 3 Comparaciones apareadas para la jerarquización de criterios

	Coste	Estético	Ergonómico	Peso	Total	Peso (1-10)
Coste		1	1	1	3	10
Estético	0		1	1	2	7.5
Ergonómico	1	0		0	1	5
Peso	0	0	0	0	0	2.5

Posteriormente, se estructura una tabla como 2.4. Para cada una de las alternativas se valora su bondad según el criterio asignándole una puntuación “g” en una escala de 1 a 10 (gmax=10), procediéndose seguidamente a determinar el Valor Técnico Ponderado para las distintas alternativas con la ecuación 2.1.

$$VTP = \left(\sum \frac{P_i \cdot g_i}{g_{max} \cdot \sum P_i} \right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

La sumatoria es desde i=1 hasta n. Siendo “n” el número de criterios. Finalmente se selecciona aquella alternativa de mayor Valor Técnico Ponderado.

2.3.2 Método de selección de alternativas por árboles de decisión coste-beneficio

En esta técnica, el proceso de toma de decisiones de la evaluación de alternativas queda modelado mediante un árbol de decisiones que soporta la probabilidad de cada alternativa y del estado de naturaleza, así como el coste o beneficio del mismo.

Tabla 2. 4 Ejemplo de matriz de valoración mediante Valor Técnico Ponderado

ALTERNATIVA/ CRITERIO	PESO Pi	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
Coste	10	5	50	6	60	8	80
Estético	7.5	6	45	4	30	6	45
Ergonómico	5	5	25	5	25	6	30
Peso	2.5	4	10	2	5	6	15
Suma	25		130		120		170
VTP		0.52		0.48		0.68	

Para su resolución se procede del siguiente modo:

- a) Determinación para el diseño de un producto o proceso de las distintas alternativas, los distintos estados de naturaleza y las consiguientes sub-alternativas si las hubiera, asignando la información probabilística en relación a su contribución a la cobertura del objetivo de diseño, así como la estimación de los costes-beneficios económicos que de ella se deriva a nivel de unidad de coste.
- b) Representación del árbol de forma de decisiones mediante símbolos.
- c) Determinación para cada nodo del valor posible de las consecuencias de cada alternativa. Partiendo de la distribución de probabilidades se determina para cada nodo el valor probable de las consecuencias de las alternativas o acciones.
- d) Partiendo de las tablas de costes de fabricación para unas instalaciones específicas, se calcula el coste/beneficio para cada rama del árbol de decisión. [16]

2.4 Clasificación de materiales

La selección de materiales y el procesado de estos hasta convertirlos en productos acabados, constituyen una parte importante de este proyecto. Puesto que para la manufactura de alguna pieza o producto se necesita conocer el material que se va a utilizar, se deben conocer las propiedades de los materiales de modo que se sea capaz de seleccionar el más adecuado para cada aplicación y también capaces de desarrollar los mejores métodos de procesado.

Los materiales se clasifican generalmente en cinco grupos: metales, cerámicos, polímeros, semiconductores y materiales compuestos. Los materiales de cada uno de estos grupos poseen estructuras y propiedades distintas. A continuación se da una breve descripción de cada grupo.

Metales. Tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia, rigidez, ductilidad. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga. Las aleaciones (combinaciones de metales) conceden alguna propiedad particularmente deseable en mayor proporción o permiten una mejor combinación de propiedades.

Cerámicos. Tienen baja conductividad eléctrica y térmica y son usados a menudo como aislantes. Son fuertes y duros, aunque frágiles y quebradizos. Nuevas técnicas de procesos consiguen que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que puedan ser utilizados en aplicaciones de carga. Dentro de este grupo de materiales se encuentran: el ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos.

Polímeros. Son grandes estructuras moleculares creadas a partir de moléculas orgánicas. Tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y debe evitarse su uso a temperaturas elevadas. Los polímeros termoplásticos, en los que las cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y conformabilidad; en cambio, los polímeros termoestables son más resistentes, a pesar de que sus cadenas moleculares fuertemente enlazadas los hacen más frágiles. Tienen múltiples aplicaciones, entre ellas en dispositivos electrónicos.

Semiconductores. Su conductividad eléctrica puede controlarse para su uso en dispositivos electrónicos. Son muy frágiles.

Materiales compuestos. Como su nombre lo indica, están formados a partir de dos o más materiales de distinto grupos, produciendo propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales de forma individual. [17]

2.4.1 Clasificación y sistema de numeración para aceros

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés) fue la primera en reconocer la necesidad y en adoptar un sistema para la numeración de los aceros. Más

tarde, el Instituto Estadounidense del Hierro y del Acero (AISI, por sus siglas en inglés) optó por un sistema similar.

En 1975 la SAE publicó el Sistema de Numeración Unificado para metales y aleaciones (UNS, por sus siglas en inglés); el sistema también contiene números interrelacionados para otras especificaciones de materiales. El UNS usa en prefijo para designar el material, como por ejemplo, G para los aceros al carbono y aleados, A para las aleaciones de aluminio, C para las aleaciones a base de cobre y S para los aceros inoxidables y resistentes a la corrosión.

Para algunos materiales, aún no se ha desarrollado un acuerdo en la industria que garantice el establecimiento de una designación.

Para los aceros, los dos primeros números después de la letra del prefijo indican la composición, excluyendo el contenido de carbono. Las diversas composiciones que se emplean se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5 Designación de la numeración según composición en el sistema UNS

G10 Aceros al carbono simple	G46 Acero al níquel-molibdeno
G11 Aceros al carbono de corte libre con mayor cantidad de azufre o fósforo	G48 Acero al níquel-molibdeno
G13 Acero al manganeso	G50 Acero al cromo
G23 Acero al níquel	G51 Acero al cromo
G25 Acero al níquel	G52 Acero al cromo
G31 Acero al níquel-cromo	G61 Acero al cromo-vanadio
G33 Acero al níquel-cromo	G86 Acero al cromo-níquel-molibdeno
G40 Acero al molibdeno	G87 Acero al cromo-níquel-molibdeno
G41 Acero al cromo-molibdeno	G92 Acero al manganeso-silicio
	G94 Acero al níquel-cromo-molibdeno

El segundo par de números se refiere al contenido aproximado de carbono. Así, G10400 es un acero al carbono simple con un contenido de carbono de 0.37 a 0.44%. El quinto número después del prefijo se emplea en situaciones especiales.

Las designaciones UNS para los aceros inoxidable, prefijo S, utilizan la nomenclatura anterior AISI para los primeros tres números que siguen al prefijo. Los siguientes dos números se reservan para propósitos especiales.

El primer número del grupo indica la composición aproximada. Así, 2 es un acero al níquel-cromo-manganeso, 3 es un acero al cromo-níquel y 4 es acero de aleación cromo. Algunas veces a los aceros inoxidable se les nombra por su contenido de aleación. Así, S30200 a menudo se llama acero inoxidable 18-8, lo que significa el 18% de cromo y 8% níquel.

Como ya se ha mencionado, la AISI tiene un sistema similar para la numeración de los aceros. En el sistema AISI se cuenta con 4 números, el primero identifica el elemento principal de aleación, el segundo la aleación específica en el grupo y la tercera el contenido de carbono. La forma en que la AISI identifica los aceros se muestra en la figura 2.2.

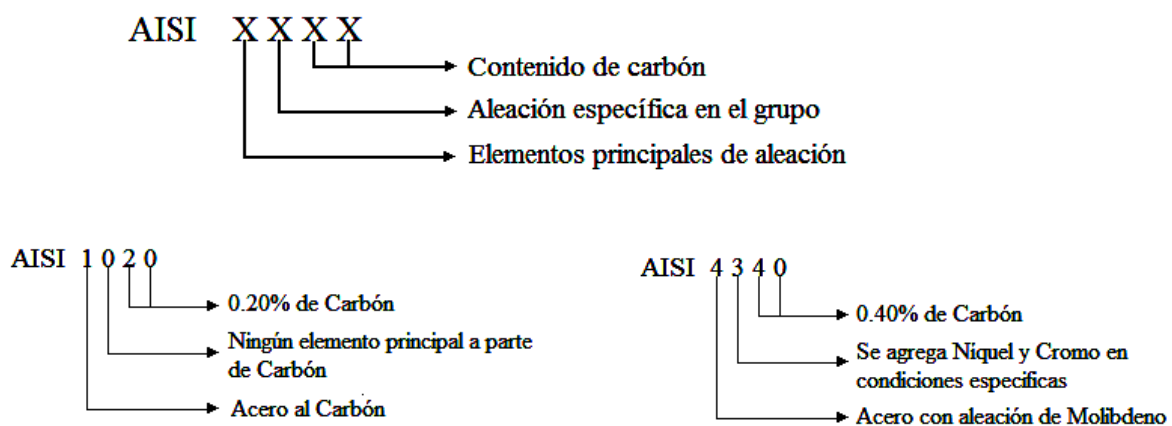


Figura 2. 2 Identificación de los aceros según AISI

Tabla 2. 6 Sobremedidas recomendadas para aceros.

Diámetro, Grueso o Ancho	Hasta 10mm	De 11mm a 30mm	De 31mm a 60mm	De 61mm a 100mm	De 101mm a 150mm	De 151mm a 200mm
Aumentar en:	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	8mm

En la selección de aceros, para asegurar que todos los defectos superficiales que se forman en el proceso de fabricación, tales como la escoria, sean limpiadas al maquinarse, es necesario pedir el material con sobremedidas. En la tabla 2.6 se muestran algunas recomendaciones. [18]

2.5 Métodos de selección de material

La gran mayoría de avances tecnológicos logrados en la sociedad moderna, se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y procesos de fabricación usados en su obtención. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores de partes mecánicas su correcto funcionamiento (performance) de los componentes diseñados.

La mayoría de métodos parten de la disponibilidad de una amplia gama de materiales, los cuales se debe entrar a analizar y refinar, ya sea con ayuda de recomendaciones (métodos tradicionales), mapas de materiales (método gráfico) o información escrita que se encuentran en fuentes bibliográficas o en forma de software en bases de datos virtuales. En general, el refinamiento se hace de acuerdo con las propiedades exigidas por el componente a diseñar y sustentado con criterios como: disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos, entre otros. De esta forma, se llega a la selección de un único tipo de material, el cual debe resultar en el más apropiado para el fin pretendido [19]

Para la utilización de cualquiera de los métodos de selección de materiales que existen, el diseñador o ingeniero de materiales, debe partir de la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a usar [20]. El tipo y valor del esfuerzo aplicado y la forma geométrica, entre otras variables que deben considerarse, otorgan restricciones en cuanto al tipo de material a seleccionar. Por ejemplo, en el caso de esfuerzos de flexión o torsión como los que actúan en un resorte de hoja, nos indica que dentro de las posibles familias de materiales que existen (metales, cerámicos, polímeros y compuestos), los más adecuados son los metales y dentro de estos los aceros. Por tanto, en la etapa de formulación del problema, se examina con mayor detenimiento cual de los diferentes aceros se pueden usar con mayor confianza (si son aceros de bajo, medio o alto carbono o si son aceros de baja o alta aleación). La selección preliminar se puede hacer con base en los datos de propiedades dadas por los proveedores. De esta forma, se pueden identificar algunos de estos proveedores y en la selección final se trabaja con las propiedades dadas por el proveedor que facilite la consecución del material más adecuado y con mayor facilidad.

Un diseñador de materiales siempre está queriendo encontrar el material ideal para su componente. Se pueden mencionar, entre otras características, que un material ideal cumple con la siguiente lista de requisitos: Inagotable y siempre disponible para su reemplazo (que sea barato para refinar y producir), que sea fuerte, rígido, y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas, que sea liviano, que sea resistente a la corrosión y al desgaste, que no tenga efectos sobre el medio ambiente o las personas (que sea biodegradable) y que tenga numerosos usos [21]. Estos requisitos hacen que el ingeniero de materiales tenga dificultad en seleccionar el material ideal. Es por esto, que se usan métodos más o menos exactos, que permiten hacer una aproximación del material más idóneo para alguna aplicación.

Debido al alto número de factores que afectan la selección de materiales, el diseñador determina cuales son las propiedades más relevantes para la aplicación que se tiene y con base en ellas, hace la selección. En general los métodos para seleccionar materiales hacen una refinación más o menos amplia de estos parámetros. A continuación se hace una breve descripción de tres de los métodos usados en la selección de materiales.

Método tradicional. Con este método, el ingeniero de materiales escoge el material que cree más adecuado, con base en la experiencia de partes que tiene un funcionamiento similar y que han mostrado buenos resultados. Este método es también conocido como materiales de ingeniería de partes similares [22]. El método mantiene buena aceptación debido a lo siguiente: El ingeniero se siente seguro con un material usado y ensayado y en algunos casos esto contribuye a la estandarización del stock, las características de proceso del acero son bien conocidas, la disponibilidad del acero está asegurada. Generalmente en un gran porcentaje de partes se usan aceros baratos, sin tratamiento térmico, evitando pérdida de tiempo en ensayos y procesos. Sin embargo, el uso de este método, en ocasiones conduce a serios problemas, ya que no se hace un estudio real del ambiente de trabajo del componente o equipo, el cual puede ser decisivo a la hora de escoger el material.

Método gráfico. Este método se apoya en gráficas (conocidas como mapas de materiales), en las que se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. El método fue diseñado exclusivamente para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales. En estos mapas se puede hacer una aproximación del material más adecuado (perteneciente a una determinada familia de materiales), con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el componente. Como ejemplo de un par de propiedades que relacionan en estos mapas están el módulo de elasticidad en función de la densidad.

Como es de esperarse, rara vez el comportamiento de un componente depende sólo de una propiedad. De igual manera, diagramas como los de Ashby [23], muestran que las propiedades de las diferentes clases de materiales pueden variar en amplios intervalos (dependiendo del estado de estos), formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en tales diagramas. Eso significa, que una misma familia de materiales puede tener una apreciable variación en sus propiedades, generando un campo o zona en los mapas. En estos mapas se relacionan entre otras, propiedades como resistencia, módulo de elasticidad, densidad, tenacidad, conductividad térmica, difusividad y expansión y costos.

Ubicado el diagrama que presenta esta combinación, se entra en un campo que corresponde a una familia determinada de materiales. De los materiales que pertenecen a esta

familia, se puede hacer una preselección, y posteriormente una selección, teniendo en cuenta otros criterios como costos, disponibilidad, durabilidad, efecto ambiente, etc.

Método con ayuda de bases de datos. En la Internet existe una amplia gama de bases de datos sobre materiales [24], que han sido construidas para comercialización libre o son distribuidas por vendedores de materiales. Estas bases de datos son el resultado de investigaciones en ensayos de materiales. [25].

Las bases de datos se dividen básicamente en dos categorías, numéricas y literarias o de referencias bibliográficas. Dentro de las más importantes bases de datos están el banco de datos de la ASTM, la SAE, la ASM, la AISI, la NASA, etc. Una base de datos pública que ha adquirido gran importancia por la cantidad de datos y variedad de materiales que maneja, puede ser consultada en la página web. www.matweb.com.

La selección de materiales con ayuda de estas bases de datos, parte del conocimiento de las principales propiedades que deben tener para un fin específico. El programa pide entonces el valor aproximado de las propiedades que debe tener el componente y lista uno o varios materiales que pueden servir. Son varias las fuentes donde se compilan bases de datos.

Matriz de evaluación. Al igual que en el tema de selección de alternativas, también se puede escoger un material con la ayuda de una matriz en la cual se tienen conocimientos previos de las características y las propiedades de los distintos tipos de materiales. La diferencia en esta matriz, comparándola con la realizada para la selección de alternativas, son los criterios que se evalúan en ella. Algunos ejemplos de criterios utilizados para evaluar un material por medio de una matriz de evaluación, a la que también se le llama matriz de decisión, son detalles de fabricación, costo, complejidad tecnológica, peso, seguridad, piezas estándar, resistencia mecánica, maquinabilidad y disponibilidad en el mercado.

2.6 Termofluencia en los materiales

La temperatura tiene un efecto significativo en casi todas las propiedades de los materiales. Para el diseñador es muy importante conocer las propiedades de los materiales a las temperaturas de operación del producto cuando está en servicio. También es importante saber cómo afecta este parámetro las propiedades mecánicas en la manufactura. Los materiales tienen una menor resistencia y una mayor ductilidad a temperaturas elevadas. [9]

Es importante tomar nota de que la deformación en el rango de temperatura caliente (aproximadamente $0.5T_m$, donde T_m es la temperatura de fusión) involucra un reacomodo sustancial de los átomos en los metales. Estos procesos toman tiempo, así que las propiedades también son una función de la velocidad de aplicación de la carga o, en forma más correcta, de la velocidad de deformación impuesta.

Las velocidades de deformación bajas permiten un mayor tiempo para los reacomodos atómicos o moleculares, por lo que los esfuerzos son menores y la ductilidad mayor.

Esto también significa que en un periodo largo a temperaturas elevadas puede ocurrir una deformación, aún si la carga aplicada es muy pequeña. Se dice que el material sufre termofluencia, hecho muy importante cuando la deformación es inaceptable. [26]

La termofluencia se comprende de tres etapas. En la etapa inicial, es de forma continua en un rango decreciente, después empieza un rango más estable en la segunda etapa, para luego acelerarse rápidamente en la última etapa hasta la falla del material. [27]

Se han realizado muchos ensayos de materiales ferrosos sometidos a cargas constantes durante tiempos prolongados a temperaturas elevadas. Se determinó que las probetas se deformaban de modo permanente durante los ensayos, aunque en ocasiones los esfuerzos reales fueron menores que la resistencia a la fluencia del material, la cual se obtiene mediante ensayos de corta duración realizados a la misma temperatura. La deformación bajo carga continua se llama flujo plástico.

El calentamiento debido a la soldadura eléctrica o con gas también cambia las propiedades mecánicas. Los cambios quizá se deban a la sujeción durante el proceso de soldado, así como calentamiento; así los esfuerzos resultantes permanecen inalterados cuando las partes se han enfriado y las mordazas se han quitado. Los ensayos de dureza se emplean para aprender si la resistencia se ha cambiado debido al proceso de soldadura, pero no revelan la presencia de esfuerzos residuales.

Existen varios métodos para determinar la resistencia por flujo plástico permisible para un material en particular. Uno de los más sencillos implica ensayar varias muestras simultáneamente a una temperatura constante, pero estando cada una sometido a un esfuerzo axial diferente. Midiendo el tiempo necesario para producir ya sea una deformación unitaria permisible o la deformación unitaria de ruptura para cada espécimen, se puede establecer una curva de esfuerzo contra tiempo. Normalmente estas pruebas se efectúan para un periodo máximo de 1000 horas. La figura 2.3 muestra esquemáticamente una máquina para tal tipo de ensayo. [28]

La adecuada selección de materiales para servicio a alta temperatura es un factor esencial en el diseño resistente a la termofluencia.

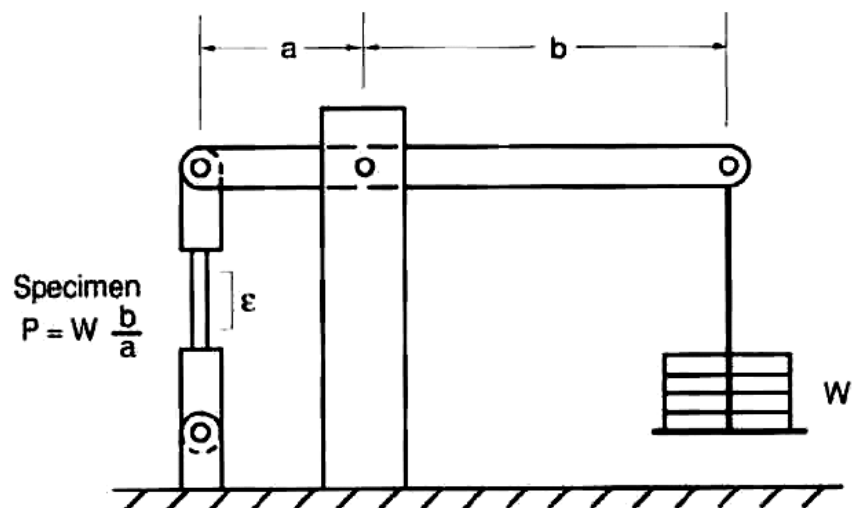


Figura 2. 3 Esquema de una máquina para ensayo de termofluencia

En general, las aleaciones metálicas empleadas contienen elementos tales como Cr, Ni y Co en distintas proporciones según las características específicas buscadas. [29]

Para el diseñador es muy importante conocer las propiedades de los materiales a las temperaturas de operación del producto cuando está en servicio.

2.7 Procesos de manufactura

La manufactura, como campo de estudio en el contexto moderno, puede definirse de dos maneras: tecnológica y económica. Tecnológicamente es la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades, o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o productos terminados. Los procesos para realizar la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, tal como se describe en la figura 2.9 (a). La manufactura se realiza casi siempre como una sucesión de operaciones. Cada una de ellas lleva al material cada vez más cerca del estado final deseado.

Económicamente, la manufactura es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o más operaciones o procesos de ensamble, como se muestra en la figura 2.9 (b).

El punto clave es que la manufactura agrega valor al material original, cambiando su forma o propiedades, o al combinarlo con otros materiales que han sido alterados en forma similar.

Los procesos de manufactura pueden dividirse en dos tipos básicos:

- 1) operaciones de proceso.
- 2) operaciones de ensamble.

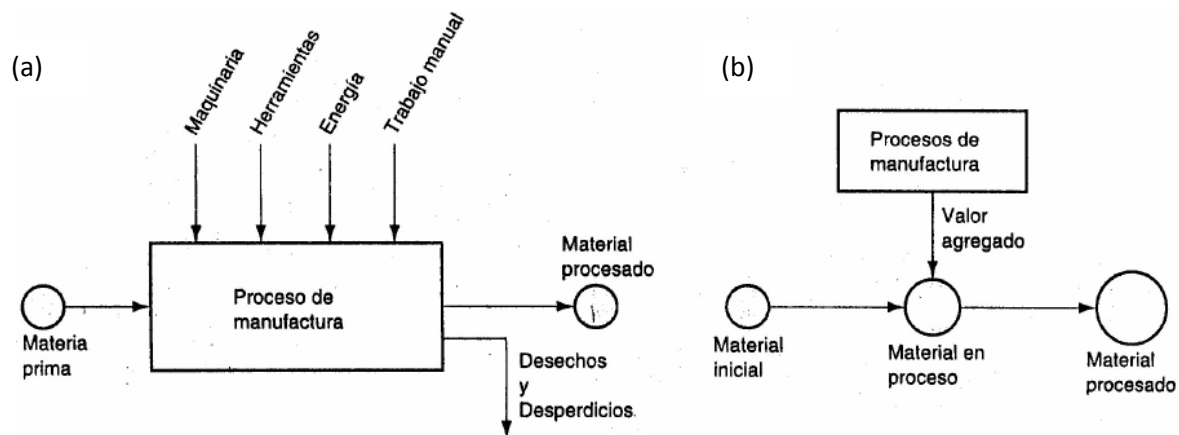


Figura 2. 4 Maneras de definir manufactura: a) Como proceso técnico y b) Como proceso económico

2.7.1 Operación de proceso

Una operación de proceso transforma un material de trabajo, utilizando energía para alterar la forma, de una etapa a otra más avanzada, que lo sitúa cerca del estado final deseado para el producto. Esto le agrega valor al cambiar la geometría, las propiedades o la apariencia del material inicial.

