



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA.**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE BRAZO ROBÓTICO PARA OPTIMIZAR  
PROCESOS DE MAQUINADO Y SOLDADURA TIG EN TALLER  
GEMINIS CHICLAYO 2017.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

**AUTOR:**

Bach. Norbert Isique Chavesta.

**Asesor:**

Mg. James Skinner Celada Padilla.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.**

**MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS.**

**CHICLAYO – PERÚ**

**2017**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ACTA DE SUSTENTACIÓN



En la ciudad de Chiclayo, siendo las horas del día 24 de mayo de 2018, de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Dirección de Investigación N°835 -2018-I-UCV-CH, de fecha 25 de mayo de 2018, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: DISEÑO Y FABRICACION DE BRAZO ROBOTICO PARA OPTIMIZAR PROCESOS DE MAQUINADO Y SOLDADURA TIG EN TALLER GEMINIS CHICLAYO 2017; presentado por el (la)(los) Bachiller: ISIQUE CHAVESTA NORBERT, con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes :

Presidente : Ing. Fredy Dávila Hurtado  
Secretario : Ing. James Skinner Celada Padilla  
Vocal : Ing. Luis Alberto Ramos Martínez

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

Aprobar por Unanimidad la tesis

Siendo las 15:50h del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 25 de mayo de 2018

Ing. Fredy Dávila Hurtado  
Presidente

Ing. James Skinner Celada Padilla  
Secretario

Ing. Luis Alberto Ramos Martínez  
Vocal

*“Si piensas que estás vencido, lo estás!  
Si piensas que no te atreves, no lo harás!  
Si piensas que te gustaría ganar pero no  
puedes, no lo lograrás.  
Porque en el mundo encontrarás  
que el éxito comienza con el pensamiento del  
hombre.*

*CHRISTIAN BARNARD.*

## **DEDICATORIA.**

*En primer lugar a Dios pues es el quien nos guía  
por el buen camino que a diario debemos andar.  
Ha mis padres a quienes les debo la vida y por  
ellos realizo este esfuerzo de lograr ser un buen  
profesional.*

*A mis hijas Tatiana Anamille y Nadia Valentina  
Inés quienes son mi motor y motivo por quienes  
logro día a día ser más en la vida.*

*A mis hermanos y buenos amigos quienes  
siempre me animaron a seguir adelante para  
lograr mis sueños y mis metas.*

## AGRADECIMIENTO.

*Una inmensa gratitud a:*

*Marielena Vásquez Guevara pues fue ella quien de forma insistente hizo que emprendiera el camino para llegar a ser un ingeniero Mecánico Eléctrico.*

*Todos los buenos docentes que estuvieron involucrados desde el inicio de la carrera y que con sus enseñanzas lograron complementar mis conocimientos para ser un buen profesional.*

*La Facultad de Ingeniería, por todas las facilidades otorgadas aun en los momentos difíciles y que me permitieron continuar con mis estudios.*

*Mis buenos compañeros de estudios con quienes emprendimos este camino y que estamos a punto de culminar.*

### DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.

YO, **ISIQUE CHAVESTA NORBERT** con DNI N° **16726057**, con el propósito de llevar a cabo con el reglamento y disposiciones actuales consideradas.

En el Reglamento de Grados y Títulos de la **Universidad César Vallejo**, **Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**, expongo bajo compromiso que toda la información documentada que doy en alcance es verdadera y legítima. De la misma manera, expreso bajo compromiso que toda la documentación que acompaña a esta tesis son completamente verdaderos y originales que se ajustan a la vida real.

Por esta razón me hago responsable de lo que pueda acarrear en caso la documentación entregada sea falsa, Por la razón expuesta, me hago responsable de la sanción que en mi persona recaiga por falsos datos, por ocultar o no entregar documentación o información aportada, por tal motivo me someto a las disposiciones en las normas estudiantiles de la **Universidad César Vallejo**.

Chiclayo, Mayo del 2018



ISIQUE CHAVESTA NORBERT

DNI: 16726057

## **PRESENTACIÓN.**

En la siguiente tesis que titula: “Diseño y Fabricación de Brazo Robótico para optimizar Procesos de Maquinado y Soldadura Tig en Taller Géminis Chiclayo 2017”, se realiza por la necesidad de mejorar los procesos de producción en la empresa “taller de Mecanizados Géminis” dedicada al rubro de la metal mecánica en la que se producen productos metálicos repetidos y de consumo masivo tanto en su área de mecanizado como en el de soldadura, por ello con la implementación de equipos automáticos como es en este caso con el diseño y la fabricación de un brazo robótico se lograra mejorar los procesos de producción en calidad y en cantidad lo que tendrá por efecto abaratar los costos de producción y una mayor producción. De manera inicial describiremos todas las teorías relacionadas sobre brazos robóticos desde su estructura, mecanismos, actuadores eléctricos, sistema electrónico, software para su programación , su funcionamiento y prueba final, se utilizara como ayuda necesaria el contenido informativo de trabajos previos que se relacionen con este tema, para ello hemos tenido en cuenta el método científico, además de haber realizado una profunda investigación en al que hemos aplicado todos los conocimientos aprendidos en nuestra etapa de formación como futuros profesionales como son las leyes, teorías ,los cálculos matemáticos y físicos con la finalidad de lograr un buen diseño del brazo robótico y su posterior fabricación. Cabe señalar que se contó con el apoyo del estudiante de Senati del sexto ciclo de Mecatrónica Industrial Jancarlo Chavesta Reyes quien con los conocimientos en electrónica adquiridos en su carrera fue de gran ayuda en la realización del brazo robótico.

Como parte final en el tema económico se evaluó todos gastos que se realizaron para hacer posible el diseño , la fabricación y lograr cumplir el objetivo trazado, de la misma manera se muestran las conclusiones a las que se llegó al fin de cada objetivo, pues de esta manera sabremos de cómo fue posible lograr que el diseño y la fabricación del Brazo Robótico se realizara de forma correcta y que cumpla con todas las exigencias para su buen control y funcionamiento de acuerdo al diseño realizado en esta tesis.

## INDICE

Acta de sustentación.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación.....	vi
Índice.....	vii
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. Introducción .....	13
1.1. Realidad problemática (planteamiento del problema).....	13
1.1.1. Realidad problemática internacional.....	13
1.1.2. Realidad problemática nacional.....	15
1.1.3. Realidad problemática local.....	17
1.2. Trabajos previos .....	18
1.2.1. A nivel internacional.....	18
1.2.2. A nivel nacional .....	19
1.2.3. A nivel local .....	22
1.3. Teorías relacionadas con el tema.....	22
1.3.1. Mecánica.....	22
1.3.3. Electrónica.....	26
1.3.5. Mecatrónica .....	28
1.3.6. Soldadura TIG.....	29
1.3.7. Estructuras metálicas.....	29
1.3.8. Soldadura de arco.....	30
1.3.9. Rodamientos.....	31
1.3.11. Servomotores.....	37
1.3.12. PLC (Controlador Lógico Programable).....	39
1.3.13. Maquinado.....	40
1.4. Formulación del problema .....	40
1.5. Justificación del estudio .....	40
1.5.1. Tecnológica.....	40
1.5.2. Social .....	40

1.5.3. Económica .....	41
1.5.4. Ambiental .....	41
1.6. Hipótesis .....	41
1.7. Objetivos .....	41
1.7.1. Objetivo general.....	41
1.7.2. Objetivos específicos.....	41
II: MÉTODO:.....	42
2.1. Diseño de la Investigación:.....	42
2.1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:.....	42
2.1.2. VARIABLE DEPENDIENTE: .....	42
2.2 Operacionalización de variables.....	43
2.3. Población y Muestra:.....	44
2.3.1 Población:.....	44
2.3.2 Muestra: .....	44
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad.....	44
2.4.1. Técnicas .....	44
2.4.2. Instrumentos de recolección de datos .....	44
2.4.3. Validez y confiabilidad.....	45
2.5 Método de Análisis de Datos .....	45
2.6 Aspectos éticos.....	45
III. RESULTADOS .....	45
3.1 Determinar la capacidad de operación del brazo robótico.....	45
3.1.1. Determinar el tipo de material para la estructura .....	46
3.1.2 Análisis de esfuerzos. ....	54
3.1.2.1. Determinar los grados de libertad. ....	57
Figura 30.....	63
Rotación OX.....	63
3.1.3.6.2. Rotación OY.....	63
3.1.3. Determinar los elementos mecánicos que harán posible los movimientos de las articulaciones. ....	68
3.1.5. Determinar la potencia de los Servomotores. ....	74
3.2. Diseñar y seleccionar los componentes del brazo robótico.....	76
3.2.1. Estructura mecánica de un brazo robótico .....	76
3.2.2 Diseño de la estructura .....	76



3.2.3. Diseño de los elementos mecánicos. ....	78
3.3. Fabricación de los elementos mecánicos del brazo robótico. ....	81
3.3.1. Fabricación de la estructura. ....	81
3.3.2. Fabricación de los elementos mecánicos. ....	81
3.4. Instalar los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y el software para su total funcionamiento y su posterior prueba. ....	81
3.5. Determinar la optimización de los procesos de maquinado y soldadura con la instalación del brazo robótico. ....	83
3.5.1. Comparación de mecanizado en pantógrafo convencional y mecanizado con el brazo robótico. ....	86
3.6. Determinar la inversión que conlleva la fabricación del brazo robótico. ....	87
3.6.1 Costos directos ....	87
3.6.4. Costo de diseño. ....	88
3.6.5. Resumen total de costos directos ....	88
3.6.6. Costo de mano de obra indirecta ....	89
3.6.7. Costo total del proyecto. ....	89
IV. Discusión. ....	90
V. Conclusiones. ....	93
5.1. Conclusiones del primer objetivo. ....	93
5.2. Conclusiones del segundo objetivo. ....	93
5.3. Conclusiones del tercer objetivo. ....	94
5.4. conclusiones del cuarto objetivo. ....	94
5.5. Conclusiones del quinto objetivo. ....	94
5.6. Conclusiones del sexto y último objetivo. ....	94
VI. Recomendaciones. ....	96
VIII. Anexos. ....	99
8.1. Cronograma de ejecución de la tesis. ....	99
8.2. Hoja de encuestas. ....	100
8.2.1. Hoja de encuestas N° 1. ....	100
8.3. Instrumento de recolección de datos. ....	105
8.4. Ficha de observación. ....	107
8.5. Ficha análisis de documentos. ....	109
8.6. Ficha de validación de instrumento de recolección de datos. ....	110
8.7. Papers. ....	118

8.8. Planos del brazo robótico.....	124
8.8.1. Bosquejo inicial. ....	124
8.8.2. Planos. ....	125
8.9. Fotos del proceso de fabricación y ensamble.....	128
8.10. Ficha técnica de los aceros.....	136
8.11. Ficha técnica de un servomotor SH31001P11A2000 SCHNEIDER.....	152
8.12. Catálogo de rodamientos SKF. ....	155
Acta de aprobación de originalidad.....	160
Autorización para la publicación electrónica de la tesis.....	161
Autorización de la versión final del trabajo de investigación.....	162

## RESUMEN

Taller de mecanizados Géminis es una empresa dedicada al rubro de la metal mecánica, produce elementos metálicos, diseña y fabrica Maquinas para la Industria en general. La producción de elementos metálicos así como la fabricación de máquinas ha ido en aumento durante los tres últimos años por el crecimiento de las industrias en nuestra región, esto se debe a la demanda de productos tanto en el sector automotriz como en el sector arrocero , en el último año se ha producido el 30% más de máquinas que en el año 2016, los elementos metálicos se incrementaron en este año en un 20% más que el año anterior y de la misma manera en lo que es servicio de mantenimiento, un 25 % de empresas nuevas han solicitado nuestros servicios, luego de analizar las necesidades de producción se opta por incluir en los procesos de maquinado y soldadura de un brazo robótico, para ello se procede a su diseño y posterior fabricación que nos llevara a mejorar los procesos de maquinado y soldadura, por tal motivo se procedió a realizar una encuesta con preguntas específicas relacionadas al tema y guías de observación a especialistas conocedores y profesionales involucrados en el tema en sistemas automáticos con la finalidad de obtener todos los datos posibles y necesarios que servirán para realizar un buen diseño del brazo ya mencionado. Por tal motivo nos dirigimos a un centro de enseñanza que cuenta con la carrera de Mecatrónica Industrial así como un taller con equipos automáticos y autónomos en al que se pudo observar un centro de mecanizado con un brazo robótico incluido en sus procesos de manufactura, se pudo observar el proceso automático desde su inicio hasta el final de la tarea , el profesional encargado del proceso nos pudo explicar la estructura, sus componentes mecánicos, eléctricos , electrónicos y el software que utiliza para su programación ,así también nos explicó los datos para hallar los esfuerzos y movimientos en grados que realizo el equipo al momento de su operación .Gracias a estos datos obtenidos se procedió al diseño y se vio la necesidad incluir una estructura en acero estructural S36 para una mayor resistencia , se utilizó servomotores como actuadores, elementos mecánicos de sin fin y corona, engranajes cónicos ,además de rodamientos cónicos y de bolas en las áreas de rotulación de cada grado de libertad , nos vemos con la necesidad de que el sistema eléctrico y electrónico para los actuadores valla ubicado en el interior de la estructura por cuestiones estéticas en, el diseño se utilizó un sistema PLC para su control. La fuente de energía para el funcionamiento del equipo es energía eléctrica trifásica 380 v.

**Palabras clave:** Brazo robótico, Grados de libertad, Maquinado, Soldadura, Carga útil.

## **ABSTRACT**

Gemini machining workshop is a company dedicated to the field of mechanical metal, designs and manufactures machines for the industry in general. The production of metallic elements as well as the manufacture of machines has been increasing during the last three years due to the growth of the industries in our region, this is due to the demand of products both in the automotive sector and in the rice sector, in Last year, 30% more machines were produced than in 2016, metallic elements increased this year by 20% more than the previous year and in the same way in what is maintenance service, a 25 % of new companies have requested our services, after analyzing the production needs we choose to include in the processes of machining and welding a robotic arm, for this we proceed to its design and subsequent manufacture that will lead to improvements in the processes of machining and welding, for this reason we proceeded to conduct a survey with specific questions related to the subject and observation guides to knowledgeable and professional specialists they are involved in the subject in automatic systems in order to obtain all the possible and necessary data that will serve to make a good design of the aforementioned arm. For this reason, we went to a teaching center that has the career of Industrial Meca as well as a workshop with automatic and autonomous equipment in which it was possible to observe a machining center with a robotic arm included in its manufacturing processes. could observe the automatic process from its beginning to the end of the task, the professional in charge of the process could explain the structure, its mechanical, electrical, electronic components and the software that it uses for its programming, as well as it explained the data to find the efforts and movements in degrees that the team made at the time of its operation. Thanks to these data, we proceeded to the design and saw the need to include a structure in S36 structural steel for greater strength, servo motors were used as actuators, endless and crown mechanical elements, bevel gears, as well as tapered and ball bearings in the labeling areas of each degree of freedom, we see the need for the electrical and electronic system for actuators fence located inside the structure for aesthetic reasons, the design was used a PLC system for control. The power source for the operation of the equipment is three-phase electric power 380 v

**Key words:** Robotic arm, Degrees of freedom, Machining, Welding, Payload.

## **I. Introducción**

### **1.1. Realidad problemática (planteamiento del problema)**

**KELLY y otros (2003)**, "Con el paso de los años , la productividad en la fabricación de elementos metálicos en las industrias dedicadas a la Metal mecánica que requieren ser maquinados (En el Maquinado tenemos el problema del tiempo y la calidad por cuanto el proceso es realizado con máquinas convencionales u obsoletas y con la intervención directa de un técnico según sea el proceso realizado, tendremos que el tiempo que emplea un técnico usando una máquina convencional será mayor y la calidad del trabajo disminuirá desde el inicio de sus funciones hasta el final de la jornada laboral ya que la fatiga tendrá bastante que ver para el técnico) o soldables (En los procesos de soldadura tendremos un problema similar por la fatiga del técnico al usar máquina de soldar de arco convencional como al utilizar maquinas soldadoras de última generación como son las TIG o MIG) ha ido mejorando su proceso de producción, para lograrlo debe incluir en sus procesos a la automatización y la robótica por la necesidad de aumentar la producción .Hoy en día ya se fabrican brazos robóticos que son utilizados para diferentes requerimientos. Necesariamente se necesita una inversión extra para lograr este objetivo y así poder obtener elementos de fabricación uniforme y de mejor calidad."(p. 3, 4,5)

A continuación veremos la realidad problemática a nivel Internacional, Nacional y local.

#### **1.1.1. Realidad problemática internacional.**

##### **Quito.**

**ALONZO y otros (2014)**, "En los últimos años el uso de Sistemas Automáticos Robotizados en diferentes países ha ido en aumento para realizar trabajos de precisión y mejor acabado que los sistemas convencionales, esto ha permitido mejorar los procesos de producción al realizar múltiples funciones aun en trabajos de extrema condición y sin límite de tiempo de labor con autonomía siempre con la supervisión de personal técnicamente calificado en el área. En el campo de la educación se ha visto el uso masivo de sistemas robotizados para uso didáctico permitiendo tener conocimientos iniciales respecto a la

robótica, si bien ya existen sistemas auto controlados para diferentes funciones en universidades o empresas pero no siempre nos permiten acceder a los mecanismos para recoger información y facilitar su diseño por ello se cree conveniente diseñar un propio brazo robótico para cualquier trabajo que se le asigne". (p. 16)

### **Valladolid**

**YAGÜE (2013),**"En el aspecto Industrial, utilizar robots en los procesos de producción ha permitido mejorar los procesos de producción así como también una mejor efectividad al usar los recursos; Por esta razón se ha permitido reemplazar el desgaste físico del ser humano en trabajos que se repiten, monótonas o de alta peligrosidad"(p. 1)

### **Tepeaca**

**SANCHEZ (2011),** [...] "Actualmente en los procesos productivos o de manufactura, el uso de sistemas automatizados resulta muy necesario por ser de mucha ayuda y mejora en la producción, lo que lo hace atractivo. En los centros de estudio existen prototipos para uso didáctico en la que los alumnos aprenden sobre procesos de producción y los sistemas automáticos que intervienen en todos estos procesos". (p. 173).

### **Valencia**

**ELESGARAY (2013-14),**"Actualmente la utilización de robots se ha maximizado y está siendo utilizada en diversas áreas, ya sea para trabajos domésticos así también como para trabajos de alto riesgo para la vida del hombre."(p. 6)

### **Madrid**

**KELLY y otros (2003),**"El mejoramiento de la productividad en la fabricación de elementos metálicos para muchas industrias dedicadas al rubro de la metal mecánica es constante al incluir los últimos adelantos tecnológicos. Muchas

compañías están implementando sus procesos con el uso de brazos robóticos que realizan labores según la necesidad requerida. Conforme pasan los años los fabricantes disminuyen el tiempo de producción y aumentan la productividad. Si retrocedemos en el tiempo veremos cómo ha ido evolucionando los procesos de fabricación caracterizándose por la transferencia de las labores del hombre a los artefactos o mecanismos auto controlados, no con esto podemos decir que la mano de obra ya no es necesaria al contrario podemos ocupar a estos obreros en otras ocupaciones que demanden menor desgaste físico, por ello la tecnología contribuye a la mejor forma de vida del hombre. En la producción de vehículos por ejemplo la fabricación de estas era limitada o a pedido ya que fabricarlos demandaba demasiado tiempo para su fabricación pues algunas partes eran hechas a mano y por lo consiguiente no estaban al alcance de todas las personas, solo las adineradas tenían el privilegio de contar con uno de estos, pero conforme trascurrieron los años las máquinas y herramientas con los adelantos tecnológicos fueron mejorando sus procesos productivos y la producción fue mayor de tal manera que su costo ya estuvo al alcance de la mayoría. En la actualidad en la mayoría de países productores de vehículos la línea de fabricación está dada en sus procesos por equipos automáticos y robots (brazos robóticos soldadores) constantemente controlados por personal experto en la materia. Para la mayoría de países fabricantes de elementos metálicos de diferentes usos la competencia internacional va en aumento. El mejoramiento va de la mano con la Tecnología para que ciertos países ganen terreno en el mercado internacional al reducir sus costos de producción y por lo consiguiente tengan una mayor rentabilidad”. (p. 3, 4,5)

### **1.1.2. Realidad problemática nacional**

#### **Lima**

**SOTO Bravo (2015)**, “En la actualidad ya se tiene conocimiento de la existencia de brazos robóticos de diferentes grados de libertad y que han logrado asemejar en gran porcentaje los movimientos de un brazo humano, sin embargo se desconoce las formas técnicas, diseño y procesos de fabricación de las mismas, en su mayoría las investigaciones realizadas en este tema está

dada por empresas o universidades dedicadas a la investigación en donde no se han tomado en cuenta las principales características de diseño por lo que los trabajos realizados y otros que ya se han sustentado han sido deficientes”. (p. 13)

### **Piura**

**TRONCOS (2016)**, “Si bien es cierto, existen muchos conceptos de “Robot Industrial” se puede decir que todas coinciden en afirmar que son Máquinas automáticas auto controlables con capacidad de manipulación , que reciben información de un cerebro artificial llamado Ordenador”[...]”De esta manera se logra reemplazar la mano pero de forma más veloz y una mejor precisión al operar en ciertos trabajos asignados, muy necesarias para sustituir al hombre en trabajos de demasiado riesgo como el de manipular sustancias nocivas o radioactivas”. (p. 5)

### **Lima**

**LOPEZ (2009)**, “López nos dice: “El uso de máquinas automáticas o robotizadas se ha incrementado en nuestro país por la constante búsqueda de una mayor producción y productos de mejor calidad, además de suprimir el uso de la mano de obra lo que conlleva a reducir los costos de producción. Esto se determina por la cantidad de producción de ciertos lotes, por ser de manufactura repetida se debería optar por maquinas diseñadas para producciones específicas siempre y cuando el producto a realizar sea de grandes lotes para que puedan justificar el costo de las máquinas automáticas por ser esta de un valor elevado.”(p. 11)

### **Comentario final sobre la problemática Nacional**

**PEREZ y otros (2001)**, “En nuestro país existen muchas fábricas dedicadas al rubro de la metal mecánica, unas que otras fabrican diferentes productos para diversos mercados como la producción de elementos de vehículos menores (chasises, trapecios y accesorios para moto car y motos lineales) elementos alternativos para automóviles (bocamasas, discos de freno, aros y otros) estructuras metálicas diversas (camas, muebles e instrumental médico y otros) y diversos productos según la demanda nacional. Pero no todas las empresas



están a la vanguardia de la tecnología, algunas aun realizan sus labores con maquinaria obsoleta, otras están en la informalidad por evitar a la autoridad administrativa tributaria, lo que conlleva a que nuestro país no progrese como debería ser.

Son pocas las empresas formales que si recurren a la tecnología y la automatización, a nivel nacional hay empresas que ya cuentan con sistemas automáticos quienes han adquirido equipos robotizados a la empresa KUKA de origen Alemán haciendo de sus procesos de producción los más sofisticados.

Si hablamos de robótica en el Perú se puede decir que se cuenta con un mínimo porcentaje de profesionales experimentados en este campo, existen universidades e institutos que recién en estos últimos años están dándole la importancia requerida a esta materia y si bien ya es cierto que ya existen los brazos robóticos en otros países( Alemania, Francia , Japón ,EE:UU y otros) aquí en el Perú se han realizado estudios y proyectos sobre robótica en diferentes universidades nacionales y particulares solo como material didáctico (Maquetas de plástico y acrílico para demostraciones de funcionalidad) pero aún no se fabricado alguno netamente peruano de uso industrial".(p.1,6)

### **1.1.3. Realidad problemática local**

En TALLER GEMINIS está dada mayor mente por la producción de estructuras metálicas, fabricaciones de máquinas para la industria arrocera, molinos de caña, transporte pesado, fundición, y para la construcción civil; pero todas estas empresas mayormente brindan sus servicios y trabajan con máquinas convencionales ya que conocen poco o nada sobre los brazos robóticos además de estar fuera de su alcance adquisitivo por su alto costo de inversión, se puede decir que pocas empresas cuenta con máquinas automáticas o robotizadas ,solo en la localidad de Motupe se sitúa una empresa cervecera que ya ha incluido en sus procesos brazos robóticos programables para ciertas labores específicas. Las Universidades locales solo cuentan con la tecnología en forma descriptiva pero no cuentan con talleres de última generación para demostraciones de sistemas automáticos o robotizados en la que los estudiantes puedan visualizar los últimos adelantos tecnológicos.

En nuestra localidad contamos con una sede del SENATI (Servicio Nacional de

Adiestramiento en Trabajo Industrial) que es la que cuenta con talleres con máquinas un poco más sofisticadas de Control Numérico Computarizado (CNC) y que otros centros de enseñanza técnica aun no cuentan.

## **1.2. Trabajos previos**

En el diseño y fabricación de un brazo robótico para maquinado y soldadura TIG están involucrados la mecánica, la electrónica, la robótica y los procesos de soldadura.

A continuación citamos los trabajos realizados a nivel Internacional, Nacional y local

### **1.2.1. A nivel internacional**

A nivel internacional tenemos:

**ALONZO y otros (2014).** En Quito, Ecuador; presenta la tesis sobre "Diseño, construcción y control de un brazo robótico con cuatro grados de libertad". En este trabajo usan conceptos y teorías sobre diseño y hacen posible la simulación del funcionamiento del sistema, demostrando conocer en gran escala la electrónica y de la misma manera programación para hacer posible la automatización de manera eficiente de los movimientos de cada parte de la estructura. Nos muestran la secuencia detallada de la construcción y montaje del brazo, con todos los elementos electrónicos empleados (actuadores y sensores necesarios), en este trabajo utilizan como controlador una tarjeta electrónica de control programable Arduino Mega esta misma permite comandos inalámbricos utilizando su módulo Wii, además utiliza también un control sencillo con sus módulos tipo puente H para controlar los movimientos. Programa también una interfaz gráfica para visualizar los movimientos en pantalla y realizar el control de los movimientos vía Web de 2 tipos, emplea un circuito para controlar manualmente en donde puede seleccionar sentido de rotación y velocidad de los motores. Para culminar utiliza modelos cinemáticos y modelos geométricos para calcular la cinemática inversa que será necesaria para traducir las coordenadas geométricas de cada motor en ángulos de rotación de cada movimiento requerido en su funcionamiento y desempeño final del brazo robótico (p.12)

**YAGÜE (2013)**, "En Valladolid España, en su proyecto de tesis sobre "Control automático de un Brazo Robot de 5 GDL con Arduino" mediante modificaciones trata de simular el control de un Brazo Robótico Industrial automatizado. Por ese motivo y para lograr esa finalidad cuenta con un brazo Robot VELLEMAN KSR10 de 5 GDL que en su forma original es controlado manualmente con un mando de botones y placa ARDUINO MEGA 2560. Dicho Robot cuenta con 5 articulaciones que a su vez son los grados de libertad(GDL) y que por lo consiguiente el brazo cuenta con 5 motores que cada motor controlara a determinada articulación, este Brazo no cuenta con control de posición según el trabajo a realizar, por ello a base de los estudios realizados se pretende modificarlo para que pueda controlarse en forma automática por sí mismo, administrándole inteligencia artificial mediante modificaciones electrónicas para control y generación de trayectorias, para lograr este objetivo utilizaremos los conocimientos adquiridos de forma teórica en el transcurso de la carrera e investigando otros no conocidos con el fin de ser un buen profesional al servicio de la Industria en General".(p. 1)

**ARISTIZÁBAL (2009)**, "En Valencia, España; en su tesis sobre Diseño de un brazo robótico para aplicaciones Fitosanitarias, tiene como objetivo en este trabajo de investigación diseñar un brazo robótico articulado para la portabilidad de un sistema de desinsectación por microondas. El sistema de desinsectación ha sido probado por el Departamento de Comunicaciones de la universidad Politécnica de Valencia en retablos de madera con muy buenos resultados. Por tal motivo se desea ampliar el rango de aplicación y hacer pruebas del sistema en estructuras arquitectónicas. Ya que estas no se pueden mover para ser tratadas, se ha visto la necesidad de acoplar el sistema de desinsectación aun vehículo provisto de un brazo robótico (p. 3)

### **1.2.2. A nivel nacional**

(LOPEZ Apostolovich, 2009)"López en Lima en su tesis "Modelación y simulación Dinámica de un brazo Robótico de 4 grados de libertad para tareas sobre un plano Horizontal " nos dice, esta investigación solo es un segmento de todo un proyecto para lograr el desarrollo de máquinas industriales con la capacidad de trabajar de forma automática para una mejora de los procesos

aquí en el Perú, para ello debemos utilizar los conocimientos adquiridos y poder llevar acabo nuestras ideas que nos permitan mediante herramientas lograr ejecutarlas y su posterior aplicación” (p. 3)

(SANTILLÁN Fernandez, 2014) “En Trujillo, en su tesis “Diseño de un Sistema Robótico que permita emular correctamente los movimientos de la Articulación Trapezometacarpiana del dedo pulgar”. En este proyecto lo que se desea lograr, es hacer todo lo posible para solucionar una de las características importantes del desplazamiento del dedo pulgar que toma como origen el movimiento de la articulación trapezometacarpiana que permiten que la mano del hombre funcione excelentemente por su acertada localización con respecto a los demás dedos, pues para lograr este objetivo no se tiene conocimiento de una forma de cómo proceder ni de un diseño que nos permita hacerlo posible en la actualidad, por ende ya que los actuadores que serán necesarios para este proyecto son varios y que ocuparían un espacio considerable, además de tener un peso en demasía que harían que el brazo no pueda ser utilizado como prótesis, en el diseño se consideró que los actuadores estarán en el exterior y no en el interior del brazo para no limitar las funciones del mismo.”(p. 1)

**NAKAMURA y otros (2009).** En la ciudad de Lima se presenta la tesis sobre “Diseño e implementación de un brazo robot de dos grados de libertad para el trazado de diagramas en un plano”. El plano a que se refiere es el A3, este diseño realizado en forma parcial por Luis Felipe López Apostolovich, quien fue alumno de la especialidad de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, este trabajo fue concluido y rediseñado por el Sr. Alberto Orihuela técnico Egresado de SENATI el que fue participe en la fabricación del brazo robótico que se llevó a cabo en su taller. Se dividió en tres etapas la realización del diseño de todo el sistema que controle el brazo robot, la primera etapa de interfaz de usuario que haga posible que el mismo pueda manipular en conjunto el sistema con la ayuda de un procesador individual y hacer posible compartir información con el controlador, este por su parte se encargara de recibir toda la información que definan todos los valores de la trayectoria del procesador personal que sean ingresados por el operador para producir las señales que permitirán el control requerido en el accionar de los actuadores

que harán posible el movimiento, de la misma manera recibe información de todos los sensores que están acoplados al sistema, como etapa final se tiene la interfaz de potencia que se encargara de recibir las señales de control producidas por el micro controlador , que permitirán a los actuadores trabajar a un nivel óptimo de potencia (p. 1)

**SOTO (2015).** Realiza la tesis sobre “Un brazo Robótico de 5GDL con sistema de control modificable por el usuario para fines de investigación en Ingeniería Robótica” en la que nos propone realizar los cálculos del diseño mecánico y electrónico requeridos para que la maquina funciones correctamente. Para que esto se logre obtienen el modelo cinemático del brazo robótico a través de la obtención de los parámetros de Denavit-Hartenberg y el método geométrico. Logran el modelo dinámico del robot solucionando las ecuaciones de Euler-LaGrange. Utilizan el programa Autodesk-Inventor para realizar el diseño de los elementos mecánicos, ensamblaje y planos mecánicos del robot, exportan todos los datos CAD del robot al software Matlab con la finalidad de comprobar lo que se propone en el diseño. Utilizan el software Electrónico Eagle (atreves de este programa podemos ver si los circuitos funcionan correctamente) para poder llevar acabo el esquema de todos los circuitos .Para obtener los elementos electrónicos para el proyecto se buscó información de diferentes formas, tanto de catálogos como información virtual de fabricantes de componentes electrónicos tomando en cuenta en el presupuesto el más mínimo gasto.