Las formas de energía para alterar la forma incluyen la mecánica, térmica, eléctrica o química. La energía se aplica de forma controlada mediante la maquinaria y su herramental. También puede requerirse la energía humana, pero los seres humanos generalmente se dedican a controlar las máquinas, a examinar las operaciones, a cargar y descargar partes antes y después de cada ciclo de operación.

Un modelo general de las operaciones de proceso se ilustra en la figura 2.9 (a): el material se alimenta en el proceso, la maquinaria y las herramientas aplican la energía para transformar el material, y la pieza terminada sale del proceso. Comúnmente se requiere más de una operación de proceso para transformar el material inicial a su forma final. Las operaciones se realizan en una sucesión particular que se requiera para lograr la geometría y las condiciones definidas por las especificaciones de diseño. Se distinguen tres categorías de operaciones de proceso:

-
- 1) Operaciones de formado
 - 2) Operaciones para mejorar propiedades
 - 3) Operaciones de procesamiento de superficies.

Procesos de formado. La mayoría de los procesos de formado aplican calor, fuerza mecánica o una combinación de ambas para efectuar un cambio en la geometría del material de trabajo. Hay diversas formas de clasificar los procesos de formado. La clasificación empleada se basa en el estado inicial del material e incluye cuatro categorías:

- 1) Fundición, moldeo y otros procesos en los que el material inicial es un líquido calentado o semifluido.
- 2) Procesado de partículas: el material inicial es un polvo que se forma y calienta para darle una geometría deseada.
- 3) Procesos de deformación: el material inicial es un sólido dúctil (usualmente metal) que se deforma para formar la pieza.
- 4) Procesos de remoción de material: el material inicial es un sólido (dúctil o frágil) del cual se quita material para que la pieza resultante tenga la geometría deseada.

En la primera categoría, el material inicial se calienta lo suficiente para transformarlo en un líquido o llevarlo a un estado altamente plástico (semifluido). Casi todos los materiales pueden procesarse de esta manera. Los procesos que operan de esta forma se llaman fundición y moldeo.

En el procesamiento de partículas, los materiales iniciales son polvos de metales o polvos cerámicos. Aunque estos dos materiales son bastante diferentes, los procesos para formarlos en el procesamiento de partículas son muy similares; la técnica común involucra prensado y sinterizado, en que el polvo es primeramente prensado en la cavidad de un dado a muy alta presión. Esto ocasiona que el polvo tome la forma de la cavidad, pero la pieza así compactada carece de la fortaleza suficiente para cualquier aplicación útil. Para aumentar su fortaleza, la parte se calienta a una temperatura por debajo de su punto de fusión, lo cual ocasiona que las partículas individuales se unan. La operación de calentamiento se llama sinterizado.

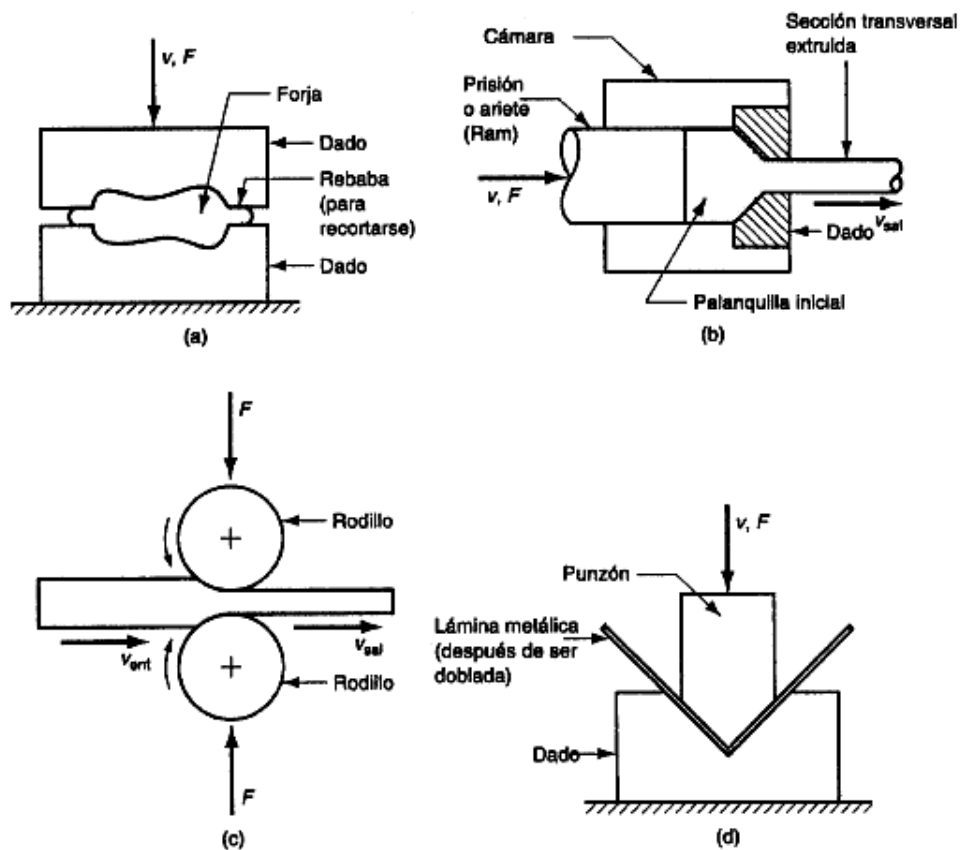


Figura 2. 5 Procesos comunes de deformación

En los procesos de deformación, la pieza inicial se forma por la aplicación de fuerzas que exceden la resistencia del material a la deformación. Para que el material pueda formarse de esta manera debe ser lo suficientemente dúctil para evitar la fractura durante la deformación. A fin de aumentar su ductilidad (y por otras razones), el material de trabajo frecuentemente se calienta con anterioridad a una temperatura por debajo de su punto de fusión. Los procesos de deformación se asocian estrechamente con el trabajo de metales, e incluyen operaciones tales como forjado, extrusión y laminado, las cuales se muestran en la figura 2.10 en los incisos (a), (b) y (c). También se incluyen dentro de esta categoría los procesos con chapas metálicas como el doblado que se ilustra en la parte (d) de la figura.

Los procesos de remoción de material son operaciones que quitan el exceso de material de la pieza de trabajo inicial para que la forma resultante adquiera la geometría deseada. Los

procesos más importantes en esta categoría son operaciones de maquinado como torneado, taladrado y fresado como se muestran en los incisos (a), (b) y (c), respectivamente, en la figura 2.11. Estas operaciones de corte son las que más se aplican a metales sólidos. Se ejecutan utilizando herramientas de corte que son más duras y más fuertes que el metal de trabajo. El esmerilado es otro proceso común en esta categoría, en el cual se usa una rueda abrasiva de esmeril para quitar el material excedente. Hay otros procesos de remoción de material denominados no tradicionales porque no usan herramientas tradicionales de corte y abrasión. En su lugar emplean rayo láser, haces de electrones, erosión química, descargas eléctricas y energía electroquímica.

Procesos de mejora de propiedades. El segundo tipo en importancia de procesamiento de materiales se realiza para mejorar las propiedades físicas o mecánicas del material de trabajo. Estos procesos no alteran la forma de la parte, excepto en algunos casos de forma no intencional. Los procesos más importantes de mejora de propiedades involucran tratamientos térmicos que incluyen diversos procesos de recocido y resistencia para metales y vidrio. El sinterizado de polvos cerámicos y de metales es también un tratamiento térmico que hace resistente una pieza de polvo metálico prensado.

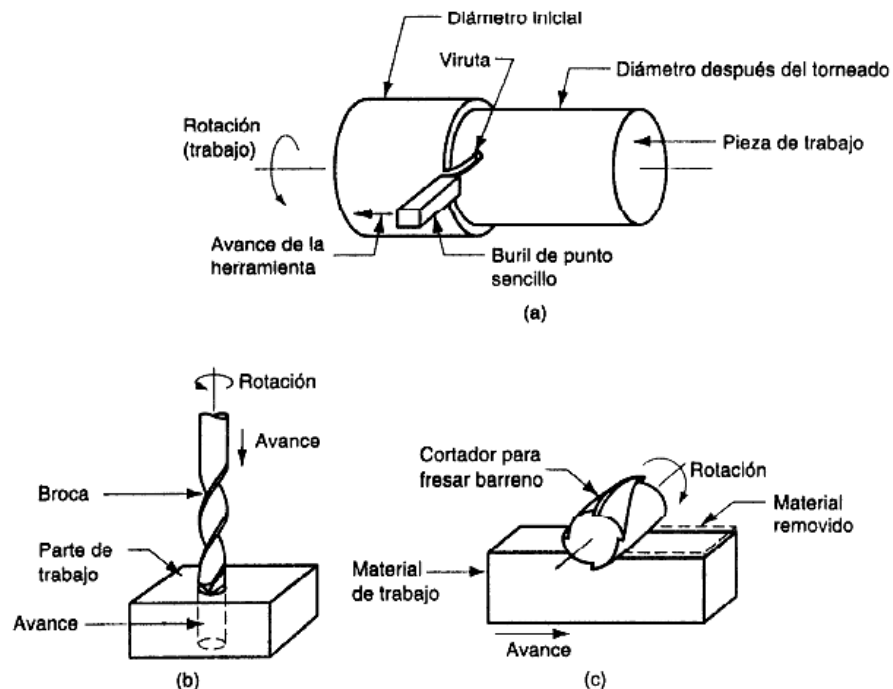


Figura 2. 6 Operaciones comunes de maquinado

Operaciones de procesamiento de superficies. Las operaciones de procesamiento de superficie incluyen limpieza, tratamientos de superficie y procesos de recubrimiento y deposición de películas delgadas.

La limpieza incluye procesos mecánicos y químicos para quitar la suciedad, la grasa y otros contaminantes de la superficie. Los tratamientos de superficie incluyen tratamientos mecánicos como el chorro de perdigones y chorro de arena, así como procesos físicos como la difusión y la implantación iónica. Los procesos de recubrimiento y deposición de películas delgadas aplican un revestimiento de material a la superficie exterior de la pieza de trabajo. Los procesos comunes de revestimiento incluyen el electrodepositado, el anodizado del aluminio, los recubrimientos orgánicos (conocidos como pintura) y el esmalte de porcelana. Los procesos de deposición de películas delgadas incluyen la deposición química y física de vapores para formar revestimientos sumamente delgados de sustancias diversas. Las operaciones de recubrimiento se aplican más comúnmente a partes metálicas que a los productos cerámicos o a los polímeros. En muchos casos se aplican recubrimientos sobre ensamblajes; por ejemplo, las carrocerías soldadas de automóviles se pintan y recubren. Existen buenas razones para aplicar recubrimientos a la superficie de una parte o producto:

- 1) protección contra la corrosión
- 2) color y apariencia
- 3) resistencia al desgaste
- 4) preparación para procesamientos subsiguientes.

2.7.2 Operación de ensamble

El segundo tipo básico de operaciones de manufactura es el ensamble, en el cual dos o más partes separadas se unen para formar una nueva entidad, los componentes de ésta quedan unidos en forma permanente o semipermanente. Los procesos de unión permanente incluyen: la soldadura térmica, la soldadura fuerte, la soldadura blanda y el pegado con adhesivos. Estos procesos forman una unión entre componentes que no puede deshacerse fácilmente. Los métodos de ensamble mecánico aseguran dos o más partes en una unión que puede desarmarse

cuando convenga; el uso de tornillos, pernos, tuercas y demás sujetadores roscados son métodos tradicionales importantes dentro de esta categoría. El remachado, los ajustes a presión y los encajes de expansión son otras técnicas de ensamble mecánico que forman uniones más permanentes.

En electrónica se usan métodos especiales de ensamble, algunos de los cuales son iguales a los anteriores o adaptaciones de los mismos. Por ejemplo, la soldadura blanda se usa ampliamente en ensambles electrónicos, los cuales están relacionados directamente con el armado de componentes (como los circuitos integrados encapsulados) en las tarjetas de circuitos impresos para producir los complejos circuitos que se usan en muchos productos actuales. [30]

2.8 Tolerancias

Es una desviación indeseada, pero admisible respecto a una medida buscada y que reconoce la imposibilidad de construir una pieza exactamente con las dimensiones especificadas, si no es por casualidad, y que tal cosa no es necesaria ni económica. Por tanto, se hace necesario permitir que la medida real se desvíe levemente de la establecida teóricamente y controlar el grado de desviación de modo que se asegure todavía el funcionamiento satisfactorio de las piezas.

Una tolerancia puede especificarse de dos maneras. La tolerancia bilateral se establece en forma de una desviación en más o menos respecto a la dimensión, o cota, nominal; por ejemplo, $50 \pm 0.05 \text{ mm}$. La práctica moderna hace uso del sistema unilateral y establece la desviación en un sentido a partir de la dimensión nominal; así,

$$50,0 \text{ mm}^{+0,1\text{mm}}_{-0,0\text{mm}}$$

En el primer caso, de tolerancia bilateral, la medida en cuestión podría variar entre 49,95mm y 50,05mm, con una tolerancia total de 0,10mm. En el caso de la tolerancia

unilateral, la medida variara entre 50mm y 50,10mm con una tolerancia total de 0,10mm también. Es evidente que, para conseguir las mismas dimensiones máxima y mínima con ambos sistemas, deben emplearse dimensiones nominales diferentes. Las dimensiones máxima y mínima resultantes de aplicar la tolerancia asignada reciben el nombre de cotas límite.

Es imposible establecer normas rígidas en cuanto al juego a dar al ajuste entre dos piezas; esto es una decisión que debe tomar el proyectista con base en la consideración del modo en que han de funcionar. El American National Standards Institute, Inc. (ANSI), ha establecido ocho clases de ajustes que sirven como pautas de referencia para especificar el justo y la tolerancia sin más que citar el tipo de ajuste. Esas ocho clases de ajustes son:

Clase 1 (Ajuste Holgado): En el cual existe mucho juego; se utiliza en los casos en que la precisión no es fundamental.

Clase 2 (Ajuste Suave): Existe juego generoso. Para ajustes entre piezas rotatorias que giren a más de 600 r.p.m. con presiones superiores a los 40 km/cm.

Clase 3 (Ajuste No Apretado): Hay un juego moderado. Para ajustes entre piezas rotatorias que giren a menos de 600 r.p.m. con presiones inferiores a 40 km/cm. y para ajustes deslizantes.

Clase 4 (Ajuste sin Huelgo): Existe un juego nulo. Este ajuste se utiliza en los casos en que no debe haber movimiento alguno bajo carga, ni se desean sacudidas. Es el ajuste más firme que puede lograrse a mano.

Clase 5 (Ajuste Apretado): Existe un juego entre nulo y negativo. Los conjuntos son selectivos y no intercambiables.

Clase 6 (Forzado): Hay un juego ligeramente negativo. Es un ajuste con apriete para los casos en que las piezas no deben separarse durante el servicio, ni desarmarse nunca, o solo muy raramente. Para este montaje se requiere una llave presión: No es apto aguantar cargas fuertes, solo muy ligeras.

Clase 7 (Ajuste Suave a presión): Ajuste con apriete que requiere una presión considerable para su montaje y que, de ordinario se realiza calentado el miembro externo o enfriando el interno, para dilatarlo o contraerlo respectivamente. Se emplea para unir ruedas dentadas, poleas, platos de manivela. Es el ajuste con mayor apriete que puede darse a miembros externos de fundición férrea.

Clase 8 (Ajuste a gran apriete o por Contracción): Juego negativo considerable. Se emplea para uniones fijas de elementos de acero.

En el anexo 1 se puede observar la tabla de especificaciones de juego y tolerancia según el tipo de ajuste. [31]

2.9 Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión.

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos. [32]

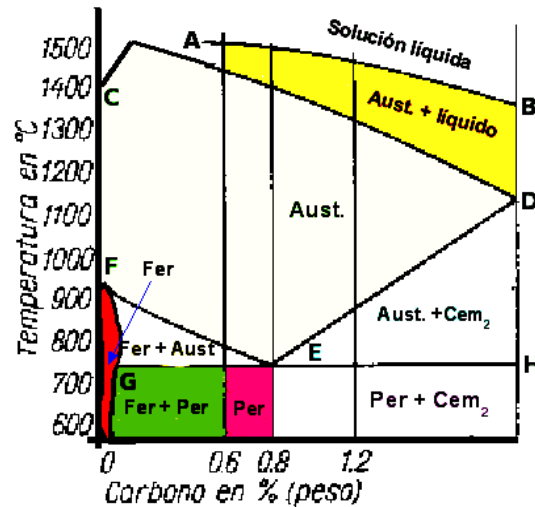


Figura 2. 7 Sector izquierdo del diagrama hierro-carbón.

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener. [33]

Los cambios estructurales del acero a diferente temperatura tienen bastante complejidad y dependen de la cantidad de carbono y otros factores, que en la metalurgia se establecen con precisión en el llamado diagrama hierro-carbón, como el que se muestra en la figura 2.12.

Todos los tratamientos térmicos tienen una ruta obligatoria:

- Calentamiento del acero hasta una temperatura determinada.
- Permanencia a esa temperatura por un tiempo determinado.
- Enfriamiento. [34]

Tabla 2. 7 Algunas características de los tipos básicos de tratamiento térmico.

Tratamiento	Temperatura	Enfriamiento	Objetivo
Temple	30 a 50°C por encima de la temperatura de cambio alotrópico	Se efectúa a distintas velocidades en agua, soluciones, aceite, sales o Aire	Aumentar dureza e importarles propiedades cortantes a aceros.
Revenido	Revenido a baja temperatura: 180-220°C Revenido a media temp.: 300-400°C Revenido a alta temperatura: 500-550°C	Enfriamiento al aire	Aumentar la plasticidad con la disminución mínima de la dureza o resist.
Recocido total	15-40°C por encima de la temperatura de transformación	Dentro del horno	Eliminar tensiones residuales, ablandar el material y ductilizar.
Normalizado	55-85°C por encima de la temperatura de transformación	Al aire	Afinar el tamaño de grano en un material

En la tabla 2.7 se presentan algunas características de los tipos básicos de tratamiento térmico.

2.9.1 Temple

El temple consiste en calentar el acero a una temperatura determinada por encima de su punto de transformación para lograr una estructura cristalina determinada, seguido de un enfriamiento rápido con una velocidad superior a la crítica, que depende de la composición del acero, para lograr una estructura austenítica, martensítica o bainítica, que proporcionan a los aceros una dureza elevada.

Para conseguir un enfriamiento rápido se introduce el acero en algún medio de temple que puede ser:

- En agua, los de la serie 10XX y 11XX
- En aceite, la gran mayoría, como por ejemplo los de las serie 15XX, 40XX, 4118, 4320
- Los de enfriamiento lento, como son los 4320, 48XX, 4720, 8822.

La velocidad de enfriamiento depende de las características de los aceros y de los resultados que se pretenden obtener.

En casos determinados se interrumpe el enfriamiento en campos de temperatura comprendidos entre 180-500 °C., alcanzándose de esta manera un temple con el mínimo de variación en las dimensiones de las piezas, un mínimo riesgo de deformación y consiguiéndose durezas y resistencias determinadas, de acuerdo con las estructuras cristalinas en lo que se refiere a austenita, martensita o bainita.

Los procedimientos de temple descritos se refieren a un temple total del material, otros tratamientos permiten una más amplia variación de las características añadiendo carbono o nitrógeno a la superficie de las piezas.

Los procedimientos de temple descritos se refieren a un temple total del material, otros tratamientos permiten una más amplia variación de las características añadiendo carbono o nitrógeno a la superficie de las piezas.

2.9.2 Revenido

Normalmente, a continuación del temple se efectúa un tratamiento, denominado revenido. Si un acero se temple correctamente, alcanza su máxima dureza, que depende en primer lugar de su contenido en carbono, pero el acero en este estado es muy frágil y en consecuencia debe ser revenido a una temperatura entre 150 °C y el punto de transformación

del mismo. Los revenidos efectuados entre 150-220 °C influyen poco en la dureza pero mejoran la resistencia, eliminando una parte de las tensiones producidas durante el enfriamiento. Esta clase de revenido se utiliza sobre todo en aceros para herramientas que requieren una gran dureza, en otros casos se efectúan los revenidos entre los 450-600 °C.

En estos casos el acero templado pierde parte de la dureza conseguida pero se aumenta la resistencia y la elasticidad. Variando la temperatura y la duración del revenido se influye sobre el resultado final en lo referente a dureza y resistencia del acero. Una prolongación del tiempo de mantenimiento a temperatura, visto desde el punto de la dureza, significa lo mismo que un aumento de la temperatura, pero no en absoluto en lo referente a la estructura, por lo tanto, la temperatura y duración del tratamiento depende de los resultados finales exigidos (dureza y/o resistencia). [35]

2.9.3 Recocido

Con este nombre se conocen varios tratamientos cuyo objetivo principal es "ablandar" el acero para facilitar su mecanizado posterior. También es utilizado para regenerar el grano o eliminar las tensiones internas.

Se debe tener en cuenta que los recocidos no proporcionan generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero y casi siempre el material sufre un tratamiento posterior con vistas a obtener las características óptimas del mismo. Cuando esto sucede el recocido se llama también "tratamiento térmico preliminar" y al tratamiento final como "tratamiento térmico de calidad".

2.9.4 Normalizado

Es un tratamiento térmico en el cual el material se calienta hasta aproximadamente 100F sobre el rango crítico, sosteniendo esa temperatura por el tiempo requerido, y enfriándola a la temperatura del medio ambiente.

Se realiza calentando el acero a una temperatura unos 50°C superior a la crítica y una vez austenizado se deja enfriar al aire tranquilo. La velocidad de enfriamiento es más lenta que en el temple y más rápida que en recocido.

Con este tratamiento se consigue afinar y homogeneizar la estructura. Este tratamiento es típico de los aceros al carbono de construcción de 0.15% a 0.60% de carbono. [36]

2.9.5 Endurecimiento superficial

El propósito de este proceso es producir una superficie exterior dura sobre un elemento de acero al bajo carbono, mientras que al mismo tiempo se retiene su ductilidad y tenacidad en el núcleo. Se hace incrementando el contenido de carbono en la superficie. Se pueden utilizar materiales carburizantes sólidos líquidos o gaseosos. El proceso consiste en introducir la parte que se va a carburizar en el material carburizante durante un tiempo y una temperatura establecidos, dependiendo de la profundidad del espesor deseado y de la composición de la parte.