Sobre los resultados de diseño de este brazo robótico fueron favorables pues se tuvo en cuenta la seguridad para su uso ya que cuenta con sensores de corriente esto evitaría posibles sobre cargas en los motores, y además se le instalo un sistema para poder parar el funcionamiento del robot en caso que sea necesario. Cabe señalar que realizando diferentes cálculos de movimiento (cálculos matemáticos o físicos) se le puede variar la trayectoria de los movimientos para poder utilizar el brazo robótico para diferentes tareas o trabajos que se requieran realizar. “Este proyecto tubo fines didácticos para su uso educacional y también de investigación. (p. 18)

### 1.2.3. A nivel local

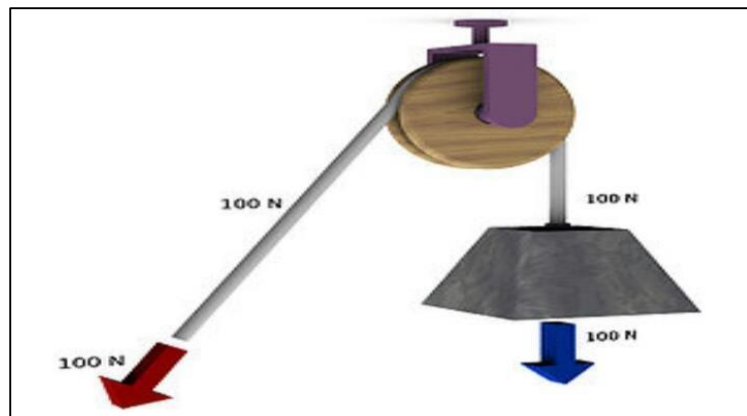
No se tiene conocimiento de trabajos previos sobre brazos robóticos a nivel local.

## 1.3. Teorías relacionadas con el tema.

### 1.3.1. Mecánica.

**LONDOÑO (2003).** "Proveniente del Griego Mnaxivkn así como de latín mechanica que viene a ser el arte de construir una máquina. La mecánica es en sí un fragmento de la física encargada del estudio del movimiento así como el equilibrio de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas que logran producirla. La mecánica viene a ser una ciencia que pertenece a la física, pues se encarga de estudiar los fenómenos físicos, es por esta razón que está relacionada con las matemáticas, se puede decir también que está relacionada con la Ingeniería pero de un modo menos severo, ambas razones lo pueden demostrar en forma parcial, pues así como se sabe la mecánica es el pilar para la mayoría de las ciencias de la ingeniería clásica, carece de características tan empíricas como estas por el contrario por su severidad y razonamiento deductivo llega a parecerse más a las matemáticas.(p.44)

Figura 1.



<http://www.bdigital.unal.edu.co/4344/1/8302166.2003.pdf> (LONDOÑO

La Mecánica comprende el estudio de las máquinas (Polea

La Mecánica se divide en **Cinemática y Dinámica**

#### 1.3.1.1. Cinemática

**LONDOÑO (2003),** "Describe el movimiento de los cuerpos en dos y tres dimensiones, pero no explica cuáles son las causas de dicho movimiento

Los conceptos cinemáticos de desplazamiento, velocidad y aceleración, junto

con los conceptos de fuerza y masa permiten analizar los principios de la dinámica, que se resumen en las leyes de Newton.

Primera ley: Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que se le obligue a variar dicho estado mediante fuerzas que actúen sobre él.

Segunda ley: La aceleración de un cuerpo tiene la misma dirección que la fuerza neta que actúa sobre él (suma vectorial de todas las fuerzas que actúan) y es proporcional a dicha fuerza neta.

Tercera ley: A toda acción se le opone siempre una reacción igual. Las reacciones mutuas entre dos cuerpos son fuerzas de la misma intensidad. Sus direcciones se dirigen siempre en sentidos opuestos, a lo largo de la línea que une ambos cuerpos considerados como partículas materiales". (p. 129)

### ECUACIÓN GENERAL DEL MOVIMIENTO

La ecuación general de movimiento para dos partículas A y B respecto a un observador es:

Ecuación N°1

$$m_A \mathbf{r}_A - m_B \mathbf{r}_B = 0$$

Donde  $m_A$  y  $m_B$  son las masas de las partículas, y  $\mathbf{r}_A$  y  $\mathbf{r}_B$  son las posiciones de las partículas A y B,  $\dot{\mathbf{r}}_A$  y  $\dot{\mathbf{r}}_B$  son las velocidades y  $\ddot{\mathbf{r}}_A$  y  $\ddot{\mathbf{r}}_B$  son las aceleraciones de las partículas A y B.

Derivando la ecuación con respecto al tiempo, se obtiene:

Ecuación N°2

$$m_1 \left[ (v_1 - v_2) + \frac{1}{2} (a_1 - a_2) \right] - m_2 (v_1 - v_2) = 0$$

Derivando de nuevo con respecto al tiempo se obtiene:

Ecuación N°3

$$m_1 \left[ (a_1 - a_2) + 2 \frac{1}{2} (v_1 - v_2) + \frac{1}{2} (a_1 - a_2) \right] + m_2 (a_1 - a_2) = 0$$

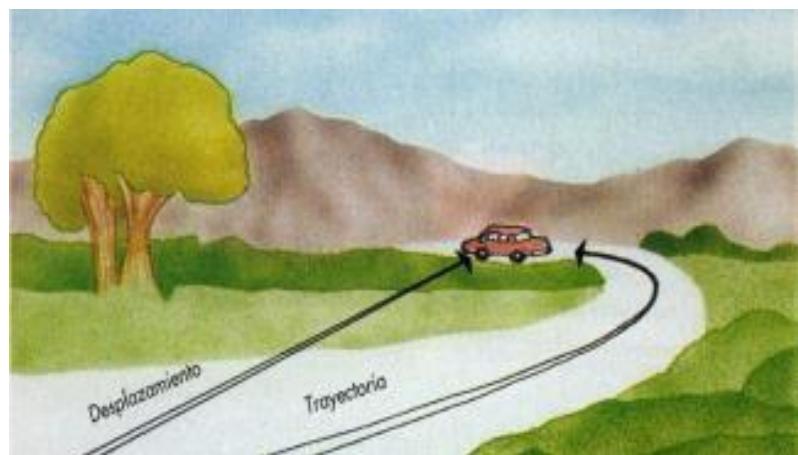
### 1.3.1.2. Dinámica

**LONDOÑO (2003)**, La Dinámica es la parte de la Mecánica que estudia las relaciones entre las causas que originan los movimientos y las propiedades de los movimientos originados. Las tres leyes de Newton constituyen los tres principios básicos que explican el movimiento de los cuerpos según la Mecánica clásica.

Movimientos: Son los cambios de posición de los cuerpos con el paso del tiempo, esta puede ser estudiada por la Cinemática y por la Dinámica.

(p.144)

**Figura 2.**



**Trayectoria de un móvil**

La flecha señala el punto de partida y final de la trayectoria

[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/cinematica/ecuacion\\_general\\_de\\_movimiento.pdf](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/cinematica/ecuacion_general_de_movimiento.pdf)



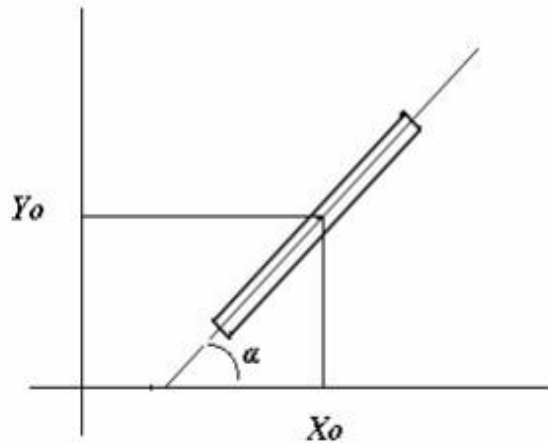
### 1.3.2. Grados de libertad

**SANCHEZ (2008)**, "El número de grados de libertad de un sistema es el número de parámetros independientes que se necesita para definir unívocamente su posición en el espacio en cualquier instante

Recuperado de

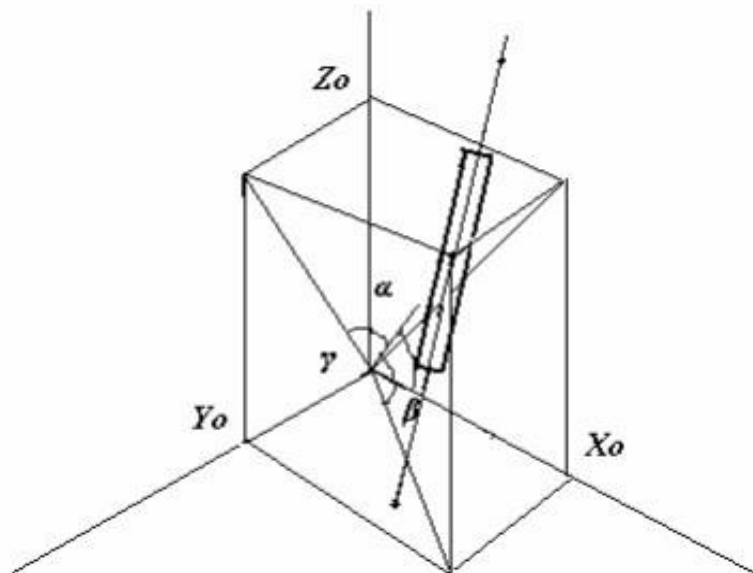
[p://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%201.pdf](http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%201.pdf)

**Figura 3.**



En el plano se requiere de tres parámetros (GDL): dos coordenadas lineales ( $y$ ) y una angular ( $\alpha$ ).

**Figura 4.**



En el espacio se requiere de seis GDL: tres distancias ( $x, y, z$ ) y tres ángulos ( $\alpha, \beta, \gamma$ ).

Recuperado de

[p://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes](http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes)

### 1.3.3. Electrónica

**BOLTON (2013)**, “Al hablar de la Electrónica nos estamos refiriendo a un campo de la Física que además es una especialización de la Ingeniería constantemente en evolución, es la encargada del estudio usando procedimientos en la que su funcionamiento está basada en la conducción así como la de controlar el movimiento de los electrones y de la misma manera el de otras partículas que están cargadas eléctricamente”.

Se encarga del flujo de la corriente eléctrica bajo las siguientes condiciones:

- Trabaja con corriente continua
- Las tenciones de trabajo son bajas. Existe una clara diferencia entre electricidad y electrónica. Mientras que en la primera son frecuentes tenciones de 220 V (electricidad domestica) o 380 V (electricidad industrial), y en pocos casos inferiores a los 12 V, así como intensidades del orden superiores al amperio.
- En la electrónica hablamos de tenciones máximas precisamente de 12 V , e intensidades típicas del orden de los miliamperios(m A)
- Combina componentes muy variados en especial aquellos construidos con materiales semiconductores.
- Su tecnología es previa a la de los sistemas informáticos.(p.5)

**Figura 5.**



#### **Módulos didácticos para simulaciones electrónicas**

Estos equipos poseen actuadores neumáticos, hidráulicos y electrónicos con los que se puede realizar pruebas según las teorías y conceptos de la Electrónica.

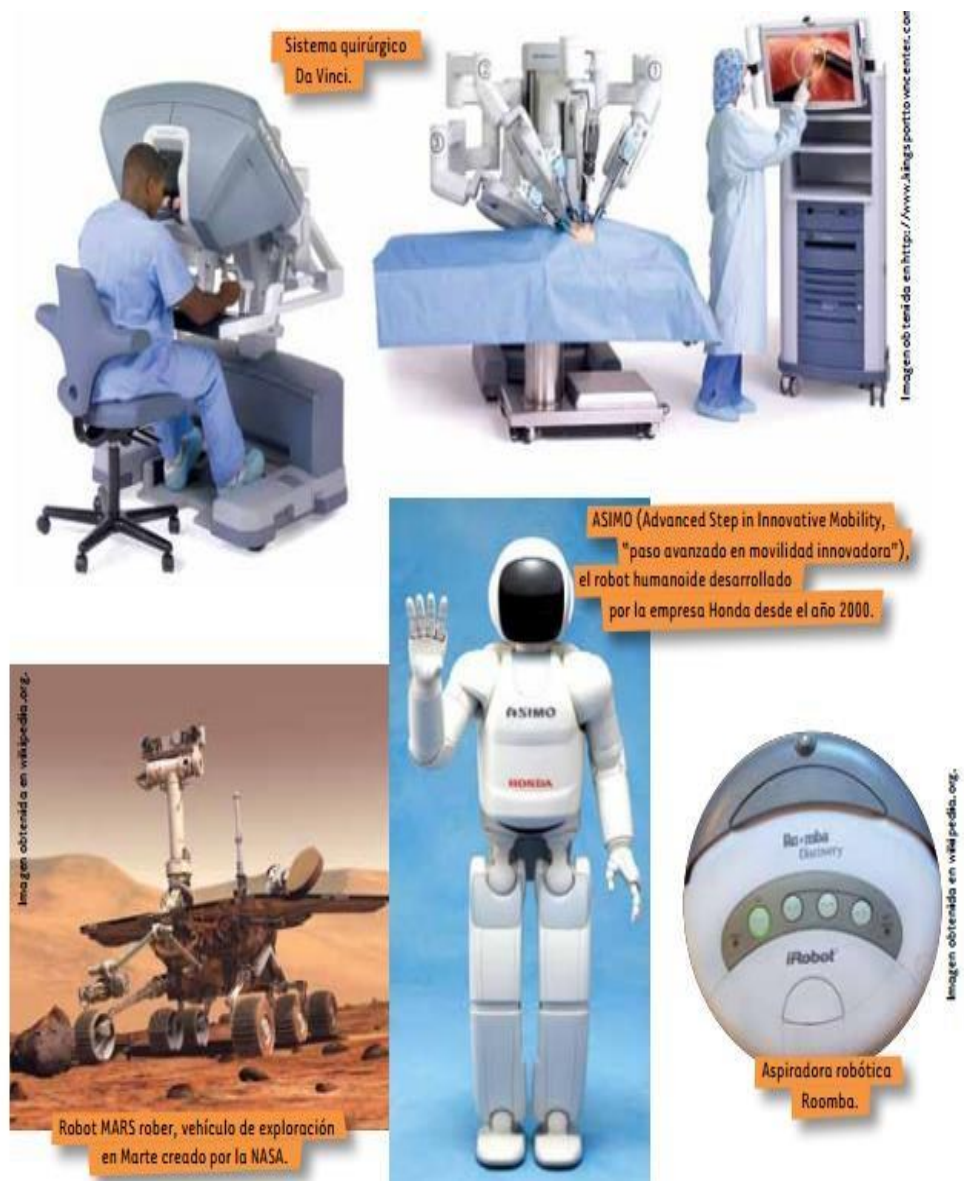
<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/03/electronica.pdf>

### 1.3.4. Robótica

**KELLY y otros (2003).** “Dicho termino le designa su creador Isaac Asimov. Es un nuevo campo Tecnológico de la era moderna basado en el desarrollo de entes autónomos, estos pueden ser de diferentes categorías lo cual dependerá del grado de autonomía que se les designe. La Robótica se dio con la aparición de los brazos robot quienes hoy en día los encontramos mayormente en las fábricas de automóviles y ciertos humanoides que han ido mejorando con los adelantos tecnológicos”. (p.3, 4).

**Figura 6.**

<http://bibliotecadigital.educ.ar/uploads/contents/ROBOTICA>



Últimos adelantos tecnológicos en robótica.

Recuperado de:

<http://bibliotecadigital.educ.ar/uploa ds/contents/ROBOTICA1.pdf>

Figura 7.



Brazo Robótico industrial KUKA

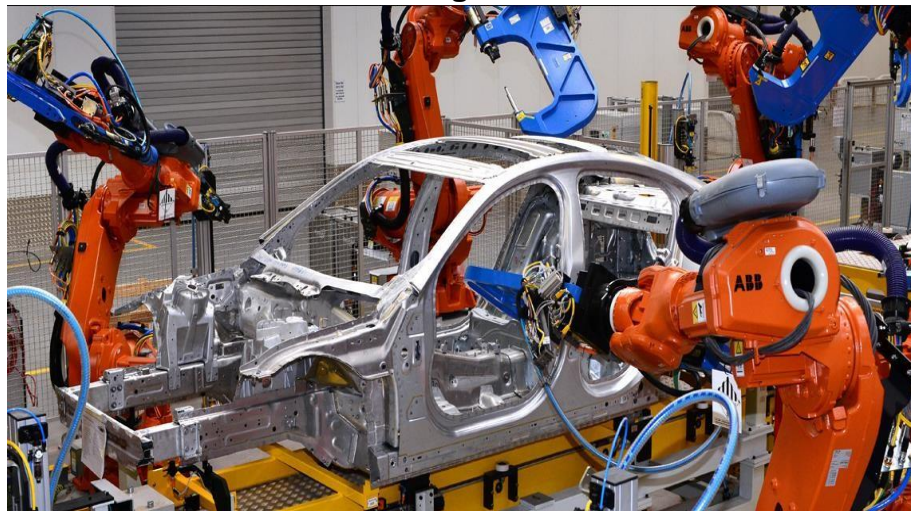
### 1.3.5. Mecatrónica

**BOLTON (2013),**” Este término creado por el ingeniero Japonés Tecuro Mori en el año de 1969, este término se forma de combinar el término “Meca” de Mecanismo y del otro término “trónica” de Electrónica, como vemos es la integración de la Ingeniería Mecánica con la Electrónica y el control inteligente por computadora todo esto para realizar diseños y procesos de manufactura de diversos productos en la que ciertas funciones mecánicas se ven reemplazadas por funciones electrónicas para dar paso a los procesos mecatrónicos ,haciendo más fácil y de mejor calidad los procesos industriales en general.

Figura 8.

Recuperado de:

[http://www.ingenieria.unam.mx/progr amas\\_academicos/images/carreras/](http://www.ingenieria.unam.mx/progr amas_academicos/images/carreras/)

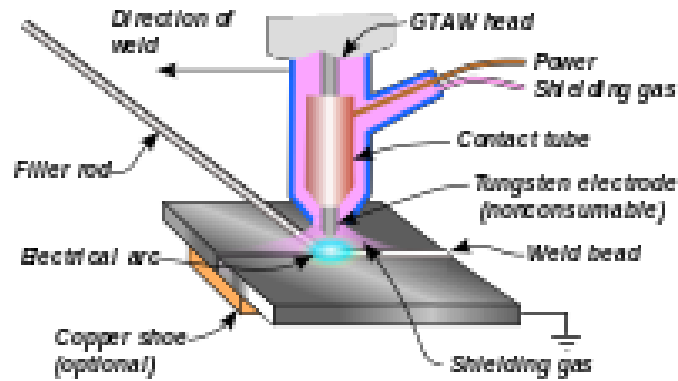


Brazos robóticos en Fábrica de Vehículos

### 1.3.6. Soldadura TIG.

**GIACACHINO y otros (1981)**, “ Es una de las formas técnicas de soldadura de mayor eficacia por lo que su utilización permite tener una mejor calidad en la unión de elementos metálicos que se emplean en la fabricación de piezas de metal de diversos usos .En las centrales nucleares se emplea este tipo de soldadura por su alta calidad debido a la buena limpieza que posee en las uniones soldables, se puede decir que es lo más acertado para ser utilizado en las uniones de Aluminio y Acero inoxidable. Hoy en día se utiliza para soldar una gran variedad de metales”. (p.1)

**Figura 9.**



Proceso de soldadura TIG

### 1.3.7. Estructuras metálicas.

**KALPAKJAN y otros (2002)**. Las estructuras metálicas son fabricaciones hechas en su totalidad de Acero de diferentes calidades unidos mediante el proceso de soldadura ya sea de Arco, soldadura Autógena, soldadura, Tig,

Recuperado de:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura\\_TIG](https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_TIG)

soldadura Mig, Electro soldadura, soldadura por Fricción, o soldadura de Punto, etc. El acero más recomendado para estructuras metálicas es el acero ASTM A36 especial para este tipo de fabricaciones de fácil soldabilidad, por sus propiedades mecánicas que la hacen altamente resistentes a los esfuerzos que es sometido, además de su bajo costo y su disponibilidad en diferentes formas en perfiles y dimensiones, como son canales, ángulos, tubos así mismo en planchas de diferentes espesores

**Figura 10.**



Recuperado de:  
<https://www.gerdau.com>

Obreros en pleno proceso de fabricación de estructura de metal con soldadura de arco.

#### **1.3.8. Soldadura de arco.**

**KALPAKJAN y otros (2002)**, Es el proceso que permite la unión de metales mediante la acción del calor, ya sea con aporte de metal o sin él. Para este proceso los metales deben estar preparados para su correcta unión, ya sea en limpieza en el área a soldar y chaflanado por mecanizado para una mejor unión de las piezas.

Sucedan efectos secundarios al aplicar la soldadura en los metales que se originan por efectos del calor al realizar el proceso en mención, esto puede originar deformaciones en la estructura por lo que se debe prever todos estos detalles al momento de soldar las estructuras de metal.

Al suministrar o llevar a cabo el proceso de soldadura se debe evitar la

porosidad, lo que es determinante para un buen resultado y una mayor resistencia al momento de ser sometido a esfuerzos mecánicos, por ello es recomendable tener basto conocimiento técnico en la aplicación de soldadura para lograr muy buenos resultados.

**Figura 11.**

Recuperado de:  
<https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf>



Aplicando soldadura de arco con electrodos.

### **1.3.9. Rodamientos.**

**SKF (2015)**, Elemento de máquina de rotación inventado por el ingeniero, inventor y empresario sueco SUEN GUSTAF WINGGVIST.

Las clases de rodamientos más usados comúnmente son:

- **De bolas:** Estos rodamientos tienen la característica de que en su estructura interna de soporte de esfuerzo tiene un guía de rotación de forma cilíndrica en donde se apoyan las esferas de acero para realizar la función de rodadura.
- **De agujas:** Estos rodamientos poseen características cilíndricas alargadas y sus elementos que permitirán el efecto de rotación son elementos alargados de forma de agujas de diferentes medidas según el trabajo a realizar, por lo general

estos rodamientos se utilizan para esfuerzos axiales.

Los rodamientos de acuerdo a su función, desempeño rotacional y al esfuerzo que tenga que soportar pueden ser axial, radial o en todo caso combinar ambos esfuerzos.

- **Axial:** Un rodamiento axial tiene la característica de soportar esfuerzos en dirección a su eje dependiendo de la posición de este y el esfuerzo que realiza ya sea vertical u horizontal.

- **Radial:** Un rodamiento radial soporta esfuerzos radiales es decir que se dan en dirección normal con respecto al centro de su eje, creando movimientos rotacionales dando origen a esfuerzos tangenciales.

Todos los rodamientos son sometidos a tratamiento térmico, de esta manera pueden soportar los esfuerzos a los que son sometidos y tener una mayor durabilidad en el proceso de trabajo asignado.

### **Tipos de rodamiento**

Los rodamientos están clasificados de acuerdo a la necesidad de esfuerzo mecánico al que se pretende someter a diversos elementos de máquina. Pueden ser:

Rodamientos rígidos de bolas.

Rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular.

Rodamientos de Aguja.

Rodamientos de rodillos cónicos.

Rodamientos de cilindro de empuje.

Rodamientos de bolas a rotula.

Rodamientos de rodillos cilíndricos.

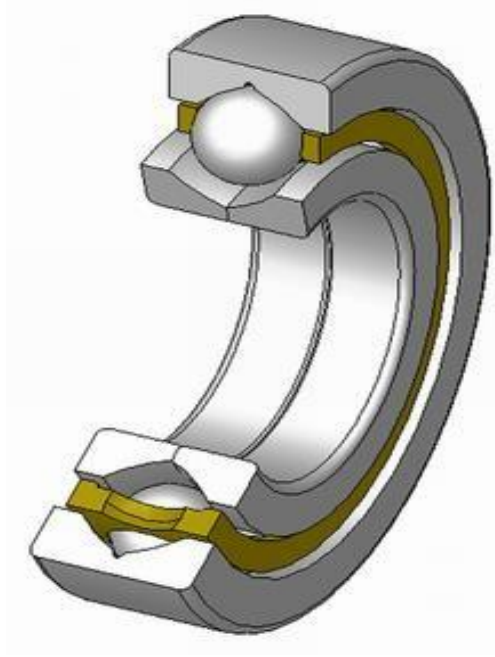
Rodamientos de rodillos a rotula.

Rodamientos axiales de bolas de simple efecto.



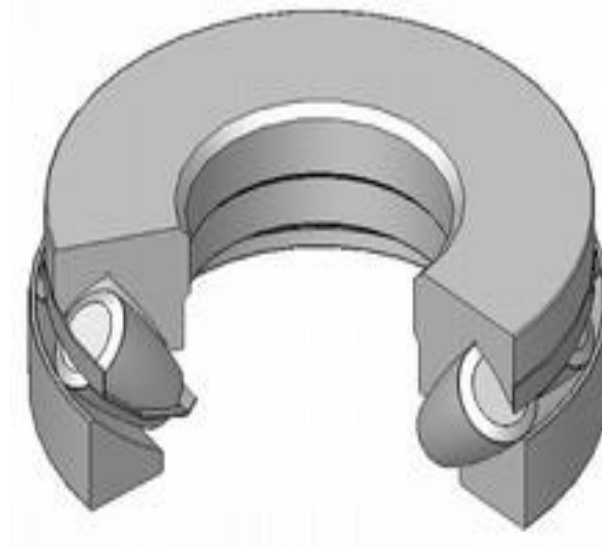
Recuperado de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento>

**Figura 12.**



Rodamiento rígido de bolas.

**Figura 13.**

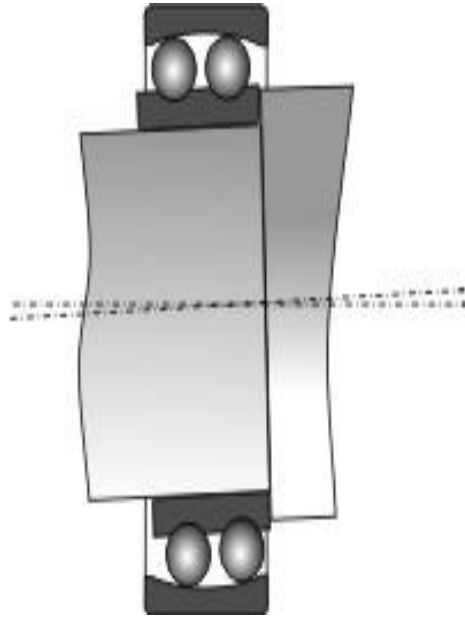


Rodamiento de rodillos cónicos

Recuperado de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento>

Recuperado de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento>

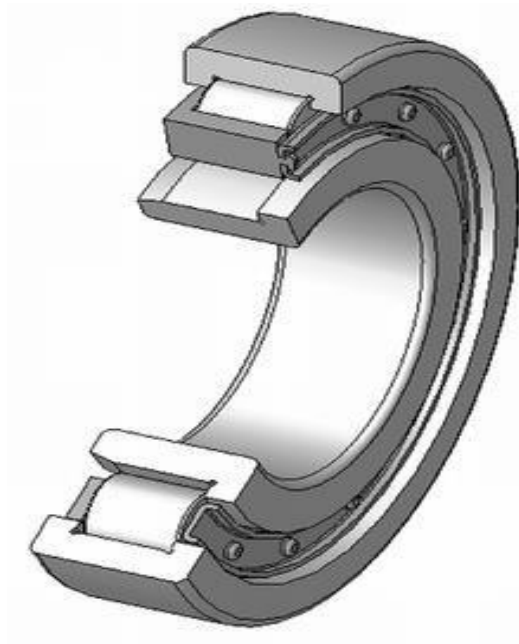
**Figura 14.**



Rodamiento de bolas a rotula

Recuperado de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento>

**Figura 15.**



Rodamiento de rodillos cilíndricos tipo NUP

### 1.3.10. Engranajes

**CASILLAS (1984)**, Son elementos de máquina que se usan para transmitir movimiento o potencia mecánica de un elemento hacia otro.

Los engranajes están formado por dos ruedas dentadas, a la que tiene mayor tamaño se le denomina corona y piñón a la de menor tamaño, el movimiento que trasmite es de forma circular cuando ambas ruedas hacen contacto entre sí.

Se utilizan mayor mente para transmitir movimientos desde un eje el cual contiene la energía motriz que tomara el nombre de rueda conductora que dará lugar a la generación del movimiento hacia otro eje a cierta distancia este recibirá la energía mecánica por intermedio de la rueda dentada conducida.

La combinación de movimientos por más de un par de engranajes tomara el nombre de tren de engranajes.