Luego, la parte se temple en forma directa a partir de la temperatura de carburización y después se reviene, o en algunos casos se somete a un tratamiento térmico con el objeto de asegurar que tanto el núcleo como la superficie tengan condiciones adecuadas. [37]

2.9.6 Consideraciones de seguridad que se deben tomar en cuenta.

Durante las operaciones de tratamiento térmico, siempre trabájese en parejas. Una persona puede abrir y cerrar la puerta del horno, mientras que otra manipula la parte caliente. La parte tratada térmicamente debe colocarse en el horno de modo que pueda sacarse en una forma conveniente. Esto evita que el operario deje caer piezas calientes y ayuda a lograr un tratamiento térmico exitoso.

Los hornos de atmósfera controlada nunca deben abrirse sin antes cortar el suministro del gas. Si no se hace así, puede provocarse una explosión. [26]

Es recomendable tener una planificación del procedimiento que se va a realizar, así como leer y tomar en cuenta las medidas de precaución y seguridad que se encuentran en los manuales de operación del equipo que se va a utilizar. Además, se deben revisar los dispositivos de protección de los equipos y llevar un correcto mantenimiento para asegurar el funcionamiento de los mismos.

También debe tomarse en cuenta que un espacio de trabajo sucio puede propiciar accidentes, por lo tanto, siempre se debe mantener limpia el área.

2.10 Software de diseño, de ingeniería y creatividad

La utilización de los ordenadores como instrumentos de ayuda a las diferentes actividades humanas ha cobrado tal importancia que hoy resulta casi inconcebible subsistir en un mundo tan competitivo sin su uso. Se puede decir que su aplicación ha cubierto todas las esferas de la actividad humana, si bien es cierto, algunas veces se perciben aplicaciones informáticas un tanto banales o innecesarias. Es previsible que el uso de ordenadores vaya en aumento cada vez más.

2.10.1 Software de Diseño (CAD/CAM/CAE)

Para apoyar la gran mayoría de actividades de diseño se cuenta con una oferta comercial de software, ampliamente reconocido y aceptado por su aporte y beneficios demostrados en la práctica. Por ejemplo se encuentran muchas opciones de paquetes tipo CAD, algunos de los cuales ofrecen versiones especializadas para los diferentes tipos de aplicaciones en ingeniería, que dan un soporte muy importante en el área de diseño de detalle, particularmente en lo relacionado con el dibujo de piezas, ensamble de conjuntos, verificación dimensional, cálculo del volumen de materiales, etc. También se pueden mencionar los programas de análisis de elementos finitos (FEA) que han dado agilidad al proceso de cálculo de los elementos mecánicos, por ejemplo, permitiendo incorporar en forma efectiva procesos

de optimización. Este tipo de software se complementa con el concepto denominado genéricamente como “manufactura asistida por ordenador” (CAM), de manera que se ha logrado integrar una cadena dentro del proceso de diseño y producción de elementos. A esto se puede sumar las investigaciones más recientes que han llevado a nuevas propuestas como la evaluación de diseños mediante técnicas de realidad virtual y de realidad ampliada.

El estudio de la evolución de la tecnología informática revela el protagonismo que ha tenido el desarrollo de sistemas CAD. Técnicas tales como el diseño vectorial, la organización por capas, la automatización de tareas, el manejo de diseño en 3D, etc., tienen su origen en el desarrollo de programas CAD. Aunque en un principio este tipo de programas estuvo limitado por las capacidades inherentes al hardware, cuando aparecen los circuitos electrónicos que permite la integración de funciones a gran escala y los lenguajes de alto nivel, el CAD adquiere su verdadera dimensión, convirtiéndose en instrumento estratégico a nivel productivo industrial con altos índices de utilización.

Históricamente se puede situar el surgimiento del CAD como herramienta de alta demanda con el nacimiento de la empresa Autodesk en el año 1982, cuyo objetivo se centró en desarrollar CAD a un precio competitivo, teniendo en cuenta que las propuestas que hasta esas fechas se manejaban, eran poco viables para la mayoría de las empresas debido a sus costes. Para el año 1997 se identifican cinco grandes empresas desarrolladoras de este tipo de software: Autodesk Inc., Product Development Cia., Dassault Systems, SDRC y EDS/Intergraph; con un volumen de mercado que rondaba los 100 mil millones de dólares en Estados Unidos y 25 mil millones de euros en Europa (Argote, 2001).

Actualmente se puede encontrar en el mercado una gran variedad de sistemas CAD, desde muy sencillos y de tipo freeware (gratuitos) hasta aquellos desarrollados para sectores industriales específicos, con altísima sofisticación.

2.10.2 Programas de Autodesk, Inc.

Esta empresa sigue siendo la más conocida a nivel mundial en software CAD para PC's. Actualmente ofrece un abanico de productos bastante amplio que va desde el programa de referencia AutoCAD hasta programas especializados en diferentes ramas de la técnica.

La diversificación de la oferta comercial de Autodesk, Inc., es muy intensa y orientada a satisfacer requerimientos especializados para diferentes disciplinas de la técnica.

La última versión de Autocad® reúne características avanzadas alrededor del concepto de proyecto, es decir, el conjunto de dibujos y planos que hace referencia al mismo trabajo, de manera que resulta sencilla su gestión en forma integrada. Ello minimiza la posibilidad de errores y permite el trabajo en equipo, que es una de las características más deseables en la actualidad. Todo ello además de las características más conocidas de este programa, que sigue siendo el referente en el mundo del diseño, características que en cada nueva versión son mejoradas siempre con el objetivo de facilitar la personalización y aumentar la productividad en el desarrollo del trabajo.

2.10.3 Programas de Product Development Technology, PTC. Inc.

Esta compañía fue creada en 1985 en Massachussets, y actualmente cuenta con más de 150 oficinas en todo el mundo y emplea más de cuatro mil trabajadores. La familia de productos de PTC (Product Development Company, 2004) se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2. 8 Familia de productos PTC

Diseño de productos	• ProENGINEER
Análisis FEA	• Pro/Mechanica
Diseño compartido	• Pro/Desktop
Visualización de archivos	• Division
¿?	• Granite One
Colaboración	• Windchill

Su filosofía se ha centrado en los últimos años en soluciones para el desarrollo colaborativo de productos, basadas en la red y destinadas a compartir y aprovechar los activos en toda la cadena de valor.

Pro/Engineer es el principal programa de esta compañía, constituido por varios módulos integrados, que cubren la totalidad del proceso de desarrollo del producto, desde la

concepción inicial hasta la reparación y mantenimiento, pasando por la definición detallada del producto. Para ello dispone de módulos de diseño, de producción y fabricación, de cableado y de diseño de barcos. La interfase de usuario que utiliza (Intuitive Direct Modeling™) está certificada por Microsoft como una que facilita el aprendizaje rápido y la implementación.

2.10.4 Productos de Dassault Systèmes

La filosofía marcada por esta compañía también gira en torno al ciclo de vida del producto, de tal manera que ha pasado a convertirse más que en el productor de un software de diseño, en un conjunto articulado de herramientas que busca asistir a las empresas en todos los aspectos relacionados con el producto, desde se concepción hasta su mantenimiento. Las soluciones que cumplen la filosofía de esta empresa del manejo de ciclo de vida del producto (Dassault Systmes, 2002) se presentan en la Tabla 2.9.

Tabla 2. 9 Productos de Dassault Systèmes

Diseño y análisis	• CATIA
PLM y toma de decisiones	• ENNOVIA
Gerencia compartida	• SMARTEAM
Ingeniería concurrente	• DELMIA
Desarrollo de plataforma V5.	• ESPACIAL
Dibujo 2D y 3D	• SolidWorks

Catia se trata del producto bandera de la compañía para el desarrollo de productos sobre el que gira todo el concepto de ciclo de producto. Incorpora herramientas para integrar todas las actividades de desarrollo de producto incluyendo el diseño de estilo y forma, el análisis de ingeniería, la maquetación digital, simulación de funcionamiento, etc. Su valor añadido en las últimas versiones se centra en el desarrollo colaborativo, posibilitando el intercambio de datos, archivos y gestión integrada del proyecto de diseño.

SolidWorks es el producto de dibujo y diseño en 2D y 3D. Ha mostrado desde su lanzamiento una concepción de utilización simple y rápida de aprender y por ello ha captado

un segmento importante del mercado. Incorpora en sus últimas versiones la herramienta de análisis por elemento finito COSMOS. Además, por estar integrado en la filosofía de la compañía, facilita el desarrollo colaborativo de diseños y la interconexión con los otros programas de la plataforma base. Integra dentro de su ambiente una buena flexibilidad de trabajo y la posibilidad de generar modelos 3D a partir de bosquejos realizados rápidamente en 2D. Además contiene una herramienta de comunicación vía e-mail que facilita el compartir diseños con colaboradores. Por la red también tiene acceso una gran librería de elementos que se arrastran y pegan con facilidad en el dibujo. [12]

2.10.5 Programas AEF

Los programas de AEF (Análisis por Elementos Finitos), permiten obtener soluciones aproximadas de problemas que sean susceptibles de ser representados por un sistema de ecuaciones diferenciales.

En ingeniería, la mayoría de los procesos actuales están definidos de dicha forma, por lo que los programas nos permitirán obtener productos de calidad superior a un menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o equipo. Si se utiliza un programa AEF se puede ayudar a reducir el tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo el número de ciclos prototipos-pruebas-ensayo-evaluación, figura 2.10.

ANSYS se trata de un programa de “uso general”, lo que quiere decir que, en primer lugar el programa incluye muchas capacidades generales, tales como funciones de preprocesador (para generar un modelo), soluciones, postprocesador, gráficos, modelado paramétrico y utilidades para que el programa sea fácil de usar. En resumen, no se trata de un programa especializado para resolver problemas, sino que nos permitirá satisfacer muchas necesidades complejas de diseño y análisis. [38]

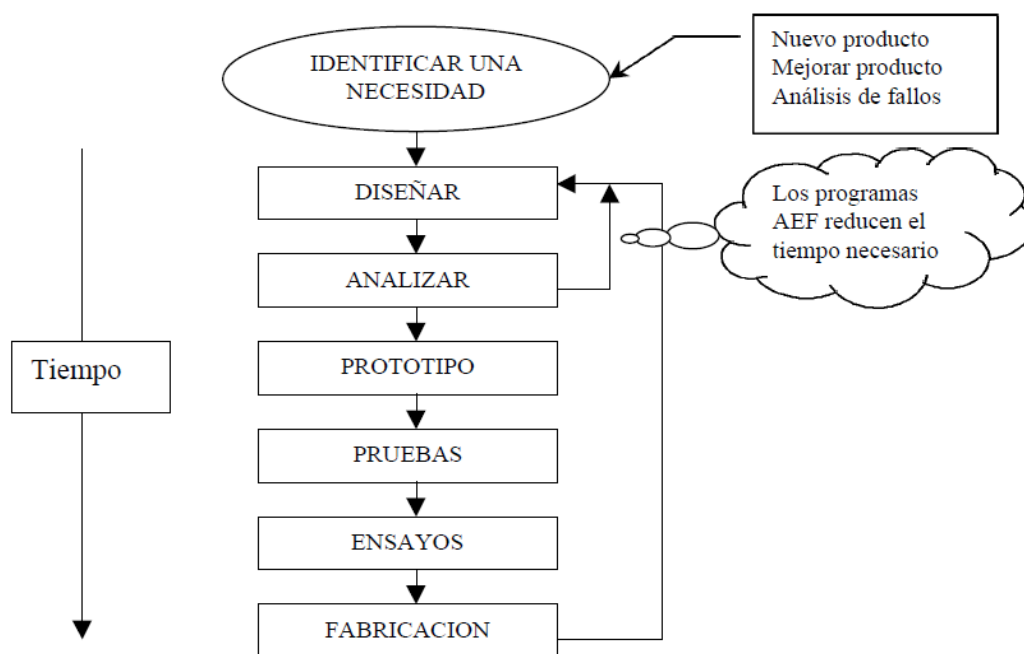


Tabla 2. 10 Pasos en que programas AEF ayudan a reducir tiempo de desarrollo de productos.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO EXPERIMENTAL



Caer está permitido, levantarse es obligatorio
Proverbio ruso

Capítulo 3. Desarrollo experimental

3.1 Especificaciones para el diseño

Ante la necesidad de diseñar un accesorio que permita al robot Mitsubishi Movemaster tomar probetas a alta temperatura, se establecieron una serie de requerimientos que se deben cumplir. Antes de hacer un diseño, es importante definir las funciones para el dispositivo.

Para este proyecto se requirió que el accesorio sea capaz de tomar probetas redondas de acero al carbón a temperatura elevada, con un peso máximo de 200 gr, un diámetro entre 0.5 a 1 pulgada, una altura mayor a 0.5 pulgadas y haciendo uso del efector final instalado en el robot para evitar perder tiempo desmontándolo.

Los materiales requeridos son tales que garanticen la seguridad, funcionalidad y el buen desempeño del accesorio durante su funcionamiento.

El ensamble y desensamble del accesorio al robot debe ser fácil y rápido, toda vez que se tiene un tiempo limitado para el uso del laboratorio y no es exclusivo para la asignatura de procesos de manufactura. Para esto, el dispositivo debe ser pensado con un mínimo de herramientas para su ensamble.

3.2 Inventario de material y equipo de laboratorio

Para la realización de este proyecto fue importante conocer los recursos con los que se cuentan para saber si era posible utilizarlos.

En la tabla 3.1 se da una descripción del material y equipo disponible, en el momento del proyecto, dentro de los diferentes laboratorios de la facultad de ingeniería, junto a una breve descripción de los mismos.

Tabla 3. 1 Material y equipo disponible para el proyecto.

CANTIDAD	MATERIAL O EQUIPO	DESCRIPCIÓN	UBICADO EN:
3	Horno para tratamiento térmico	Horno eléctrico para tratamiento térmico de 7”X8”X12” con voltaje de alimentación de 208v/220v a 20 A.	Laboratorio de ingeniería mecánica
1	Ansys	Software de simulación por el método del elemento finito	Laboratorio de ingeniería mecánica
1	Robot manipulador	Robot manipulador Mitsubishi movemaster EX de 5 grados de libertad con una capacidad de carga de 1.2kg incluyendo la mano y repetitividad de ± 0.3 mm.	Laboratorio de ingeniería mecánica
1	Cámara digital	Cámara digital de video y fotografía Kodak Easy Share de 4.0 Megapíxeles	Recurso propio
2	Máquinas CNC	Torno y Fresadora CNC de 3 ejes de la marca HASS	Laboratorio de ingeniería mecánica
8	Torno	Tornos convencionales de las marcas Kent USA y VICTOR	Laboratorio de ingeniería mecánica
3	Fresadora	Fresadoras convencionales de las marcas Cincinnati y Kent USA	Laboratorio de ingeniería mecánica
--	Flechas de acero	Tramos de flechas de acero A50 de $\frac{3}{4}$ ” y 1” de diámetro	Laboratorio de ingeniería mecánica

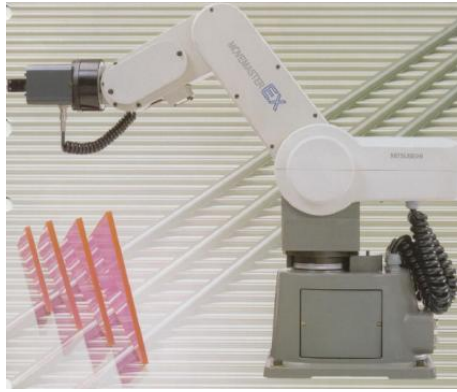


Figura 3. 1. Robot eléctrico Mitsubishi

3.3 Condiciones de operación del accesorio de la mano de robot

En el diseño de la mano de robot se consideraron diversos factores que pueden afectar a la operación de la mano como lo es la temperatura a la que estará trabajando, el espacio con el que se dispone para maniobrar las piezas a manipular, entre otras cosas.

3.3.1 Temperatura

En la realización de este proyecto se llevó a cabo el temple de una probeta de acero de bajo carbón AISI 1018 para realizar pruebas en los laboratorios de ingeniería mecánica con el accesorio para el robot planteado. El robot a utilizado en las pruebas es el Mitsubishi Movemaster EX como el que se muestra en la figura 3.1.

Para realizar el temple de un acero, éste se calentó por encima de su temperatura de austenización, se mantuvo el tiempo suficiente y luego se enfrió rápidamente. A este proceso, se le conoce como ciclo térmico. La temperatura a la que se calienta la pieza para que alcance su temperatura de austenización es de 50°C por encima de A_3 , así que apoyándonos del acercamiento al diagrama hierro-carbón de la figura 3.2 observamos la temperatura usada en el horno para el temple, que fue de 900°C.

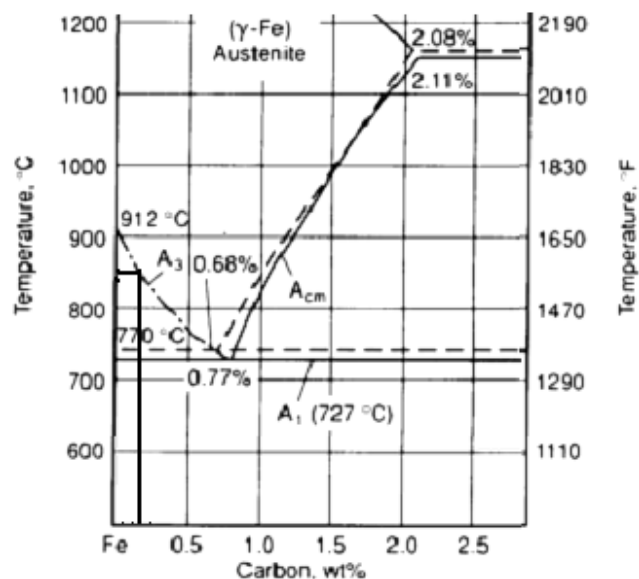


Figura 3. 2. Acercamiento izquierdo-central al diagrama Fe-C

El tiempo de permanencia a la temperatura de austenización se estableció de una hora por pulgada de diámetro de pieza más 0.5 horas por pulgada adicional, por lo tanto para la pieza de $\frac{3}{4}$ de pulgada utilizada, el tiempo de permanencia es de 45 minutos.

La velocidad de calentamiento utilizado para calcular el tiempo de calentamiento es de $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

El procedimiento llevado a cabo para realizar el proceso de temple es:

- 1) cortar el acero a templar;
- 2) Elaborar el ciclo térmico;
- 3) Programar el horno para llevar a cabo el ciclo térmico deseado;
- 4) Colocar la pieza e iniciar el ciclo;
- 5) Esperar a que finalice el tiempo de permanencia;
- 6) Retirar la pieza e inmediatamente después terminar el temple sumergiéndola en agua.

Una forma sencilla de aumentar la velocidad de enfriamiento es agitar la pieza dentro del medio con el cual retiramos temperatura de la pieza. Los medios de enfriamiento tienen una capacidad llamada severidad, la cual es la capacidad que tienen para enfriar rápidamente. [39]

La severidad depende del medio y de la agitación que se le dé al objeto dentro de éste, así por ejemplo, tenemos que para el caso del agua con una agitación nula la severidad es de 1 y con un agitación violenta cambia a 4.

La temperatura de austenización es la máxima que se alcanza en todo el proceso que lleva a cabo nuestro accesorio, por lo que podemos decir que es uno de los factores críticos que debemos tomar en cuenta. El ciclo térmico que se lleva a cabo con el robot y el accesorio se muestra en la figura 3.3

Para poder utilizar el robot en las pruebas de nuestro prototipo, primero, es importante conocer cuál es la temperatura máxima de operación que puede soportar para no exponerlo a condiciones que lo pudieran dañar.

Con la finalidad de conocer la temperatura máxima del robot Mitsubishi Movemaster, se recurrió al manual del equipo, el cual está disponible en internet, donde se puede notar que el rango de temperaturas en que puede operar el robot es entre 5 y 40°C.

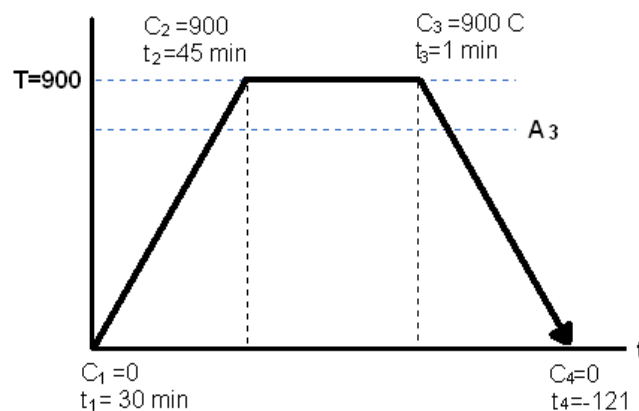


Figura 3. 3. Ciclo térmico para el templeado

Lo anterior nos hace pensar que para poder utilizar el robot propuesto con seguridad se debe tener un aislante térmico aunque el tiempo de exposición a la temperatura sea corto, ya que la temperatura de operación son demasiado altas.

3.3.2 Características del robot Mitsubishi Movemaster.

El robot Mitsubishi EX RV-M1 es un robot vertical articulado con cinco grados de libertad, con una capacidad de carga máxima de 1.2 kg (incluyendo el peso de la mano y medidos a 75 mm de la interface mecánica) y un peso aproximado de 19 Kg. El robot tiene una repetitividad de 0.3 mm y es controlado por servomotores de corriente directa. Los servomotores de los ejes 1 al 3 tienen una potencia de 30W, mientras que el 4 y 5 son de 11W.

Para que el robot Mitsubishi realice la secuencia de movimientos es indispensable que estén activos en la memoria, tanto el archivo de puntos, como el programa, el cual describirá la secuencia de puntos y la interacción con otros elementos.

Los elementos del robot Mitsubishi movemaster son el manipulador, el controlador principal y el control manual, los cuales se muestra en la figura 3.4.

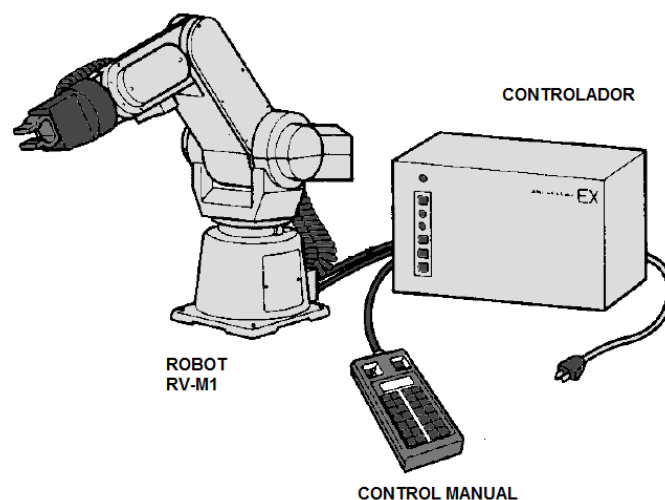


Figura 3. 4 Elementos del Robot

Las dimensiones físicas externas del manipulador y su espacio de trabajo se muestran en las figuras 3.5 y 3.6, respectivamente.