Se puede decir que los engranajes son el modo de transmitir movimiento más eficaz a comparación de las transmisiones por poleas ya que estas tienden a patinar originando perdidas de energía motriz.

#### Clases de engranajes

Existen engranajes de diferentes tipos por la forma de transmitir los movimientos:

#### Engranajes de dientes rectos

Fuente:  
Maquinas Cálculos de taller



Engranajes de dientes Rectos

## Engranajes helicoidales Engranajes

helicoidales cilíndricos Engranajes

helicoidales dobles **Engranajes de**

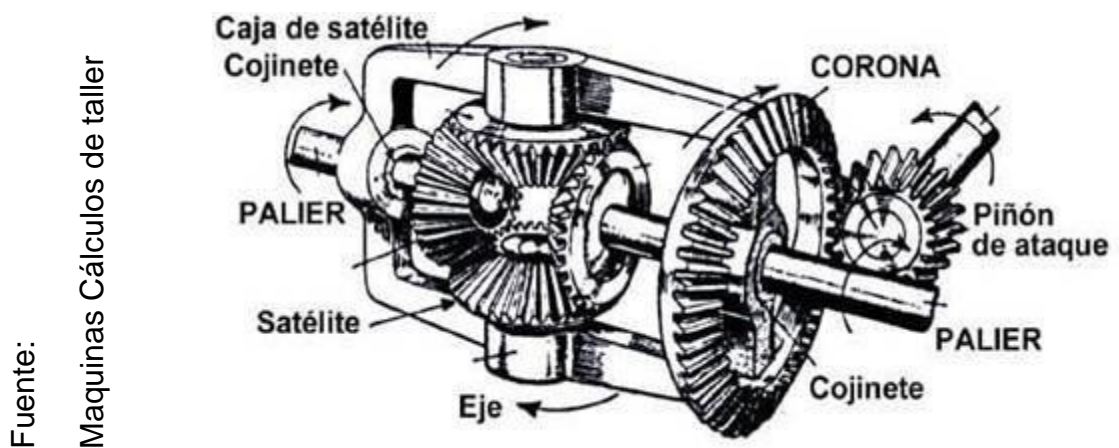
**dientes cónicos** Engranajes cónicos

de dientes rectos Engranaje cónico

helicoidal

Engranaje cónico hipoide

Figura 17.



Trasmisiones de Engranajes Cónicos

## Engranajes de tornillo sinfín y de corona

Figura 18.

Recupera de:  
[www.areatecnologia.com/  
mecanismos/engranajes.h  
tml](http://www.areatecnologia.com/mecanismos/engranajes.htm)



Tornillo sin fin y corona dentada

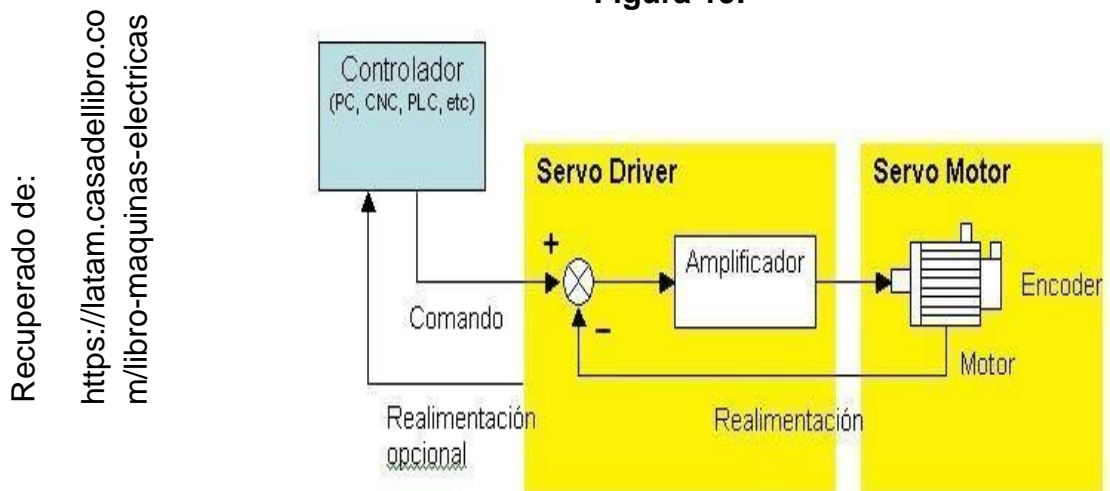
Engranajes de cadena: Son engranajes donde la transmisión del movimiento mecánico no se da de engranaje a engranaje (corona y piñón), este se realiza por intermedio de una cadena.

Cabe resaltar que: Los engranajes son mecanizados en distintos metales o no metales y de acuerdo al desempeño que sean asignados dependerá el tipo de material o la dureza que este necesite para un buen rendimiento al momento de la transmisión de energía mecánica

### 1.3.11. Servomotores

**KOSOW (1993).** Son elementos mecánicos electrónicos que poseen su respectivo DRIVER y que se usan para controlar velocidades precisas y esfuerzos de torque así como también de posición. Estos han sido utilizados para reemplazar sistemas neumáticos e hidráulicos (Pero no para sistemas de torque elevado) siendo estos mecanismos opciones de mejor función con respecto a los convertidores de frecuencia pues estos permiten una posición definida pero de poca efectividad en velocidades bajas, también más efectivas que los motores paso a paso, los cuales no tienen un control de posición exacto y solo pueden ser usados en sistemas de poca potencia. El problema con los Servomotores es su alto costo como alternativa para sistemas eléctricos. Un servomotor tiene incorporado interiormente un encoder con su amplificador que viene a ser el DRIVER, que en conjunto dan lugar a un circuito realimentado para comandar una determinada posición, torque y velocidad.

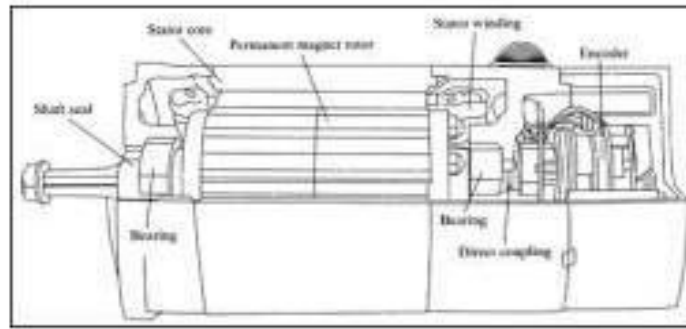
Figura 19.



Circuito realimentado para comandar, torque, posición y velocidad

Recuperado de:  
<https://latam.casadellibro.com/libro-maquinas-electricas>

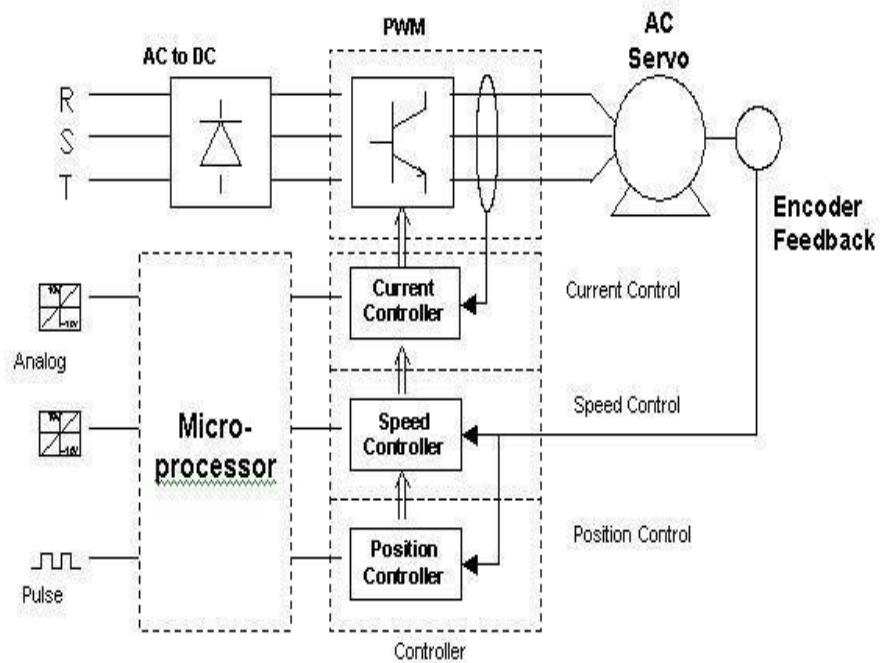
Figura 20.



Servomotores de diferentes potencias y su detalle

Recuperado de:  
<https://latam.casadellibro.com/libro-maquinas-electricas>

Figura 21.



Esquema del Driver de un Servomotor

### 1.3.12. PLC (Controlador Lógico Programable)

**KOSOW (1993).** Se le denomina PLC por sus siglas en inglés, es un ordenador que se utiliza en ingeniería para automatizar equipos industriales, en procesos repetitivos electromecánicos, como se da el caso en las fábricas que tienen una línea determinada de fabricación, procesos de manufactura o montajes.

Estos ordenadores son utilizados en diferentes campos de la industria, así como para automatizar diversas máquinas. Los PLC se diferencian de las computadoras que son de propósito general con la diferencia que en su diseño poseen señales de entrada y salida, límites de temperatura maximizados, así como resistencia al ruido eléctrico y resistir vibraciones e impactos. La programación para controlar las funciones de los mecanismos se guardan en baterías, copias de seguridad o en memorias no volátiles. Lo que se debe saber de un PLC es que debe recibir señales exactas para su desempeño óptimo, pues de no ser así no tendremos el resultado esperado.

**Figura 22.**

Recuperado de:  
<https://latam.casadellibro.com/libro-maquinas-electricas>

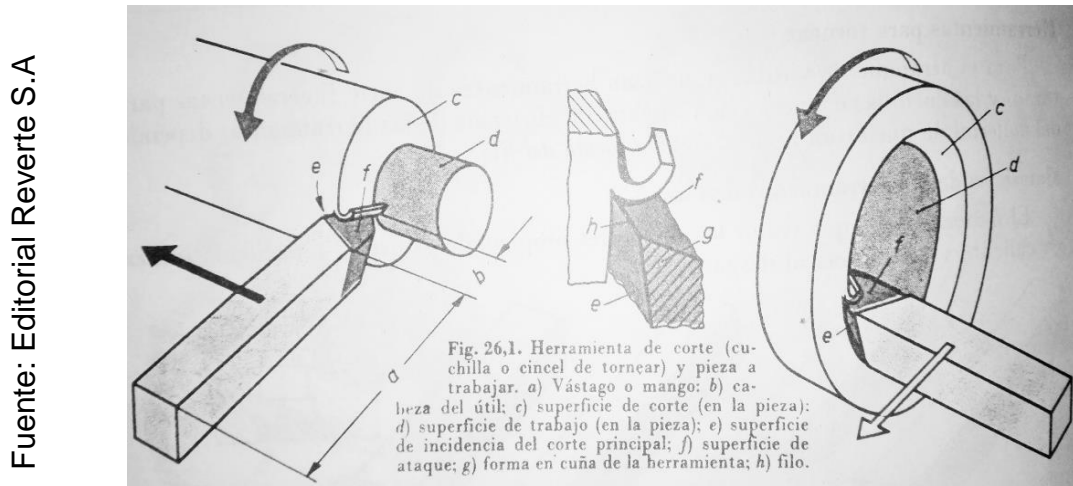


PLC de la marca SIEMENS modelo SIMATIC S7 - 120

### 1.3.13. Maquinado.

**GERLING (2013)**, "Proceso por el cual se da forma a un material metálico o no metálico para dar lugar a una pieza de acuerdo a dimensiones específicas ya sea con arranque de viruta o sin arranque de viruta, puede ser realizado a mano (Escariadores, buriles, cinceles, cizalla, etcétera.) O por máquina." (Maquinas herramientas). (p. 11)

**Figura 23.**



Fuente: Editorial Reverte S.A

Herramienta de corte (cuchilla o cincel de torneado) y pieza

## 1.4. Formulación del problema

¿Cómo optimizar el proceso de maquinado y soldadura TIG en Taller Géminis?

## 1.5. Justificación del estudio

### 1.5.1. Tecnológica

Con la tecnología aplicada en este proyecto impulsaremos al uso de equipos robotizados, y dejar de lado a los equipos convencionales, además que el costo de este proyecto ha sido realizado con elementos mecánicos como electrónicos de bajo costo, lo cual permitirá que este proyecto sea accesible para las industrias.

### 1.5.2. Social

Al realizar este proyecto lograremos que la mano de obra del hombre ya no se



utilizara en trabajos en las que pone en riesgo su salud dándole así una mejor forma de vida además que al emplear equipos robotizados para trabajos extremos estaremos aportando con la salud del hombre y que estos puedan realizar labores menos riesgosas como de supervisar el trabajo de estas máquinas incluido su mantenimiento.

### **1.5.3. Económica**

Este proyecto permitirá a las industrias abaratar los costos de sus productos, además de realizar en menor tiempo los procesos de producción.

### **1.5.4. Ambiental**

Con la realización de este proyecto lograremos de forma ambiental más que todo salvaguardar la salud de la raza humana así también menores emisiones sonoras al medio ambiente.

## **1.6. Hipótesis**

¿Mediante el diseño y fabricación de un brazo robótico se optimiza los procesos de maquinado y soldadura Tig en Taller Géminis?

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

Diseñar y fabricar un brazo robótico para optimizar los procesos de maquinado y soldadura Tig en Taller Géminis.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

1. Determinar la capacidad de operación del brazo robótico
2. Diseñar y seleccionar los componentes del brazo robótico
3. Fabricar los elementos mecánicos del brazo robótico.
4. Instalar los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y el software para su total funcionamiento y su posterior prueba.
5. Determinar la inversión que conlleva la fabricación del brazo robótico.
6. Determinar la optimización de los procesos de maquinado y soldadura con la instalación del brazo robótico.

## **II: MÉTODO:**

### **2.1. Diseño de la Investigación:**

Variables:

#### **2.1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:**

Diseño y fabricación de Brazo Robótico

#### **2.1.2. VARIABLE DEPENDIENTE:**

Optimizar los procesos de maquinado y soldadura

## 2.2 Operacionalización de variables

Cuadro de variables de la tesis: “Diseño y fabricación de Brazo Robótico para optimizar procesos de maquinado y soldadura Tig en Taller Géminis Chiclayo 2017”.

<p><b>Variable Independiente</b> Diseño y fabricación de Brazo Robótico</p>	<p>Un brazo robótico es un conjunto de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, programable, con movimientos que se asemejan a un brazo humano.</p>	<p>Sistema mecánico capaz de operar automáticamente en una o varias funciones según este programada.</p>	<p>-Diseño de estructura  -Cálculos  -Costos  Procedimiento</p>	<p>- Pulgadas y milímetros. - Grados. - Voltios.</p>	<p>-Cuestionario de preguntas. -Hoja de encuestas -Ficha de observación. -Ficha de análisis de documentos.</p>	<p>razón</p>
<p><b>Variable Dependiente</b> Optimizar los procesos de maquinado y soldadura</p>	<p>-Maquinado: es un proceso por el cual se retira material de un elemento por intermedio de herramientas de corte  -Soldadura: proceso por el cual se realiza la unión de materiales ya sea metálicos y no metálicos.</p>	<p>-En el maquinado se da forma requerida aun material ya sea metálicos y no metálicos según sea la necesidad.  1. -Unión de elementos soldables para dar lugar a una estructura para un determinado fin.</p>	<p>-Procesos de Maquinado -Procesos de Mecanizado -Cálculos -Seguridad</p>	<p>- RPM. - Pulgadas y milímetros.  - Voltios. - Amperios</p>	<p>-Cuestionario de preguntas. -Hoja de encuestas -Ficha de observación. - Ficha de análisis de documentos.</p>	<p>razón</p>

## **2.3. Población y Muestra:**

### **2.3.1 Población:**

La población está constituida por los procesos de Maquinado y soldadura Tig en TALLER GEMINIS

### **2.3.2 Muestra:**

La muestra es igual a la población y está constituida por los procesos de Maquinado y Soldadura TIG en TALLER GEMINIS

## **2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad.**

### **2.4.1. Técnicas**

**I. Entrevistas:** Es un cuestionario realizado a los especialistas del medio que están involucrados en el tema de automatización de sistemas industriales

**II. Encuestas:** Se hace un cuestionario formulando preguntas para obtener la información necesaria para su respectivo análisis sobre el funcionamiento de brazos robóticos en maquinado y soldadura Tig.

**III. Observacional:** se tendrá que observar los equipos automáticos y robotizados que estén en funcionamiento.

**IV. Análisis de documentos:** En este proyecto de tesis se deberá buscar información recopilando todos los documentos posibles que se relacionen con el Diseño y fabricación del brazo robótico.

### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos que usaremos en este proyecto de tesis son:

Cuestionario de preguntas (ver Anexo N° 01)

Hoja de encuestas (ver Anexo N° 01)

Ficha de observación (ver Anexo N° 02)

Ficha de análisis de documentos (ver Anexo N° 03)

Documentación y ficha técnicas sobre brazos robóticos.

Visita y entrevista a los especialistas inmersos en el diseño y fabricación de brazos robóticos.

Registro de Fallas y reparaciones de brazos robóticos en funcionamiento.

Registro del horario de mayor uso de estos equipos robotizados.

#### **2.4.3. Validez y confiabilidad.**

La validez de este proyecto de investigación está orientada a la interpretación correcta y al cuidado exhaustivo del proceso metodológico de los resultados que obtendremos en el estudio del tema científico de Diseño y fabricación de brazo robótico.

#### **2.5 Método de Análisis de Datos**

Utilizaremos la estadística descriptiva, la cual sirve para analizar la optimización de procesos de mecanizado y soldadura Tig utilizando brazos robóticos.

#### **2.6 Aspectos éticos.**

La Ética es un valor fundamental en una investigación científica, por lo tanto al analizar los datos recolectados debe hacerse con sus valores reales, siempre evitando alterarlos en el proceso de análisis en todos los aspectos al momento de los estudios que implican al buen desarrollo del proyecto. Todos los datos de los trabajos previos que se vean implicados , así como la información obtenida sobre sistemas automáticos industriales deben ser confiables , veraces en sus contenidos y respetados los conceptos por el investigador, en síntesis hablar siempre con la verdad en todo lo que conlleve él estudio e investigación.

También se tomaran los criterios éticos del Código de Ética para la realización del presente proyecto de investigación, del Colegio de Ingenieros del Perú, aprobado en la II sesión ordinaria del Congreso Nacional de Consejos Departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22,23 y 24 de abril de 1999.

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1 Determinar la capacidad de operación del brazo robótico.**

Resultados obtenidos al determinar la capacidad de operación del brazo robótico.

Luego de realizar un amplio estudio sobre equipos automatizados y brazos robóticos basándonos en trabajos previos encontrados en tesis de otras universidades, revistas , documentos web y libros ,además de las encuestas realizadas a profesionales inmersos en ese campo y según las fichas de observación, se pudo determinar la capacidad de operación del brazo robótico.

Tomando en cuenta la información en el documento Web “ Cinemática de Robots”

podemos ver las características que deben tener los brazos robóticos industriales de acuerdo a la función que deberá desempeñar .Mayormente todas estas labores para la que son programados son repetitivas, estos están clasificados en:

**Brazo robótico manipulador:** Este tipo de brazo tiene la capacidad de manipular herramientas ya sea para procesos de maquinado, en torneado, fresado, taladrado, para soldadura o corte de metales.

**Brazo robótico platicador:** tienen la particularidad de seleccionar cualquier tipo de objetos

**Brazo robótico móvil:** estos equipos automáticos poseen un mecanismo móvil con ruedas las cuales le permiten desplazarse haciendo labores de un lugar a otro.

El equipo que se diseñara y luego se fabricara será un Brazo robótico manipulador para realizar labores de maquinado y soldadura con seis grados de libertad y 6 kilos de carga útil, por esta razón determinaremos , el tipo de material para la estructura, peso total del equipo y carga útil , cálculo de esfuerzos del equipo, determinar los grados de libertad del brazo robótico, determinar los elementos mecánicos que harán posible los movimientos de las articulaciones, potencia de los actuadores (Servomotores),y tipo de ordenador a utilizar(PLC)

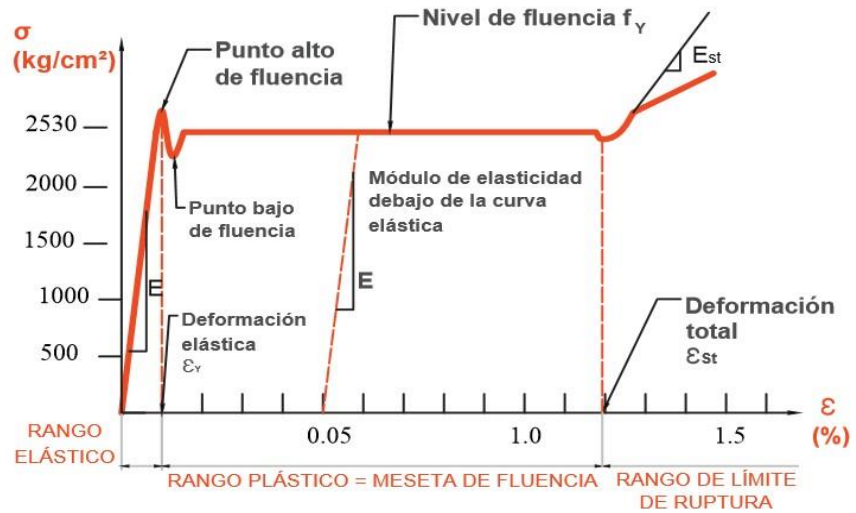
### **3.1.1. Determinar el tipo de material para la estructura**

Ya que el diseño y fabricación será de un brazo robótico para uso industrial de acuerdo a la información obtenida en el catálogo web “GERDAU CORSA” podemos ver las características y propiedades mecánicas para tomar en cuenta sobre el tipo de material ASTM A36 a utilizar en la estructura total del equipo, desde su base (Hombro) hasta la estructura final que manipulará las herramientas.

En los siguientes diagramas se puede apreciar la deformación de los aceros de bajo contenido de carbono como es el acero ASTM A36 tanto en su rango, plástico, meseta de fluencia, hasta su rango de límite de ruptura, como se muestra en la figura 24 y de la misma manera se puede observar las curvas de esfuerzo de diversos aceros en la que se puede ver la curva de esfuerzo del acero A36 graficada en la figura 25.

Figura 24.

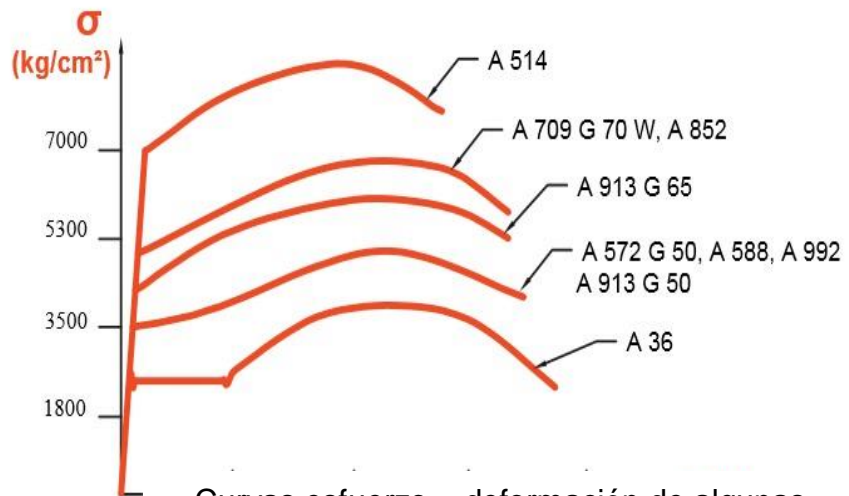
Fuente: Catálogo de propiedades de los aceros "Gerdau Corsa".



Porción inicial de la curva esfuerzo – deformación de los aceros de bajo contenido de carbono (A 36)

Figura 25.

Fuente: Catálogo de propiedades de los aceros "Gerdau Corsa".



Curvas esfuerzo – deformación de algunas calidades de acero (Se visualiza el acero A36)

### 3.1.1.1. Las propiedades mecánicas.

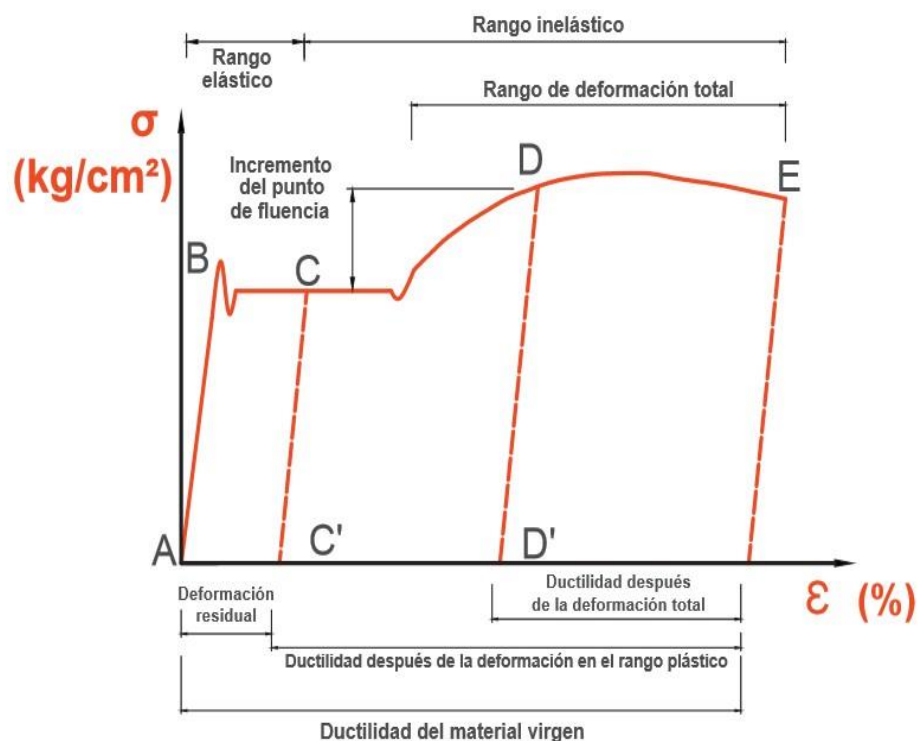
Ya sea en su rango elástico, rango plástico, meseta de fluencia y límite de ruptura de los aceros de bajo contenido de carbono son los más apropiados para las estructuras para maquinas.

Las deformaciones plásticas que ocurren, dejan al material sin memoria de lo

que ha ocurrido (Figura 27). Por lo tanto tenemos que un acero originado en una planta siderúrgica, por ejemplo (A, B, C, D, E en la Figura 27), el comportamiento será de acuerdo a la línea D' DE inicialmente después de haber sido cargado y sometido a una tensión equivalente al punto D de la curva de esfuerzo. La pendiente de la porción inicial de la curva de esfuerzo es el módulo de elasticidad E. La pendiente de la curva inmediatamente después de  $\epsilon_{st}$ , es el módulo de esfuerzo por deformación  $\epsilon_{st}$ , E es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a 29.000 Ksi ( $2.039 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>).  $\epsilon_{st}$  es más bajo y está bien definido, su valor es de alrededor de 600 a 800 Ksi (42000 a 56000 kg/cm<sup>2</sup>). Las prueba de  $\epsilon$  y  $\epsilon_{st}$  se basan en vigas sujetas a flexión más que a valores de tensión, debido a lo sensible de la prueba de tensión y a las variaciones en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación.

Figura 26.

Fuente:  
Catálogo de propiedades de los aceros  
"Gerdau Corsa".



Curva esfuerzo – deformación de los aceros.



### 3.1.1.2. El calor originado por la soldadura y el oxicorte.

Dan lugar a cambios superficiales en la estructura del acero, esto se puede controlar si se tiene los cuidados adecuados en el momento de ser enfriado. Generalmente esto resulta en zonas muy localizadas del material en aceros de alta resistencia y baja ductilidad, como en los bordes de corte por flama (oxicorte) o el calor de la soldadura. En los propósitos prácticos, estas zonas han aumentado los límites de fluencia en aproximadamente igual a la fuerza o la resistencia nominal del metal de la soldadura.

En la siguiente tabla (Tabla N°1), se resalta las propiedades mecánicas del acero ASTM A 36, en su resistencia ultima a la tracción, resistencia ultima a la compresión, límite mínimo de fluencia, densidad, coeficiente de fricción y coeficiente de dilatación térmica.

Tabla N° 1

<b>Propiedades mecánicas del acero A36</b>	<b>valores</b>
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	<b>Min. 58000 Psi / 400 Mpa</b> <b>Max. 80000 Psi / 550 Mpa</b>
<b>Resistencia a la compresión(Suc)</b>	<b>Min. 63800 Psi / 435 Mpa</b> <b>Max. 88000 Psi / 607 Mpa</b>
<b>Límite mínimo de fluencia</b>	<b>36000 Psi / 250 Mpa</b>
<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	<b>7860 Kg / m<sup>3</sup> (0.28 lb /in<sup>3</sup>)</b>
<b>Coeficiente de fricción</b>	<b>1.2 x <math>\mu</math> (°)</b>
<b>Coeficiente de dilatación térmica</b>	<b>1.2 x <math>\mu</math> (°)</b>

Fuente: Catálogo de los aceros Gerdau Corsa

### 3.1.1.3. Calculo del peso y carga útil.

Al calcular la cinemática de los robots clásicos debe considerarse que dependiendo de las dimensiones de sus primeras articulaciones, el peso de los robots de tipo industrial oscila en torno a valores que tienen una relación en el mejor de los casos de 0.150 (Carga útil/peso). Por lo cual, por ejemplo un robot industrial con un alcance de 3.0 metros con capacidad para mover cargas de 75 kg puede tener un peso de 1450 kg (ABB IRB 6400).

Se debe tomar en cuenta en relación a las dinámicas del robot con respecto a la carga útil que podrá manipular a la siguiente tabla como referencia

Tabla N° 2

Robot	Peso	Carga útil	Repetibilidad	Carga útil/peso
ABB IRB 2000	370	10	0.100	0.0270
ABB IRB 4400	940	45	0.100	0.0047
ABB IRB 6400/3.0	1450	75	0.100	0.0510
STÄUBLI RX 90	120	6	0.002	0.0500
GMF S 10	200	10	0.200	0.0417
Hitachi M6100	410	10	0.100	0.0243
Puma 550	63	4	0.100	0.0063
SCARA Adept 3	205	25	0.025	0.1220
SCARA GMF A-600	120	6	0.013	0.0500

Fuente:  
Cinemática de robot

Peso y carga útil de robots de diferentes fabricaciones

Como se puede observar en la tabla N° 1 en los equipos robotizados ya existentes poseen un peso total propio y la carga útil

Por lo tanto el material a utilizar de acuerdo a sus propiedades mecánicas obtenidas del catálogo de aceros "GERDAU CORSA" en su punto 2.2 sobre Propiedades mecánicas del acero veremos que el material más adecuado para

la estructura será el acero estructural ASTM A36 para un brazo robótico de 6 kilos de carga útil.

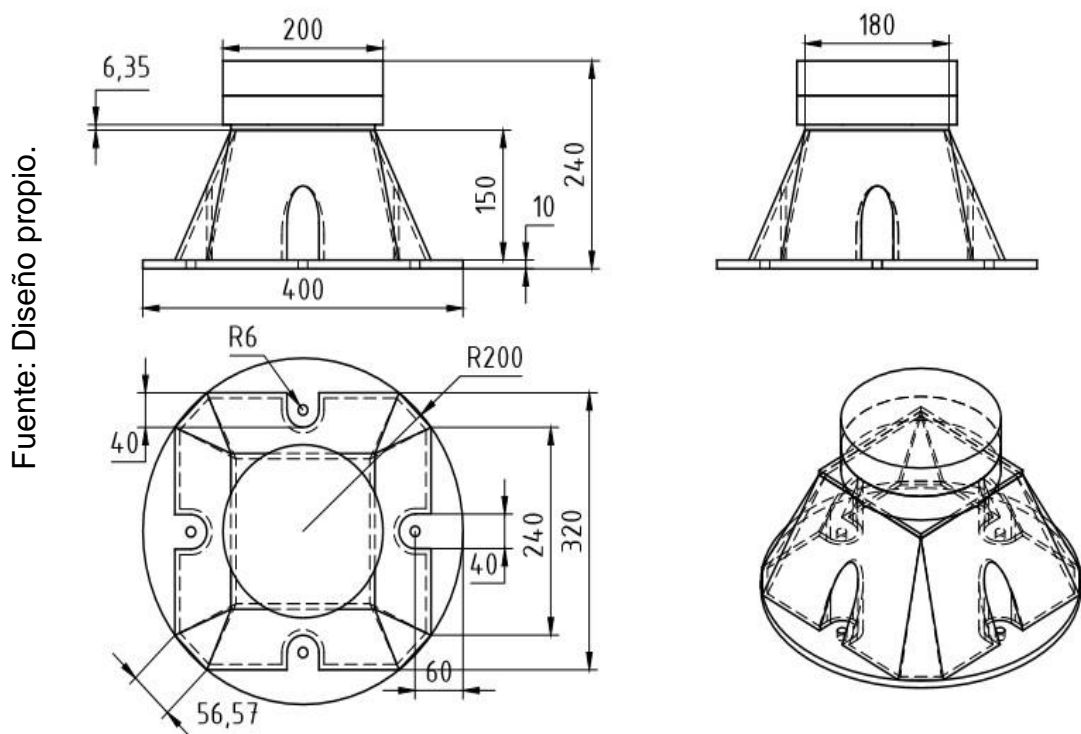
Tomando en cuenta las propiedades del acero ASTM A36 calcularemos el peso de la estructura y el peso total del equipo.

Primero, calcularemos el peso de la base y de la misma manera haremos con el resto de la estructura según las medidas requeridas para el tipo de trabajo que realizara y las distancias de desplazamiento según el área de trabajo

Calculamos el peso de la base:

Tomamos como referencia las dimensiones de la base de acuerdo a su forma geométrica.

**Figura 27**



Según la matemática aplicada a la mecánica obtenida en “Maquinas Cálculos de Taller “en las paginas 468 hasta la 489 vemos que se puede obtener el peso de los materiales con las formulas siguientes:

Tabla N° 3

Fuente: Maquinas Cálculos de Taller  
A L Casillas.

Peso por metro de hierros $\frac{G}{1000} = Kg$	
Forma del material	Formula
Hexagonales y octógonos	D X D X 6.79 = Peso Hexagonal D X D X 6.74 = Peso Octogonal
Cuadrados	D X D X 7.85 = Peso
Redondos	D X D X 6.16 = Peso
Planos	A X B X 7.85 = Peso

Como se puede ver en el la tabla N°3 podemos hallar el peso de los materiales de diferentes formas, en este caso para los materiales planos ( planchas) se halla multiplicando A X B X 7.85 y esto nos dará el peso por metro lineal del material, para redondos D X D X 6.16, esto quiere decir que los datos que se deben tomar en cuenta son, D que es el diámetro, A qué viene a ser el largo, B que viene a ser el espesor, 7.85 para planos y 6.16 para redondos es el factor de densidad en  $\frac{g}{cm^3}$  del acero ASTM A36 como se puede apreciar en la tabla N°1.

De acuerdo a estas fórmulas y valores calcularemos el peso de la base de la estructura del equipo tomando en cuenta sus medidas respectivas que son las siguientes:

Brida de 400mm de diámetro x 10mm de espesor, aplicando la formula tenemos:

$$D \times D \times 6.16 = \text{reemplazando valores } 400 \times 400 \times 6.16 = 985600 \text{ gr.}$$

El valor encontrado es el peso en gramos por metro lineal entonces determinamos el peso de la porción del material:

$$\frac{98560.0}{1000} \times 10 = 9856 \text{ gr.}$$

Esto quiere decir que la brida tendrá un peso de 9.85 kilos.

8 Placas de forma, 4 de forma triangular y 4 de forma rectangular para la parte baja de la estructura de 240mm x 150 de altura. Sumando en un plano las 8 partes tendremos una pieza rectangular de 960mm de largo x 150mm de ancho x 6.35 de espesor aplicando la formula tenemos:

$$A \times B \times 7.85 = \text{reemplazando valores } 960 \times 150 \times 7.85 = 1130400 \text{ gr.}$$

De donde:  $\frac{1130400}{1000} \times 6.35 = 7178.04 \text{ gr.}$

Para la estructura de la tornamesa hemos utilizado tubo cedula 40 de 200mm x 7mm de espesor y según "Maquinas cálculos de taller" el peso por metro lineal es de 50 kilogramos, para la estructura hemos utilizado un segmento de 200mm x 90mm por lo tanto el peso es de:

$$\frac{50 \text{ Kg}}{1000} \times 90 \text{ mm} = 4.5 \text{ Kg.}$$

También utilizaremos dos bridas de 200mm x 10mm de espesor, uno para la parte superior y otro para la parte posterior de la tornamesa, aplicando la formula tenemos un peso de:

$$4.5 \text{ Kg.} \times 2 = 9.00 \text{ Kg.}$$

Sumando el peso de cada parte de la base tenemos un peso de:

$$\text{Brida} + \text{placas de la base} + \text{tubo para tornamesa} + \text{bridas de tornamesa} =$$

$$9.85 \text{ Kg.} + 7.17 \text{ Kg.} + 4.5 \text{ Kg.} + 9.00 \text{ Kg.} = 30.52 \text{ Kg.}$$

Tenemos entonces que el peso de la estructura de la base del brazo robótico es de 30.52 Kg.

Hemos utilizado las mismas fórmulas para el resto de la estructura y nos arroja un peso de la siguiente manera:

Peso de la segunda articulación de 500mm de longitud entre sus centros de ejes de 36.81 Kg.

Peso de la tercera articulación de 455mm de longitud entre sus centros de ejes de 28.52 Kg.

Peso de la cuarta articulación (Muñeca) es de 6.90 Kg.

Entonces sumando el peso de todas las articulaciones, la estructura total del Brazo robótico tendrá un peso de 102.81 Kg. A esto falta sumarle el peso de los actuadores de 4.3 Kg. x 3 (peso de cada servomotor según el documento PDF de Schneider), rodamientos de 555 gr x 8 (rodamiento 32306 J2/Q según tabla N°4 de rodamientos SKF) y engranajes, elementos eléctricos, electrónicos, pernería para el ensamble con un peso aproximado de 4 kg.

Por lo tanto el peso total del brazo robótico con todos sus elementos es de aproximadamente 127.15 Kg.

Lo que nos permite comparar el equipo en mención con el peso del STAUBLIRX 90 según tabla N°2 de 120 kilos de peso y 6 kilos de carga útil.

### **3.1.2 Análisis de esfuerzos.**

Para analizar los esfuerzos del brazo robótico se ha utilizado la metodología de análisis por elementos finitos (FEA) denominado así por sus siglas en inglés, la cual consiste en una técnica numérica de simulación por computador utilizado en ingeniería (FEM) con la que se ha definido el momento de esfuerzos existentes en:

#### **3.1.2.1 Teoría de Morhr modificada.**

El equipo en circunstancias normales de trabajo, por esta razón utilizaremos la teoría de "Morhr Modificada" con la que analizaremos los estados de esfuerzo de las articulaciones y potenciales fallas del brazo robot. Lograr estos estudios en el momento de los esfuerzos y posibles fallas mediante el FEA permitió determinar los tres esfuerzos normales además de los esfuerzos cortantes, en cada articulación del brazo mecánico desarrollado

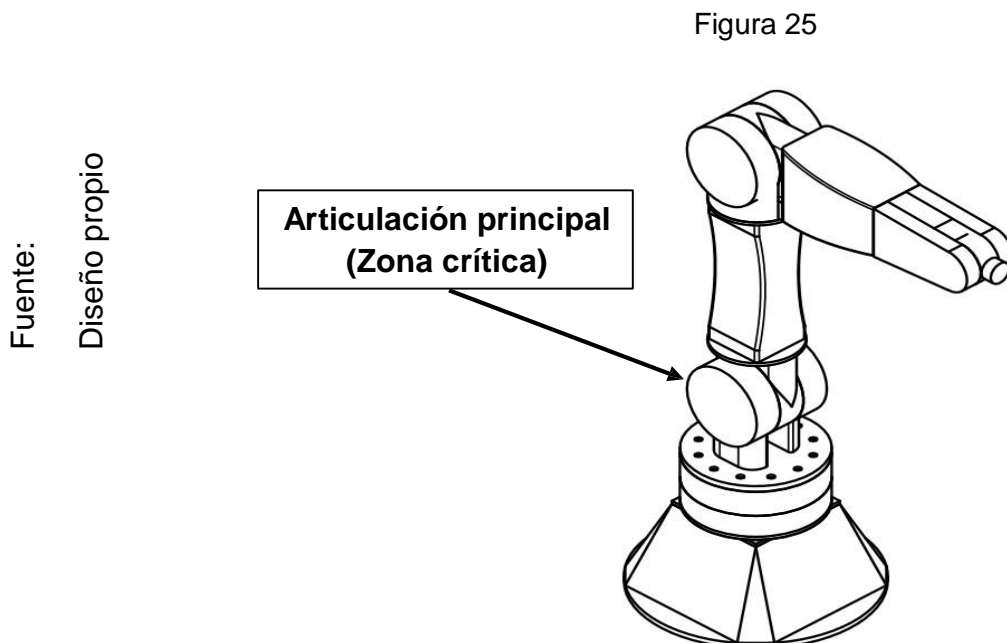
**Esfuerzos normales:**

$$\sigma \quad \sigma \quad \sigma$$

**Esfuerzos cortantes:**

$$\tau \quad \tau \quad \tau$$

Se puede observar la zona más crítica del brazo en la figura 25



### 3.1.2.2. Movimientos angulares.

Según se observa en la figura 25, nos damos cuenta que la zona que realiza el mayor esfuerzo es la zona crítica donde se sujetan las demás articulaciones las que permiten los movimientos angulares, por ende a partir desde este punto se realiza el cálculo de los esfuerzos principales  $\sigma$  y el esfuerzo cortante  $\tau$  en la ecuación:



Ecuación 1

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ecuación 2

Ecuación 3

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \tau_{\max}; \quad \sigma_2 = 0; \quad \sigma_3 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \tau_{\max}$$

Se podrá emplear la mencionada teoría, no sin antes haber utilizado las formulaciones para calcular el esfuerzo efectivo desarrolladas en las ecuaciones 3 y 4, las cuales permiten comparar los esfuerzos  $\sigma_i$  aplicados respecto a los esfuerzos normales, de tal manera que los primeros se consiguen a partir de la ecuación 4 que a continuación se observa:

Ecuación 4

$$C_1 = \frac{1}{2} \left( |\sigma_1 - \sigma_2| + \frac{S_{Uc} + 2S_{Ut}}{S_{Uc}} (\sigma_1 + \sigma_2) \right)$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left( |\sigma_2 - \sigma_3| + \frac{S_{Uc} + 2S_{Ut}}{S_{Uc}} (\sigma_2 + \sigma_3) \right)$$

$$C_3 = \frac{1}{2} \left( |\sigma_3 - \sigma_1| + \frac{S_{Uc} + 2S_{Ut}}{S_{Uc}} (\sigma_1 + \sigma_3) \right)$$

De donde:

$\sigma_i$  = Esfuerzo principal       $S_{Ut}$  = Esfuerzo de resistencia ultima a la tracción

$\sigma_{ex}$  = Esfuerzo máximo       $S_{Uc}$  = Esfuerzo de resistencia ultima a la

compresión       $\sigma_i$  = Esfuerzos

### 3.1.2.3. Zona de esfuerzo crítico.

El mayor valor de la comparación entre los tres esfuerzos aplicados más los tres esfuerzos principales, permite definir el esfuerzo efectivo aplicado sobre la zona crítica del robot, así lo demuestra la ecuación 5.

Ecuación 5

$$\tilde{\sigma} = \begin{cases} \text{MAX}(C_1, C_2, C_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); & \text{MAX} \geq 0 \\ 0; & \text{MAX} < 0 \end{cases}$$

Este esfuerzo efectivo de Mohr modificado, lo podemos comparar con la resistencia máxima a tensión del acero estructural A36 de alta resistencia mecánica, con la finalidad de hallar el factor de seguridad N.

Ecuación 6

$$N = \frac{S_{Ut}}{\tilde{\sigma}}$$

Ya que con los datos obtenidos se está determinando el diseño y fabricación de un brazo robótico de carga útil de 6 kg, el factor de seguridad presente en la articulación rotacional principal (zona crítica) es suficiente e indica que el modelo teórico representa el sistema manipulador con precisión

### 3.1.2.1. Determinar los grados de libertad.

Cuando se desea robotizar cierto proceso de manufactura, Se tiene que tener en cuenta el área de trabajo además de las características geométricas, cinemáticas dinámicas, tipos de movimiento, modo de programación y la forma como se va a accionar el equipo.

### 3.1.2.2. Área de trabajo.

Conocer el área de trabajo será un punto muy importante para determinar los movimientos de las articulaciones y el desempeño sin problemas de los 6 grados de libertad del brazo robótico a diseñar en sus diferentes combinaciones de movimiento en sus articulaciones.

### 3.1.2.3. Distintas combinaciones de Articulaciones en un brazo robótico.

.Al realizar distintos movimientos y utilizar distintas combinaciones en los eslabones de un robot, se tiene por resultado diferentes configuraciones, de ciertas particularidades ya sea en el diseño en la construcción del equipo y de la misma manera al momento de su operación. Una cadena cinemática, es una serie de eslabones o barras unidas por articulaciones. La estructura mecánica de un robot manipulador constituye una cadena cinemática. Cuando en una cadena cinemática se puede llegar desde cualquier eslabón a cualquier otro mediante al menos dos caminos, se dice que se trata de una cadena cinemática cerrada. En caso de que solo haya un camino posible se dirá que se trata de una cadena cinemática abierta.

El número de grados de libertad de una cadena cinemática puede ser obtenido mediante la fórmula de Grübler, según la cual:

$$NG = (Y * n - f)$$

Donde:

**Y:** GDL del espacio de trabajo (Típicamente tres en el plano, seis en el espacio)

**n:** Número de eslabones (debe incluirse el eslabón fijo o base).

**f1:** Número de pares de 1 gdl.

Los robots manipuladores son, en la mayor parte de los casos, cadenas cinemáticas abiertas con las articulaciones de tipo rotación o prismática (con un solo GDL cada una), siendo por lo general sencillo encontrar el número de grados de libertad del robot, pues coincide con el número de articulaciones de que se compone.

No obstante, en los robots con cadena cinemática cerrada, que pueden usar otro tipo de articulaciones, como las esféricas, es preciso evaluar con mayor rigor el número de GDL. El empleo de diferentes combinaciones de articulaciones en un robot da lugar a diferentes configuraciones, con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación.

Los robots con cadena cinemática cerrada y en particular los robots denominados de «estructura paralela», son menos frecuentes, si bien en los últimos años, algunos fabricantes de robots ofrecen productos con esta característica. Su composición cinemática origina que el estudio de su modelado y control se aborde habitualmente de manera independiente a la de los robots de cadena abierta.

La mayor parte de los robots manipuladores actuales, responden a la estructura angular, también conocida como «articular», representando aproximadamente el 145%, seguidos de los de estructura Cartesiana y SCARA. Los robots de estructura esférica y cilíndrica, más frecuentes en los orígenes de la robótica, están en la actualidad, prácticamente en desuso.

#### **3.1.2.4. Cinemática en los grados de libertad de un brazo robot.**

Se debe tener en cuenta en la cinemática en los movientes que describen las articulaciones la dinámica que genera la distancia de la estructura de sus articulaciones al momento de su operación.

Como ya se conoce en el área de trabajo será un punto muy importante para determinar los movimientos de las articulaciones y el desempeño sin problemas del brazo robótico a diseñar en sus diferentes combinaciones de movimiento. En un robot de seis grados de libertad rotacional, las primeras tres barras son las que aportan la mayor dinámica debido a su peso. A menudo es posible localizar los primeros tres accionamientos de potencia en la base del robot, pero para lograr esto se debe ser cuidadoso en el uso de mecanismos de cuatro barras que mueven el brazo más alejado (robot ABB IRB2400). □ En un robot de seis grados de libertad, las tres primeras articulaciones del robot deben dar las condiciones de posición y las tres últimas articulaciones del extremo del robot deben concentrar en un punto de la mano, los tres grados de libertad de orientación.

En esta práctica se van a presentar las herramientas necesarias para resolver los dos problemas fundamentales en el estudio de la cinemática del robot. El primero de ellos, consiste en determinar la posición y orientación del extremo final de la cadena cinemática conocidos los valores de las coordenadas articulares y las características geométricas del robot, y es conocido como

problema cinemático directo. La solución del problema inverso permite hallar las variables articulares conocida la posición y orientación del extremo de la cadena cinemática. Para la resolución de estos problemas se utiliza la representación de Denavit-Hartenberg y las matrices de transformación homogénea.

### 3.1.3.5. Cinemática directa del brazo de un robot manipulador.

Las técnicas que se estudian aquí, se aplican a un manipulador mecánico de cadena abierta y tratan el estudio analítico y el modelado de la geometría del movimiento de un robot con respecto a un sistema de referencia fijo como una función del tiempo sin considerar la dinámica.

El problema cinemático directo

El problema cinemático directo se plantea en términos de encontrar una matriz de transformación que relaciona el sistema de coordenadas ligado al cuerpo en movimiento respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia. Para lograr esta representación se usan las matrices de transformación homogénea 4x4, la cual incluye las operaciones de traslación y la orientación.

La matriz de transformación homogénea es una matriz de 4x4 que transforma un vector expresado en coordenadas homogéneas desde un sistema de coordenadas hasta otro sistema de coordenadas. Para una descripción más amplia acerca de las bases algebraicas de las transformaciones homogéneas se recomienda estudiar la referencia.

La matriz de transformación homogénea tiene la siguiente estructura:

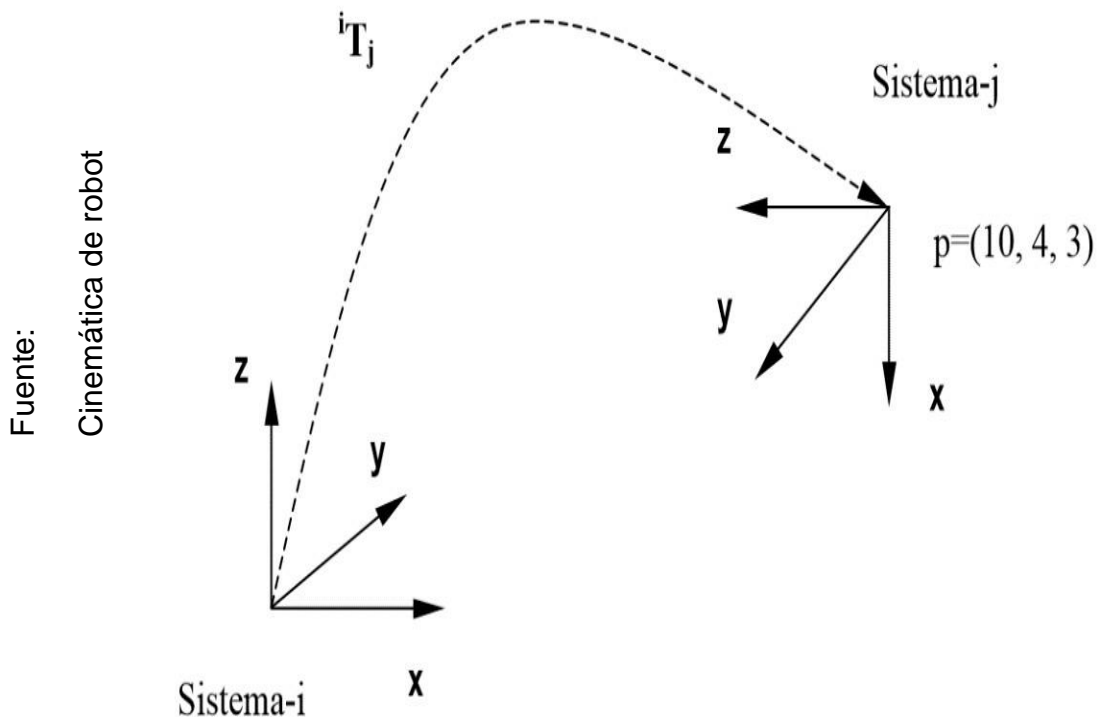
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \text{matriz de rotación} & \text{vector de posición} \\ \mathbf{f}_{1 \times 3} & \text{escalado} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_x & \mathbf{s}_x & \mathbf{a}_x & \mathbf{p}_x \\ \mathbf{n}_y & \mathbf{s}_y & \mathbf{a}_y & \mathbf{p}_y \\ \mathbf{n}_z & \mathbf{s}_z & \mathbf{a}_z & \mathbf{p}_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{s} & \mathbf{a} & \mathbf{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde los vectores  $n$ ,  $s$ ,  $a$ , son vectores ortogonales unitarios y  $p$  es un vector que describe la posición  $x$ ,  $y$ ,  $z$  del origen del sistema actual respecto del sistema de referencia.

Para entender las propiedades de la matriz de transformación homogénea nos fijamos en el siguiente gráfico.

Figura 28



Interpretación geométrica de la matriz de transformación

$${}^i\mathbf{T}_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 10 \\ 0 & -1 & 0 & 4 \\ -1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Al analizar las columnas de la submatriz de rotación de la matriz de transformación homogénea  $iT_j$ , un observador localizado en el origen de sistema  $i$  puede ver cómo están orientados los ejes  $x, y, z$  del sistema  $j$ , además también observa como se ha desplazado en coordenadas cartesianas el origen del sistema  $j$  respecto del origen del sistema de referencia con la información del vector de posición.

### 3.1.3.6. Rotaciones con respecto a los ejes X, Y y Z.

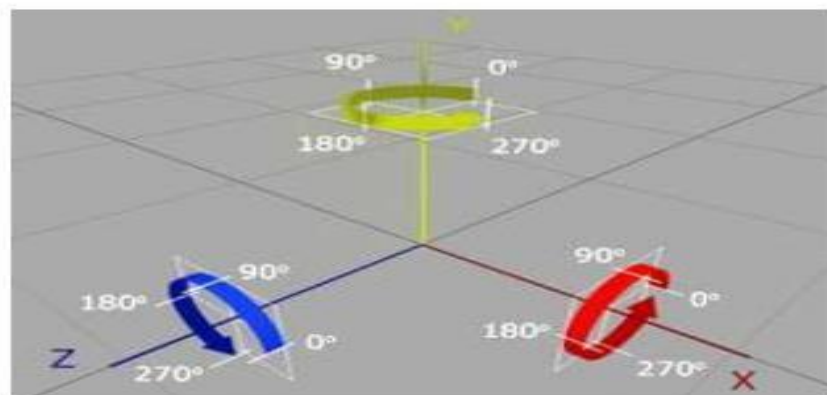
Los movimientos rotacionales que se pueden realizar en tres dimensiones son tres:

Rotación OX

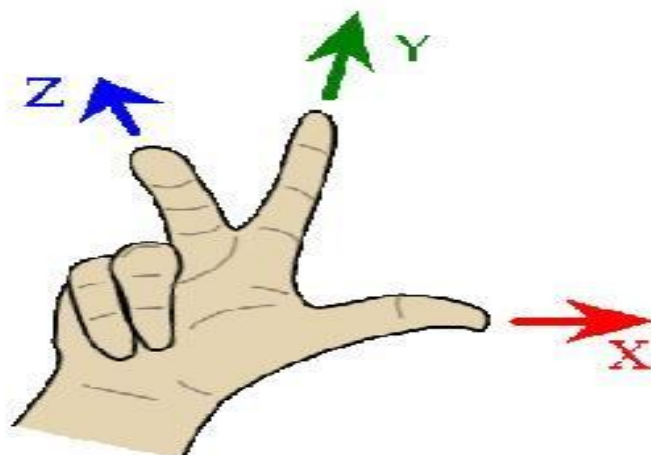
Rotación OY

Rotación OZ

Figura 29



Fuente: Modelación Cinemática de Robots

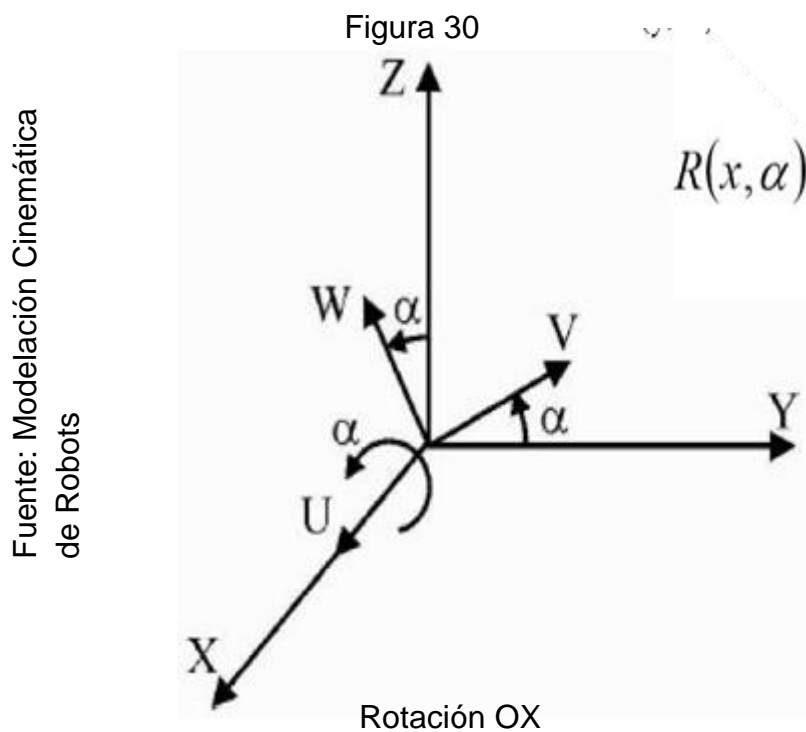


Movimientos en tres dimensiones

### 3.1.3.6.1. Rotación OX.

Con respecto al eje de giro X esta rotación toma como eje de giro al eje OX, por lo tanto la matriz de rotación  $R(x, \alpha)$  es:

$$R(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$



### 3.1.3.6.2. Rotación OY.

Con respecto al eje Y esta rotación se realiza tomando como eje de giro al eje OY, por esa razón la matriz de rotación  $R(y, \phi)$  es:

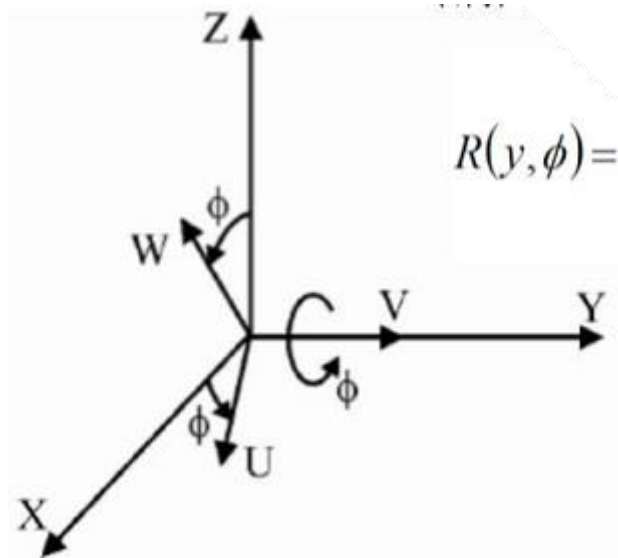
$$R(y, \phi) = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & 0 & \sin(\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\phi) & 0 & \cos(\phi) \end{bmatrix}$$



$$-\langle \mathbf{r} | \mathbf{r} \rangle(\phi) \quad 0 \quad \langle \mathbf{r} | \mathbf{r} \rangle(\phi)$$

Fuente: Modelación Cinemática de Robots

Figura 31



Rotación OY

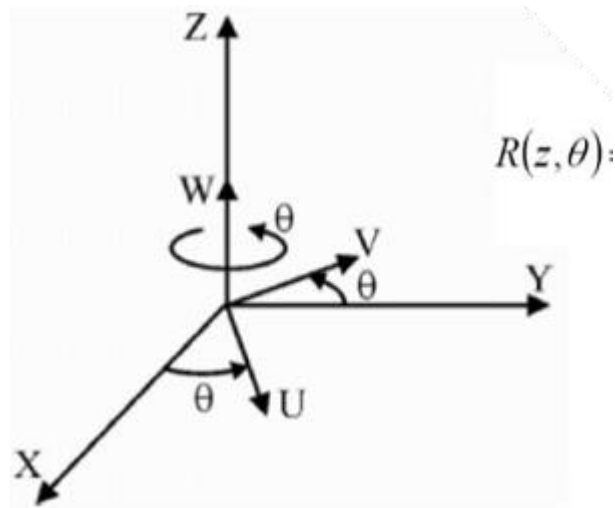
3.1.3.6.3. Rotación OZ.