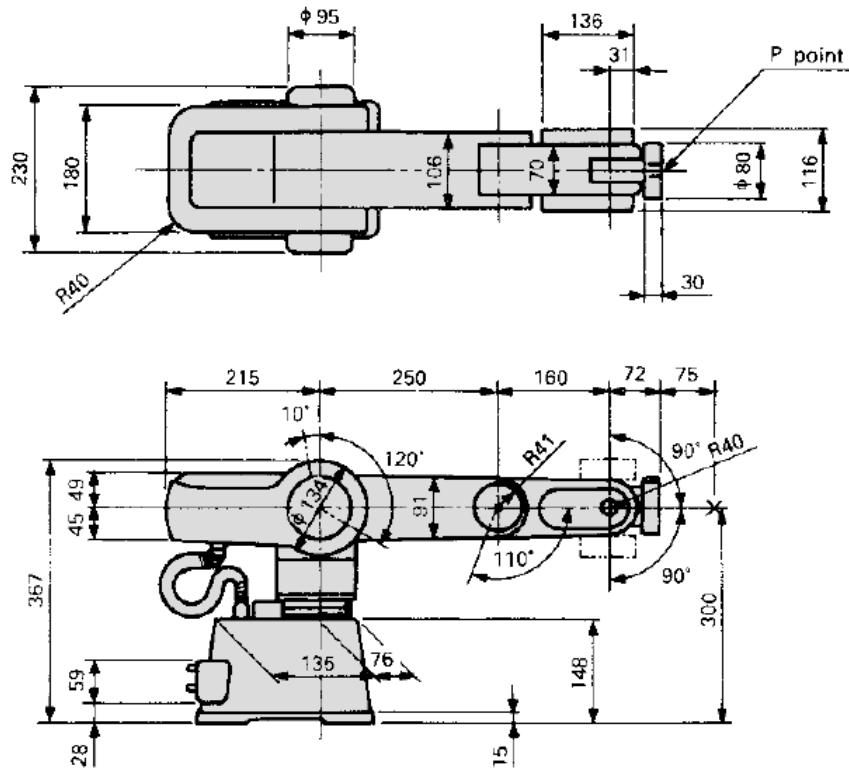


Figura 3. 5 Dimensiones externas del robot Mitsubishi

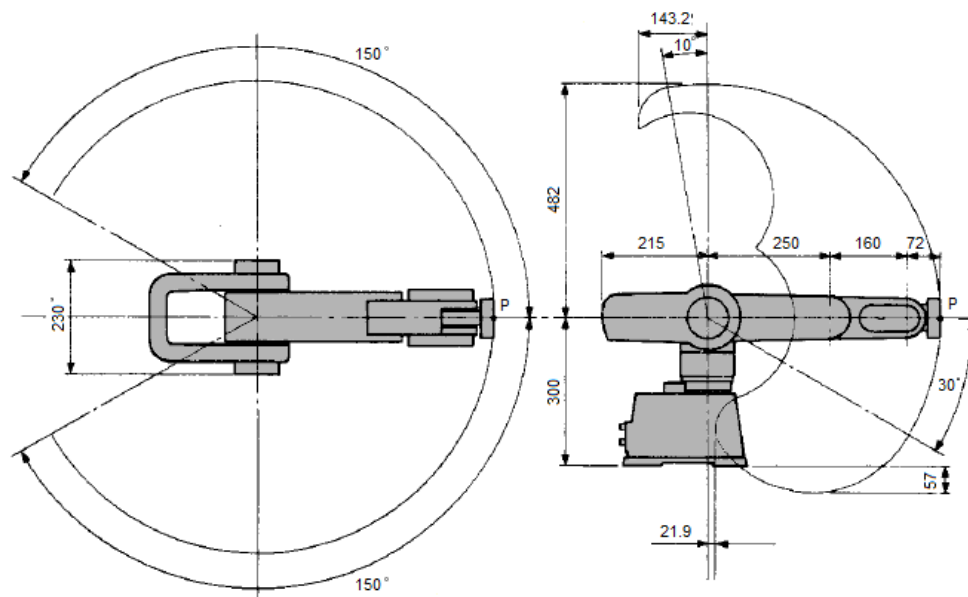


Figura 3. 6 Espacio de trabajo del robot

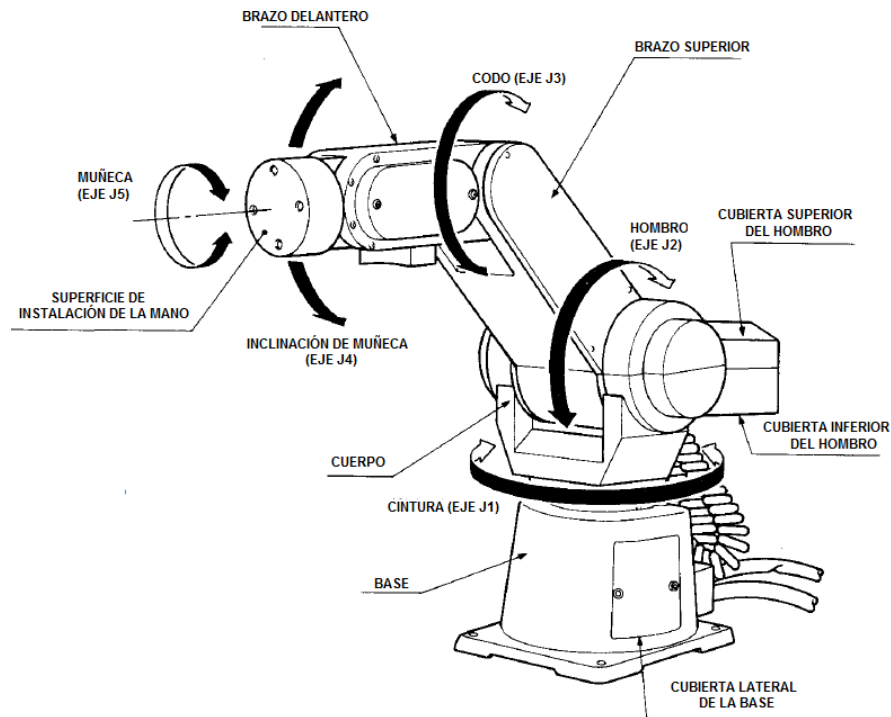


Figura 3. 7 Nomenclatura y capacidad de movimiento del robot

La nomenclatura de cada una de las partes y la capacidad de movimiento del robot se pueden observar en la figura 3.7

Para realizar movimientos con el robot Mitsubishi se tienen 3 diferentes modos, los cuales son:

PTP: En este modo, se realizan movimientos articulación por articulación. El modo PTP es la condición inicial al encender el control manual.

X,Y,Z: Con éste modo, las articulaciones se mueven en el sistema de coordenadas cartesiano.

TOOL: En este modo, los movimientos de las articulaciones son en base al sistema de coordenadas de la herramienta.

Hay que notar que los accesorios en la muñeca (en este caso las pinzas de sujeción y la extensión de la mano) hacen que la longitud total del robot sea más grande y por lo tanto el riesgo de colisión con objetos cercanos sea mayor.

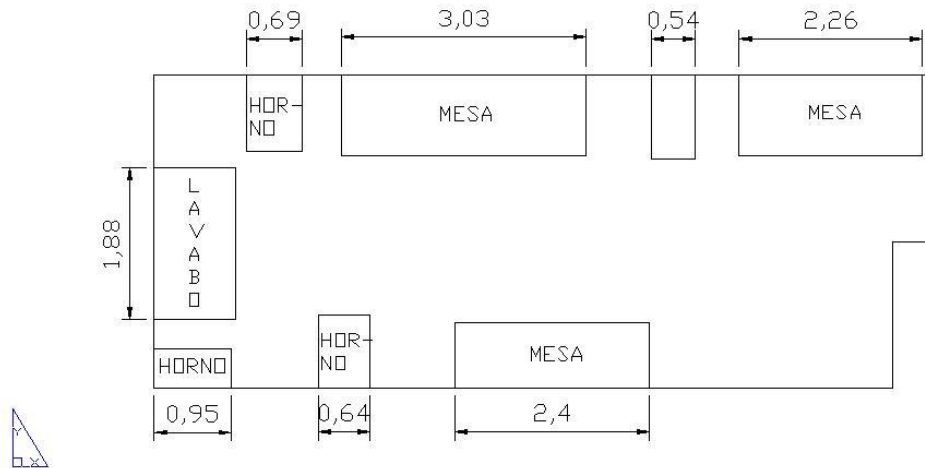


Figura 3. 9 Vista de planta del laboratorio

Para el caso de nuestro proyecto, el prototipo será probado dentro del laboratorio donde se encuentran los hornos donde se llevan a cabo los tratamientos térmicos a los aceros.

En la figura 3.9 se puede observar una vista de planta del laboratorio donde se realizarán pruebas con el prototipo.

3.4 Propuestas de diseño para el accesorio de la mano de robot

Es muy importante antes de realizar un nuevo diseño investigar si existen otros dispositivos similares al que se quiere desarrollar, por tal motivo es importante consultar libros, internet o directamente en la industria. [41]

Para permitir que el robot Mitsubishi Movemaster pueda manipular piezas a temperaturas elevadas, tratando de permitir un montaje y desmontaje rápido del accesorio, además de un fácil manejo, se propone comparar distintos modelos de alcanzadores (Handy reachers en inglés) y seleccionar el que convenga más para los fines que se persiguen. La selección de uno u otro modelo estará determinada por distintos factores como lo son: su facilidad de fabricación y ensamblaje, volumen, etc.

Resulta obvio que cualquier modelo de alcanzadores que se pudiera encontrar con algún proveedor no serviría por sí mismo para tomar probetas a las temperaturas que se pretenden en este trabajo, por lo que una vez elegido, el siguiente paso será adaptarlo a la mano del robot.

En el anexo 2 se presentan distintas alternativas de modelos de alcanzadores que serán analizados más adelante para elegir el óptimo.

Si bien los modelos presentados no son todos los que existen actualmente, se puede decir que son aquellos que tienen diferencias más notables, hablando de su mecanismo, y que se pueden encontrar más comúnmente.

3.5 Selección de la mejor propuesta y adaptación a la mano de robot

Para seleccionar una alternativa de diseño del accesorio para la mano del robot Mitsubishi Movemaster, es importante tener en cuenta dos cosas; la primera son las pautas y principios de diseño para manufactura; y la segunda, los métodos de selección de alternativas.

Siguiendo estos dos puntos (los cuales ya se han explicado en el capítulo 2) obtendremos la mejor opción para realizarle las adaptaciones necesarias para la tarea específica que nos interesa. Teniendo en cuenta lo anterior, se hace una preselección de 3 alternativas basándonos en las pautas y principios de diseño para manufactura con la cual se elabora la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Principios de diseño para una eficiente fabricación de productos

Principios de Diseño	Alternativa					
	1	2	3	4	5	6
Menor cantidad de componentes	0	0	9	3	0	3
¿Se mueven las piezas una con respecto a otra?	3	0	3	9	3	0
¿Se requiere que las piezas sean de materiales diferentes?	0	9	9	9	1	9
¿Se requiere separar la pieza para su mantenimiento?	0	3	1	1	3	1
¿Se requiere la pieza para ensamblar las piezas restantes?	3	3	3	3	1	1
Diseño modular	0	0	0	0	0	0
Utilizar componentes estándar e intercambiables tratando de tener:						
El mínimo de sujetadores tipo tornillo, tuercas, pernos y remaches a favor de ajustes de presión, soldadura y pegamento	1	1	9	3	0	1
La menor cantidad de diferentes tipos y tamaños de sujetadores	1	1	1	9	0	3
La menor cantidad de uniones con tornillo a favor de ajustes de presión	1	1	3	9	9	0
La menor cantidad de tornillos de diferentes tamaños	1	1	9	1	1	3
Diseño para fácil fabricación	1	3	3	3	1	1
Menor cantidad de separaciones rápidas	9	3	9	9	9	9
Minimizar las direcciones de ensamble para evitar errores utilizando:						
Pieza con base plana que provee buen soporte por si misma sin necesidad de arreglos adicionales	0	1	3	9	9	9
Bases sobre las que se pueden unir otras piezas con inserciones unidireccionales	1	3	1	3	3	3
Dirección de ensamble principalmente de manera vertical descendente	3	3	1	3	3	3
Biseles y guías ayudan al proceso de ensamblaje	9	3	3	3	3	3
Maximizar la conformidad tomando en cuenta:						
Tolerancias lo más grande posible	9	9	9	9	9	9
Eliminación de alambres o cables difíciles de manejar	9	9	9	9	9	9
Minimizar el manejo y ubicación de piezas considerando:						
Partes grandes versus pequeñas	9	9	9	9	9	9
Partes simétricas versus asimétricas	9	9	9	9	9	9
Codificar por color y forma	9	9	9	9	9	9
Modificar diseños donde una pieza ya armada se deba quitar para tener acceso a otras piezas	3	9	9	9	3	3
Minimizar el número de herramientas requeridas para ensamble y desensamble	9	9	9	9	9	3
	91	99	131	132	104	101

En esta preselección se le asigna una calificación a cada alternativa, en cada uno de los puntos de la tabla, en la medida en que estas cumplan con las pautas. Como se puede observar en la tabla anterior, los 3 diseños que cumple en mayor medida con las consideraciones del DFM (diseño para manufactura por sus siglas en inglés) son las opciones 3, 4, 5, por lo que éstas serán las que se evalúen con el método del valor técnico ponderado. En la tabla 3.3 se observa la jerarquización de los criterios tomados en cuenta para la selección de la mejor alternativa. Los criterios se seleccionaron tomando en cuenta los factores que puedan hacer al prototipo apto para ser implementado o no, como lo son la carga útil del robot, material y equipo disponible y operación del accesorio.

En la tabla 3.4 se puede observar la matriz de valoración para las alternativas preseleccionadas, en la que podemos observar que la alternativa 4 obtuvo una mayor puntuación. Por lo tanto, la alternativa seleccionada para adaptarla como accesorio para la mano del robot Mitsubishi Movemaster es la 4.

Tabla 3. 3 Comparaciones apareadas para la jerarquización de criterios

	Peso	Facilidad de fabricación	Cantidad de partes	Facilidad de ensamble	Facilidad de adaptación	Facilidad en mantenimiento	Facilidad de operación	Control de sujeción	Total	Peso (Pi)
Peso		1	1	1	0	1	1	1	6	8
Facilidad de fabricación	0		0	0	0	1	0	1	2	3
Cantidad de partes	0	1		1	0	1	1	0	4	6
Facilidad de ensamble	0	1	0		0	1	0	0	2	3
Facilidad de adaptación	1	1	1	1		1	1	1	7	10
Facilidad de mantenimiento	0	0	0	0	0		0	0	0	2
Facilidad de operación	0	0	1	1	0	1		0	3	4
Control de sujeción	0	0	1	1	0	1	1		4	6

Una vez que se seleccionó la mejor alternativa, el siguiente paso es adaptarla para poder utilizarla en la mano del robot, siempre tomando en cuenta que se debe poder utilizar de forma sencilla, ensamblar a la mano del robot fácil, rápido y con el menor número de herramientas necesarias, además, de evitar aumentar mucho el volumen para no incrementar demasiado el peso total del prototipo. Para esto, se agrego al alcanzador una pieza rectangular para poder sostenerlo con el gripper del robot.

En la figura 3.10 se puede observar un modelo del alcanzador con las modificaciones para ajustar a la mano del robot realizado en el programa SolidWorks 2008. El accesorio consta de 3 partes principales, los cuales pueden observarse enumeradas. La parte A es la encargada de unir el accesorio con el gripper instalado en el robot Mitsubishi; la parte B sostiene a la parte C y cuenta con una ranura para alojar la pieza a transportar; y por último la parte C es la encargada de presionar la probeta contra la parte B para sujetarla. En el anexo 3 se pueden observar las dimensiones de cada una de las 3 partes que componen el accesorio.

Tabla 3. 4 Matriz de valoración

Criterio/ Alternativa	Peso (Pi)	Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
Peso	8	5	40	6,5	52	8	64
Facilidad de fabricación	3	5	15	8	24	4	12
Cantidad de partes	6	8,5	51	7	42	4	24
Facilidad de ensamblaje	3	6	18	7	21	4	12
Facilidad de adaptación	10	5	50	7	70	7	70
Facilidad de mantenimiento	2	6	12	7	14	4	8
Facilidad de operación	4	5	20	6	24	6	24
Control de sujeción	6	4	24	7	42	8	48
Suma	42		230		289		262
VTP		0,55		0,69		0,62	

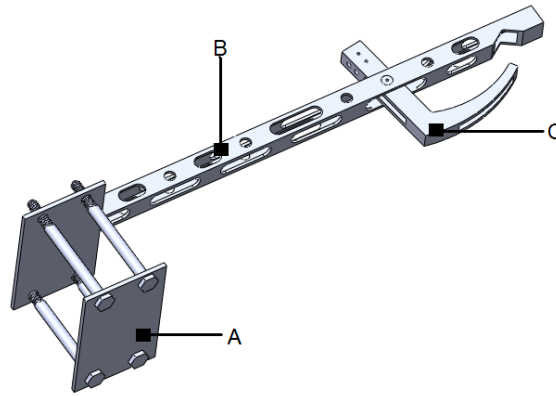


Figura 3. 10 Diseño adaptado para ajustar al robot.

3.5.1 Capacidad de los servomotores del robot

Con ayuda del programa SolidWorks 2008® podemos conocer el volumen total de nuestro accesorio. Para ello, en el ensamblaje de nuestro diseño, escogemos el menú “Calcular” y damos clic en el icono “Propiedades físicas”. Una vez realizado esto, se despliega una ventana con los datos que el software ha calculado. Los datos calculados se muestran en la figura 3.11.

```
Volumen = 42.04 centímetros^3
Área de superficie = 498.41 centímetros^2
Centro de masa: ( centímetros )
X = 1.87
Y = 0.17
Z = -11.85
```

Figura 3. 11 Centro de masa y volumen del accesorio

Con estos datos podemos calcular el peso total de la pieza, tomando como dato la densidad del acero de $7.86 \frac{gr}{cm^3}$:

$$42.04 cm^3 \times 7.86 \frac{gr}{cm^3} = 330.43 gr \sim 0.33 kg$$

Multiplicando por la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$) obtenemos:

$$0.33 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 3.23 N$$

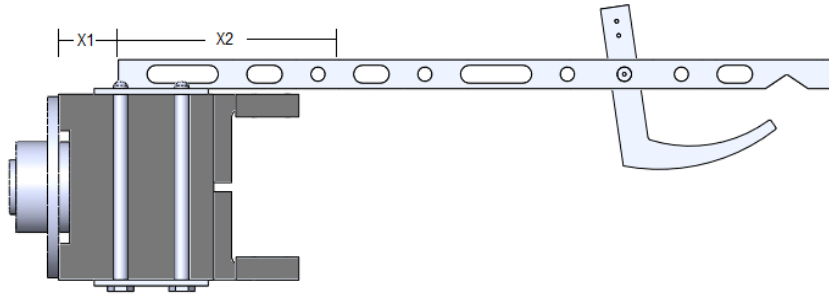


Figura 3. 12 Distancia al centro de gravedad del accesorio

Por lo tanto, la fuerza de 3.23N aplicados en el centro de gravedad de la pieza nos dará como resultado el par generado por el peso del accesorio. Es importante notar que el accesorio no está montado sobre la interface mecánica del robot, por lo tanto, se deben sumar las distancias x_1 y x_2 que se muestran en la figura 3.12.

Sabiendo que $x_1=30\text{mm}$ y $x_2=118.5\text{mm}$, tenemos:

$$3.23\text{N} \times (118.5\text{mm} + 30\text{mm}) = 479.65\text{N} \cdot \text{mm} \quad 3.1$$

Según el manual del robot Mitsubishi, su capacidad de carga es de 1.2kgf, con un centro de gravedad a 75 mm de la interface mecánica. Por lo tanto, el torque que puede desarrollar el servomotor es:

$$1.2\text{kgf} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 75\text{mm} = 883\text{N} \cdot \text{mm} \quad 3.2$$

Por lo tanto, comparando las ecuaciones 3.1 y 3.2 se puede observar que el torque generado por el accesorio es menor que el disponible en el robot, lo cual nos permitirá tener una carga útil para levantar las probetas que se quieren transportar.

3.5.2 Fuerza de agarre necesario

Para obtener la fuerza de agarre que se necesita para nuestro accesorio, debemos tomar en cuenta que la forma de sujeción de éste es del tipo abarcadura, por lo tanto su factor de mandíbula (Jaw factor) es de 1.

La probeta que se va a utilizar para trabajar con el accesorio es de 1 pulgada de diámetro y ½ pulgada de largo. Por lo tanto, sabiendo que la densidad del acero es 7.86 gr/cm^3 se tiene que el peso de la probeta es:

$$6.44\text{cm}^3 \times 7.86 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 50.6\text{grf} \approx 0.49\text{N}$$

Por lo tanto, la fuerza de agarre necesaria es:

$$0.49\text{N} \times 4 \times 1 = 1.96\text{N}$$

El torque en la mandíbula por lo tanto será:

$$320\text{mm} \times 1.96\text{N} = 627.2 \text{ Nmm}$$

El torque debido a la probeta es:

$$320\text{mm} \times .49\text{N} \times 3 = 470\text{Nmm}$$

El torque total es la suma del torque debido a la mandíbula más el provocado por la probeta:

$$627.2\text{Nmm} + 470\text{Nmm} = 1142.6\text{Nmm}$$

Con esto tenemos que las especificaciones para nuestro accesorio son una fuerza de agarre de 1.96 N con un torque total de 1142 N-mm. Con los datos del fabricante de la mano que está instalada actualmente en el robot tenemos que la fuerza de agarre es de 3.5 kgf a 75 mm de la interface mecánica, lo que nos da como resultado:

$$Fuerza\ de\ agarre = 3.5kgf \times 9.81 = 34.33N$$

$$Torque = 34.33N \times 75mm = 2575.1Nmm$$

Con estos datos podemos observar que las características de la mano instalada en el robot son suficientes para poder operar nuestro accesorio.