La cual se da con respecto al eje Z esta rotación es realizada tomando como eje de giro al eje OZ por la cual la matriz de rotación  $R(z, \theta)$  es:

$$R(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 32

Fuente: Modelación Cinemática de Robots



Rotación OZ

Aplicando movimientos rotacionales en el brazo robótico tenemos:

Para la rotación OX.

Tenemos el punto Puvw= (1, 2,3) con respecto a un movimiento rotatorio de 90° con respecto al eje OX, encontremos el punto Pxyz en el sistema fijo. Tenemos entonces:

$$\text{Resolviendo } \vec{p}_{xyz} = R(x, 90^\circ) \vec{p}_{uvw} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -3 \\ 0 & 1 & 0 & 3 & 2 \end{bmatrix} [2] = [-3]$$

Los puntos encontrados son 1, -3, 2.

Para la rotación OY.

Tenemos el punto Puvw= (1, 1,2) con respecto a un movimiento rotatorio de 90° con respecto al eje OY, encontremos el punto Pxyz en el sistema fijo. Tenemos entonces:

$$\text{Resolviendo } \vec{p}_{xyz} = R(y, 90^\circ) \vec{p}_{uvw} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} [1] = [1]$$

$$-1 \quad 0 \quad 0 \quad 2 \quad -1$$

Los puntos encontrados son 2, 1, -1.

Para la rotación OZ

Tenemos el punto Puvw= (4, 6, 5) con respecto a un movimiento rotatorio de 90° con respecto al eje OX, encontremos el punto Pxyz en el sistema fijo. Tenemos entonces:

$$\text{Resolviendo } \vec{p}_{xyz} = R(z, 90^\circ) \vec{p}_{uvw} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 4 & -6 \\ 1 & 0 & 0 & 6 & -4 \\ 0 & 0 & 1 & 5 & 5 \end{bmatrix} [6] = [-4]$$

Los puntos encontrados son -6, -4, 5.

Como podemos ver aplicando matrices para cualquier punto  $P_{uvw}$ , podemos hallar el punto de rotación  $P_{xyz}$  dependiendo el movimiento y la posición requeridos.

### 3.1.3.7. Coordenadas Cartesianas.

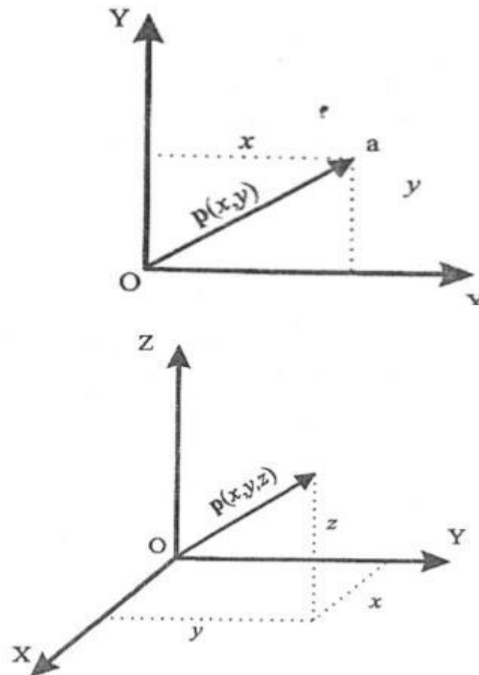
Este se aplica a un sistema coordenado OXYZ.

Las expresiones serán  $(X, Y, Z)$  en cualquier punto **a**.

Este punto **a** tiene asociado a un vector **p**  $(X, Y, Z)$ .

Fuente: Modelación Cinemática de Robots

Figura 33



Coordenadas Cartesianas.

#### 3.1.3.7.1. Coordenadas cilíndricas

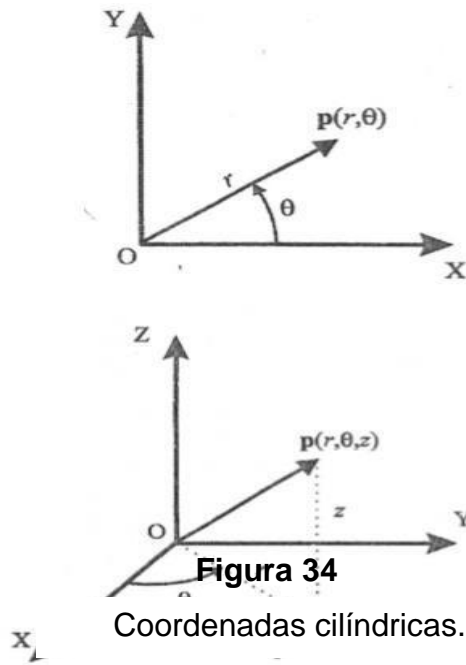
Este se desarrolla en un sistema coordenado OXYZ

Se utilizan coordenadas polares  $(r, z)$ .

$r$  es la distancia del origen O al extremo del vector **p**

$\theta$  es el ángulo que forma el vector **p** con el eje OX.

$z$  representa la proyección OZ



### 3.1.3.7.2. Coordenadas Esféricas

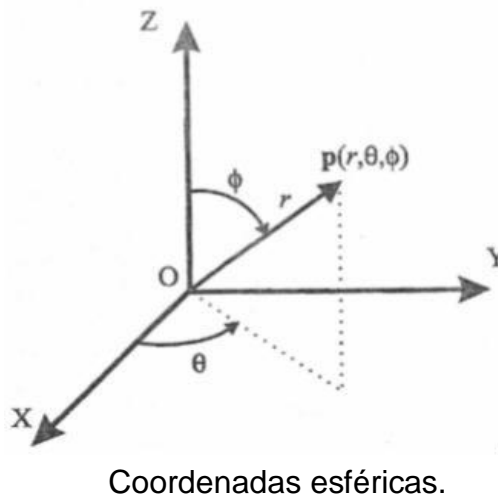
Tenemos que del punto **a**, el extremo es el vector **p(r)**.

La distancia del punto de origen hasta el extremo p es **R**.

El ángulo que se forma por la proyección del vector p es  $\theta$  sobre el plano = XY

El ángulo que se forma es  $\phi$  del vector p con el eje OZ.

**Figura 35**



Al aplicar estas ecuaciones para determinar una posición de coordenadas cartesianas en el brazo robótico en la cual encontraremos sus coordenadas cilíndricas y esféricas tomando como coordenadas x,y,z (2, 5, 5) encontraremos los valores de r , z y el ángulo  $\Theta$ .

Así tenemos:

Coordenadas cilíndricas:

Ecuación

Tenemos:  $r = \sqrt{2^2 + 5^2} \quad r = \sqrt{2^2 + 5^2} \quad r = 5.385$

$$\Theta = \tan^{-1} \left( \frac{5}{2} \right) = \Theta = \tan^{-1} \left( \frac{5}{2} \right) = 68.1^\circ$$

$$z = z = 5$$

Coordenadas esféricas:

Ecuación

$$r = \sqrt{2^2 + 5^2 + 5^2} = r = \sqrt{2^2 + 5^2 + 5^2} = 7.348$$

$$\Theta = \tan^{-1} \left( \frac{5}{2} \right) = \Theta = \tan^{-1} \left( \frac{5}{2} \right) = 68.1^\circ$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{5}{5.385} \right) = \phi = \tan^{-1} \left( \frac{5}{5.385} \right) = 21.7^\circ$$

### 3.1.3. Determinar los elementos mecánicos que harán posible los movimientos de las articulaciones.

Los elementos mecánicos que se emplearan en las articulaciones tienen una función muy importante pues gracias a ellos los movimientos serán posibles, para esto es necesario utilizar elementos mecánicos de los que existe un sin número de elementos para todas las necesidades que se dan en la industria en general , elementos que ya se conocen y se pueden encontrar en el mercado con medidas estándares en longitudes y para cada tipo de esfuerzo mecánico que

se necesite, por ello para nuestro brazo robot solo nombraremos a los que principalmente utilizaremos como son, rodamientos, pernos y tuercas de diferentes medidas, engranajes( Engranajes cónicos ,sin fin y corona).

### **3.1.3.1 Rodamientos.**

Como ya se ha mencionado en el punto **1.3.9** Los rodamientos son elemento de máquina de rotación inventado por el ingeniero, inventor y empresario sueco SUEN GUSTAF WINGGVIS. Los rodamientos permiten el movimiento rotacional de ciertos mecanismos a velocidades de hasta 5000 rpm para que esto sea posible son fabricados con la más alta tecnología en metalurgia, diseño, calidad y precisión respetando los más estrictos estándares internacionales. El tipo de rodamiento que utilizaremos para nuestro equipo será el rodamiento de rodillos cónicos.

#### **3.1.3.1.1. Rodamiento de rodillos cónicos.**

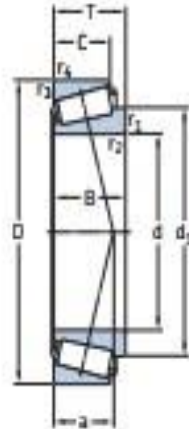
Estos rodamientos tienen la característica de que en su estructura interna de soporte de esfuerzo tiene un guía de rotación de forma cónica en donde se apoyan las esferas de acero que también tienen forma cónica para realizar la función de rodadura. Son apropiados para aplicaciones que deben soportar pesadas cargas axiales. Además, son insensibles a los choques, son fuertes y requieren poco espacio axial. Son rodamientos de una sola dirección y solamente pueden aceptar cargas axiales en una dirección. Su uso principal es en aplicaciones donde la capacidad de carga de los rodamientos de bolas de empuje es inadecuada. Tienen diversos usos industriales, y su extracción es segura.

En este caso, en nuestro brazo utilizaremos rodamientos cónicos 32306 J2/Q en las articulaciones-

En cada articulación se utilizaran dos rodamientos uno inferior y uno superior y el rodamiento a utilizar será según la tabla de rodamientos que especifica las propiedades más adecuadas a los esfuerzos que originaran la acción en el momento de su operación como se ve en la tabla de rodamientos SKF (Tabla N° 3).



Tabla N° 4



Fuente: Rodamientos SKF

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_L$	Velocidades nominales		Masa	Designación	Series de dimensiones para la normativa ISO 355 (ABMA)
d	D	T	C	$C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	-
15	42	14,25	22,4	20	2,08	13 000	18 000	0,094	30302 J2	2FB
17	40	13,25	19	18,6	1,83	13 000	18 000	0,079	30203 J2	20B
	47	15,25	28,1	25	2,7	12 000	16 000	0,13	30303 J2	2FB
	47	20,25	34,7	33,5	3,65	11 000	16 000	0,17	32303 J2/Q	2FD
20	42	15	24,2	27	2,65	12 000	16 000	0,098	32004 X/Q	3CC
	47	15,25	27,5	28	3	11 000	15 000	0,12	30204 J2/Q	20B
	52	16,25	34,1	32,5	3,55	11 000	14 000	0,17	30304 J2/Q	2FB
	52	22,25	44	45,5	5	10 000	14 000	0,23	32304 J2/Q	2FD
22	44	15	25,1	29	2,85	11 000	15 000	0,1	320/22 X	3CC
25	47	15	27	32,5	3,25	11 000	14 000	0,11	32005 X/Q	4CC
	52	16,25	30,8	33,5	3,45	10 000	13 000	0,15	30205 J2/Q	3CC
	52	19,25	35,8	44	4,65	9 500	13 000	0,19	32205 BJ2/Q	50C
	52	22	47,3	56	6	9 000	13 000	0,22	32205/Q	2CE
	62	18,25	44,6	43	4,75	9 000	12 000	0,26	30305 J2/Q	2FB
28	62	18,25	38	40	4,4	7 500	11 000	0,27	31305 J2	7FB
	62	25,25	60,5	63	7,1	8 000	12 000	0,36	32305 J2	2FD
	52	16	31,9	38	4	9 500	13 000	0,14	320/28 X/Q	4CC
30	58	17,25	38	41,5	4,4	9 000	12 000	0,2	302/28 J2	30C
	58	20,25	41,8	50	5,5	8 500	12 000	0,25	322/28 BJ2/Q	50D
	55	17	35,8	44	4,55	9 000	12 000	0,17	32006 X/Q	4CC
32	62	17,25	40,2	44	4,8	8 500	11 000	0,23	30206 J2/Q	30B
	62	21,25	49,5	58,5	6,55	8 000	11 000	0,3	32206 BJ2/DCL7CVA606	50C
	62	21,25	50,1	57	6,3	8 500	11 000	0,29	32206 J2/Q	30C
	62	25	64,4	76,5	8,5	7 500	11 000	0,35	32206/Q	2DE
	72	20,75	56,1	56	6,4	7 500	10 000	0,38	30306 J2/Q	2FB
32	72	20,75	47,3	50	5,7	6 700	9 500	0,39	31306 J2/Q	7FB
	72	28,75	76,5	85	9,65	7 000	10 000	0,55	32306 J2/Q	2FD
32	53	14,5	27	35,5	3,65	9 000	13 000	0,11	L 26749 F/710	[L 26700]
	58	17	36,9	46,5	4,8	8 500	11 000	0,19	320/32 X/Q	4CC

Como el rodamiento a utilizar será el rodamiento cónico de código 32306 J2/Q, en la tabla N°5 detallamos sus características.

Tabla N°5

Fuente: Rodamientos SKF

<b>Fabricante</b>	<b>SKF</b>
<b>Diámetro interior</b>	<b>30mm</b>
<b>Diámetro exterior</b>	<b>72mm</b>
<b>Altura total</b>	<b>28mm</b>
<b>Peso</b>	<b>0.555 Kg.</b>

Rodamiento cónico 32306 J2/Q

### 3.1.3.2. Pernos y tuercas.

Elementos mecánicos de sujeción para unir un elemento con otro, tiene un uso general ya que se utilizan en todos los campos de la industria.

Se pueden encontrar en todos los diámetros y longitudes de acuerdo a la necesidad además también tienen diferentes formas de acuerdo a la forma de sujeción de los elementos pues en muchos casos los pernos deben quedar escondidos ya sea por la forma del mecanismo o por cuestión estética.

Los pernos y tuercas tienen medidas estándar tanto en sus dimensiones como el tipo de hilo de ajuste, cabe señalar que sus medidas y el tipo de hilo de ajuste esta normalizado a nivel internacional y este puede presentarse en pulgadas y en milímetros también se pueden encontrar en diversas calidades de material.

Tabla N° 6

Fuente: Maquinas Cálculos de Taller.

Tamaño de Tornillo	Hilos por Pulgada	Area de Esfuerzo pulg <sup>2</sup>	Resistencia a la Tensión lbf	
			Min	Max
1/2	13 UNC	0.142	8,500	14,190
5/8	11 UNC	0.226	13,550	22,600
3/4	10 UNC	0.334	20,050	33,400
7/8	9 UNC	0.462	27,700	46,200
1	8 UNC	0.606	36,350	60,600
1 1/8	7 UNC	0.763	45,800	76,300
1 1/4	7 UNC	0.969	58,150	96,900
1 3/8	6 UNC	1.155	69,300	115,500
1 1/2	6 UNC	1.405	84,300	140,500
1 3/4	5 UNC	1.908	114,000	190,000
2	4-1/2 UNC	2.500	150,000	250,000

Pernos de diversas dimensiones, cantidad de hilos por pulgada y su resistencia a la tensión.

Como se puede apreciar en el siguiente grafico existen pernos de diferentes medidas, tamaños y formas.

Figura N° 36



### 3.1.4.3. Engranajes.

Como ya se ha mencionado en el punto 1.3.10 sobre el concepto de engranajes Son elementos de máquina que se usan para transmitir movimiento o potencia mecánica de un elemento hacia otro.

Los engranajes están formado por dos ruedas dentadas, a la que tiene mayor tamaño se le denomina corona y piñón a la de menor tamaño, el movimiento que trasmite es de forma circular cuando ambas ruedas hacen contacto entre sí.

Se utilizan mayor mente para transmitir movimientos desde un eje el cual contiene la energía motriz que tomara el nombre de rueda conductora que dará lugar a la generación del movimiento hacia otro eje a cierta distancia este recibirá la energía mecánica por intermedio de la rueda dentada conducida.

La combinación de movimientos por más de un par de engranajes tomara el

nombre de tren de engranajes. Se puede decir que los engranajes son el modo de transmitir movimiento más eficaz a comparación de las transmisiones por poleas ya que estas tienden a patinar originando pérdidas de energía motriz y al perder energía se tiene una ineficiencia en el momento de transmitir movimiento de un eje a otro. Sea según la forma en que se desea transmitir el movimiento se debe tener muy en cuenta el tipo de engranajes que se ha de utilizar de acuerdo a sus características pues unos son más eficientes que otros Pero en particular para generar los movimientos en el brazo robótico se empleara dos tipos de engranaje, los engranajes cónicos rectos y la rueda y tornillo sin fin.

#### **3.1.4.3.1. Engranajes cónicos**

.estos engranajes pueden ser de dientes rectos o helicoidal y se utilizan para cambiar el sentido del movimiento de vertical a horizontal o viceversa o mejor dicho .transmitir potencia entre ejes que se intersectan.

#### **Valores Característicos de los engranajes cónicos**

Z= Número de dientes

m= Módulo medio en mm

P= Paso

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$ = ángulos de paso

$\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$  DIMENSIONES

D= Diámetro

$D_m$ =Diámetro medio

$D_p$ = Diámetro de cabeza

$D_f$ =Diámetro de fondo

$D = m \cdot z$  .  $D = m (z+2)$   $D = m (z-2,5)$

Valores de cálculo para hallar las dimensiones de los engranajes cónicos.  
(Fig.28).

Figura 37

Fuente: Maquinas cálculos de taller

Los **engranajes cónicos** se utilizan para transmitir potencia entre ejes que intersectan, pudiendo ser de dientes rectos o espirales.

Valores Característicos:

- Número de dientes,  $z$
- Módulo,  $m$  medio en mm
- Paso =  $\pi m$
- $\alpha_1 - \alpha_2$ , ángulos de paso.

Ejes perpendiculares:

$\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$

DIMENSIONES:

• Diámetro medio:	$D = m z$
• Diámetro de cabeza:	$D = m (z+2)$
• Diámetro de fondo:	$D = m (z-2,5)$

Valores característicos para calcular engranajes cónicos

### 3.1.5. Determinar la potencia de los Servomotores.

Existen dos tipos de servos: analógicos y digitales. Ambos tipos de servos son iguales a nivel de usuario: tienen la misma estructura (motor DC, engranajes reductores, potenciómetro y placa de control) y se controlan con las mismas señales PWM. La principal diferencia entre ellos radica en la adición de un microprocesador en el circuito de control de los servos digitales. Este microprocesador se encarga de procesar la señal PWM de entrada y de controlar el motor mediante pulsos con una frecuencia 10 veces superior a los servos analógicos.

El aumento en la frecuencia de excitación del motor en los servos digitales permite disminuir su tiempo de respuesta (menor de banda), aumentar su resolución de movimiento y suavizar su aceleración/deceleración. El uso de un microprocesador permite también a los servos digitales programar distintos parámetros de configuración que son fijos en los analógicos: sentido de giro, posición central inicial, topes en el recorrido del servo, velocidad de respuesta del servo y resolución. Para establecer estos parámetros se deben utilizar

aparatos específicos de cada marca. El principal inconveniente de los servos digitales es que consumen más energía que los analógicos al tener que generar más pulsos de control para el motor.

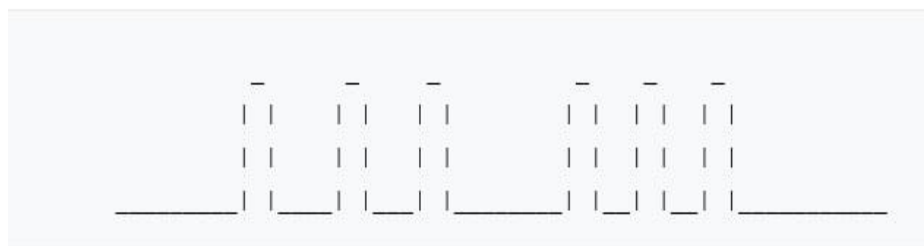
Los servomotores reciben señales en forma de pulsos y el movimiento de estos dependerá del tiempo en que reciban la señal, este tiempo se da en mili segundos por esta razón el servomotor girara en sentido horario, anti horario, o neutral. Aquí una gráfica del ancho de la señal que determina el movimiento del servomotor.

**Figura 38**

Señal de ancho de pulso modulado:



Motor en sentido horario (ejemplo 0,7 ms):



Motor neutral (1,5ms):



Motor en sentido anti horario (ejemplo 1,8ms):



Sentido del movimiento del servomotor dependiendo el tiempo

Recuperado de:  
<https://latam.casadellibro.com/libro-maquinas-electricas>

### **3.2. Diseñar y seleccionar los componentes del brazo robótico.**

Para tener un diseño correcto en la estructura, así como en la elección de los componentes que harán posible la generación de los movimientos, la fácil articulación y manipulación del brazo robótico debemos tener en cuenta los siguientes conceptos:

#### **3.2.1. Estructura mecánica de un brazo robótico**

Un Robot está constituido por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la gran parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, es decir, que poseen ciertas características antropomórficas, por lo que en ocasiones a los distintos elementos que componen el robot se les denomina en términos como cuerpo, brazo, codo muñeca.

Cada articulación provee al robot de al menos un grado de libertad', o bien, cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, se denomina grado de libertad'(GDL). El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro o una combinación de ambos. De este modo son posibles seis tipos diferentes de articulaciones.

#### **Tipos de articulaciones**

Esférica o Rótula (3 GDL)

Plana (2 GDL)

Tornillo (1 GDL)

Prismática (1 GDL)

Rotación (1 GDL)

Cilíndrica (2 GDL)

#### **3.2.2 Diseño de la estructura**

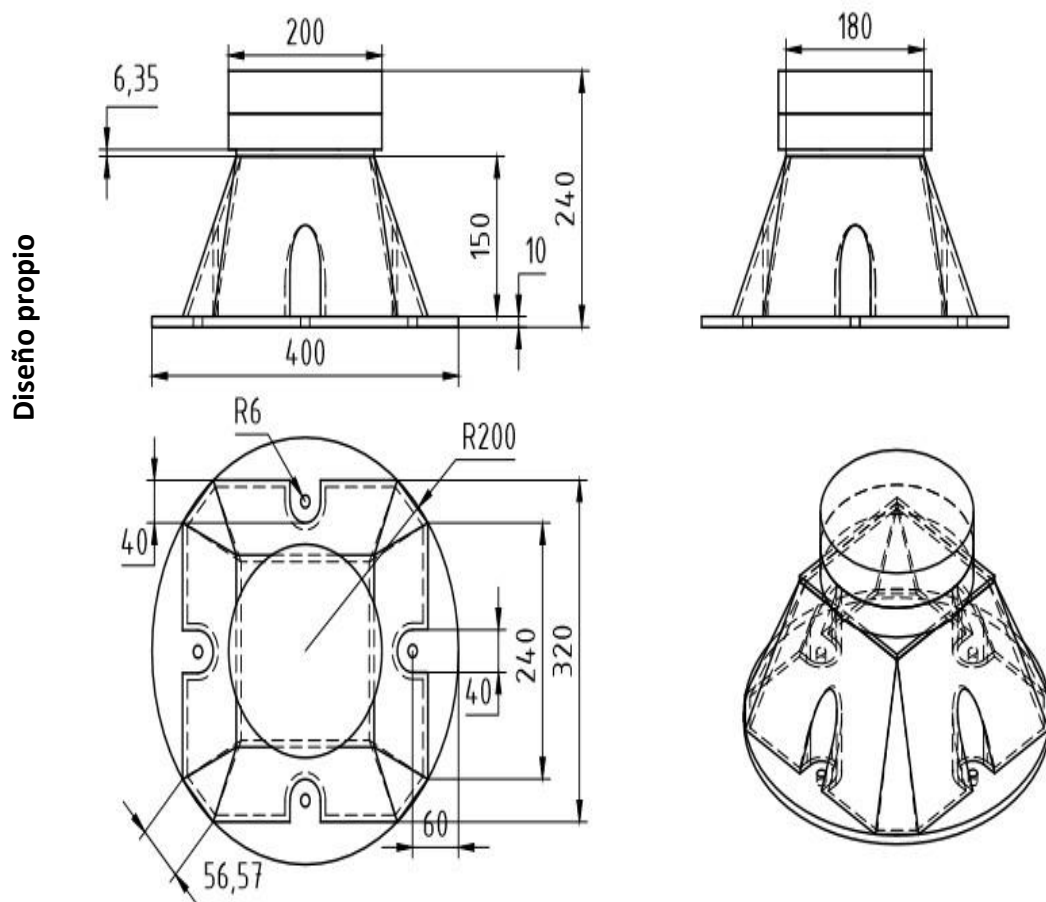
Para el diseño de la estructura el material que se ha tomado en cuenta plancha de acero estructural A36 por sus altas propiedades de resistencia mecánica, el espesor a utilizar es de  $\frac{1}{4}$  " para que la estructura no tenga más del peso necesario pero al mismo tiempo soportara los esfuerzos al que será sometido en

cada articulación

El diseño de la estructura es hueca y de forma geométrica, en el proceso de su construcción se ha cortado planchas con oxicorte de acuerdo a las medidas del diseño y su posterior armado estructural aplicando soldadura de arco empleando electrodos Supercito AWS 7018 de gran resistencia a la plasticidad mecánica que permitirá la adecuada unión de todas las partes de metal que darán lugar a la estructura en su totalidad.

Vista de las medidas de la base del brazo para su fabricación según el diseño

**Figura 39**





### 3.2.3. Diseño de los elementos mecánicos.

Los elementos mecánicos se diseñaran de acuerdo a la determinación que se hizo en los resultados obtenidos de los cálculos de engranajes cónicos y tornillo sin fin y corona, ya que estos elementos mecánicos son las que realizaran la transmisión de movimiento hacia las articulaciones que dará origen a los grados de libertad que tendrá el brazo en mención.

Para el diseño se ha tomado en cuenta este tipo de elementos mecánicos, dado que un robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas, es sumamente importante reducir al máximo su momento de inercia. Del mismo modo, los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia que existen entre las masas y el actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores, que por lo general son pesados, estén lo más cerca posible de la base del robot, y debido a esto que se debe, casi por obligación, utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento hasta las articulaciones, especialmente a las situadas en el extremo del robot. De tal modo, las transmisiones pueden ser utilizadas para convertir movimiento circular en lineal o viceversa, lo que en ocasiones puede ser necesario. Un buen sistema de transmisión debe cumplir una serie de características básicas:

Debe tener un tamaño y peso reducido.

Se ha de evitar que presente juegos u holguras considerables

Se deben buscar transmisiones con gran rendimiento

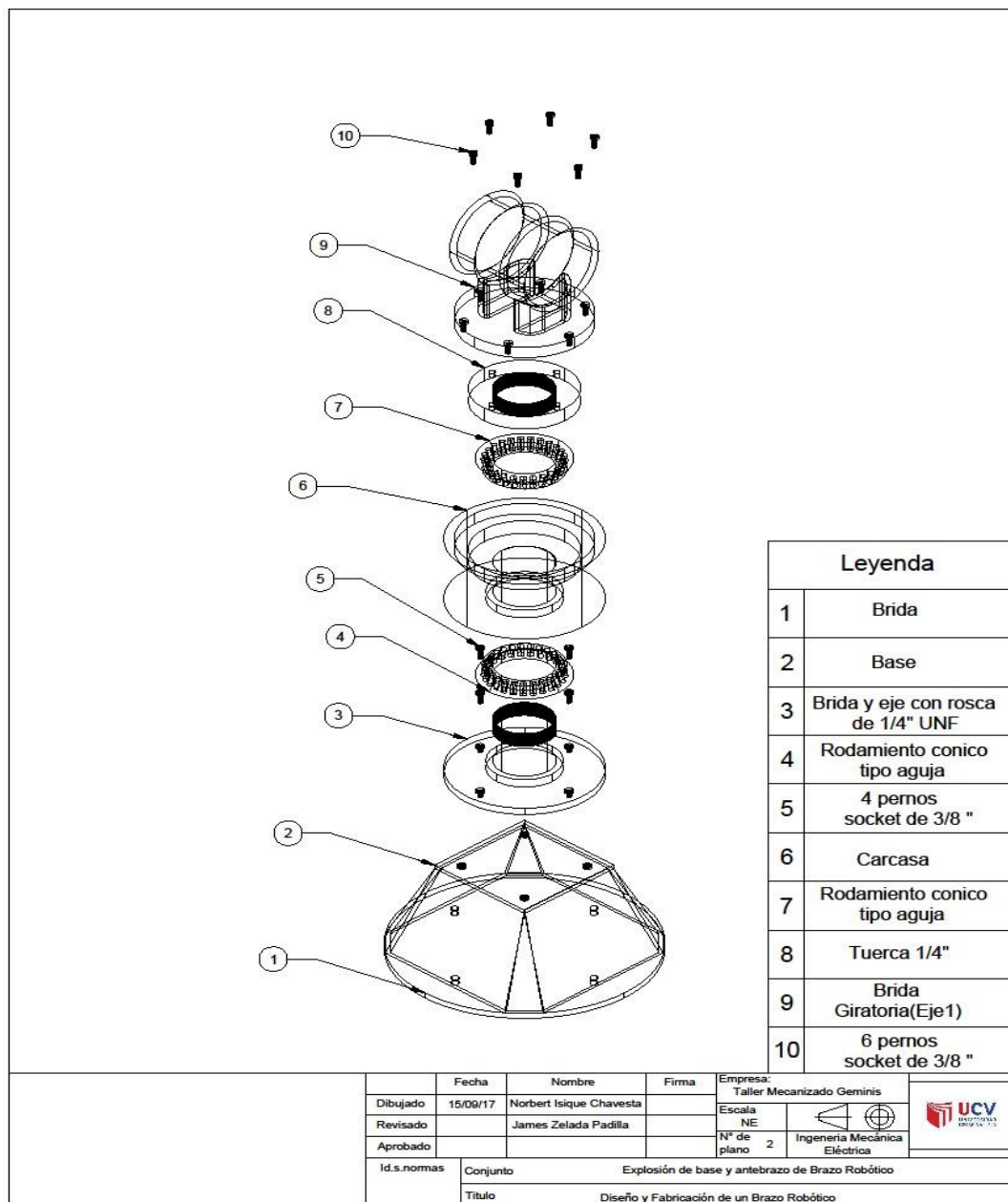
Tabla N° 7

Clasificación de elementos de trasmision			
Entrada - salida	Denominacion	Ventajas	Inconvenientes
Circular - Circular	Engranaje	Pares altos	Holguras
Circular - Lineal	Correa dentada	Distancia grande	Ruido
	Cadena		Giro limitado
	Paralelogramo		Deformabilidad
	Cable		
	Tornillo sin fin	Poca holgura	Rozamiento
Lineal - Circular	Cremallera	Holgura media	Control Dificil
	Paral. Articulado		Rozamiento

Fuente: Maquinas cálculos de taller

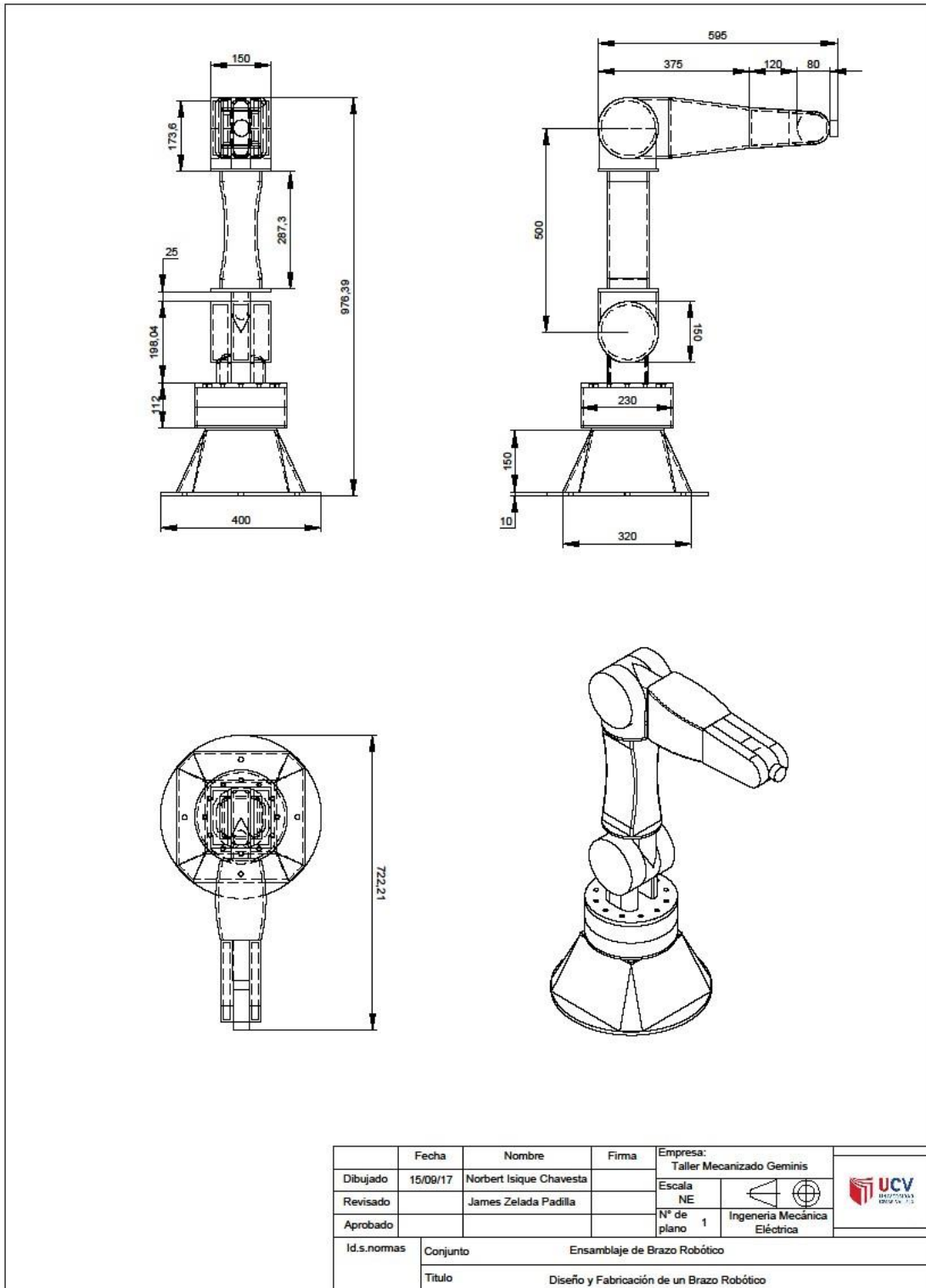
Aquí se muestra el diseño final del brazo robótico, en su dos primeros grados en explosión y en su estructura total con medidas determinadas. Todos los datos que se utilizaron para el diseño y fabricación fueron corroborados al realizar la encuesta con una hoja de preguntas realizada a un profesional experto en el tema (ver anexos).

**Figura 40**



Plano N° Explosión de base y antebrazo.

Figura 41



Ensamblaje de Brazo Robótico.

### **3.3. Fabricación de los elementos mecánicos del brazo robótico.**

#### **3.3.1. Fabricación de la estructura.**

En el área de soldadura se procede a fabricar la estructura de nuestro brazo soldando todas las placas de acero estructural S36 de ½ “pulgada de espesor, mientras que en el área de maquinado se fabrican todos los componentes mecánicos según las medidas de los planos con los otros materiales.

#### **3.3.2. Fabricación de los elementos mecánicos.**

Hay piezas que se maquinan en el Torno (Ejes, bocinas piezas circulares, ejes roscados, pines, poleas volante y otros), hay piezas que se maquinan en la Fresadora universal (Engranajes, rectificadores planos, canales exteriores, piezas geométricas, etc.) otros en el Cepillo de codo (canales interiores, cuñas y chavetas).

Fabricar la estructura y los componentes de la maquina se realiza en un aproximado de dos semanas de trabajo con ocho horas laborales por día.

### **3.4. Instalar los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y el software para su total funcionamiento y su posterior prueba.**

En el área de ensamble hay una zona donde se realiza el pintado de la estructura y todos los componentes mecánicos que lo requieran luego de un tiempo prudencial con pintura base anticorrosiva y luego con pintura de un color característico de la maquina(esto dependerá según el pedido del cliente con respecto al color que desee que se le aplique),luego de un tiempo prudencial de secado se procede a unir todos los componentes tanto mecánicos como eléctricos de acuerdo como se ve en el plano, como es un trabajo repetido en la empresa los técnicos que se encargan de dicho trabajo ya realizan el ensamble sin ninguna dificultad pues conocen muy bien el ensamble de dicha máquina.

Luego de quedar listo el ensamble de todos los componentes mecánicos se procede a el ensamble al montaje de los componentes mecánicos eléctricos, servomotores, los contactares y todos los elementos necesarios distribuidos ordenadamente para que cumplan cada uno su respectivo fin. Este proceso se realiza en aproximadamente seis días de trabajo de ocho horas laborales.

## TIEMPO DE EJECUCIÓN

Tabla N° 8

<b>DIAS</b>	<b>ACTIVIDADES DE ENSAMBLE Y PRUEBA DEL EQUIPO</b>
1	INSTALACIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS (ARTICULACIONES, RODAMIENTOS, ENGRANAJES, ETC.)
2	UBICACIÓN DE SERVOMOTORES (UBICACIÓN EN CADA ARTICULACIÓN)
3	INSTALACIÓN DE TABLERO DE CONTROL (UBICACIÓN DE CANALETAS, RIEL DIN, LLAVES TERMOMAGNETICAS, GUARDAMOTORES)
4	INSTALACIÓN DE TABLERO DE CONTROL (UBICACIÓN DE RIEL DIN DE PLC, PLC 1200, HUB PROFINET, HMI (INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA), BORNERAS)
5	INSTALACIÓN DE SERVOMOTORES HACIA EL TABLERO DE CONTROL
6	VERIFICACIÓN TOTAL DE TODOS LOS COMPONENTES INSTALADOS

Aquí detallamos las actividades que se realizaron durante los días de ensamblaje de todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que fueron necesarios para finalizar el armado total el Brazo robótico y su posterior prueba.

**Día 1:** Se comenzó ensamblar desde la base ubicando los rodamientos, engranajes, ejes, bridas, pernos según en su zona de trabajo en cada equipo hasta llegar el punto final del brazo robótico.

**Día 2:** Se ubicó servomotores en cada articulación, teniendo mucho en cuenta los cables del servomotor.

**Día 3:** Instalación de tablero control: Realizar presentación de cada componente eléctrico.

Ahora se debe taladrar según la presentación de cada componente, se monta las canaletas y el riel DIN, por lo siguiente se remachan las canaletas y el riel DIN.

Ya ubicado, ahora se realiza la instalación de las llaves termo magnético y guarda motores.

**Día 4:** Instalación del riel DIN del PLC, fuente de alimentación de 24v DC y montar PLC. Ubicar Hub Profinet, los Driver de los servomotores y la pantalla HMI (Interfaz Hombre Máquina).

**Día 5:** Realizar conexión de los servomotores hacia sus respectivos drivers.

Realizar conexión de las llaves termo magnéticas, guarda motores, Hub Profinet según en el plano realizado.

**Día 6:** Verificar la conexión de cada componente realizado.

Calibrar cada servomotor según la ubicación del equipo.

### **3.5. Determinar la optimización de los procesos de maquinado y soldadura con la instalación del brazo robótico.**

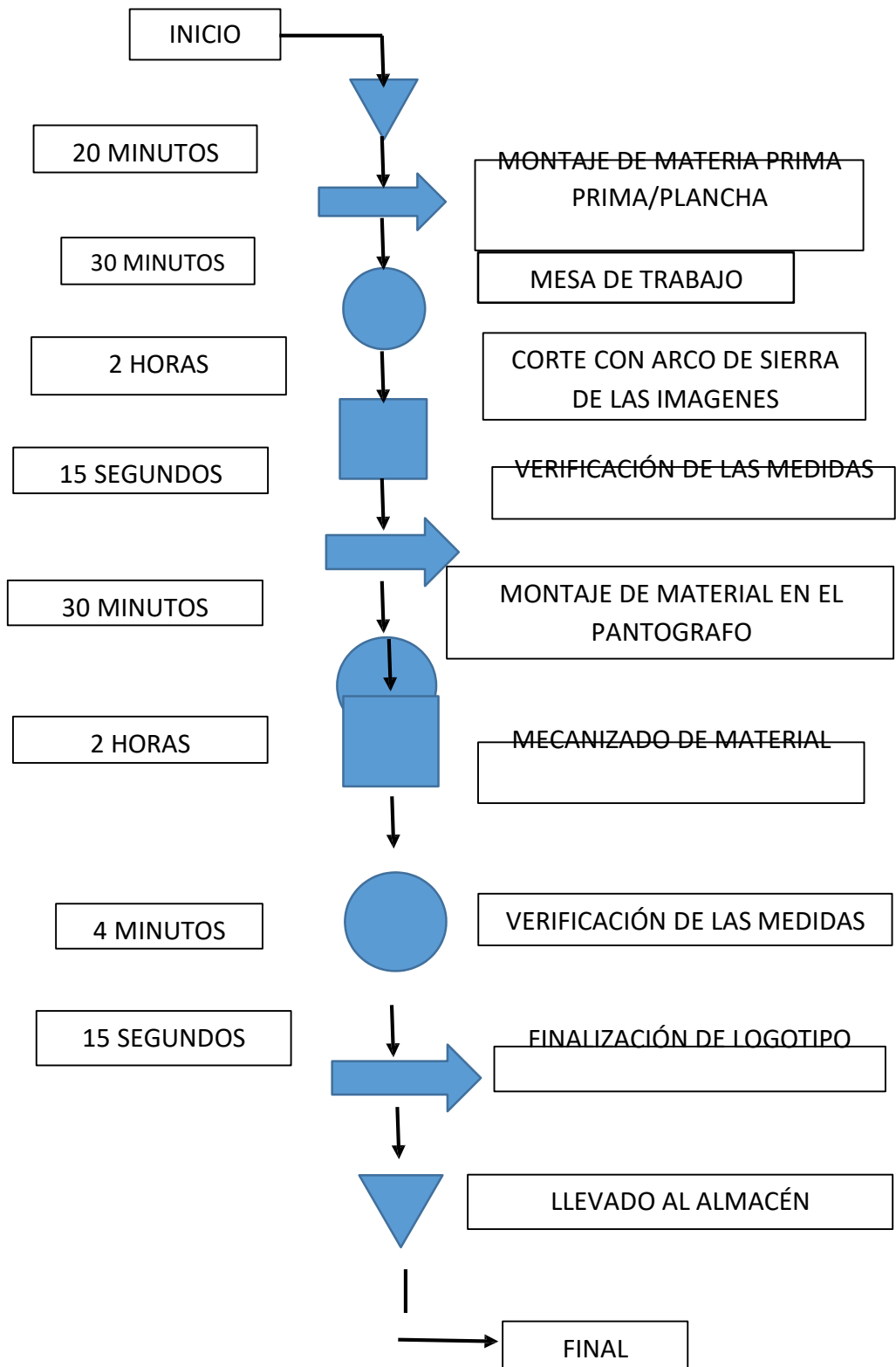
Una vez que queda el ensamble culminado la maquina pasa al área de prueba en donde es sometida a pruebas rigurosas para determinar que cumpla correctamente sus funciones.

Cabe señalar que esta prueba fue en procesos de mecanizado con arranque de viruta, en esta prueba se sometió al brazo robótico en un proceso de fabricación de logotipo con rectificador con herramienta fresa de 1/16 de diámetro y velocidad de maquinado de 800 rpm ,con esta prueba se pudo observar el funcionamiento general del brazo robótico tanto en la funcionalidad de sus elementos mecánicos internos en la realización de los movimientos en sus articulaciones y desplazamientos para poder realizar todas las pruebas mecánicas de funcionamiento.

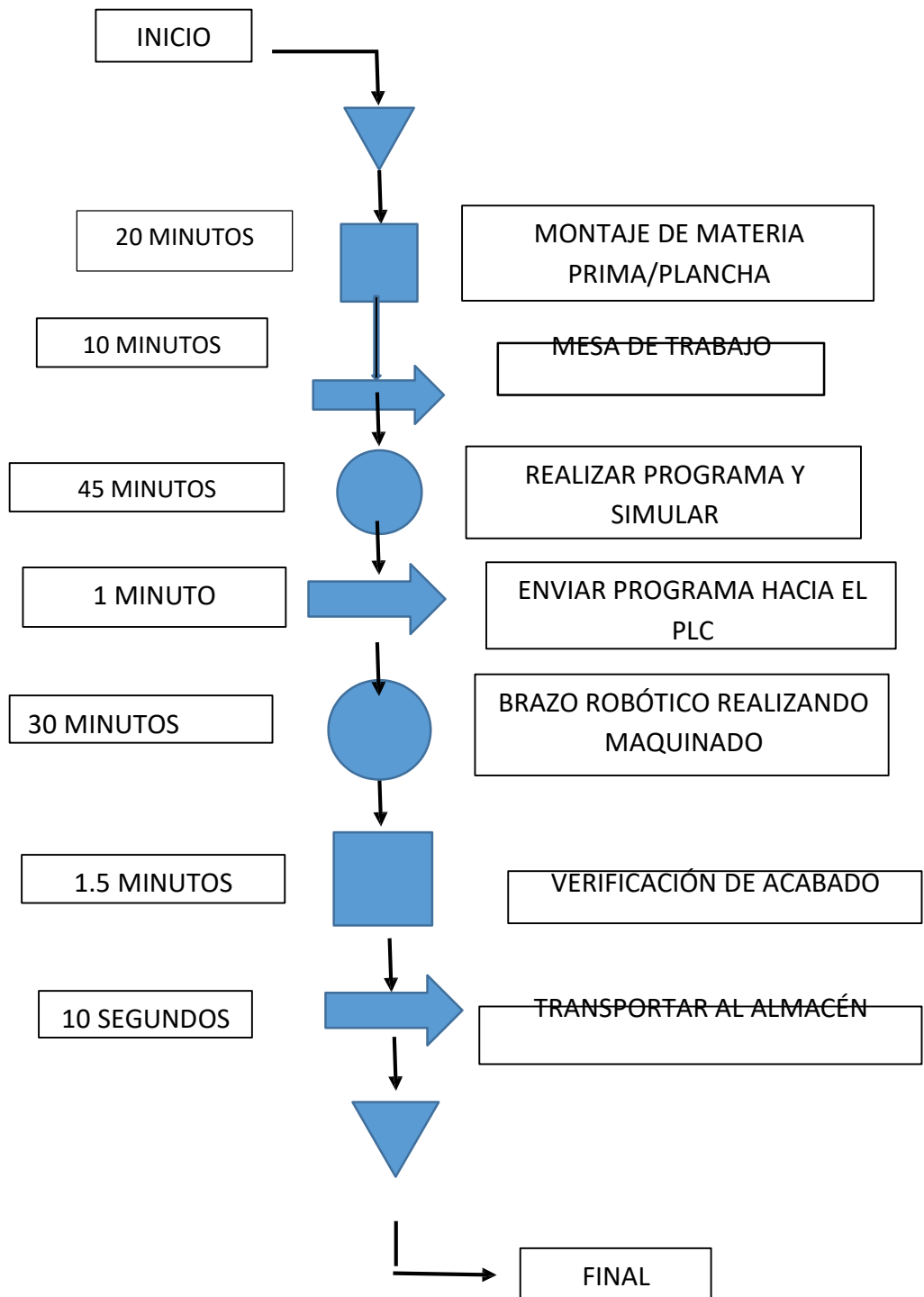
En las pruebas del correcto funcionamiento eléctrico se ve el buen funcionamiento del motor trifásico y sus componentes, comprobando que el consumo de energía sea optimo, tanto en trabajo con carga como sin él.

La empresa presta el servicio de realizar mecanizado de logotipo en pantógrafo mecánico pantógrafo mecánico y este fue el resultado de la optimización del mecanizado con el Brazo Robótico.

## MECANIZADO DE UN LOGOTIPO EN UN PANTOGRAFO MECÁNICO



## MECANIZADO DE UN LOGOTIPO EN UN BRAZO ROBÓTICO





### **3.5.1. Comparación de mecanizado en pantógrafo convencional y mecanizado con el brazo robótico.**

Desde el inicio hasta el final del proceso en una maquina pantógrafo convencional para mecanizado de un logotipo de metal se puede ver que:

El montaje de la materia prima nos toma un tiempo de 20 minutos, el ajuste de los elementos en la mesa de trabajo nos toma otro tiempo de 30 minutos, el corte de las letras con arco de sierra nos toma dos horas, la verificación de las medidas nos toma 15 segundos, el montaje de la pieza a maquinar nos toma 30 minutos, el proceso de mecanizado nos toma 2 horas, la verificación de las medidas nos toma 4 minutos, el desmontaje de la pieza y ser llevado al almacén nos toma 15 segundos por la que tenemos un total de 5 horas, 30 minutos y 30 segundos de tiempo total.

Con el brazo robótico tenemos que el tiempo de montaje es igual a la de la maquina convencional de 20 minutos el ajuste de los elementos en la mesa de trabajo toma un tiempo de 10 minutos, realizar el programa y la simulación nos toma un tiempo de 45 minutos, enviar el programa hacia el PLC nos toma un tiempo de 1 minuto, el proceso de mecanizado toma un tiempo de 30 minutos, la verificación del acabado nos toma un tiempo de 1.5 minutos y 10 segundos el traslado al almacén haciendo un total de 1 hora 31 minutos y 40 segundos.

Como se puede observar el tiempo de ejecución fue en mucho menor tiempo en comparación con el nuevo equipo esto quiere decir que con el nuevo equipo se pueden mecanizar hasta tres piezas con el mismo tiempo que se hace una en la maquina convencional quedándonos aun un tiempo de sobra y con mejor acabado.

Si vemos el tema económico podemos darnos cuenta que el mecanizado de un logotipo en pantógrafo mecánico en el cual hemos efectuado la comparación, el servicio tiene un valor monetario de S/250.00, por lo tanto con el brazo robótico estaremos disminuyendo el tiempo de ejecución del proceso de mecanizado en un 28%, es decir podremos realizar 3.6 logotipos con el brazo robot, lo cual significa

$$3.6 \times S/. 250.00 = S/. 900.00 \text{ de rentabilidad en comparación con los } S/.250.00.$$

### 3.6. Determinar la inversión que conlleva la fabricación del brazo robótico.

#### 3.6.1 Costos directos

Costo de materiales:

##### 3.6.1.1. Costo de materiales para la estructura y elementos mecánicos.

Tabla N° 9

PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	PRECIO TOTAL
PLANCHA DE 1/4" 1.20mx240m	1.5	S/400.00	S/600.00
TORNILLO SIN FIN Y CORONA	2	S/100.00	S/200.00
ENGRANAJE CÓNICO RUEDA	3	S/75.00	S/225.00
ENGRANAJE CÓNICO Y PIÑÓN	3	S/80.00	S/240.00
RODAMIENTO AXIALES	6	S/7.00	S/42.00
PERNOS SOCKET	50	S/0.20	S/10.00
HOJA DE SIERRA	3	S/5.00	S/15.00
DISCO DE CORTE	5	S/4.00	S/20.00
DISCO DE DESBASTE	3	S/5.00	S/15.00
SEGURO SEGGER	6	S/4.00	S/24.00
RETENES DE ACEITE	2	S/15.00	S/30.00
ANILLOS DE PRESIÓN	100	S/0.32	S/3.20
ARANDELAS	100	S/0.25	S/2.50
EJES	3	S/20.00	S/60.00
SOLDADURA CELLOCORD	10 KG	S/12.00	S/120.00
SOLDADURA SUPERCITO	5KG	S/13.00	S/65.00
PINTURA	1 GALÓN	S/85.00	S/85.00
THINER	1 GALÓN	S/15.00	S/15.00
ACEITE DE GRADO 40	1 GALÓN	S/80.00	S/80.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/1,851.70</b>

### 3.6.3. Costo de mano de obra directa

Tabla N°10

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO POR DÍA	DIAS	TOTAL
1	MECÁNICO	1	S/80.00	48	S/3,840.00
2	AYUDANTE MECÁNICO	1	S/50.00	48	S/2,400.00
3	SOLDADOR	1	S/75.00	10	S/750.00
4	AYUDANTE SOLDADOR	1	S/50.00	10	S/500.00
5	TORNERO	1	S/80.00	15	S/1,200.00
6	FRESADOR	1	S/80.00	8	S/640.00
7	PROGRAMADOR	1	S/1,800.00	-	S/1,800.00
8	ELECTRICISTA	1	S/70.00	2	S/140.00
	TOTAL				S/11,270.00

### 3.6.4. Costo de diseño.

Tabla N°11

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO POR DÍA	DIAS	TOTAL
1	DISEÑADOR	1	-	-	S/1,800.00
2	TOTAL				S/1,800.00

### 3.6.5. Resumen total de costos directos

Tabla N°12

COSTOS DE MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA Y ELEMENTO MECÁNICOS	S/1,851.70
COSTOS DE MATERIALES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	S/ 12,395.00
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	S/11,270.00
COSTO DE DISEÑO	S/1,800.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/27,316.70</b>

### 3.6.6. Costo de mano de obra indirecta

Tabla N°13

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO POR DÍA	DIAS	TOTAL
1	INGENIERO	1	S/200.00	2	S/400.00
2	SUPERVISOR	2	S/150.00	8	S/2,400.00
3	TOTAL				S/2,800.00

### 3.6.7. Costo total del proyecto

Tabla N° 14

RESUMEN TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	S/27,316.70
COSTO DE MANO DE INDIRECTA	S/ 2,800.00
TOTAL	S/30,116.70

#### **IV. Discusión.**

Después de haber obtenido los resultados de esta tesis “Diseño y fabricación de brazo robótico para optimizar procesos de maquinado y soldadura en Taller Géminis Chiclayo 2017”, se da por aceptado la hipótesis de solución al problema de la mejora en los procesos de maquinado y soldadura.

En los resultados del primer objetivo se puede observar de cómo según los estudios estadísticos realizados con nuestros instrumentos de recolección de datos se observó un problema el cual necesitaba ser solucionado en Taller de Mecanizados Géminis.

Por ello se procedió a determinar la capacidad de operación de un brazo robótico para uso industrial, en las cuales se hizo comparaciones con los estudios realizados con otros brazos robóticos y nos pudimos dar cuenta que sobre la estructura usada utilizan materiales livianos como el poliuretano, aluminio, madera, que solo nos hace ver de cómo estos trabajos son solo maquetas demostrativas, lo que sí cabe resaltar si hacen un amplio estudio a las leyes de la física y su aplicación.

La capacidad del equipo según la carga útil obtenida nos hizo ver según los datos sobre la resistencia de los materiales y sus comportamientos que el material más adecuado es el acero estructural A36 para estructura total del equipo por su bajo costo y fácil aplicación, Hay que mencionar que los equipos que ya se conocen la estructura está hecha de fundición gris (Fierro Fundido). Además se pudo obtener los datos para todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos a usar en el desarrollo del equipo.

En el diseño se tomó en cuenta todos los resultados obtenidos, tomando en cuenta la capacidad total del equipo, sus esfuerzos, movimientos y la manipulación de herramientas, pero también se tuvo en cuenta la parte estética pues también es un punto que se consideró en su diseño, y el resultado fue un brazo de forma geométrica y con un buen acabado.

En la fabricación de la estructura y lo elementos de maquina nos dimos cuenta de cómo la teoría no se equivoca en los cálculos. Según las propiedades de los materiales el acero A36 sufriría deformaciones al fabricar la estructura aplicando soldadura de arco lo cual así sucedió, pero se previno estos detalles y no ocasionó

problemas en su ensamblaje.

Los elementos de maquina fueron fabricados sin ningún inconveniente gracias a todos los datos obtenidos con el cálculo de engranajes que se obtuvieron en el libro “Maquinas cálculos de Taller”, de A .L. Casillas tanto como para los engranajes cónicos como para el tornillo sin fin y corona, lo que no se tuvo en cuenta fue la dureza que se le daría a estos elementos, las cuales se tuvo que enviar a la ciudad de Lima a la empresa “Boelher” encargada de este tipo de procesos.

Cabe mencionar que los trabajos previos sobre tesis de brazos robóticos de estudiantes de otras universidades la mayoría se realiza para usos netamente pedagógicos y en un mínimo porcentaje para uso industrial. Ciertamente en esto tiene que ver la parte económica pues realizar un equipo de uso industrial requiere de una inversión considerable si se propone fabricarlo como se da en esta tesis. Además que se debe contar con un lugar en donde se cuente con todas las herramientas y materiales disponibles. Taller de Mecanizados Géminis se involucró en esta tesis brindándonos sus instalaciones y lo más importante el apoyo económico para su ejecución.

Al realizar la instalación de los componentes mecánicos eléctricos y electrónicos se tuvo pequeños inconvenientes que fueron solucionados de manera rápida y sin pérdidas de tiempo o rediseño ya que ciertos componentes se obtienen de diferentes diámetros como son el sistema de cableado y que los orificios previstos en el pase de los cables tuvieron que ser maquinados a otra medida, también ciertos componentes tuvieron que ser sustituidos por otros de la misma capacidad pues no eran muy comerciales y por lo tanto no eran fácil de adquirir.

En los resultados obtenidos en el quinto objetivo sobre determinar la optimización de los procesos de maquinado y soldadura con la instalación del brazo robótico podemos decir que hasta la fecha todos los procesos eran realizados con máquinas convencionales los cuales si bien es cierto el acabado era aceptable, dejaba ciertas imperfecciones para corregir en mecánica de banco, además el tiempo de ejecución era mucho mayor.

Con el nuevo equipo el acabado es de mejor calidad en comparación con la maquina convencional, el tiempo de ejecución es mucho menor, además que

anteriormente se utilizaban dos personas en este tipo de trabajos, con este equipo solo interviene uno que se encarga de la programación y el montaje del elemento a maquinar y no interviene físicamente en el proceso por lo que también se puede decir que se ha logrado proteger aún más la integridad física de los trabajadores.

En la evaluación económica y financiera del Diseño y fabricación del brazo robótico se muestra que el análisis económico y la inversión realizada en este equipo, tuvo un costo de regular magnitud, pero estas guardan cierta relación con el análisis económico del valor actual neto y la tasa interna de retorno.

## **V. Conclusiones.**

### **5.1. Conclusiones del primer objetivo.**

A las conclusiones que llegamos en el primer objetivo al determinar la capacidad de operación del brazo robótico se tuvo que tener en cuenta varios puntos pues un equipo de esta magnitud necesitaba involucrarse totalmente ,estudiamos a fondo la mecánica aplicada a la mecánica y las propiedades de los materiales la que nos permitió resolver el tema del material a utilizar llegando a la conclusión que el material más acertado era el acero ASTM a36 de la misma manera obtuvimos datos en “Maquinas y cálculos de taller” con los que se pudo obtener el peso de la estructura que arrojó un peso de 102.81 Kg a la que le sumamos los elementos mecánicos ,eléctricos y electrónicos y nos dio un peso final de 127.15Kg. comparándolo con el brazo robot STAUBLIRX 90 ya existente de 6kg de carga útil.

Se aplicó la Dinámica y Cinemática para obtener todas las posiciones posibles del brazo robot utilizando las matrices de rotación calculando todos los movimientos desde su punto de partida al punto de trabajo.

En el cálculo de engranajes se tuvo en cuenta la durabilidad ya que si bien es cierto otros elementos de este tipo pueden realizar el mismo trabajo, nos pudimos dar cuenta que no siempre son los adecuados llegando a la conclusión que los engranajes cónicos y tornillo sin fin eran los adecuados. Sobre los elementos eléctricos utilizamos los servomotores de la marca SCHNEIDER, cabe resaltar que los que utilizamos en nuestro brazo fueron de segundo uso pero en buen estado.