3.6 Selección del material de construcción

La selección de material para este proyecto se hace por medio de una matriz de valoración en la cual se evaluaron los siguientes criterios:

1. Manufacturabilidad
2. Costo
3. Complejidad tecnológica
4. Peso
5. Seguridad
6. Piezas estándar
7. Resistencia mecánica
8. Maquinabilidad

Antes de proponer las posibles alternativas de material para la fabricación del accesorio de la mano del robot, se debe hacer una preselección para filtrar grupos de materiales que no cumplen con las necesidades del prototipo. Para esto, primero se eligen aquellos grupos de materiales que posean las características adecuadas para poder ser utilizados en la aplicación que se desea.

Por lo tanto, se selecciona solo al grupo de los metales ya que los materiales semiconductores son frágiles y su principal aplicación es en la industria de la electrónica; los cerámicos, a pesar de su alta resistencia a temperaturas elevadas, son frágiles y quebradizos; los polímeros no son recomendados para su uso en alta temperatura y; los materiales compuestos, si bien en los últimos años ha sustituido a los metales en muchas aplicaciones, en algunos casos no son aptos para la aplicación, en otros los procesos de fabricación son muy complicados o no se encuentran disponibles comercialmente para comprarse en pequeñas cantidades.

Dentro del grupo de los metales tenemos materiales ferrosos y no ferrosos, dentro de los que cabe destacar al aluminio, acero al carbón y acero inoxidable. En las tablas 3.5 y 3.6 se muestra la jerarquización de los criterios para la selección del material y la matriz de valoración respectivamente.

Tabla 3. 5 Matriz de jerarquización de criterios para seleccionar material

	Costo	Seguridad	Complejidad tecnológica	Peso	Piezas estándar	Resistencia mecánica	Maquinabilidad	Conductividad térmica	Total	Peso (Pi)
Costo		0	1	0	1	0	0	1	2	5.5
Seguridad	1		1	0	1	1	1	1	5	8.5
Complejidad tecnológica	0	0		0	0	1	1	1	2	5.5
Peso	1	1	1		1	1	1	1	6	10
Piezas estándar	0	0	1	0		0	0	0	1	4
Resistencia mecánica	1	0	0	0	1		1	0	3	7
Maquinabilidad	1	0	0	0	1	0		0	2	5.5
Conductividad térmica	0	0	0	0	1	1	1		3	7

Tabla 3. 6 Matriz de valoración para selección de material

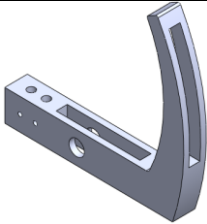
Criterio/ Alternativa	Peso (Pi)	Aluminio		Acero al carbón		Acero inoxidable	
Costo	5.5	9	49.5	8	44	7	38.5
Seguridad	8.5	6	51	8	68	8	68
Complejidad tecnológica	5.5	8	44	9	49.5	8	44
Peso	10	10	100	8	80	8	80
Piezas estándar	4	7	28	8	32	7	28
Resistencia mecánica	7	8	56	8	56	9	63
Maquinabilidad	5.5	8	44	9	49.5	7	38.5
Conductividad térmica	7	7	49	9	63	9	63
Suma	53		421.5		442		423
VTP		0.795		0.833		0.798	

El material seleccionado para la fabricación del accesorio es el acero al carbón. Dentro de los aceros al carbón podemos distinguir 3 tipos, acero de bajo carbón, acero de medio carbón y acero de alto carbón.

Para nuestra aplicación, el acero de bajo carbón es más adecuado ya que éste adquiere poco temple, está disponible comercialmente en una gran variedad de formas, es más económico y fácil de trabajar.

Cada una de las 3 partes principales del accesorio se fabrica a partir de material adquirido para este fin y se observa en la tabla 3.7. Para la construcción del accesorio, además del material mencionado en la tabla 3.7, es necesario adquirir otros materiales como cable, resorte, etc.

Tabla 3. 7 Material de construcción de las partes principales del accesorio

PARTE	MATERIAL
	Solera de acero ASTM-A36 calibre 100 de 2 pulgadas de ancho.
	5 pies de tubo cuadrado de acero ASTM A-36 de ½ pulgada de lado y un espesor de 1.67 mm.
	Placa cuadrada de ½ pie por lado, de acero ASTM-A36 y media pulgada de espesor.

Las características del acero AISI 1018 CD y ASTM A-36 se presentan en la tabla 3.8

Tabla 3. 8 Características de los aceros AISI 1018 CD y ASTM A-36

Acero	Composición química					ρ kg/m ³	K_t W/m°C	A °C ⁻¹	Su MPa	Sy MPa
	C	Si	Mn	P	S					
AISI 1018	.15 a	0.25	.6 a	0.04	0.05	7.87x 10 ³	47	12	341	221
	.2		.9	max	max					
A-36	0.25	0.04	.8 a	0.04	0.05	7.85x 10 ³	47	12	400	250
	max	max	1.2	max	max					

3.7 Análisis numérico

La simulación del prototipo se realizó mediante el programa ANSYS v11. Para este análisis se utilizó un módulo Young de $=207\text{GPa}$ y una relación de Poisson de 0.3.

Antes de empezar a utilizar el software, es necesario conocer las fuerzas que actúan en cada parte a analizar. En la figura 3.13a podemos observar representadas las fuerzas del resorte y la de tracción debido a los dedos del robot, mientras que en la figura 3.13b se hace un corte para mirar la fuerza de tensión en el cable que hace girar al dedo móvil (parte C). Las fuerzas F_x y F_y resultan de descomponer la fuerza F_r , para lo cual sabemos el ángulo que se crea entre la horizontal y F_r ($F_r=5^\circ$).

Convirtiendo kgf a N tenemos:

$$(3.5 \text{ kgf}) \times (9.81 \text{ m/s}^2) = 34.3\text{N}$$

Y haciendo un análisis vemos que:

$$\text{sen}5^\circ = \frac{F_y}{h} = \frac{34.3\text{N}}{h}$$

$$\therefore h = 393\text{N}$$

Con esto tenemos:

$$\text{Cos}5^\circ = \frac{F_x}{h} = \frac{F_x}{393\text{N}}$$

$$F_x = (\text{cos}5^\circ)(393\text{N}) = 391\text{N}$$

Para conocer la fuerza en el resorte utilizamos la ley de Hook para resortes:

$$F = -k \cdot \Delta x$$

3.3

Donde:

F= fuerza

k= constante del resorte

Δx = alargamiento

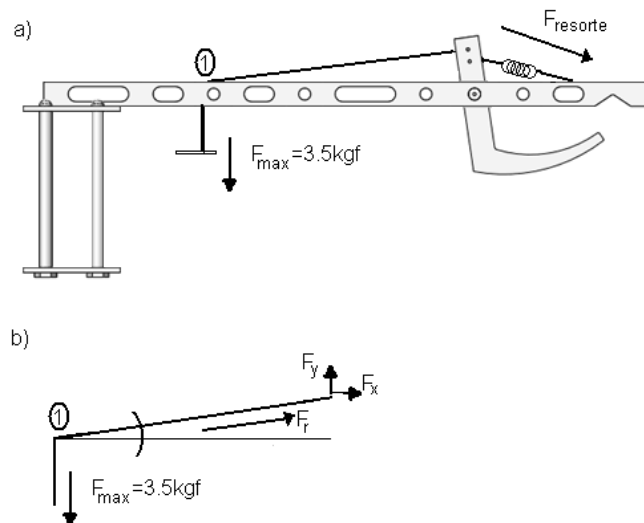


Figura 3.13 a) Representación de las fuerzas b) Diagrama de las fuerzas en el punto 1

La constante k del resorte se puede determinar colgando de él diferentes masas, y midiendo después los alargamientos que se producen en cada caso para Δx . Al colgar una masa el resorte se estira y después de una ligera oscilación se detiene. En estas condiciones estáticas se mide el alargamiento. Después se le van añadiendo mas masas conocidas y se mide en cada caso Δx y despejamos k de la ecuación 3.3. [6] Los valores obtenidos se anotan en una tabla y se calcula el promedio de K y ΔK . En la tabla 3.9 se tienen los datos obtenidos para el resorte utilizado.

Una vez con el valor de k para el resorte utilizado se coloca en el accesorio y se cierra la pinza para medir la elongación bajo esas condiciones, con lo que obtenemos el valor de $\Delta x = 0.07\text{m}$. Con este valor utilizamos la ecuación 3.3 y tenemos:

$$F = -k \cdot \Delta x = (1952.2\text{N/m}) \cdot (0.07\text{m}) = 136.65\text{N}$$

Tabla 3. 9 Valores obtenido para el resorte utilizado

Medidas	Masa	Fuerza peso	$\Delta x=L-L_0$	$k=F/\Delta x$
1 ^a	0.4kg	3.94N	.002m	1970N/m
2 ^a	0.5kg	4.905N	.0025m	1962N/m
3 ^a	0.6kg	5.886	.003m	1962N/m
4 ^a	0.7kg	6.867	.0037m	1855N/m
5 ^a	0.8kg	7.848	.0039m	2012N/m
Valores medios				1952.2N/m

Con los datos anteriores, una vez realizado el modelado de las piezas, se realiza el análisis por medio de Ansys v11 con lo que se obtuvieron los resultados de esfuerzo y deformación para las partes B y C del prototipo. Se hacen cortes en cada sección para evitar tener datos que compliquen el análisis.

En la figura 3.14 podemos observar los resultados para el esfuerzo máximo de la parte B, mientras que en la figura 3.15 se tienen los de la parte C.

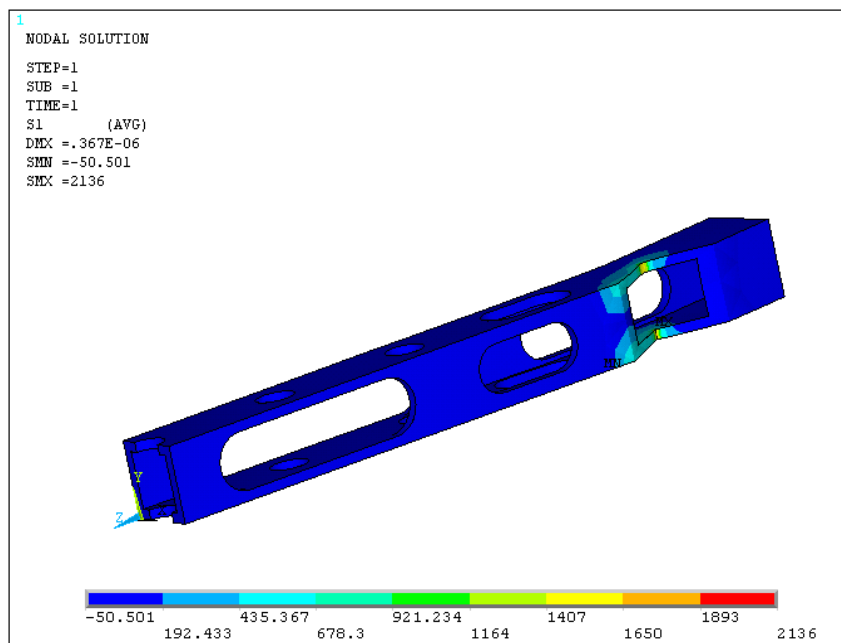


Figura 3.14 Esfuerzos principales máximos para la parte B

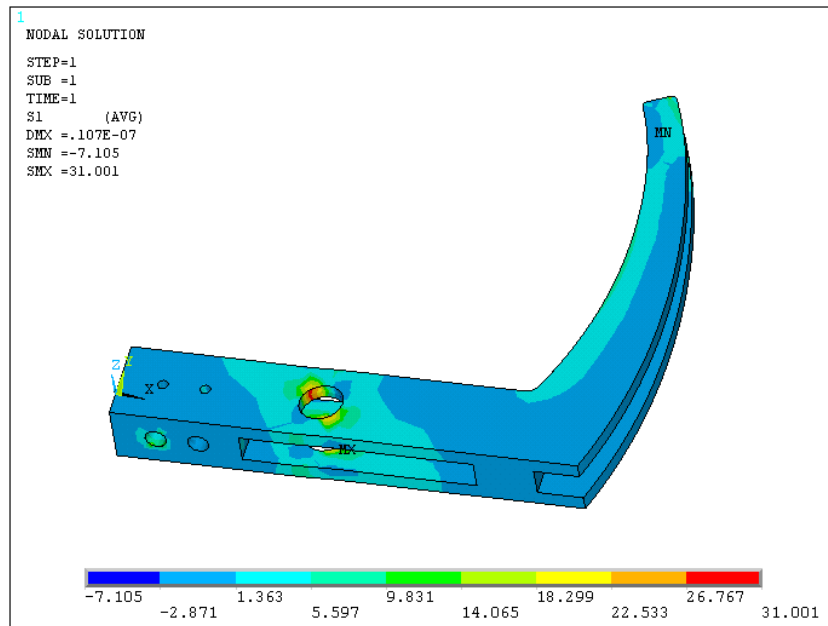


Figura 3.15 Esfuerzo principal máximo para la parte C

3.8 Fatiga teórica

El acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia (S_u) de 400 MPa, por lo tanto el límite de resistencia a fatiga teórico (S_e) es de 200 MPa.

El límite de resistencia a fatiga para vida infinita corregido (S_{ec}) es:

$$S_{ec} = K_a \times K_b \times K_c \times K_d$$

Donde:

K_a =Factor de superficie

K_b =Factor de tamaño

K_c =Factor de carga

K_d =Factor de temperatura

Para K_a tenemos:

$$K_a = a S_u^b = 0.92$$

Que de tablas obtenemos:

$$K_a = (4.51)(400)^{-0.265} = 0.92$$

Para K_b tenemos:

$$K_b = \left(\frac{d}{0.3} \right)^{-0.107} = 1.21$$

Para K_c y K_d tenemos de tablas:

$K_c=1$ y $K_d=0.546$

Por lo tanto $\text{Sec} = (0.92)(1.21)(1)(.546)(200) = 121.56 \text{ Mpa}$

Por lo tanto, significa que esfuerzos bajo 121.56 Mpa no producen fatiga y tendrá vida infinita.

3.9 Selección de los procesos de manufactura

Para ayudar a identificar todos los procesos de manufactura que involucran la fabricación del accesorio y la ruta más lógica que deberán seguir, se tiene la ayuda de la tabla 3.10, en la que se desglosa cada una de las partes y se identifican las operaciones por las que debe pasar el material para darle la forma final. Conocer el proceso que lleva cada pieza para llegar a su forma final, nos ayuda a seguir una secuencia lógica para la fabricación en la que, de ser posible, todas las operaciones que impliquen la utilización de la misma herramienta se lleven a cabo de manera continua, evitando con esto, perder demasiado tiempo al cambiar de una estación de trabajo a otra. En el anexo 3 se puede observar el dibujo del accesorio con el nombre para identificar cada parte.

Los procesos de fabricación del accesorio son los siguientes:

1.- Se corta todo el material a la medida especificada:

- Tubo cuadrado: 32 cm de largo
- Placa de acero: 1 rectángulo de 8cm x 7cm; 1 rectángulo de 2cm x 3.8cm
- Flecha de acero: 5 tramos de ½” de largo.
- Solera: 1 tramo de 32 cm de largo
- Cable: 1 tramo de 22 cm; 1 tramo de 5cm

2.- Maquinado:

- Base: Fresado de todos los saques y barrenos de la pieza (anexo 3-B).
- Dedo: Fresado del rectángulo cortado a partir de la placa de acero de 8cm x 7cm con barrenos y saques del anexo 3-C.
- Arnés: Fresado de saques y barrenos como se muestra en el anexo 3-A.
- Placa: 4 barrenos a la placa de 2cm x 3.8cm distanciados 15 mm horizontalmente y 10 mm verticalmente de centro a centro.
- Torneado: Torneado de los 5 tramos de flecha de acero de acuerdo al anexo 4-B.

3.- Doblado:

- Doblado de la solera de 32 cm de largo para obtener las medidas mostradas en el anexo 3-A.

4.- Machuelado:

- Machuelado de los 2 barrenos para opresores de 1/16”.

5.- Lijado:

- Lijado de las partes maquinadas para eliminar rebaba y rayas en la superficie.

6.- Limpieza:

- Limpieza de todo el material para eliminar residuos de grasa, aceite, etc.

7.- Unión:

- Soldar base con arnés en la forma especificada en el anexo 3-D.
- Remachado de los pernos.
- Después de colocar el cable, atornillar los opresores tanto en el dedo como en la placa.

Tabla 3. 10 Procesos involucrados en cada parte del accesorio

PARTE	PROCESO									
	CORTE	FRESADO	TORNEADO	LIJADO	DOBLADO	LIMPIEZA	TRATAMIENTO	RECUBRIMIENTO	MACHUELADO	UNIÓN
Base	✓	✓		✓		✓	✓			✓
Dedo	✓	✓		✓		✓	✓			
Pernos	✓		✓	✓		✓				
Arnés	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓
Placa	✓	✓		✓		✓				✓
Cable	✓									✓

3.10 Fabricación y ensamble del prototipo

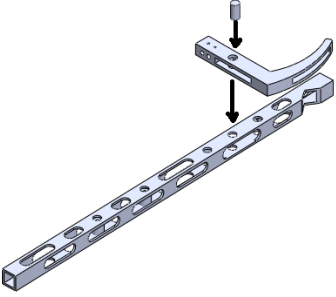
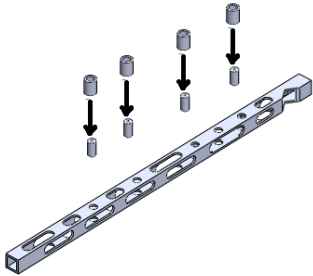
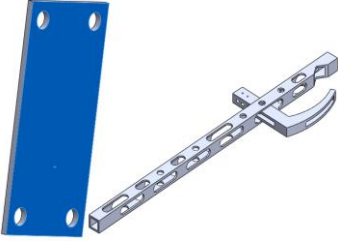
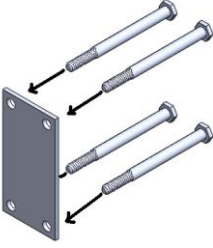
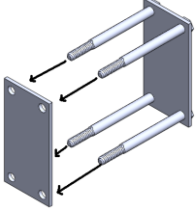
La fabricación de cada una de las partes del prototipo se realizó en el laboratorio de ingeniería mecánica utilizando las máquinas y/o herramientas que se mencionan en la tabla 3.11 para cada caso.

Los pasos de ensamble para el prototipo se muestran en la tabla 3.12.

Tabla 3. 11 Fabricación de cada pieza

Pieza		Máquinas y/o herramientas utilizadas	
Solera		Fresadora manual Broca de centros Broca de 1/4"	Rayador Escuadra Vernier
Base		Fresadora manual Broca de centros Broca de 5/16" Vernier	Rayador Escuadra Pintura de trazo
Dedo		Fresadora manual Broca de centros Broca de 1/4" Vernier	Broca de 3/16" Cortador de 1/4" Escuadra
Polea		Torno manual Broca de centros Broca de 1/4"	Buril Vernier
Perno		Torno manual Buril	Vernier Segueta

Tabla 3. 12 Pasos de ensamble

Ensamble de piezas	Material necesario	Pasos
1 	Pieza B Pieza C Perno de 1/4" Martillo de bola	Tomar la pieza C e introducirla en la cavidad. Después tomar el perno de 1/4" para colocarlo en el barreno correspondiente.
2 	Pernos de 1/4" Poleas Pieza B Martillo de bola	Alinear las poleas con los barrenos de la pieza B. Introducir los pernos de 1/4" en cada barreno con la ayuda del martillo.
3 	Ensamble de B y C Soldadura 5/32 6011	Soldar el ensamble de B y C en la placa de manera que quede centrada.
4 	Pernos de 1/4" Placa con ensamble B y C	Introducir los 4 tornillos en los barrenos de la placa
5 	Placa con ensamble B y C Pernos de 1/4" Placa perforada	Introducir la placa perforada en los 4 pernos y asegurarla con una tuerca.

3.11 Pruebas con dispositivo

En un principio se pensó en que las pruebas con el diseño del prototipo para la mano del robot Mitsubishi Movemaster se hicieran en tres partes, la primera consistente en probar si el robot era capaz de sujetar probetas similares a las que se utilizarán en las prácticas de laboratorio para así tener la confianza de que los movimientos del robot se realizan de manera segura; la segunda se realizaría con el robot frente al horno, en la posición donde se situará dentro de la estación de trabajo, esto con la finalidad de grabar las posiciones de la trayectoria del robot haciendo una programación en línea; y por último se realizaría una corrida final del programa de prueba donde se llevaría a cabo el tratamiento térmico a una probeta. Las primeras dos pruebas se realizaron, sin embargo, la última no se llevo a cabo debido a que dentro de este proyecto no se contempló un análisis de cómo afecta la temperatura al robot durante la operación ya que se centro solo en el efector final de éste.

3.11.1 Sujeción de probetas

La primera prueba constó de montar el accesorio diseñado y proceder a sujetar piezas, con las características previamente definidas en la sección 3.1, para después hacer los movimientos a realizar durante la operación del robot a distintas velocidades.

Esto se hizo sin tener el robot colocado frente al horno eléctrico con la finalidad de tener la seguridad que las probetas están bien sostenidas por el accesorio y no las dejará caer durante su operación.

Además, en esta parte no se le dio el tiempo de espera al robot, en el cual la probeta se calienta hasta la temperatura deseada (900°C), ya que solo queríamos notar si la sujeción se realiza de manera segura.

3.11.2 Corrida del programa

Una vez que estuvimos seguros acerca de la sujeción de las probetas, se colocó el robot con el accesorio montado en su posición frente al horno eléctrico. Primero, se corrió el programa de prueba a baja velocidad para detectar posibles colisiones con algún objeto dentro del área de trabajo y, en caso de ser necesario, poder corregir la trayectoria.

El programa se inició con el horno apagado, ya que solo se quiere conocer si la trayectoria está libre de obstáculos para lo cual no es necesario tener funcionando el equipo. En esta corrida tampoco se dio el tiempo de espera al robot para ahorrar tiempo en la ejecución del programa.

En la figura 3.16 se muestra la secuencia del robot con el accesorio tomando una probeta y desplazándola a las distintas posiciones pregrabadas en el programa de prueba que se muestra en la tabla 3.13.