### **5.2. Conclusiones del segundo objetivo.**

En las conclusiones del segundo Objetivo sobre diseñar y seleccionar los componentes del brazo robótico llegamos a la conclusión de que el programa más acertado para el diseño es el SOLID WORD , no podemos dejar de mencionar al AUTOCAD que nos dio el inicio para el diseño y que posteriormente dejamos para continuar el diseño en el programa anteriormente mencionado ya que en este programa podemos encontrar los esfuerzos en el diseño completo al simular los movimientos y sus alcances en área determinada de trabajo. Los componentes se seleccionaron basándonos en los datos obtenidos en fuentes confiables de elementos de máquina y equipos eléctricos.



### **5.3. Conclusiones del tercer objetivo.**

En la fabricación de los elementos mecánicos del brazo robótico llegamos a la conclusión de que el tiempo del que se dispuso para la fabricación de una máquina poco conocida no fue la suficiente, siempre encontraremos obstáculos, en primer lugar se debe contar con un taller que cuente con todas las máquinas y herramientas para lograr este objetivo, esto no fue problema pues en Taller de Mecanizados Géminis obtuvimos todas las herramientas necesarias, pero el factor económico tuvo que ver mucho pues en su momento se pensó dejar de lado la fabricación por el regular costo que este demandaba, aun así los elementos se fabricaron y llegamos a la conclusión de que se debe contar con personas de experiencia en fabricación de elementos de máquina para un buen resultado.

### **5.4. Conclusiones del cuarto objetivo.**

En la instalación de los componentes mecánicos eléctricos, electrónicos y el Software para su total funcionamiento y posterior prueba pudimos concluir una vez más que tener experiencia en el ensamble de máquinas es fundamental, se logró concluir con el ensamble de los componentes mecánicos y eléctricos con la ayuda de personal experimentado, así mismo para su funcionamiento y posterior prueba debido a nuestra poca experiencia en electrónica también recibimos el apoyo de un técnico especialista en ese campo.

### **5.5. Conclusiones del quinto objetivo.**

Determinar a la inversión que conlleva la fabricación del brazo robótico fue un problema a resolver pues en el proceso el tema económico ponía en peligro el desarrollo del equipo en mención. Al principio fabricar la estructura no fue problema pues el material utilizado era de buena calidad pero su costo no era elevado, los elementos de máquina tampoco fueron problema, los problemas surgieron al necesitar los actuadores o servomotores que son los que tuvieron un costo considerable además del software que se necesitó. Pero se pudo resolver el tema económico y en conclusión podemos decir que si bien se necesitó una inversión considerable se logró fabricar el equipo arrojando una inversión final de S/. 30,116.70 a recuperarse en un plazo a corto tiempo.

### **5.6. Conclusiones del sexto y último objetivo.**

Determinar la optimización de los procesos de maquinado y soldadura con el

brazo robótico nos hizo llegar a la conclusión de que el brazo fabricado cumple con las exigencias en el momento de su operación se le instalo un programa para mecanizado en tres dimensiones , se pudo comprobar que los movimientos lo realizaba en forma adecuada, la energía que utiliza esta acorde con lo requerido, además en la prueba de maquinado en comparación con un pantógrafo mecánico convencional arrojó una reducción de maquinado de un logotipo en metal de un 100% de tiempo aun 28% con el brazo robótico con el cual es más que suficiente para decir que la inversión se recuperará en poco tiempo.

mínimo, pero que estamos seguros que en un tiempo no muy lejano habrá ganado terreno y por esta razón demandará de Ingenieros inmersos en este tema.

## **VI. Recomendaciones.**

Se recomienda investigar de forma profunda las teorías físicas y matemáticas aplicadas a la mecánica ya que con su correcta aplicación se lograra un correcto diseño tanto de la estructura como de los elementos mecánicos.

De la misma manera se recomienda el estudio al detalle de la Dinámica y la Cinemática de los movimientos en el espacio con información precisa, las cuales nos permitirán calcular con exactitud los movimientos tangenciales de las articulaciones y sus límites de esfuerzo de las articulaciones dependiendo el área de trabajo o la función al cual será sometido el equipo.

En las articulaciones se recomienda utilizar elementos mecánicos que aun en trabajo al máximo del equipo no presenten desgastes prematuros por ello el cálculo de los engranajes con mayor eficiencia debe estar bien definida ya que de haber desgastes prematuros el equipo perderá precisión y acabado en poco tiempo de operación.

Con respecto a la estructura también se recomienda tener amplia consideración en la deformación de los materiales por la aplicación de corte o soldadura, tema que se debe resolver en la prefabricación para evitar problemas en el ensamblaje y por lo tanto pérdidas de tiempo.

Se recomienda también elegir los componentes eléctricos y electrónicos comercialmente siempre disponibles o de fácil adquisición en la zona, para que en posibles averías la reparación o cambio del componente sea rápida y efectiva.

También se recomienda un mantenimiento preventivo del equipo después de un cierto número considerable de horas de trabajo, esto evitara la parada del equipo en momentos de producción continua.

A la Universidad se le recomienda fomentar el desarrollo de este tipo de investigación por parte de otros estudiantes pues es un campo que si bien es cierto en nuestro país aún se desarrolla en un porcentaje mínimo, pero que estamos seguros que en un tiempo no muy lejano habrá ganado terreno y por esta razón demandara de Ingenieros inmersos en este tema.

## VII. Referencias bibliográficas.

ALONZO Villegas, F., & BRAVO Valencia, M. (2014). Diseño, construcción y control de un brazo robótico. 16. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.usfg.edu.ec>

ARISTIZÁBAL Torres, D. (2009). Diseño de un Brazo Robotico para aplicaciones Fitosanitarias. 94. Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14397/Tesis.pdf?sequence=1>

BOLTON, W. (2013). Mecatronica.sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica eléctrica. UN enfoque multidisciplinario. (ISBN:978-607-707-603-2), Quinta Edición, 648. Alfaomega Grupo Editor.S.A. de C.V. Obtenido de <http://www.alfaomega.com.mx>

CASILLAS, A. L. (1984). *MAQUINAS CALCULOS DE TALLER* (Tercera edición ed.). Madrid, España: Editorial: Ed. Hispano América. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/117465464/A-L-Casillas-Maquinas-Calculos-De-Taller-pdf>

CHAZARO, Rosario, C., & ALVAREZ, Valadez, O. (s.f.). EL ACERO HOY. (C. GERDAU, Ed.) Chapultepec, Mexico. Obtenido de <https://www.gerdau.com>

ELESGARAY, Susierra, O. (2013-14). *Diseño y Montaje de un Brazo Robotico y Placa Arduino de Pines de Arduino Mini*.

Garcia. (2012). 6.

GERLING, H. (2013). *Alrededor de las Máquinas herramientas* (Quinta Edición ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

GIACACHINO, J. W., & WEEKS, W. (1981). Técnicas y prácticas de soldadura. 290. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?isbn=8429160531>

KALPAKJAN, S., & R, S. S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Mexico, Mexico: Pearson Educacion, Mexico. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?isbn=9702601371>

KELLY, Rafael, & SANTIBAÑEZ, Victor. (2003). *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

KOSOW, I. L. (1993). *Maquinas Electricas y Transformadores*. Mexico: Pearson Educacion. Obtenido de <https://latam.casadellibro.com/libro-maquinas-electricas>

LONDOÑO V, M. F. (s.f.). Newtonian Mechanics. *Introducción a la Mecánica*, 551. Medellín, Colombia: Editorial W. W. Norman & Company. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4344/1/8302166.2003.pdf>

LOPEZ Apostolovich, L. F. (2009). Modelación y Simulación Dinámico de un Brazo Robótico de 4 grados de Libertad para tareas sobre un Plano Horizontal. 3. Lima, Perú: Pontifica Universidad Catolica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe>

NAKAMURA Lam, J. R., CHAVEZ Tapia, M. A., & OLIVERA Suzanibar, C. (2009). Diseño e Implementación de un Brazo Robot de dos GDL para el trazo de Diagramas en un Plano. 102. Lima, Perú: Pontifica Universidad Catolica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/220>

PEREZ Q, V., & MAYTA H, R. (s.f.). INDUSTRIAL DATA. *Actualidad y perspectiva de la Robotica*, 1,6. Lima, Perú: Universidad Mayor de San Marcos. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v04\\_n1/actualidad.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v04_n1/actualidad.htm)

RAMIREZ, Leyva, F. H. (2012). Modelacion Cinematica de Robots. Obtenido de [hugo@mixteco.utm.mx](mailto:hugo@mixteco.utm.mx)

SANCHEZ R. (s.f.). Ingenieria de Máquinas. Obtenido de [www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%201.pdf](http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%201.pdf)

SANCHEZ, A. (2011). Diseño y construcción de un Brazo Robótico de 6 grados de Libertad. *Tec- Magazine*, 2 nro1 (Segunda edición), 173. Tepeaca, Mexico. Obtenido de [www.itstepeaca.edu.mx/e-magazine/vol2,%20num1/brazo1.pdf](http://www.itstepeaca.edu.mx/e-magazine/vol2,%20num1/brazo1.pdf)

SANTILLÁN Fernandez, C. M. (2014). Diseño de un Sistema Robotico que permita emular correctamente los movientos de la articulación trapezometacarpiana del dedo pulgar. Trujillo, Perú. Obtenido de <http://repositorio.upao.edu.pe>

SCHNEIDER. (s.f.). Schneider Electric. Alemania. Obtenido de <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf>

SKF, R. (Octubre de 2015). Rodamientos SKF. Obtenido de [www.skf.com/pe/products/product-tables/index.html](http://www.skf.com/pe/products/product-tables/index.html)

SOTO Bravo, C. A. (2015). Brazo Robótico de 5 grados de Libertad con Sistema de control modificable por el usuario para fines de Investigacion en Ingenieria Robotica. Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6493>

TRONCOS Riofrio, M. A. (2016). Diseño y Ensamblaje de un Brazo Robot como modulo de Laboratorio para el escaneo de curvas en 3D. 5. Piura, Perú. Obtenido de <http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2722/IME-209.pdf>

YAGÜE Niño, J. J. (2013). Control Automatico de un Brazo Robot de 5 grados de Libertad con Arduino. 1. Valladolid, España: Universida de Valladolid. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6295/1/PFC-P93.pdf>

## Cronograma de ejecución de la Tesis:

"Diseño y Fabricación de Brazo Robotico para optimizar procesos

de maquinado y soldadura en Taller Geminis Chiclayo 2017"

### cronograma de ejecución

Nro.	actividad realizada	Semanas de trabajo													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	El grupo se reúne para coordinar	■							■						■
2	Se presenta el esquema del proyecto de tesis	■													
3	Selección del tema a investigar según línea de investigación	■	■												
4	Estrategias para obtener información	■	■												
5	Se plantea el problema y se fundamenta con teorías relacionadas		■												
6	Justificación e Importancia de la Investigación			■											
7	Tipo y Estructura de la Investigación				■										
8	Análisis de variables y procesamiento					■									
9	Se presenta el diseño según normas metodológicos						■								
10	Jornada N° 1, presentación del borrador del proyecto de tesis							■							
11	Población, muestra y muestreo								■	■					
12	Procesamiento y análisis de datos según métodos y técnicas aspectos administrativos, designación del Jurado: Un metodólogo y dos especialistas.										■	■	■		
13	Revisión y aprobación del Proyecto													■	
14	Corrección de observaciones y nueva presentación														■
15	Jornada N° 2, sustentación del proyecto de investigación														■

Fuente : Cuadro elaborado por el propio estudiante

## 8.2. Hoja de encuestas.

### 8.2.1. Hoja de encuestas.

#### **ENCUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA TESIS “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO PARA OPTIMIZAR PROCESOS DE MAQUINADO Y SOLDADURA TIG EN TALLER GEMINIS CHICLAYO 2017”**

ENCUESTA REALIZADA A UN PROFESIONAL QUE LABORA COMO  
DOCENTE EN EL AREA DE MECATRONICA INDUSTRIAL EN SENATI  
CHICLAYO

Tomando como referencia su propia experiencia, le agradeceré responder cada ítem presentado a continuación:

1. ¿Cómo se calcula los esfuerzos de cada grado de libertad del Brazo Robótico para un buen diseño?

---

---

---

---

2. ¿Cuándo un brazo robótico debe ser de uno o más grados de libertad? ¿Por qué?

---

---

---

---

3. ¿Qué material cree usted que es conveniente para fabricar la estructura de un brazo robótico?

---

---

---

---

4. ¿Qué tipos de movimiento realiza el equipo?

---

---

---

---

5. ¿Cuál es el consumo de energía del equipo en un periodo de ocho horas de operación?

-----  
-----  
-----  
-----

6. ¿Qué tipo de software utiliza el brazo robótico para su programación?

-----  
-----  
-----  
-----

7. ¿Cuál es el tipo de enlace del equipo automático en mención hacia otro equipo?

-----  
-----  
-----  
-----

8. ¿Quién es profesional encargado de programar los equipos, un Ingeniero, un técnico o que otro profesional inmerso en la materia lo realiza?

-----  
-----  
-----  
-----

9. ¿Hay una supervisión profesional periódica la cual puede ser semanal, mensual, trimestral, etc..., de los equipos?

-----  
-----  
-----  
-----

10. ¿Qué tipo de tipos de mantenimiento se le realiza al equipo? ¿Por qué?

-----  
-----  
-----  
-----



11. ¿Qué tipos de tareas realizan estos equipos?

-----  
-----  
-----  
-----

12. ¿Pueden realizar correctamente la tarea asignada?

-----  
-----  
-----  
-----

Muchas gracias por su atención.

Firma del profesional entrevistado.

-----

Chiclayo 17 de noviembre del 2017

## 8.2.2. Hoja de encuestas con las respuestas de un profesional competente.

**ENCUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA  
TESIS  
"DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO PARA  
OPTIMIZAR PROCESOS DE MAQUINADO Y SOLDADURA TIG EN  
TALLER GEMINIS CHICLAYO 2017"**

ENCUESTA REALIZADA A UN PROFESIONAL QUE LABORA COMO DOCENTE EN EL AREA DE MECATRONICA INDUSTRIAL EN SENATI CHICLAYO.

Tomando como referencia su propia experiencia, le agradeceré responder cada ítem presentado a continuación:

1. ¿Cómo se calcula los esfuerzos de cada grado de libertad del Brazo Robótico para un buen diseño?

Los cálculos de esfuerzos van a depender de la capacidad de carga del equipo en movimiento y su peso bruto aplicando las ecuaciones de resistencia de materiales en torsión, compresión, elasticidad y cizallamiento.

2. ¿Cuándo un brazo robótico debe ser de uno o más grados de libertad?

¿Por qué?

De dos grados de libertad es para realizar trabajos en dos dimensiones y de 3 o más grados de libertad cuando realiza trabajos en el espacio.

3. ¿Qué material cree usted que es conveniente para fabricar la estructura de un brazo robótico?

Normalmente los brazos robot de fabricación extranjera son de fundición gris, pero también se puede utilizar el acero estructural A36 con buenos resultados para las estructuras.

4. ¿Qué tipos de movimiento realiza el equipo?

Realiza movimientos lineales, Tangenciales, angulares y otros Tipos de movimiento.

11. ¿Qué tipos de tareas realizan estos equipos?

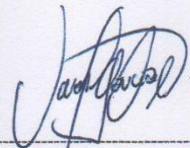
Mayormente este equipo realiza trabajos de paletizado pero cambiando la garras por otro accesorio puede realizar otros trabajos y tareas.

12. ¿Pueden realizar correctamente la tarea asignada?

Todo depende de la eficiente programación realizada, realizado esto el brazo robot realiza correctamente la tarea asignada sin problemas.

Muchas gracias por su atención.

Firma del profesional entrevistado.



Juan Alberto Garcia Angela  
Ingeniero Electronico y Telecomunicaciones

Chiclayo 17 de noviembre del 2017

### 8.3. Instrumento de recolección de datos.

#### ANEXOS

#### ANEXO 01

#### INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### ENCUESTA

**OBJETIVO.-** Recolectar información relacionada al Diseño y Fabricación de Brazo Robótico para optimizar procesos de Maquinado y Soldadura TIG.

#### ITEMS

1. Cómo realizan los procesos de Maquinado y Soldadura TIG en el Taller
  - a) Maquinado y soldadura con máquinas herramientas convencionales
  - b) Maquinado y soldadura semiautomático
  - c) Solicitan maquinado y soldadura a terceros
  
2. Son de buen acabado o ineficientes los procesos de Maquinado y Soldadura TIG
  - a) Si → *Son de buen Acabado.*
  - b) NO
  
3. ¿Cuáles son las características de los procesos de Maquinado y Soldadura TIG?
  - a) Buena calidad
  - b) Mala calidad
  - c) Cumple con las normas técnicas establecidas
  - d) Genera mucho cansancio al personal que labora
  
4. ¿Con el diseño y fabricación del brazo Robótico, lograra cumplir con las metas trazadas?
  - a) Si
  - b) No

¿Por qué? *Al incorporar al taller el Brazo Robótico mejoraremos los procesos de mecanizado y soldadura por ser un equipo más sofisticado.*
  
5. ¿Conocen la norma técnica nacional e internacional para operar brazos robóticos?
  - a) Si
  - b) No

6. ¿Tienen establecidos los procedimientos para operar brazos robóticos?
- a) Si  
 b) No
7. ¿Cuándo realizan Procesos de Maquinado Y Soldadura, consideran las medidas técnicas de acuerdo a la norma nacional?
- a) Si  
 b) No
8. ¿Las máquinas que usan para Maquinado y Soldadura tienen una antigüedad de?
- a) 0 – 2 años  
b) 3 – 4 años  
 c) 5 – 6 años  
 d) 7 más años
9. ¿Cuál es la cantidad de productos Mecanizados y soldados en una jornada de 8 horas?
- a) 01 – 200 unidades  
 b) 201 – 400 unidades  
c) 401 – 500 unidades  
d) 501 – 600 unidades  
e) 601 a más
10. ¿Aproximadamente cuánto cuesta el servicio de Maquinado y Soldadura por hora?
- a) 0 a 25 soles  
 b) 26 a 50 soles  
c) 51 a 75 soles  
d) 76 a 100 soles  
e) 101 a más soles
11. ¿Existe beneficios de la relación entre gastos de producción de elementos Mecánicos y Soldados con respecto a la venta de estos elementos?
- a) Si  
 b) No

Porqué: *Por que los gastos de producción por lo general es el 2.5% de algunos productos y de otros oscilan entre el 3.0% y 3.5%. Como se puede ver, la rentabilidad es mayor que los costos de producción.*

## 8.4. Ficha de observación.

### ANEXO N° 2: FICHA DE OBSERVACIÓN

#### FICHA DE OBSERVACIÓN

Fecha: 28 de Junio 2017

Lugar: La Victoria - Chichayo. "Taller Geminos"

Observador: Ing. Mec. Alejandro Segundo Vera Lopez.

#### ASPECTOS A OBSERVAR:

##### 1. PERSONAL:

	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
a) Presentación personal.		X	
b) Coherencia entre lo que hace		X	
c) Cumplimiento procedimiento		X	
d) Forma de manipular materiales		X	

Descripción de aspectos relevantes al uso de las máquinas para Maquinado y Soldadura

El personal que labora en "Taller Geminos" tiene conocimiento aceptable sobre el uso de Máquinas y conocimiento amplio sobre Técnicas de Soldadura.

##### 2. OPERADOR Y USO DE LA MAQUINA

	SI	NO	NO SE OBSERVA
a) Los procedimientos que usan están de acuerdo a normas técnicas o actualizadas.	X		
b) El operador demuestra dominio en el uso de materiales y la máquina	X		
c) El operador establece relación entre el material que usa y que tiene disponible en almacén.	X		
d) Promueve aprendizajes de otro personal de la empresa	X		
e) Cumple con el procedimiento de encendido y apagado de la máquina	X		
f) Identifica con seguridad las partes de la máquina.	X		
g) Se observa el trabajo de contenidos:			¿CUALES?
1. Conceptuales			
2. Procedimentales	X		
3. Actitudinales			

h) El operador usa métodos, técnicas y/o estrategias para operar la maquina			
i) Utiliza instrumentos de protección y seguridad personal			

Descripción de aspectos relevantes al desempeño y producción:

*El Personal de "Taller Gemini" cubre todas las expectativas en el desempeño de sus labores en los procesos de producción y fave de ello, siguiendo los reglamentos ademas del mantenimiento oportuno.*

**3. CUMPLE CON LOS PROCEDIMIENTOS DE USO DE LAS MÁQUINAS EN LOS PROCESOS DE MAQUINADO Y SOLDADURA**

	SI	NO	OBSERVACIONES
Revisión y evaluación previa de la maquina	X		
Encendido	X		
Operación de la maquina	X		
Limpieza	X		
Uso de materiales	X		
Orden en la producción	X		
Apagado	X		
Orden y protección maquinaria	X		

*[Firma manuscrita]*  
Freddy Bellederos Parizaga

**Nombre y Firma del entrevistado**  
*Jefe de Taller.*

## 8.5. Ficha analisis de documentos.

### ANEXO 03: FICHA ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

#### Ficha Análisis de Documentos

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Título: *Diseño y fabricación de Brazo Robótico para optimizar procesos de Maquinado y Soldadura en Taller Gemmis - Chiclayo 2017.*

Autor: *Isique Chavesta Norbert*

Tipo de documento  Principio / Teorías  
 B Normativos  
 C Instructivos

Edición (Virtual o impresa): *Virtual e Impresa.*

Lugar: *Pimentel - Chiclayo.*

Fecha publicación:

N° páginas: *35.*

Descripción / Síntesis de documento



## 8.6. Ficha de validación de instrumento de recolección de datos.

### ANEXO N° 4: FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### DATOS GENERALES DEL EXPERTO

- Apellidos y nombres:  
VERA LAZARO ALEJANDRO SEGUNDO
- Profesión:  
Ing. Mecánica
- Grado académico:  
Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica  
Eléctrica
- Actividad laboral actual:  
Docente de la USAT  
Instructor de Software de Diseño Mecánico  
SolidWorks Simulation  
Ansys

### INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marca con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto X	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-------------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
b) Experiencia como profesional. (EP)		X	
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	X		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		

  
Firma del entrevistado

**Estimado(a) experto(a):**

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo "Diseño y Fabricación de Brazo Robótico para optimizar procesos de Maquinado y Soldadura TIG en Taller Géminis"

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente:  Poco pertinente: \_\_\_ No pertinente: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

Es pertinente porque permite ver la realidad actual de los procesos de Maquinado y Soldadura en Taller Géminis, con esto podemos ver de como mejoraremos los procesos al futuro.

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes:  Insuficientes: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

Tiene preguntas puntuales que son necesarias para poder lograr los objetivos de esta Investigación.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de su respuestas?

Son adecuadas:  Pocos adecuadas: \_\_\_ Inadecuadas: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

Si están adecuadamente formuladas, pues el entrevistado dejó ver su conocimiento del tema por lo cual supo responder.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

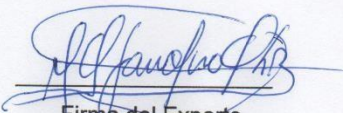
Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
	X			X			

5. ¿Qué sugerencias haría usted para mejorar el instrumento de recolección de datos?

*Por el momento ninguna pues la forma de como se hizo la recolección de datos estuvo aceptada.*

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación: *28 de Junio del 2017.*

  
Firma del Experto  
*Jug. Mec. Alejandro Vera Lopez.*

ANEXO N° 4: FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN  
DE DATOS

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

- Apellidos y nombres: GARCIA ANGELAS JUAN ALBERTO
- Profesión: INGENIERO ELECTRONICO y TELECOMUNICACIONES.
- Grado académico: MAGISTER EN EDUCACION CON MENCIÓN EN DOCENCIA y GESTIÓN EDUCAT.
- Actividad laboral actual: DOCENTE EN LA UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.  
INSTRUCTOR EN SENATI LAMBAYEQUE. MECATRONICA.

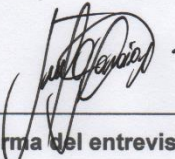
**INDICACIONES AL EXPERTO.**

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marca con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto <input checked="" type="checkbox"/>	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	---	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	<input checked="" type="checkbox"/>		
b) Experiencia como profesional. (EP)		<input checked="" type="checkbox"/>	
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)		<input checked="" type="checkbox"/>	
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	<input checked="" type="checkbox"/>		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	<input checked="" type="checkbox"/>		

  
Firma del entrevistado

NORBERT ISIQUE CHAVESTA



**ANEXO N° 4: FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN  
DE DATOS**

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

- Apellidos y nombres:

VILLANUEVA ZAPATA JORGE ALBERTO

---

- Profesión:

ING. MECANICO ELECTRICISTA

---

- Grado académico:

MAG. EN EDUCACION CON MENCIÓN EN DOCENCIA Y GESTIÓN EDUCATIVA

---

- Actividad laboral actual:

INSTRUCTOR SENATI - CHICLAYO, ESPECIALIDAD MECATRONICA

---

DOCENTE USAT - CHICLAYO

---

### INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marca con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto <input checked="" type="checkbox"/>	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	---	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)		<input checked="" type="checkbox"/>	
b) Experiencia como profesional. (EP)		<input checked="" type="checkbox"/>	
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	<input checked="" type="checkbox"/>		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	<input checked="" type="checkbox"/>		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	<input checked="" type="checkbox"/>		



Firma del entrevistado

NORBERT ISIQUE CHAVESTA





## 8.7. Papers.

ITST

Tec-Magazine (Vol. 2 No. 1, pp. 171-184)

Mayo 2011

### INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEPEACA.



#### Diseño y Construcción de un Brazo Robot Articulado de Seis Grados de Libertad

Sánchez A.  
(ITS Tepeaca)

e-mail: [mc.a\\_sanchez@live.itstepeaca.edu.mx](mailto:mc.a_sanchez@live.itstepeaca.edu.mx)

Volumen 2.  
Número 1.

*Recibido: Marzo 2011.*

*Revisado: Abril 2011.*

*Publicado: Mayo 2011.*

171

Instituto Tecnológico Superior de Tepeaca. Av. Tecnológico, S/N. San Pablo Actipan,  
Tepeaca. Tels. 01 (223) 27 51 449. [www.itstepeaca.edu.mx](http://www.itstepeaca.edu.mx), [platino3079@hotmail.com](mailto:platino3079@hotmail.com)

### 1. Introducción.

El campo de la robótica industrial puede definirse como el estudio, diseño y uso de robots para la ejecución de procesos industriales. Más formalmente, el estándar ISO (ISO 8373:1994, Robots industriales manipuladores – Vocabulario) define un robot industrial como un manipulador programable en tres o más ejes multipropósito, controlado automáticamente y reprogramable [1].

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseño y creación de un brazo robot de seis grados de libertad. Con este sistema se logrará dotar a los alumnos con una herramienta que puede ser empleada en los sistemas de modelado de los sistemas industriales. En conjunto con el diseño se hará una aplicación basada en un sistema de instrumentación virtual empleando LabView de la empresa National Instruments [2]. Así mismo se creará la interfaz electrónica para controlar el brazo robot.

### 2. Planteamiento del problema

El diseño y construcción de un brazo robot de seis grados de libertad contempla un proyecto de donde se habrá de diseñar un robot prototipo que cuente con las dimensiones que permitan realizar movimientos precisos y fluidos. El robot se basa en la utilización de motores de transmisión directa, sensores y actuadores conectados a un panel de control (interfaz de usuario) donde se controlará y programará la tarea a desarrollar. Estos a su vez realizarán los movimientos vertical y horizontal con el fin de cumplir la tarea establecida por el usuario.

### 3. Objetivos del diseño y construcción del sistema

#### Objetivo general.

- Diseñar y construir un brazo robot de seis grados de libertad

#### Objetivos particulares:

- Diseñar y construir el prototipo del robot empleando herramientas de CAD
- Realizar el análisis de requerimientos del proyecto
- Realizar el análisis de pesos y dimensiones de las articulaciones
- Emplear un lenguaje de alto nivel para programar la interfaz de usuario del prototipo
- Realizar un análisis comparativo del desempeño del brazo robot con respecto a uno comercial
- Elaborar el manual de usuario y de mantenimiento del sistema

### 4. Justificación del diseño

Actualmente el uso de sistemas automatizados resulta atractivo e indispensable dentro de los procesos de manufactura. Los alumnos a través de prototipos construidos con fines didácticos pueden aprender a desempeñar tareas relacionadas con las cadenas de producción y la logística empleada en dicho proceso. Además siendo conocedores de la realidad actual de la carrera de Ing. Industrial del Instituto, y al no poder contar con las máquinas y herramientas necesarias para modelar una línea de producción, se ha optado por construir un elemento de dicho sistema; la fabricación de un brazo robótico como proyecto en el cual participen activamente alumnos de la carrera logrará fortalecer la formación de nuestros alumnos. Cabe mencionar que mediante la participación activa de docentes y alumnos se fortalecerán los conocimientos

# Industrial Data

© UNMSM. Facultad de Ingeniería Industrial

ISSN versión electrónica 1810-9993

**Industrial Data** 2001; 4 (1): 1-6

## ACTUALIDAD Y PERSPECTIVAS DE LA ROBÓTICA

*Victor Perez Q.\* y Rosmary Mayta H.\**

- 
- a. Servicio a humanos (personal, protección, entretenimiento, ...)
  - b. Servicio a equipos (mantenimiento, reparación, limpieza, ...)
  - c. Otras funciones autónomas (vigilancia, transporte, adquisición de datos, ...)

En estos momentos, el número de robots de servicio operando en todo el mundo se estima en unos pocos miles y claramente por debajo de la cifra de 10.000 unidades. Estos robots están realizando principalmente tareas de transporte y mensajería (p.ej. en hospitales), limpieza, cirugía y asistencia a minusválidos, aunque se espera su extensión a otras aplicaciones en un futuro próximo. [Figura 1](#)

### El mercado mundial de robots

En el período 1987 - 1997 (figura 1), la venta anual de robots industriales tuvo un claro crecimiento hasta 1990, año en que se vendieron del orden de 81 000 unidades, para caer en los años siguientes, debido principalmente al brutal descenso del mercado japonés, hasta alcanzar un mínimo en 1993 con poco más de 54 000 unidades vendidas. Después de una pequeña recuperación en 1994, el año siguiente contempló un espectacular crecimiento de casi un 29% que se moderó a un 11 % 1996 y a un 6,5% en 1997, año en el que se ha alcanzado la cifra récord de casi 85 000 unidades vendidas.