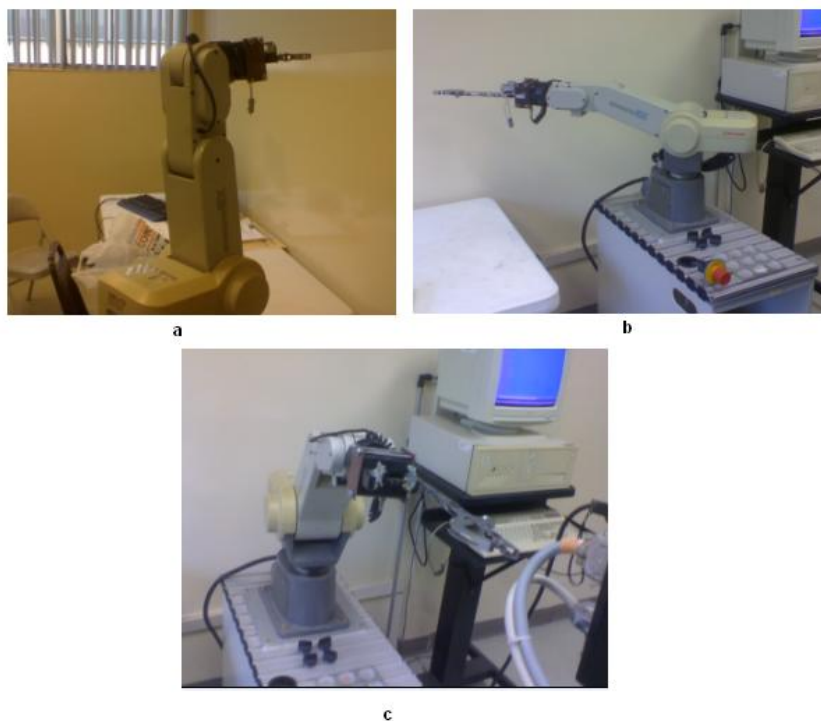


Figura 3. 16 Distintas posiciones del robot Mitsubishi

En el anexo 4 podemos observar las instrucciones de programación, junto a una breve descripción, que pueden ser introducidos en la computadora para mover el robot en la trayectoria deseada, una vez que ya se tienen grabados los puntos a los cuales deseamos que éste se coloque. En la figura 3.16a se puede ver al robot en su posición inicial, la cual es donde éste se prepara para empezar a realizar la rutina; en la figura 3.16b se observa en la posición de seguridad antes de tomar la probeta, donde se posiciona para comenzar a disminuir la velocidad para poder tomar la probeta de forma precisa y segura; la figura 3.16c muestra el posicionamiento previo para soltar la pieza, en la cual llega a baja velocidad para colocar dentro del horno la probeta y soltarla.

Tabla 3. 13 Programa de prueba para el robot Mitsubishi

No.	Programa prueba	No.	Programa prueba
10	NT	260	ID
20	SP9	270	TB-1,240
30	MO 110,O	280	MO 121,O
40	MO 111,O	290	SP3
50	SP3	300	MO 122,O
60	MO 112,O	310	MO 123,O
70	MO 113,O	320	GC
80	GC	330	MO122,C
90	MO 112,C	340	SP9
100	SP9	350	MO 121,C
110	MO 111,C	360	MO 120,C
120	MO 110,C	370	MO 130,C
130	MO 120,C	380	SP3
140	ID	390	MO 132,C
150	TB+1,131	400	MO 133,C
160	MO 121,C	410	GO
170	SP3	420	MO 132,O
180	MO 122,C	430	SP9
190	MO 123,C	440	MO 131,O
200	GO	450	MO 130,O
210	MO 122,O	460	MO 110,O
220	SP9	470	NT
230	MO 121,O	480	ED
240	MO 120,O		
250	TI 40		

3.12 Normas aplicables

Las Normas Mexicanas son, según el artículo 3, fracción X, la que elabore un organismo nacional de normalización, o la Secretaría, que prevé para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado. Dentro de la Norma Oficial Mexicana existen diversas regulaciones que se deben cumplir por parte de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

En este trabajo, las normas NOM-015-STPS-2001, NOM-017-STPS-2008 y NOM-021-STPS-1994 son las que podrían aplicarse al laboratorio donde actualmente se lleva a cabo el proceso de tratamiento térmico a materiales, y que es donde se pretende implementar en un futuro la estación de trabajo con el horno eléctrico y el robot Mitsubishi.

La norma NOM-015-STPS-2001 tiene por objetivo establecer las condiciones de seguridad e higiene, los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que por sus características, tipo de actividad, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.

Por otra parte, la norma NOM-017-STPS-2008 establece los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud.

En la norma NOM-021-STPS-1994 se establecen los requerimientos y características de informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para que las autoridades del trabajo lleven una estadística nacional de los mismos.

En la tabla 3.14 se pueden observar las obligaciones que regulan tanto la norma NOM-015-STPS-2001 como la NOM-017-STPS-2008. [42]

Por otro lado, en el anexo 7 se muestran los formatos CM 2 A y B en los cuales se debe asentar el registro de accidentes. Estos formatos son proporcionados por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y deberán ser entregados dentro de las 72 horas siguientes a la ocurrencia de algún incidente contemplado en la norma.

Tabla 3. 14 Obligaciones previstas en la NOM-015-STPS-2001 y NOM-017-STPS-2008

Norma	Obligaciones
NOM-015-STPS-2001	Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando ésta así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar o poseer. Informar a los trabajadores de los riesgos de trabajo por exposición a temperaturas extremas y mostrar a la autoridad del trabajo evidencias como pueden ser las constancias de habilidades, circulares, folletos, carteles, o a través de opiniones de los trabajadores, que acrediten que han sido informados de los riesgos. Realizar el reconocimiento, evaluación y control, Elaborar por escrito y mantener actualizado un informe que contenga el registro del reconocimiento, evaluación y control de las áreas. Aplicar el método para determinar el tiempo de exposición de los trabajadores, considerando el tipo de condición térmica extrema a la que se expongan. Proporcionar al POE el equipo de protección personal. Señalar y restringir el acceso a las áreas de exposición a condiciones térmicas extremas, según lo establecido en la NOM-026-STPS-1998. Proporcionar capacitación y adiestramiento al POE en materia de seguridad e higiene, donde se incluyan los niveles máximos permisibles y las medidas de control establecidas en el Apartado 5.3, de acuerdo a la actividad que desempeñen, a fin de evitar daños a la salud, derivados de la exposición a condiciones térmicas extremas. Llevar a cabo la vigilancia a la salud del POE, según lo que establezcan las normas oficiales mexicanas que al respecto emita la Secretaría de Salud. En caso de no existir normatividad de dicha Secretaría, el médico de la empresa determinará el contenido de los exámenes médicos y la vigilancia a la Salud. En los centros de trabajo en que las condiciones climáticas pueden provocar que la temperatura corporal del trabajador sea inferior a 36°C o superior a 38°C, cumplir únicamente con lo establecido en los Apartados 5.1, 5.2, 5.6 y 5.9.

NOM-017-STPS-2008	Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando ésta así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar o poseer. Identificar y analizar los riesgos de trabajo a los que están expuestos los trabajadores por cada puesto de trabajo y área del centro laboral. Determinar el equipo de protección personal, que deben utilizar trabajadores en función de los riesgos de trabajo a los que puedan estar expuestos por las actividades que desarrollan o por las áreas donde se encuentran. Proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal que cumpla con las siguientes condiciones: a) Que atenúe la exposición del trabajador con los agentes de riesgo; b) Que en su caso, sea de uso personal; c) Que esté acorde a las características físicas de los trabajadores, y d) Que cuente con las indicaciones, las instrucciones o los procedimientos del fabricante para su uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, mantenimiento, resguardo y disposición final. Comunicar a los trabajadores los riesgos de trabajo a los que están expuestos, por puesto de trabajo o área del centro laboral, con base a la identificación y análisis de riesgos a los que se refiere el apartado 5.2. Comunicar al contratista los riesgos y las reglas de seguridad del área en donde desarrollará sus actividades. Los contratistas deben dar seguimiento a sus trabajadores para que porten el equipo de protección personal y cumpla con las condiciones de la presente norma. Proporcionar a los trabajadores la capacitación y adiestramiento para el uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, mantenimiento, resguardo y disposición final del equipo de protección personal, con base en las indicaciones, instrucciones o procedimientos que elabore el fabricante de tal equipo de protección personal. Supervisar que durante la jornada de trabajo, los trabajadores utilicen el equipo de protección personal proporcionado, con base a la capacitación y adiestramiento proporcionados previamente. Identificar y señalar las áreas del centro de trabajo en donde se requiera el uso obligatorio de equipo de protección personal. La señalización debe cumplir con lo establecido en la NOM-026-STPS-1998.
-------------------	---

Capítulo 4

Resultados y conclusiones



La enfermedad del ignorante, es ignorar su propia ignorancia

Amos Bronson Alcott

Capítulo 4. Resultados y Conclusiones

Como resultado de la aplicación de distintas metodologías para la generación del diseño de un accesorio para robot se obtuvo un prototipo funcional que cumple con el propósito de manipular probetas con características específicas, las cuales son sometidas al tratamiento térmico de temple en hornos eléctricos dentro del laboratorio de ingeniería mecánica en la Universidad Autónoma de Baja California. A lo largo de éste proyecto se han ido cumpliendo las metas y el objetivo establecidos. Las distintas opciones para el prototipo fueron analizadas por lo que el diseño final fue el que cumplió mejor con los requerimientos establecidos y fue la opción idónea.

El diseño sencillo del prototipo permite que éste sea fácilmente modificable para adaptarse a cualquier otro efector final instalado en robots distintos al utilizado dentro de éste trabajo lo cual hace que sea fácilmente replicable para la misma aplicación pero en otros centros de trabajo o en alguna otro uso que se le quiera dar en un futuro.

En la tabla 4.1 se presenta una lista con todos los materiales necesarios y el costo de adquisición de cada uno. En algunos casos no hubo costo de adquisición de material ya que se contaba con ellos y no fue necesario comprarlos lo cual redujo la inversión necesaria para su fabricación. Como se puede observar en dicha tabla, el costo total del prototipo es de \$188 pesos mexicanos, cantidad que dista mucho de la adquisición de cualquier equipo o adaptador que se pudiera conseguir en el mercado haciendo que este sea un atractivo adicional. El bajo costo se logra debido a que se selecciona material disponible comercialmente, lo que se traduce en precios de adquisición bajo en el mismo pero al mismo tiempo limita en gran medida las opciones.

Uno de los problemas encontrados durante el proyecto fue la falta de información por parte de los proveedores locales que se consultaron acerca de las características de resortes que ellos manejan, lo cual se solucionó al determinar la constante k del resorte partiendo de la ley de Hooke.

Tabla 4. 1 Costo total del proyecto

LISTA DE MATERIALES				
No.	CANTIDAD	MATERIAL	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	1	Placa de acero	Placa de acero ASTM A-36 de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ pie y $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor.	60.00
2	1	Tubular cuadrado	Tramo de tubular cuadrado de acero ASTM A-36 de $\frac{1}{2}$ pulgada de lado y 1.67 mm de espesor.	25.00
3	1	Flecha de acero	Tramo de flecha de acero AISI 1018 CD de $\frac{1}{4}$ de diámetro para fabricar remaches.	0
4	1	Soldadura	Soldadura 6011.	52.00
5	1	Cable	Tramo de cable de acero	--
6	4	Tornillos	Tornillos opresores de 3/16"	3.00
7	4	Tornillos	Tornillos para sujeción de $\frac{1}{4}$ "	18.00
8	1	Resorte	Resorte	0
9	1	Solera	Tramo de solera calibre 100 de acero ASTM A-36 de 2" de ancho.	30.00
TOTAL				\$188.00

Los resultados obtenidos por el Software de simulación por método del elemento finito nos muestra claramente que el accesorio propuesto cumple con la demanda de servicio ya que el esfuerzo máximo en las partes críticas no sobrepasan el S_y del acero A-36, que es de 250×10^6 Pa.

Además, podemos observar que el límite de resistencia a fatiga para vida infinita corregido (Sec) no es sobrepasado por los esfuerzos máximos observados en el accesorio, lo que nos indica que no se produce fatiga.

La instalación del accesorio propuesto es muy simple para evitar tiempos muertos en el momento del montaje lo que es importante ya que en las prácticas de laboratorio se cuenta con un tiempo limitado para su realización.

Como parte de los resultados obtenidos por el presente trabajo, se tiene la inclusión de un documento en las memorias de la II Convención Internacional de Ingeniería en Cuba dentro del evento VI Conferencia de Ingenierías Mecánica, Eléctrica e Industrial (Anexo 8).

Las pruebas experimentales desarrolladas con el prototipo, hasta el momento, permiten verificar el correcto funcionamiento del mismo tomando en cuenta las condiciones de operación especificadas para el proceso a realizar.

La fabricación del accesorio es sencilla y se puede realizar con materiales disponibles comercialmente, además de no tener un alto grado de complejidad y sin necesidad de utilizar herramientas o equipo especiales para realizar algún corte o maquinado complicado.

El desarrollo del prototipo en este trabajo es una parte inicial que permitirá en un futuro desarrollar, si así se desea, la estación de trabajo propuesta con el Robot Mitsubishi Movemaster y el horno eléctrico del laboratorio de ciencia de los materiales, el cual permitirá disminuir los riesgos de trabajo debido a que el robot asumirá las tareas de los alumnos. Además, las normas que antes se tenían que aplicar para el laboratorio no serían necesarias ya que una persona no es la que estaría en el manejo de material sino el propio manipulador.

El aporte de más peso en el trabajo es de orientar la aplicación de un robot manipulador hacia una actividad en la que este tipo de máquinas no se encuentran trabajando actualmente lo que permite, además de un ahorro económico, ampliar la visión para proyectos futuros. Además de contribuir a la formación de futuros profesionistas en las carreras de ingeniería mecánica e industrial.

Cabe mencionar que la idea de este trabajo se está extendiendo, ya que dentro de la carrera de Procesos Industriales en la Universidad Tecnológica de Tijuana se propuso la idea de replicar el procedimiento teniendo el visto bueno del personal pertinente.

Por lo anterior, en la materia de Integradora I se plantea como uno de los proyectos la propuesta de una celda de manufactura flexible donde, desde un inicio, se contemple la

utilización del robot Mitsubishi Melfa RV-M1 el cual se tiene disponible en los laboratorios de la carrera.

Una vez que se tenga la propuesta de la celda de manufactura se tiene planeado, como segunda fase, la construcción del accesorio. Este proyecto tiene su atractivo en el hecho de requerir una inversión pequeña, factor que muchas veces es decisivo en la toma de decisiones.

Al final de este proyecto se terminó con un conocimiento amplio en temas de manufactura y diseño industrial ya que se aplicaron diversos temas concernientes a esas áreas.

El diseño de un gripper que pueda tomar distintos tipos de pieza no fue considerado ya que para el uso específico que se le quiere dar al prototipo no es necesario una mano auto-conformable o con una configuración para tomar distintas geometrías, sin embargo, no queda descartada la idea de poder hacer un diseño más complejo que permita la sujeción de geometrías irregulares en trabajos próximos.

Como parte de los trabajos futuros a realizar se recomienda el estudio del efecto en el robot a la exposición de este nuevo ambiente de trabajo para así prevenir el desgaste y/o fallo prematuro de la unidad. Así como también realizar los cambios necesarios para poder tener un horno eléctrico capaz de ser operado de manera automatizada ya que de nada sirve utilizar un robot para realizar cierto proceso, si este lleva de la mano otras operaciones que no están operadas de manera automática, lo que nos lleva a pensar en la implementación de una red de comunicación para el manejo del robot y el horno eléctrico para así tener todo un proceso integrado a una celda de manufactura.

Además, es recomendable realizar un estudio de tiempos y movimientos para la estación de trabajo con el fin de eliminar o reducir movimientos ineficientes y acelerar los eficientes en el momento de manipular las probetas.

También, es de especial interés el uso de materiales distintos para la construcción del prototipo (que en este trabajo no se tomaron en cuenta principalmente por razones económicas) que permitan una reducción del peso total ya que esto resultaría en la posibilidad

de manipular probetas de mayor tamaño que en conjunto con un gripper diseñado para manipular distintas geometrías ampliaría el campo de aplicación del mismo.

Referencias

- [1] Cabaza, D. (Noviembre de 2001). Acero en las venas. [<http://www.geocities.com/dariocabaza/medios.html>] (Consultado: 6 de Octubre de 2008).
- [2] Nelly, John E. (2001). [Metalurgia y materiales industriales. Editorial Limusa.]
- [3] González Fernández, V. R. (2 de Mayo de 2002) [http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/sistema/morfologia.htm] (Consultado: 15 de Octubre de 2008).
- [4] Mikell P. Groover. (1989). [Robótica industrial: tecnología, programación y aplicaciones, McGraw Hill]. pp. 600.
- [5] Hardin, W. Designers make robotic grippers with productivity energy savings in mind. [<http://www.industrialcontroldesignline.com/howto/roboticsprototyping/172301304;jsessionid=GVSE2Y3OVRKQWQSNDSKJUNN2JVN?pgno=1>] (Consultado: 27 de Octubre de 2008)
- [6] PHD, Inc. Did you know? A brief gripper history. [<http://nat-sa.com.ar/html/novedades/did-you-know-a-brief-gripper-history>. Consultada 27 de Octubre de 2008]
- [7] Oscar F. Aviles S. Dedos para “grippers” robóticos-Revisión bibliográfica, Scientia et Technica Año XI, Universidad Tecnológica de Pereira, No. 27, Abril de 2005.
- [8] Instituto Tecnológico de Apizaco. (26 de Junio de 2007). [www.itapizaco.edu.mx/paginas/robo/TTM1/unidad52a.html] (Consultado: 21 de Octubre de 2008).
- [9] Groover, M. P., Fundamentos de manufactura moderna (1 ed.), Prentice Hall
- [10] Aguilar Velasco C. (2007). Diseño de un efector final tipo pinza autoconformable de 10 GDL. Tesina. Instituto Politécnico Nacional
- [11] Douglas R. Malcolm, Jr. Robotics: An introduction, New York. Delmar Publishers. 1988, p. 261-263,266
- [12] Hugh, Jack. Integration and automation of manufacturing systems, 11.1.1 EOAT Design, N.A., 2001.
- [13] Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Toluca. <http://dim.tol.itesm.mx/labs/lim/robots.pdf> (Consultado: 11 de Marzo de 2010)
- [14] Chaur Bernal, Jairo (2005). Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [15] Groover, M. P., Fundamentos de manufactura moderna (1 ed.), Prentice Hall.
- [16] Aguayo G., Francisco, Metodología del diseño industrial: un enfoque desde la ingeniería concurrente, RA-MA, 2002.
- [17] www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r8719.DOC
- [18] <http://www.palme.com.mx/aceros/mainacero.html>. Consultado: 12 de Marzo de 2009
- [19] SHAEFER., XASENA., ANTOLOVICK., SANDERS., WARNER. “Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería”. Ed CECSA, México, 2000, 796P.
- [20] MANGONON PAT. L “Ciencia de Materiales: Selección y Diseño”, Ed Prentice Hall, México, 2001, 776.p.

-
- [21] KILDUFF Tomas F. "Engineering Materials Technology: Structures, Processing, Properties and Selection", Ed Prentice Hall, 3ra Ed, Ohio, 1997, 766p.
- [22] KERN Roy F. "Steel Selection: A Guide for Improving Performance and Profits". Ed. John Wiley & Sons, New York, 1979, 445p.
- [23] ASHBY M, F. "Materials Selection in Mechanical Desing", Ed Pergamon Press, Oxford, 1992, 309p.
- [24] http://members.tripod.com/~Satish1/Materials_Data_Bases_On_Internet.htm
- [25] Y.BRECHET, Coll L. Salvo, M. Ashby. <http://www.brinell.kth.se/part2.html>.
- [26] Schey, J.A. Procesos de manufactura (3 ed.), 2000. McGraw Hill
- [27] Horath Larry. Fundamentals of materials science for technologist: Properties, testing, and laboratory exersices (2 ed.), 2001. Prentice Hall.
- [28] Charles Hibbeler Russell. Mecánica de materiales, 2006. Pearson Educación.
- [29] De Vedia, L. A., Svoboda, H. Creep: Comportamiento de materiales a alta temperatura, 2002
- [30] Introducción a los procesos de manufactura. UMSS, facultad de ciencias y tecnologías [<http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-11.pdf>]
- [31] E. Paul DeGarmo, J. Temple Black, Ronald A. Kohser. Materiales y procesos de fabricación (2da ed.), Reverté
- [32] Bagur, A.R. Tratamientos térmicos. [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_VI.html]
- [33] Apraiz Barreiro, J. (1997). [Tratamientos térmicos de los aceros (9 ed.), ed. Limusa.] pp. 69
- [34] Tratamiento térmico del acero. (Actualizado en Octubre de 2011) [<http://www.sabelotodo.org/metalurgia/tratatermacero.html>]
- [35] Introducción a los tratamientos térmicos. (01 de Julio de 2002). [<http://www.interempresas.net/metalmecanica/Articulos/Articulo.asp?A=2506>]
- [36] Tratamientos térmicos. [<http://sifunpro.tripod.com/termos.htm>]
- [37] Shigley, Joseph E. (2002) [Diseño en ingeniería mecánica (6ª ed.), McGraw Hill]. (trad., Javier León Cárdenas).
- [38] Universidad de oviedo. Apuntes de Ansys [<http://www.construccion.uniovi.es/area>]
- [39] García Castañón, Ricardo. Apuntes de ciências y tecnologia de materiales. Universidad de Oviedo.
- [40] Manual de usuário Mitsubishi Movemaster <http://www.rixan.com/Portals/0/RV-M1.pdf>
- [41] Preparación de experimentos, diseño conceptual y selección del concepto. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/hernandez_c_ea/capitulo3.pdf
- [42] Norma Oficial Mexicana

Anexos

Anexo 1. Tabla de tolerancias y ajustes según norma ansi

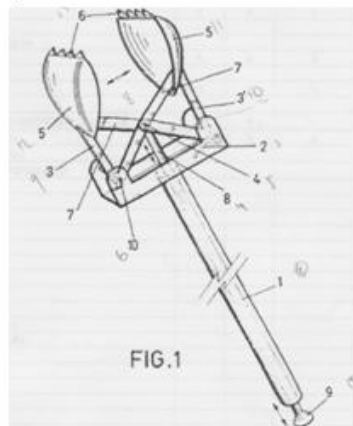
Clase de ajuste	Juego	Apriete medio	Tolerancia en el agujero	Tolerancia en el eje
1	$0,0025 \sqrt[3]{d^2}$		$+0,0025 \sqrt[3]{d}$	$-0,0025 \sqrt[3]{d}$
2	$0,0014 \sqrt[3]{d^2}$		$+0,0013 \sqrt[3]{d}$	$-0,0013 \sqrt[3]{d}$
3	$0,0009 \sqrt[3]{d^2}$		$+0,0008 \sqrt[3]{d}$	$-0,0008 \sqrt[3]{d}$
4	0		$+0,0006 \sqrt[3]{d}$	$-0,0004 \sqrt[3]{d}$
5		0	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$	$+0,0004 \sqrt[3]{d}$
6		$0,00025d$	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$
7		$0,0005d$	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$
8		$0,001d$	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$	$+0,0006 \sqrt[3]{d}$

Anexo 2. Investigación de productos análogos

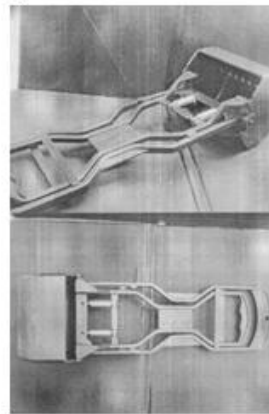
1)



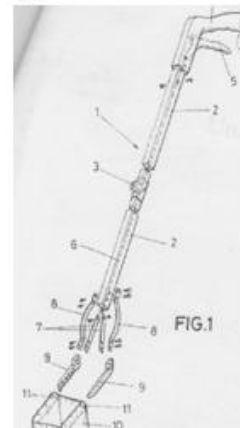
2)



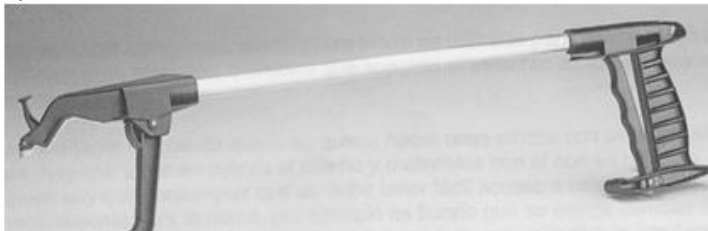
3)



4)



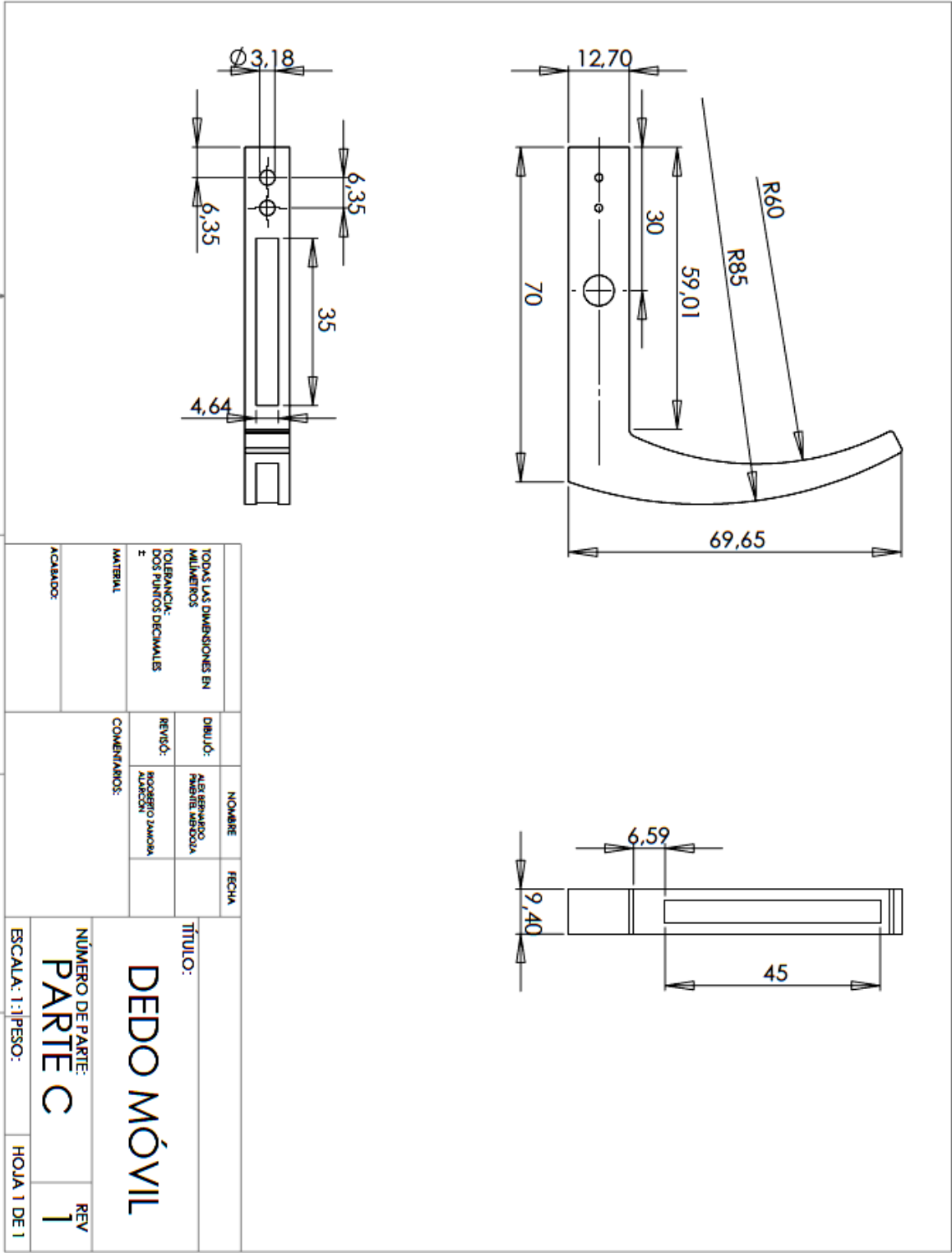
5)

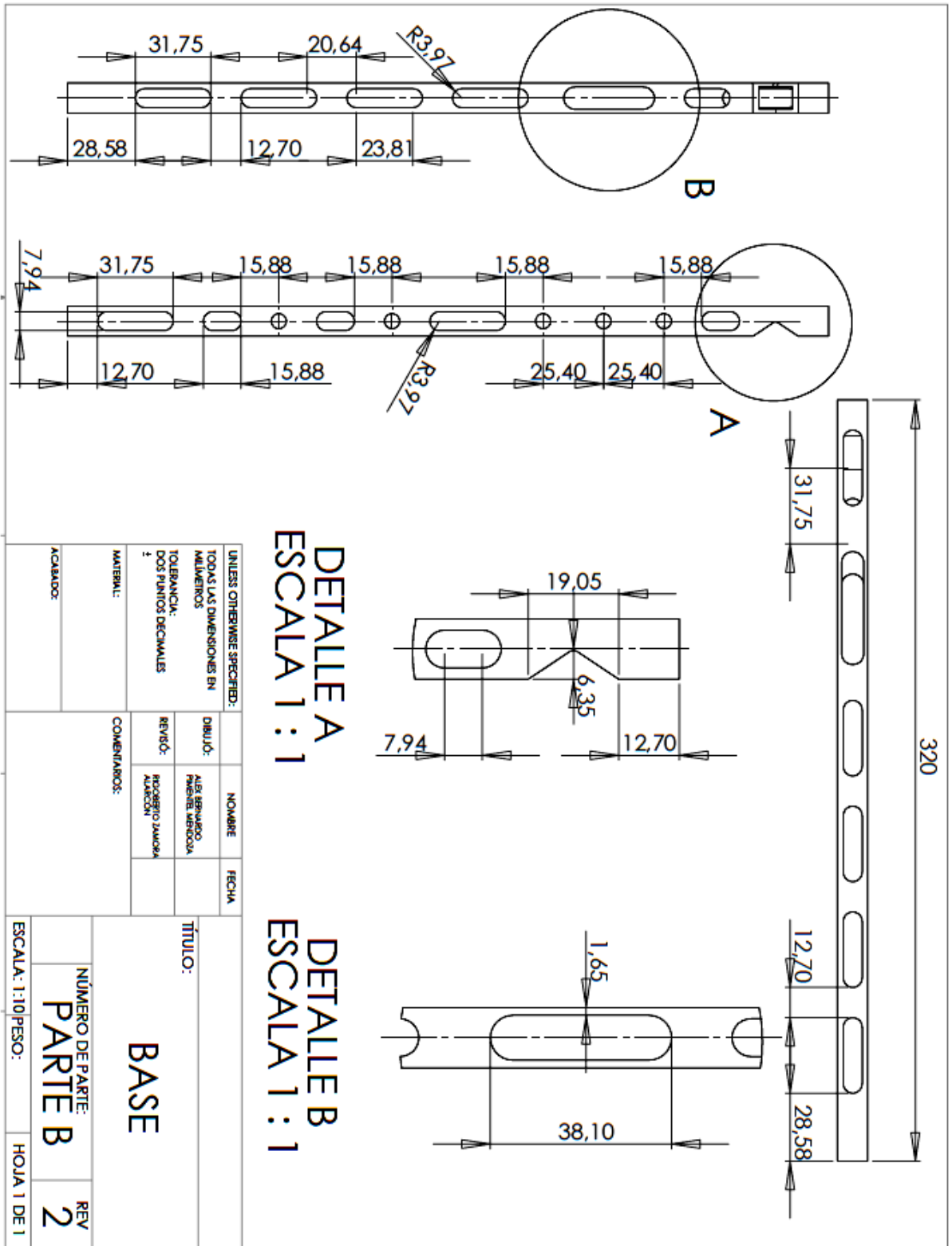


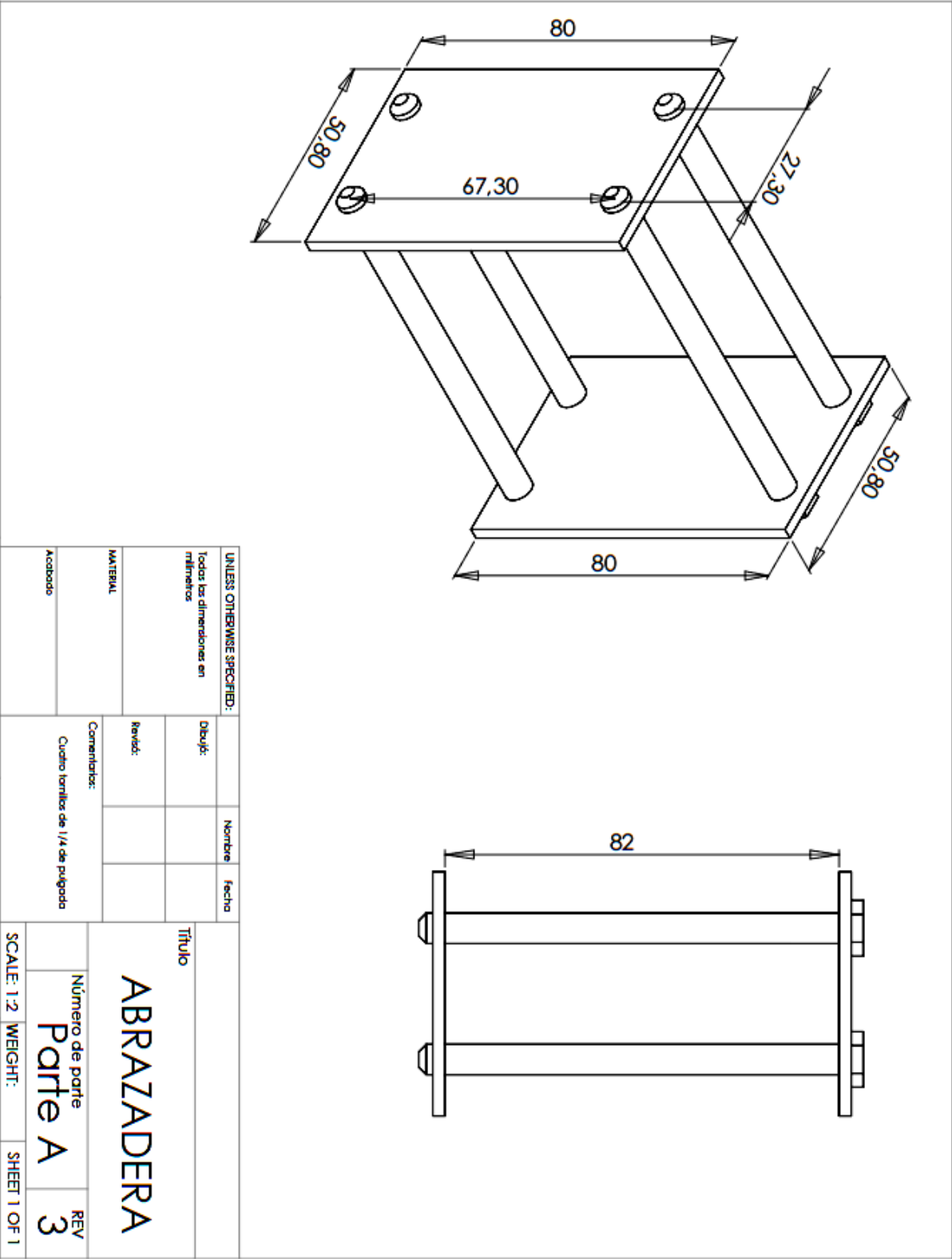
6)



Anexo 3. Planos del prototipo



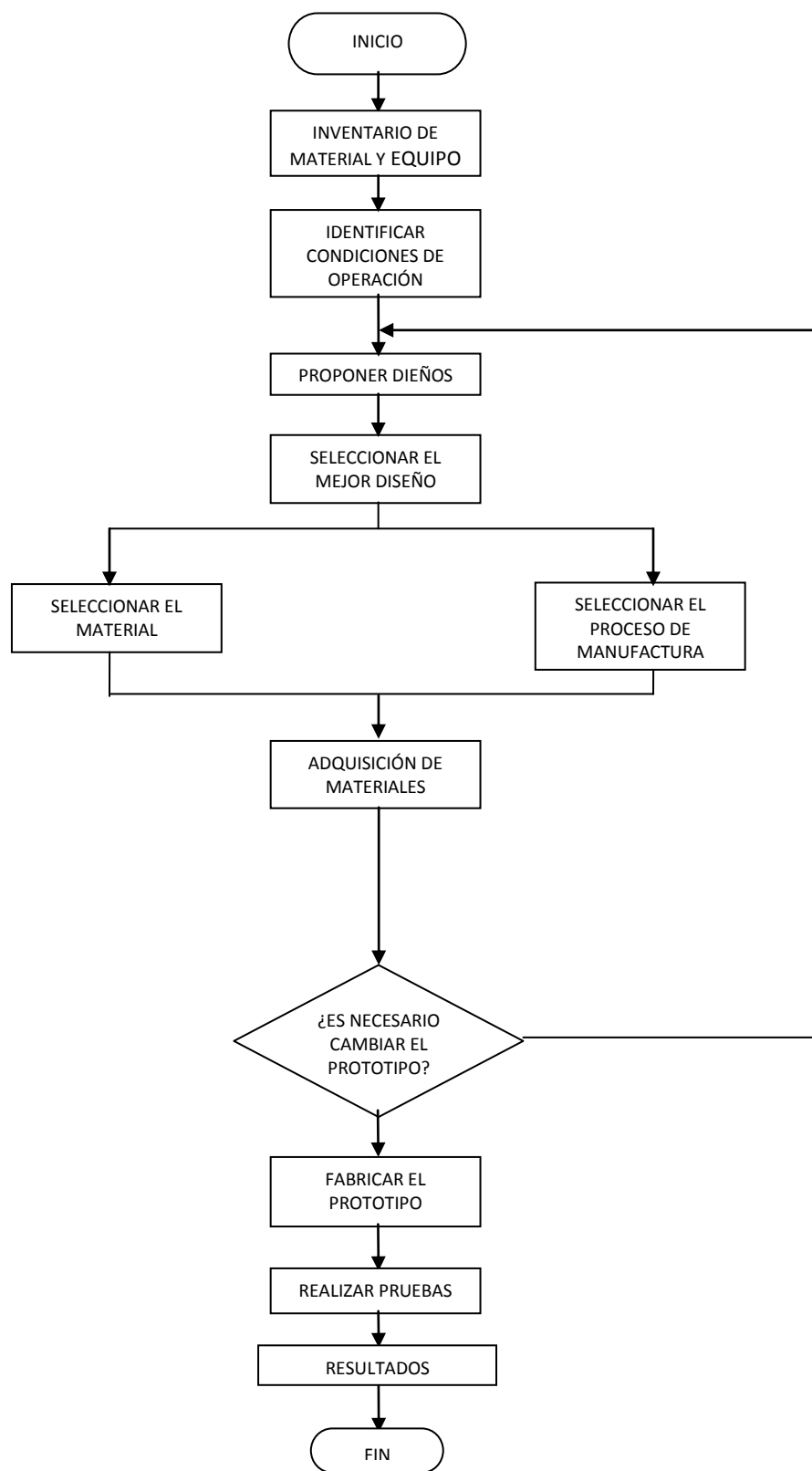




Anexo 4. Instrucciones de programación

Instrucción	Descripción
NT	Poner en "HOME" el robot
MO	Moverse al punto p, con gripper abierto o cerrado
SP valor, H o L	Establecer velocidad (1-9), con aceleración alta o baja
GC	Cerrar gripper
GO	Abrir gripper
OB (+ ó -)	Activar (+) o desactivar(-) una señal de salida (0,1,2,3,4,5)
ID	Activar canal de comunicación
TB (+ ó -)	Verificar si una señal de entrada está activada(+) o desactivada(-) (0,1,2,3,4,5)
GT #	Ir a la línea de programa#
TI tiempo	Retrasar cierto tiempo
ED	Fin del programa

Anexo 5. Diagrama de flujo



Anexo 6. Formatos CM-2 A y B de la STPS.

Forma CM-2A

Secretaría del Trabajo y Previsión Social
Coordinación General de Políticas, Estudios y Estadísticas del Trabajo
Patriotismo No. 98, México, D.F.

Reporte de accidentes de trabajo.

Este documento deberá llenarse por triplicado, presentarse o remitirse, dentro de las 72 horas después de ocurrido el accidente, al Centro Nacional de Información y Estadísticas del Trabajo. De no ser así, se aplicarán las sanciones correspondientes, de acuerdo con las disposiciones legales en vigor.

I. Identificación de la empresa					
1. Reg. Fed. de Contribuyentes _____					
2. Nombre, Razón Social o denominación legal _____					
3. Domicilio _____					
Calle		No. Ext.		No. Int.	
Teléfono			Código postal		
4. Entidad federativa, municipio, localidad _____					
5. Giro o actividad _____					
6. Centro de trabajo _____					
Nombre de la sucursal,		Unidad,		Planta, etcétera	
7. _____					
Domicilio		Código postal		Entidad federativa	
8. Registro patronal del IMSS _____					
Municipio		Localidad			
II. Características del accidentado					
9. Reg. Fed. de contribuyentes _____					
10. Nombre _____					
Apellidos:		paterno		materno nombre	
11. Domicilio _____					
calle		No. Ext		No. Int. Teléfono código postal	
12. Estado civil: Casado ____ Soltero ____ Divorciado ____ Viudo ____ Unión libre ____					
13. Sexo masculino ____ femenino ____ 14. Edad ____ años cumplidos					
15. Último año de estudios aprobado _____					
16. Antigüedad en el puesto ____ años ____ meses					
17. Número de personas que dependan económicamente del trabajador _____					
18. Antigüedad en la empresa ____ años ____ meses					
19. Ocupación habitual del accidentado _____					
20. Ocupación que desempeñaba al ocurrir el accidente _____					
21. Departamento al que pertenece _____					
22. Clase de trabajador _____					
Especifique:		planta,		transitorio, confianza, etcétera.	
23. Salario diario _____					
24. Clase de seguro _____					
especifique:		IMSS,		ISSSTE, Seguro de la empresa	
25. No. Filiación _____					
III Características del accidente.					
26. Accidente no. _____					

Secretaría del Trabajo y Previsión Social
Coordinación General de Políticas, Estudios y Estadísticas del Trabajo
Patriotismo No. 98, México, D.F.

Datos adicionales al reporte de accidentes de trabajo.

Este documento deberá llenarse por triplicado, presentarse o remitirse al Centro Nacional de Información y Estadísticas del Trabajo, dentro de las 72 horas siguientes a que se tenga conocimiento del accidente de trabajo (alta médica o defunción del trabajador). De no hacerlo así, se aplicarán las sanciones correspondientes, de acuerdo con las disposiciones legales en vigor.

Entidad federativa donde ocurrió el accidente _____

Fecha _____

1. Nombre, denominación o razón social _____

2. Reg. Fed. de contribuyentes de la empresa _____

3. Accidente No. _____ 4. Rama o actividad industrial _____

No. progresivo del accidente _____
ver punto 26 forma CM-2a

5. Nombre del accidentado _____

Apellidos:	Paterno	Materno	Nombre
------------	---------	---------	--------

6. Reg. Fed. de Contribuyentes del accidentado _____

7. Incapacidad _____

Especifique: Temporal, Permanente (parcial o total) o muerte

8. Días que dejó de trabajar a consecuencia del accidente _____

9. Importe estimado de la curación _____

10. Importe de salarios percibidos por el accidentado _____
durante los días que dejó de trabajar _____

11. Importe de indemnizaciones _____
Pagadas por la empresa _____

Pagadas por el seguro _____

12. Importe de los funerales en caso de muerte _____

Anexo 7. Trabajo generado de esta tesis.

II CONVENCION INTERNACIONAL DE INGENIERIA EN CUBA II CIIC 2010 VI CONFERENCIA DE INGENIERIAS MECÁNICA, ELÉCTRICA E INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN ACCESORIO DE ROBOT PARA MANIPULAR PIEZAS SOMETIDAS A ALTA TEMPERATURA

Pimentel Mendoza Alex B. (1); Guzmán Hernández Martha P. (2); Zamora Alarcón Rigoberto (3)

(1) Universidad Autónoma de Baja California, México

Correo electrónico: pimentel.mendoza@gmail.com

(2) Universidad Autónoma de Baja California

Correo electrónico: guzman.hdez.martha@gmail.com

(3) Universidad Autónoma de Baja California

Correo electrónico: mczamora02@yahoo.com.mx

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño de un accesorio de efector final para el robot Mitsubishi Movemaster EX, con la finalidad de poder integrarlo en el manejo de material para realizar un proceso de temple en probetas de acero AISI 1018. El prototipo propuesto se realizó tomando en cuenta la carga útil máxima del robot, las probetas a utilizar en el tratamiento térmico, las condiciones de temperatura y el espacio de trabajo. La propuesta de diseño presentada es sencilla y robusta permitiendo que sea fácilmente modificable para adaptarse a otro efector final que estuviera instalado en un robot distinto al utilizado para éste trabajo. Las ventajas de recomendar un diseño, para su posterior fabricación, son por un lado reducir costos comparado con la adquisición de un modelo comercial y, por el otro, poder diseñarlo conforme a las necesidades específicas de los laboratorios en los cuales se pretende implementar ya que por el tiempo de duración de las prácticas de laboratorio, se requiere que la instalación sea sencilla, rápida y con el menor número de herramientas posible. Además de lo anterior, la implementación del accesorio resulta en una mayor interacción de los alumnos con equipo operativo en procesos reales.

**II CONVENCION INTERNACIONAL DE INGENIERIA EN CUBA II CIIC 2010
VI CONFERENCIA DE INGENIERIAS MECÁNICA, ELÉCTRICA E INDUSTRIAL**

**DISEÑO DE UN ACCESORIO DE ROBOT PARA MANIPULAR PIEZAS SOMETIDAS
A ALTA TEMPERATURA**

Pimentel Mendoza Alex B. (1); Guzmán Hernández Martha P. (2); Zamora Alarcón Rigoberto (3)

(1) Universidad Autónoma de Baja California, México

Correo electrónico: pimentel.mendoza@gmail.com

(2) Universidad Autónoma de Baja California

Correo electrónico: guzman.hdez.martha@gmail.com

(3) Universidad Autónoma de Baja California

Correo electrónico: mczamora02@yahoo.com.mx

INTRODUCCIÓN

Una parte importante de las asignaturas que se ofertan dentro de las distintas carreras en ingeniería son las prácticas de laboratorio, ya que con ellas se favorece el desarrollo de las habilidades del alumno, además de familiarizarlo con el manejo de equipo, lo que complementa la parte teórica de los cursos. Por esto, dentro del laboratorio de procesos de manufactura en la carrera de ingeniero mecánico en la Universidad Autónoma de Baja California, se pretende incluir prácticas donde los alumnos puedan interactuar con equipo operativo y no solo simulen alguna operación como se realiza actualmente permitiéndoles así, observar un proceso real.

Para realizar lo anterior, actualmente se está implementando una estación de trabajo donde un robot Mitsubishi Movemaster EX llevará a cabo la carga y descarga de probetas de acero AISI 1018 en un horno eléctrico para realizar el tratamiento térmico de temple. Sin embargo, para hacer esto posible se tienen ciertos inconvenientes, como el hecho de tener una mano en el robot que no es la adecuada para realizar la operación. Por lo tanto, el presente trabajo se enfoca en realizar el diseño de un accesorio para el efector final del robot que le permita manipular probetas a la temperatura necesaria para realizar un temple tomando en cuenta que los tiempos para el cambio y/o montaje de los accesorios empleados deben poder realizarse de forma rápida, fácil, segura, con el menor número de herramientas posible, sin dejar de lado también que debe ajustarse al espacio de trabajo y a las características del robot. En la figura 1 se muestran las partes del robot manipulador Mitsubishi utilizado.

Los robots y manipuladores desde sus inicios han sido utilizados para realizar diversas tareas como manipulación de material, inspección en plantas nucleares, entre otras. Para esto, el diseño de los efectores finales utilizados, se hace generalmente pensando en las necesidades del usuario del robot. Estos dispositivos pueden ser fabricados por un proveedor o por el propio dueño del sistema robótico. [1]

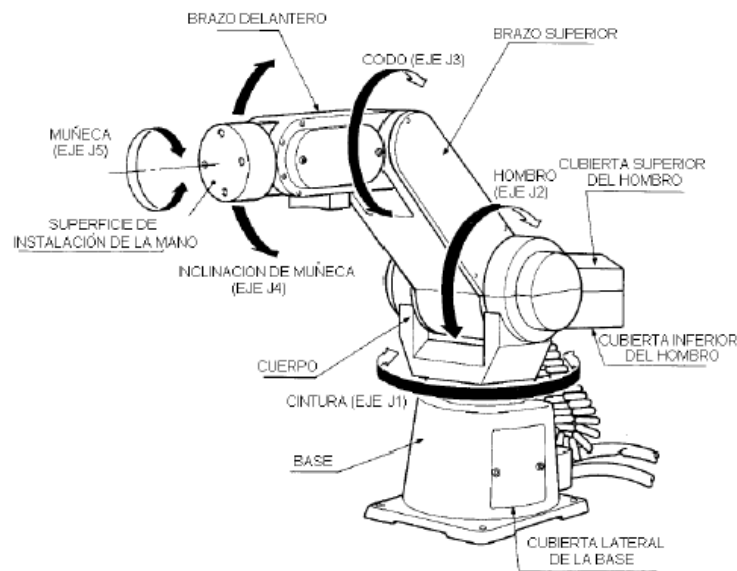


Figura 1. Partes del robot Mitsubishi Movemaster EX

Hace 30 o 40 años se disponía de pocas pinzas como efectores finales y la gran mayoría consistía en alternar o vincular un mecanismo impulsado por un cilindro integrado o adjunto. Esto permitía al usuario tener una gran fuerza de agarre en un paquete bastante pequeño. [2]

Actualmente se tienen diseños de efectores finales muy complejos y que tratan de emular de la mejor manera posible a la mano humana, sin embargo, el objetivo de este trabajo no es el de fabricar un accesorio que tenga características antropomórficas sino que sea robusto, de fácil manejo e instalación.

Para realizar el diseño propuesto del accesorio para el efector final del robot Mitsubishi Movemaster EX primero se definieron las especificaciones que debe cumplir éste, para después utilizar las pautas del diseño para la manufactura (DFM) y métodos de selección de alternativas para escoger entre distintas posibilidades de diseño y material de construcción. Además se hizo una revisión del material y equipo disponible con la finalidad de saber si, una vez propuesto el diseño, es posible fabricar en un futuro próximo un prototipo funcional.

ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO

Para este proyecto se requirió que el accesorio fuera capaz de tomar probetas redondas de acero AISI 1018 a una temperatura que permita su temple (alrededor de 900°C), con un diámetro entre 0.5 a 1 pulgadas, una altura aproximada de 0.5 pulgadas y que aproveche el efector final instalado en el robot para evitar tiempos muertos al desmontarlo. Los materiales seleccionados son tales que garantizan la seguridad, funcionalidad y el buen desempeño del accesorio durante su funcionamiento. El

accesorio toma una sola pieza en cada trayectoria realizada y la coloca en un medio de enfriamiento (agua a temperatura ambiente).

Se tomo en cuenta también que el robot Mitsubishi EX RV-M1 es un robot vertical articulado con cinco grados de libertad, con una capacidad de carga máxima de 1.2 kg (incluyendo el peso de la mano y medidos a 75 mm de la interface mecánica). Los servomotores de los ejes 1 al 3 tienen una potencia de 30W, mientras que el 4 y 5 son de 11W.

SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para la selección del material se utilizó el método del valor técnico ponderado en el cual se parte del hecho de que se han establecido un conjunto de criterios para la valoración de las distintas soluciones entre los que cabe mencionar:

1. Manufacturabilidad
2. Costo
3. Complejidad tecnológica
4. Peso
5. Seguridad
6. Piezas estándar
7. Resistencia mecánica
8. Maquinabilidad

Estos criterios de valoración suelen tener distinta importancia en el proceso de elección, para lo que se hace necesario jerarquizar los mismos y asignarle un peso en función a su posición en la evaluación jerárquica. El método articulado para la jerarquización de los criterios es el de las comparaciones apareadas, que consistente en formar una matriz y asignarle a la casilla correspondiente i-j un uno si el criterio de la fila (i) es más importante que el de la columna (j) y cero en caso contrario. La suma de los unos de cada fila (i) nos permite establecer la jerarquía de criterios y fijar su peso.

Posteriormente, se estructura una tabla, donde para cada una de las alternativas se valora su bondad según el criterio asignándole una puntuación “g” en una escala de 1 a 10 ($g_{max}=10$), procediéndose seguidamente a determinar el Valor Técnico Ponderado para las distintas alternativas con la ecuación 1. La sumatoria es desde $i=1$ hasta n. Siendo “n” el número de criterios. Finalmente se selecciona aquella alternativa de mayor Valor Técnico Ponderado. [3]

$$VTP = \sum \frac{P_i \cdot g_i}{g_{max} \cdot \sum P_i} \quad \text{Ecuación 1}$$

El material seleccionado para la fabricación del accesorio es el acero de bajo carbón, dentro del cual escogimos A-36. Para nuestro trabajo, éste es más adecuado ya que está disponible comercialmente en una gran variedad de formas, es más económico y fácil de trabajar.

DISEÑO PARA LA MANUFACTURA

Es muy importante antes de realizar un nuevo diseño investigar si existen otros dispositivos similares al que se quiere desarrollar, por tal motivo es importante consultar libros, internet o directamente en la industria. [4]

En este trabajo se compararon distintos modelos de alcanzadores comerciales, los cuales son pinzas generalmente utilizadas por personas de edad avanzada para tomar objetos de difícil acceso. Después se seleccionó el que mejor se podía adaptar para los fines que se persiguen, la elección de uno u otro modelo estuvo determinada por distintos factores como lo son su facilidad de fabricación y ensamblaje, volumen, etc.

Para seleccionar la alternativa más adecuada primero se hizo una preselección de 3 alternativas basándonos en las pautas y principios de diseño para la manufactura como se muestra en el anexo 1. En ésta, se le asigna una calificación a cada una de las opciones según cumplan con cada pauta para al final hacer una sumatoria y tomar aquellos que tengan mejor puntuación. Una vez que se tiene las 3 alternativas que mejor cumplen con los principios de diseño se utilizó el método del valor técnico ponderado para escoger la mejor opción por medio de la matriz de decisión de la tabla 1.

Tabla 1. Matriz de decisión para las opciones de diseño

Criterio/ Alternativa	Peso (Pi)	Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
Peso	8	5	40	6,5	52	8	64
Facilidad de fabricación	3	5	15	8	24	4	12
Cantidad de partes	6	8,5	51	7	42	4	24
Facilidad de ensamblaje	3	6	18	7	21	4	12
Complejidad de adaptación	10	5	50	7	70	7	70
Mantenimiento	2	6	12	7	14	4	8
Facilidad de operación	4	5	20	6	24	6	24
Control de sujeción	6	4	24	7	42	8	48
Suma	42		230		289		262
VTP		0,55		0,69		0,62	

Una vez que se tiene la mejor opción se hicieron los cambios necesarios para su adaptación y se modeló cada una de las partes del accesorio con ayuda del software SolidWorks 2008®. En la figura 2 se puede observar el modelo propuesto enumerando del 1 al 3 las partes principales del accesorio.

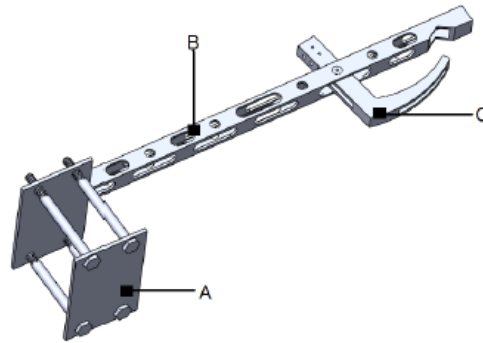


Figura 2. Partes principales de la propuesta de diseño

Las 3 partes principales se fabrican a partir de material mencionado anteriormente (acero A-36), sin embargo es necesario adquirir otros materiales como cable, resorte, tornillos, entre otros. El accesorio se taladra tanto en la parte A como en la B para reducir el peso total.

CAPACIDAD DEL ROBOT PARA MOVER EL ACCESORIO

Con ayuda del programa SolidWorks 2008® podemos conocer el volumen total de nuestro accesorio. Para ello, en el ensamblaje de nuestro diseño, escogemos el menú "Calcular" y damos clic en el icono "Propiedades físicas". Una vez realizado esto, se despliega una ventana con los datos que el software ha calculado, los cuales fueron:

- 1) Volumen: 42.04 cm^3
- 2) Centro de masa: $X=1.87 \text{ cm}$
 $Y=0.17 \text{ cm}$
 $Z=11.85 \text{ cm}$

Donde Z es la distancia desde la interface mecánica hasta el centro de gravedad. Con estos datos podemos calcular el peso total de la pieza, tomando como dato la densidad del acero de $7.86 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, y después multiplicando por $9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ para tener fuerza en Newton:

$$42.04 \text{ cm}^3 \times 7.86 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 0.33 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3.23 \text{ N} \quad \text{Ecuación 2}$$

Por lo tanto, la fuerza de 3.23N aplicados en el centro de gravedad de la pieza nos dará como resultado el par generado por el peso del accesorio. Es importante notar que el accesorio no está montado sobre la interface mecánica del robot, por lo tanto, se deben sumar las distancias x_1 que se muestran en la figura 3.

Sabiendo que $x_1=30\text{mm}$ tenemos:

$$3.23 \text{ N} \times (118.5 \text{ mm} + 30 \text{ mm}) = 479.65 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \text{Ecuación 3}$$

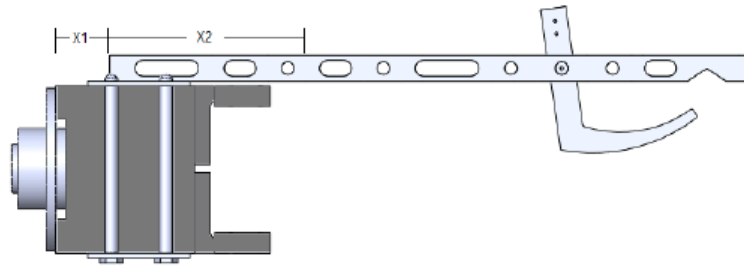


Figura 3. Accesorio montado en el efector final

Según el manual del robot Mitsubishi, su capacidad de carga es de 1.2kgf, con un centro de gravedad a 75 mm de la interface mecánica. Por lo tanto, el torque que puede desarrollar el servomotor es:

$$1.2kgf \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 75mm = 883N \cdot mm \quad \text{Ecuación 4}$$

Por lo tanto, comparando las ecuaciones 3 y 4 se puede observar que el torque generado por el accesorio es menor que el disponible en el robot, lo cual nos permitirá tener una carga útil para levantar las probetas que se quieren transportar.

FUERZA DE AGARRE

Para obtener la fuerza de agarre que se necesita para nuestro accesorio, debemos tomar en cuenta que la forma de sujeción de éste es del tipo abarcadura, por lo tanto su factor de mandíbula (Jaw factor) es de 1.

La probeta que se va a utilizar para trabajar con el accesorio es de 1 pulgada de diámetro y ½ pulgada de largo. Por lo tanto, sabiendo que la densidad del acero es 7.86 gr/cm³ se tiene que el peso de la probeta con el cual podemos saber la fuerza de agarre:

$$6.44cm^3 \times 7.86 \frac{gr}{cm^3} = 50.6grf \approx 0.49N \times 4 \times 1 = 1.96N \quad \text{Ecuación 5}$$

El torque en la mandíbula por lo tanto será:

$$320mm \times 1.96N = 627.2N \cdot mm \quad \text{Ecuación 6}$$

El torque debido a la probeta es:

$$320mm \times .49N = 156.8N \cdot mm \quad \text{Ecuación 7}$$

El torque total es la suma del torque debido a la mandíbula más el provocado por la probeta:

$$627.2N \cdot mm + 470N \cdot mm = 1142.6N \cdot mm \quad \text{Ecuación 8}$$

Con esto tenemos que las especificaciones para nuestro accesorio son una fuerza de agarre de 1.96 N con un torque total de 1142 N-mm. Por otro lado, con los datos del fabricante de la mano que está instalada actualmente en el robot tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza de agarre} &= 3.5\text{kgf} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 34.33N \\ \text{Torque} &= 34.33N \times 75mm = 2575.1N \cdot mm \end{aligned}$$

Con estos datos podemos observar que las características de la mano instalada en el robot son suficientes para poder operar nuestro accesorio. [5]

ANÁLISIS

La simulación del prototipo se realizó mediante el programa ANSYS v11®. Para este análisis se utilizó un $G=207\text{Gpa}$ y una relación de Poisson de 0.3.

Antes de empezar a utilizar el software, es necesario conocer las fuerzas que actúan en cada parte a analizar. En la figura 4a podemos observar representadas las fuerzas del resorte y la de tracción debido a los dedos del robot, mientras que en la figura 4b se hace un corte para mirar la fuerza de tensión en el cable que hace girar al dedo móvil (parte C).

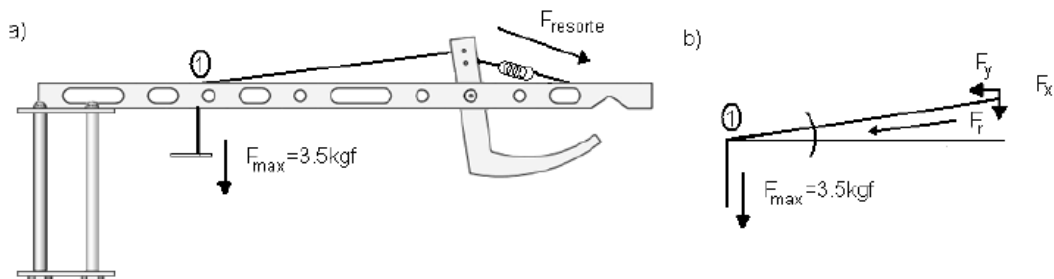
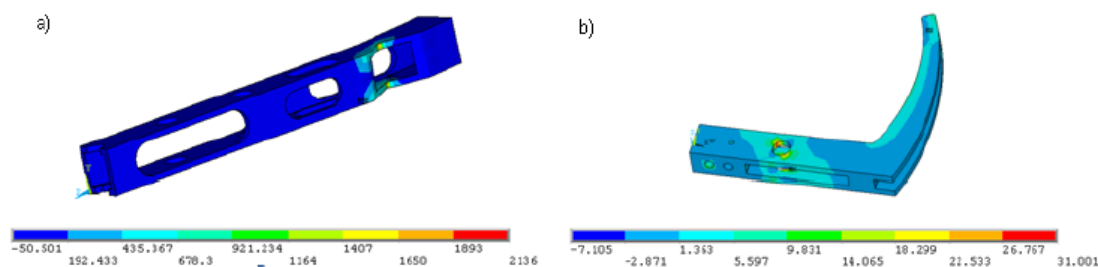


Figura 4. a) Representación de las fuerzas b) Diagrama de las fuerzas en el punto 1

Con los datos anteriores, una vez realizado el modelado de las piezas, se realizó el análisis por medio de Ansys v11® con lo que se obtuvieron los resultados de esfuerzo y deformación para las partes B y C que se muestran en la figura 5. Se hicieron cortes en la sección B para evitar tener datos que complicaran el análisis.



RESULTADOS

Los resultados obtenidos por el Software de simulación por método del elemento finito nos muestra claramente que el accesorio propuesto cumple con la demanda de servicio ya que el esfuerzo máximo en las partes críticas no sobrepasan el S_y del acero A-36, que es de 249×10^6 Pa.

El accesorio propuesto fue el diseño más sencillo posible con la finalidad de poder ser adaptado a otros efectores finales, además de contribuir al bajo costo de éste. Además, la instalación es muy sencilla para evitar tiempos muertos en el momento del montaje lo que es importante ya que en las prácticas de laboratorio se cuenta con un tiempo limitado para su realización. En la tabla 2 se muestra una lista del material que se requirió comprar, omitiendo aquel con el que ya se contaba. El costo de mano de obra para fabricar el accesorio tampoco fue considerado ya que fue realizado dentro de las instalaciones del laboratorio. El precio está expresado en pesos mexicanos.

Tabla 2. Lista de materiales

LISTA DE MATERIALES				
No.	CANTIDAD	MATERIAL	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	1	Placa de acero	Placa de acero ASTM A-36 de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ pie y $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor.	60.00
2	1	Tubular cuadrado	Tramo de tubular cuadrado de acero ASTM A-36 de $\frac{1}{2}$ pulgada de lado y 1.67 mm de espesor.	25.00
4	1	Soldadura	Soldadura 6011.	52.00
5	1	Cable	Tramo de cable de acero	—
6	4	Tomillos	Tomillos opresores de 3/16"	3.00
7	4	Tomillos	Tomillos para sujeción de $\frac{1}{4}$ "	18.00
9	1	Solera	Tramo de solera calibre 100 de acero ASTM A-36 de 2" de ancho.	30.00
TOTAL				\$188.00

REFERENCIAS

[1]Oscar F. Avilés S. Dedos para “grippers” robóticos-Revisión bibliográfica, Rev. Scientia et Technica Año XI, ISSN 0122-1701 (En línea), No. 27, pág. 97-102, Abril de 2005.

[2]PHD, Inc. Did you know? A brief gripper history.
<http://nat-sa.com.ar/html/novedades/did-you-know-a-brief-gripper-history>. Consultada el 27 de Octubre de 2008.

[3] Aguayo G., Francisco, Metodología del diseño industrial: un enfoque desde la ingeniería concurrente, RA-MA, 2002.

[4] Hernández C., Edrisi A., Diseño y construcción de un banco para el análisis de vibraciones autoexcitadas, Tesis de grado, Dpto. Ing. Mecánica, Universidad de las Américas Puebla, 2002.

[5] Ted Zajac, Jr., Robotic gripper sizing: The science, Technology and Lore.
<http://www.grippers.com/size.htm>. Consultada el 04 de Mayo de 2010.

ANEXO

Anexo 1. Tabla de Principios de diseño para una eficiente fabricación de productos

Principios de Diseño	Alternativa					
	1	2	3	4	5	6
Menor cantidad de componentes	0	0	9	3	0	3
¿Se mueven las piezas una con respecto a otra?	3	0	3	9	3	0
¿Se requiere que las piezas sean de materiales diferentes?	0	9	9	9	1	9
¿Se requiere separar la pieza para su mantenimiento?	0	3	1	1	3	1
¿Se requiere la pieza para ensamblar las piezas restantes?	3	3	3	3	1	1
Diseño modular	0	0	0	0	0	0
Utilizar componentes estándar e intercambiables tratando de tener:						
El mínimo de sujetadores tipo tornillo, tuercas, pernos y remaches a favor de ajustes de presión, soldadura y pegamento	1	1	9	3	0	1
La menor cantidad de diferentes tipos y tamaños de sujetadores	1	1	1	9	0	3
La menor cantidad de uniones con tornillo a favor de ajustes de presión	1	1	3	9	9	0
La menor cantidad de tornillos de diferentes tamaños	1	1	9	1	1	3
Diseño para fácil fabricación	1	3	3	3	1	1
Menor cantidad de separaciones rápidas	9	3	9	9	9	9
Minimizar las direcciones de ensamble para evitar errores utilizando:						
Pieza con base plana que provee buen soporte por si misma sin necesidad de arreglos adicionales	0	1	3	9	9	9
Bases sobre las que se pueden unir otras piezas con inserciones unidireccionales	1	3	1	3	3	3
Dirección de ensamble principalmente de manera vertical descendente	3	3	1	3	3	3
Biseles y guías ayudan al proceso de ensamblaje	9	3	3	3	3	3
Maximizar la conformidad tomando en cuenta:						
Tolerancias lo más grande posible	9	9	9	9	9	9
Eliminación de alambres o cables difíciles de manejar	9	9	9	9	9	9
Minimizar el manejo y ubicación de piezas considerando:						
Partes grandes versus pequeñas	9	9	9	9	9	9
Partes simétricas versus asimétricas	9	9	9	9	9	9
Codificar por color y forma	9	9	9	9	9	9
Modificar diseños donde una pieza ya armada se deba quitar para tener acceso a otras piezas	3	9	9	9	3	3
Minimizar el número de herramientas requeridas para ensamble y desensamble	9	9	9	9	9	3
	91	99	131	132	104	101