El número total estimado de robots operativos al final de 1997 supera la cifra de 711000, con un crecimiento del 6,4% respecto al año anterior. De ellos, Japón, con prácticamente 413 000 robots, se lleva la parte del león y junto con los otros cinco grandes países en robótica, totalizan casi 611 000 robots, quedando únicamente 100 000 para el resto del mundo.

El mercado anual de robots se mueve alrededor de la cifra de 5 000 millones de dólares, con un ligero descenso en 1997, pese al incremento de ventas de robots. Este hecho pone de manifiesto el continuo descenso del precio de los robots desde 1990, que en el período 1990 - 97 ha supuesto un decremento en dólares corrientes que va desde algo más del 21 % en EEUU hasta el casi 50% en Francia. No obstante ha de tenerse en cuenta que, tal como indica destacadamente el informe UN/ECE - IFR, el precio del robot sólo representa en media un 30% del coste total del sistema.

En cuanto a las áreas de aplicación, el 29,2% de los robots instalados en 1997 han estado dedicados a soldadura (13,2% al arco y 15,7% por puntos que ha sido la aplicación mayoritaria, seguida por montaje (25,7%), manipulación (13,1%), mecanizado (8,7%) y **paleteización** (3,1 %). Estos porcentajes varían considerablemente cuando se refieren al total de robots operativos al final de 1997. En este caso, el montaje se destaca claramente con un 33,3%, pasando la soldadura a un segundo puesto, con un 23,9%. A mecanizado le corresponde el 9,6%, a manipulación, el 7,2% y a **paleteizado**, el 2,8%. Únicamente del orden de 5.600 robots en todo el mundo (0,9%) están dedicados a enseñanza e investigación. [Figura 2](#)

Por sectores industriales, la fabricación de vehículos automovilísticos es claramente el sector mayoritario, rozando el 30% del total, tanto en nuevas instalaciones de robots como en número de robots operativos.

En cuanto a los tipos de robots, los de 5 ó más ejes instalados en 1997 representan el 65% del total, mientras que los de 3 y 4 ejes se reparten el resto en partes aproximadamente iguales. Los robots angulares (con al menos tres articulaciones de rotación) suponen el 47,1 % de los robots instalados en 1997. A

# INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA

Mario Felipe Londoño V.  
Profesor Asociado  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Medellín

---

## CAPÍTULO 2. CINEMÁTICA

La cinemática es la descripción matemática del movimiento.

En su acepción más simple, el movimiento es el cambio de posición de un cuerpo con el tiempo. Todo el mundo tiene una cierta idea de ello y a veces uno querría decir, con Newton: "No defino el tiempo, el espacio, el lugar ni el movimiento, por ser palabras bien conocidas de todos". Y, realmente, no vamos a definir ni a discutir por extenso conceptos tan complejos como espacio y tiempo. Vamos a cuantificar algunas de sus facetas, para proporcionar una descripción precisa y potente del movimiento.

Hay movimientos de muy diverso tipo: el movimiento de un trompo que gira, el movimiento del agua que fluye por un canal, el sutil movimiento de vibración del aire cuando se propaga una onda sonora. Así, hay una cinemática de los cuerpos rígidos, una cinemática de los fluidos, una cinemática del movimiento ondulatorio, descripciones complejas, hermosas, importantes, que vendrán a su tiempo, pero en cuya base está la cinemática más simple, la de un punto móvil, punto geométrico que se desplaza y por cuyo estudio comenzaremos.

Vamos pues a dar los elementos necesarios para estudiar el movimiento de un punto móvil, pero aclaremos primero un poco cuál puede ser ese punto móvil.

El punto móvil puede ser lo que se llama en mecánica newtoniana una partícula o punto material, que, como dijimos, es un modelo físico-matemático abstracto que permite representar en determinadas condiciones un cuerpo como un punto con masa. Por ejemplo, para estudiar el movimiento de traslación de un planeta alrededor del sol, podemos tratarlo como un punto móvil, o, para estudiar el movimiento parabólico de un guijarro irregular, podemos igualmente tratarlo como un punto: una partícula. Pero el punto móvil puede ser también un punto específico de un cuerpo extenso, por ejemplo, un determinado punto en el borde de una rueda o polea.

Los conceptos fundamentales de la cinemática son:

Marco de Referencia  
Posición  
Velocidad  
Aceleración

### Marco de Referencia.

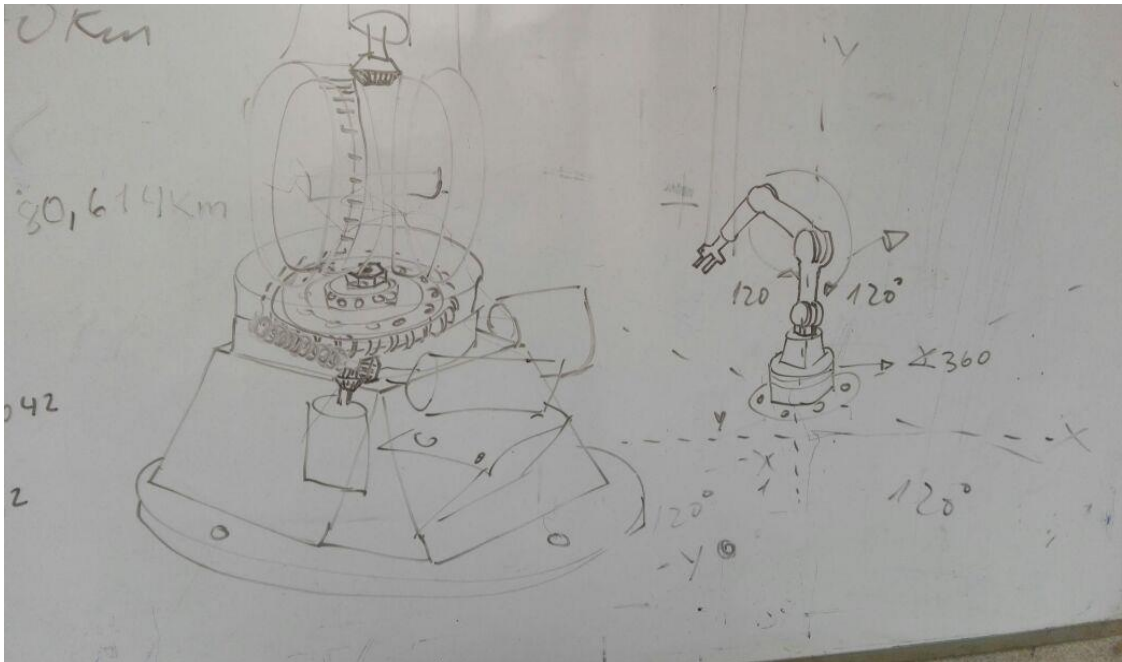
Se dice también sistema de referencia, pero la palabra sistema tiene diversas connotaciones: sistema de unidades, sistema mecánico, sistema de coordenadas, por lo que preferiremos marco de referencia.

Un marco de referencia comprende:

- a) **Un cuerpo rígido** (o conjunto de cuerpos rígidamente unidos entre sí) respecto al cual se puede determinar la posición o el cambio en posición de un objeto cuyo movimiento quiere estudiarse. Por ejemplo, los movimientos de una persona que se desplaza por el

## 8.8. Planos del brazo robótico.

### 8.8.1. Bosquejo inicial.



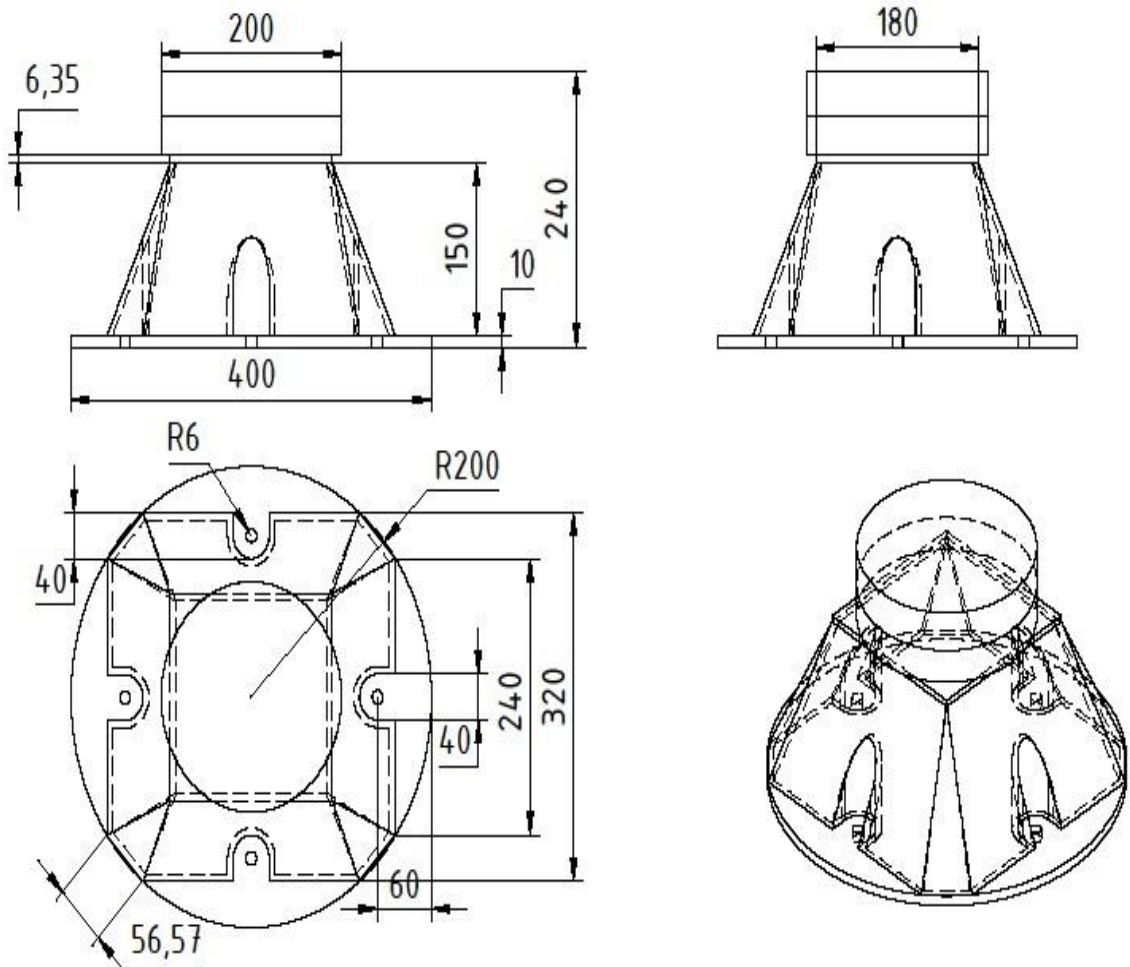
Dibujo inicial detallando los movimientos y mecanismos del brazo robótico.



Diseñando los elementos mecánicos en AutoCAD

## 8.8.2. Planos.

### 8.8.2.1 Plano N° 1 Base (hombro).




Base (hombro): Medidas le los elementos mecánicos de su estructura geométrica.

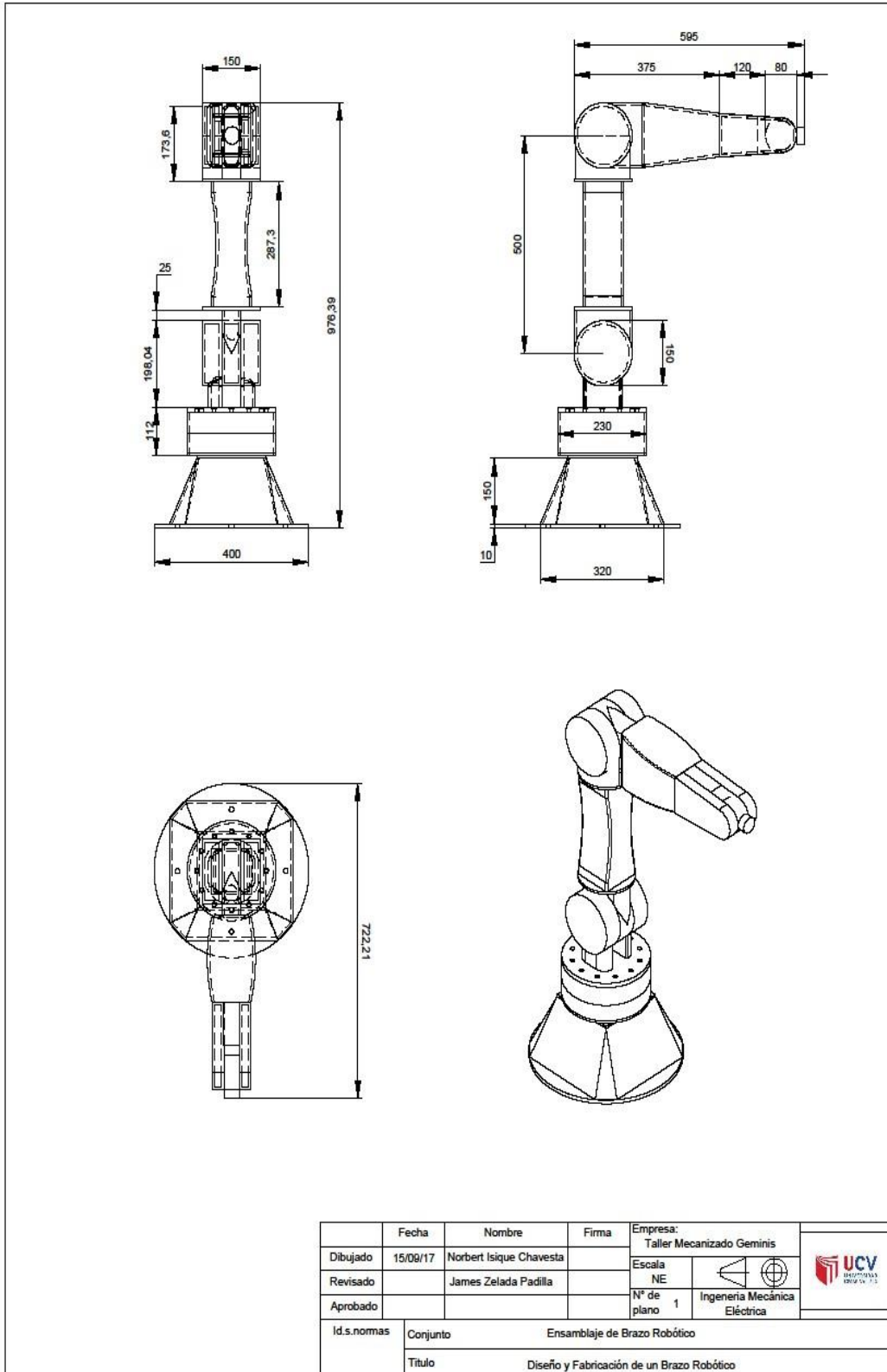


### 8.8.2.2. Plano N°2 de la base en explosión.

Leyenda	
1	Brida
2	Base
3	Brida y eje con rosca de 1/4" UNF
4	Rodamiento conico tipo aguja
5	4 pernos socket de 3/8 "
6	Carcasa
7	Rodamiento conico tipo aguja
8	Tuerca 1/4"
9	Brida Giratoria(Eje1)
10	6 pernos socket de 3/8 "

Id.s.normas	Fecha	Nombre	Firma	Empresa:	
	Dibujado	15/09/17	Norbert Isique Chavesta	Taller Mecanizado Geminis	
	Revisado		James Zelada Padilla	Escala NE	
	Aprobado			N° de plano 2	
Conjunto		Explosión de base y antebrazo de Brazo Robótico			
Titulo		Diseño y Fabricación de un Brazo Robótico			

### 8.8.2.3. Plano del brazo robótico en su diseño total.



### 8.9. Fotos del proceso de fabricación y ensamble.



Placas para la base del brazo de acero A 36



Uniendo las placas de acero A 36



Placas de acero A36 para la estructura de la base.



Materiales de acero para los elementos mecánicos que serán mecanizados.



Aplicando soldadura de arco con electrodo aws 7018 (supercito).



Realizando acabado con amoladora eléctrica de mano



Materiales de acero para los elementos mecánicos que serán mecanizados.



Pieza unida con soldadura de arco y mecanizada en torno paralelo



Mecanizando en torno paralelo.



Estructura para la base acabada.



Pieza mecanizada y los rodamientos de rodillos cónicos



Ensamblaje de los rodamientos.





Ensamblaje de elementos mecánicos en la base.



Base y articulación giratoria ensamblados.

Proceso de armado de las elementos de máquina y ensamble final del brazo robot.



## 8.10. Ficha técnica de los aceros.

**El ACERO**

Elección del tipo de acero para estructuras

Oficinas Ciudad de México  
Presidente Masaryk 111 - 302  
Chapultepec Morales | Miguel Hidalgo  
Distrito Federal | México 11570  
Tel. +52 (55) 5262 7300  
asistenciatecnica-mexico@gerdau.com  
www.gerdaucorsa.com.mx

La línea de perfiles  
más completa de México

**GO GERDAU CORSA**



Validado por:  
**imca**  
INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN DE ACERO

**Elaboración:**  
Carlos Cházaro Rosario  
Octavio Alvarez Valadez

**Coordinación Técnica:**  
Octavio Alvarez Valadez

**Diseño Gráfico:**  
Valeria Giselle Uribe Pérez

## Elección del tipo de acero para estructuras

## ELECCIÓN DEL TIPO DE ACERO PARA ESTRUCTURAS

Este artículo presenta un análisis del acero como material estructural, concentrándose en las características que son más importantes para el ingeniero estructural. Además de las propiedades mecánicas, tales como el esfuerzo de fluencia y la resistencia a la tensión, es esencial considerar la ductilidad y resistencia a la fractura, así como la composición química, la metalurgia y soldabilidad. Existe disponibilidad en el mercado de una gran variedad de grados de acero y es fundamental para la elección, que el acero cumpla con los requerimientos de los estados límite de falla y los estados límite de servicio. Al mismo tiempo, también es importante tener en cuenta la fabricación y los requisitos para la compra del material y las aplicaciones de campo.



## ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	3
2.- PROPIEDADES CLAVE DEL ACERO ESTRUCTURAL	6
2.1 Ensayo de las propiedades mecánicas	6
2.1.1 Propiedades de tensión	6
2.1.2 Propiedades de dureza	6
2.1.3 Prueba de propiedades químicas y metalúrgicas	6
2.2 Propiedades mecánicas de los aceros	7
2.2.1 Propiedades de tensión	7
2.2.3 Dureza	9
2.3 Características metalúrgicas	10
2.4 Química del acero estructural	11
2.4.1 Tipos de acero	11
2.4.2 Elementos químicos	12
2.5 Soldabilidad de los aceros estructurales	13
2.6 Otras características	14
2.6.1 Influencia de la geometría de la sección transversal	14
2.6.2 Efectos de laminado en caliente	14
2.6.3 Efectos del calor localizado	15
2.6.4 Efectos del rolo en frío	15
3.- GRADOS Y TIPO DE ACERO ESTRUCTURALES	16
3.1 Grados de acero para perfiles y placas	16
3.2 Grados de acero para secciones estructurales huecas y tubos	16
3.3 Otros tipos de acero	17
4.- CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL	19
4.1 Como especificar el acero estructural	19
4.2 Selección de sección	19
4.3 La selección de la placa	20
4.4 Diseño de miembros por esfuerzos	20
4.5 Diseño de miembros por rigidez y capacidad de servicio	20
4.6 Diseño de conexiones por esfuerzos	21
4.7 Diseño de conexiones por rigidez	21
5.- CONSIDERACIONES DE FABRICACIÓN DEL ACERO	22
5.1 Preparación de pedidos	22
5.1.1 Consideraciones generales	22
5.1.2 Preparación de pedidos	22
5.2 Perfiles de alta resistencia	23
5.3 Placas de acero	24
5.4 Los ángulos y las barras	24
6.- CONSIDERACIONES RECOMENDADAS EN LA ELECCIÓN DEL TIPO DE ACERO	25
7.- PROPIEDADES QUÍMICAS	28
8.- GRÁFICA DE ESFUERZO – DEFORMACIÓN	28
9.- BIBLIOGRAFÍA	27



Fig.3 ■ Elección del tipo de acero para estructuras

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción, fabricación, construcción y prácticas de diseño para estructuras de acero han tenido cambios importantes en los últimos diez a quince años, debido a la evolución en la producción de los aceros. Hay muchos tipos y grados de acero disponibles en el mercado, para su uso en la construcción, que cumplen con una amplia variedad de necesidades y demandas del cliente. Además, existen eventos como sismos y huracanes, que presentan nuevos retos de comportamiento y eficiencia de los materiales, algunos de los cuales han planteado preguntas sobre el diseño en acero y las prácticas de construcción. El poder analítico suministrado por programas y equipos de análisis y diseño estructural ha permitido obtener soluciones que antes eran irrealizables, los software de diseño estructural toman en cuenta dos y tres dimensiones para la respuesta estructural. Del mismo modo, las técnicas de fabricación han permitido la mejora de las conexiones cada vez más detalladas y complejas. Por último, la investigación ha dejado ver una mejor comprensión del comportamiento estructural de los elementos, sus conexiones y estructuras completas, dando lugar a criterios de diseño con mejor comportamiento para las predicciones de la estructura.

Como resultado de estas alternativas, el diseño estructural se ha hecho mucho más refinado y se apega mucho más a las condiciones reales de respuesta. Sin embargo, el tema del acero a utilizar no ha sido objeto de investigaciones. Aunque el acero no es isotrópico y homogéneo, muchos diseñadores lo siguen considerando como tal, y las propiedades de los materiales utilizados en los códigos todavía se basan en las pruebas y normalizaciones elementales. Las propiedades mecánicas estándares, no se consideran para que tengan algún efecto en el comportamiento de la estructura sujeta a las condiciones de servicio.



## 2. PROPIEDADES CLAVE DEL ACERO ESTRUCTURAL

El acero se caracteriza por sus propiedades metalúrgicas, químicas y mecánicas. Hay una gran variedad de aceros, pero solo aquellos que pueden clasificarse como aceros estructurales se consideran en este artículo. Para México, la NMX-B-257, equivalente a la ASTM A6 (especificación estándar para barras, planchas, perfiles y láminas laminadas de acero estructural), aunque esta última es la más utilizada y de una lista de todos los grados que pertenecen a esta clasificación. Además, los aceros como los utilizados para las secciones huecas estructurales (HBB) y el tubo, también se consideran como estructurales, aunque no están cubiertos por la norma ASTM A6.

Se espera que estos aceros tengan cierta resistencia a la deformación y las características de su producción que los hacen aptos para su uso en estructuras. Las propiedades se establecen a través de aleaciones químicas específicas, las estructuras metalúrgicas y propiedades mecánicas. Estas se reflejan en la respuesta del material, ya sea un acero de alta resistencia, un acero resistente a la intemperie, o un acero que tiene un determinado tipo de estructura cristalina, por mencionar algunas propiedades que son importantes.

## 2.1 Ensayo de las propiedades mecánicas

### 2.1.1 Propiedades de tensión

Existen protocolos de pruebas para establecer las propiedades mecánicas del material: límite de fluencia, resistencia a la tensión y resistencia última. Los detalles de estas pruebas están en la ASTM, principalmente.

La prueba más común para la fluencia, resistencia a la tensión y las propiedades de deformación del acero se conoce como tracción uniaxial. Se supone que las propiedades de tracción son las mismas que las de compresión. Anteriormente, la muestra para la tensión se tomaba del alma del perfil de ala ancha, orientado en la dirección longitudinal. Esto cambió en 1997, de manera que las muestras ahora se toman de los patines de los perfiles que tienen un ancho mayor a 6 pulgadas (152 mm).

La razón era que debido al espesor, el material del patín presenta un esfuerzo menor a la fluencia que el de la prueba tomada del alma. Además, los patines proporcionan un gran porcentaje de la carga axial y sobre todo la resistencia de los momentos de flexión de perfiles W. Las propiedades de los patines son por lo tanto más representativas en el acero para fines más estructurales.

Las muestras para la prueba de tensión, obtenidas con orientación transversal del espesor del patín pueden dar determinadas propiedades del acero. Estos resultados difieren de la fluencia y los valores de resistencia a la tracción obtenida con una muestra longitudinal. Estudios recientes han demostrado que el esfuerzo de fluencia es ligeramente inferior al mínimo especificado y significativamente menor que la tensión de fluencia uniaxial en la dirección longitudinal del patín. Sin embargo, el patín no falla en la dirección del espesor en las pruebas físicas. Esto se atribuye al aumento de la resistencia causada por las restricciones tridimensionales en las conexiones de la estructura.

Puesto que el acero no es homogéneo ni isotrópico, las propiedades varían de una muestra a otra. Las muestras tomadas de diferentes lugares de la sección transversal, a lo largo del perfil y con variaciones de temperatura, darán como resultado valores diferentes. Esto es normal y esperado. La variabilidad se ha tenido en cuenta en los criterios de diseño LRFD.

### 2.1.2 Propiedades de dureza

Entre más dúctil es el acero, mayor es su tenacidad. La prueba más comúnmente utilizada para obtener la tenacidad o dureza es la prueba Charpy V o prueba de Impacto CVN. Se utiliza una muestra de 10x10x55 mm con un corte mecanizado a la geometría de la muestra. La energía necesaria para romper la muestra se registra como el valor de CVN. Esta es una medida de la dureza del acero, aunque no refleja las condiciones reales físicas. Sin embargo, se permite una comparación de diferentes aceros, y es una medida de la resistencia a la propagación de grietas. La temperatura de la prueba es importante para la resistencia. Específicamente, la dureza disminuye a temperaturas más bajas, lo que significa que el acero tiende a ser frágil en esas condiciones. Una serie de pruebas se realizan para desarrollar la curva de la temperatura de transición de frágil a dúctil. Esto se utiliza para establecer los rangos de ductilidad (corte completo) y fragilidad (muesca) de la fractura. Los datos de transición son especialmente importantes si el acero se utiliza para las estructuras expuestas en climas de baja temperatura.

### 2.1.3 Prueba de propiedades químicas y metalúrgica

En la producción de acero, los análisis químicos se realizan para obtener la composición de la muestra. Estas son tomadas con rigurosos intervalos de tiempo para cada colada, con los apropiados ajustes hechos hasta que se obtenga la química deseada. Los resultados finales se registran en el Certificado de Resultado de Pruebas del molino (CMRT) o Certificado de Calidad. Cada elemento químico tiene efectos específicos en las propiedades mecánicas y de otras propiedades del acero, incluyendo la soldabilidad. Las pruebas metalúrgicas están dirigidas a examinar la estructura y forma del grano del acero, y determinan el tipo y la ductilidad del material. Cuando la producción de acero se basa en lingotes, las pruebas revelan que de vez en cuando la segregación de carbono y la amplificación de grano se deben al mecanismo de enfriamiento del lingote. Para estos productos, es necesario a veces desarrollar completamente la desoxidación del acero, para garantizar la estructura de grano. Esto no es necesario para los procesos de colada continua del acero, ya que todos estos productos son desoxidados.

## 2.2 Propiedades mecánicas de los aceros

### 2.2.2 Propiedades de tensión

Las propiedades más importantes de la prueba de tensión son el esfuerzo de fluencia  $F_y$ , la resistencia a la tracción última  $F_u$ , las tensiones en la ruptura y la deformación unitaria y la deformación total ( $\epsilon_u$  y  $\epsilon_{st}$ ). La reducción del área es una medida efectiva, tanto para la deformación total como para la ruptura, y se considera real, porque refleja la deformabilidad volumétrica. Todas estas propiedades se basan en la prueba común de tensión. Sin embargo, la reducción del área, no se puede determinar adecuadamente sin muestras con sección circular, y por lo tanto, no se informa en el Certificado de Resultado de Pruebas (CMTR). El CMTR tampoco proporciona los datos de deformación unitaria, ya que generalmente no hay criterios aceptables para la prueba.

La curva de esfuerzo-deformación para el acero difiere significativamente entre aceros templados (carbono-manganeso) y los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA). Las figuras 1 y 2 muestran ejemplos representativos de dichas curvas, y en la figura 3 se muestra las curvas esfuerzo-deformación completas para una selección de aceros de calidad estructural producidos en EE UU y México. Las figuras 1 y 2 muestran el esfuerzo de tensión y el alargamiento en la ruptura, que son los parámetros clave para el acero estructural. Específicamente, el límite superior de fluencia se contrasta con el nivel de fluencia para el acero dulce, en la figuras 1 y 2, indica la resistencia a la fluencia, definido por el 0.2 por ciento de deformación (deformación permanente) o el 0.5 por ciento de la deformación total. El límite de elasticidad (figura 2) se diferencia del nivel de esfuerzo de fluencia (figura 1), el efecto del 0.2 por ciento del valor de desplazamiento se utiliza para los aceros que no se definen claramente en la "meseta de fluencia".

El módulo de elasticidad del acero E, es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a  $2.039 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  (29,000 ksi) (200000 MPa).

Fig.7 ■ Elección del tipo de acero para estructuras



Figura 1 Porción inicial de la curva esfuerzo - deformación para aceros de bajo contenido de carbono

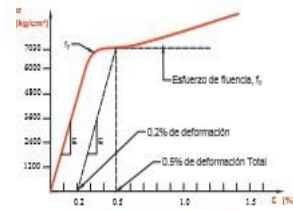


Figura 2 Porción inicial de la curva esfuerzo - deformación para aceros de alto contenido de carbono

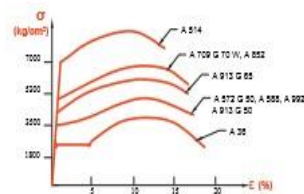


Figura 3 Curvas esfuerzo - deformación de algunas calidades de acero

En esencia, los cambios de trabajo del acero enfriado tienen mayor resistencia y baja ductilidad en un solo material. Las deformaciones plásticas que ocurren, dejan al material sin memoria de lo que ha ocurrido (figura 4). Esto significa que un acero originado en el molino, por ejemplo (ABCDE en la Figura 4), responderá de acuerdo a la línea D'E inicialmente después de haber sido cargado y sometido a una tensión equivalente al punto D de la curva de esfuerzo. La pendiente de la porción inicial de la curva de esfuerzo es el módulo de elasticidad E. La pendiente de la curva inmediatamente después de  $\epsilon_{st}$ , es el módulo de esfuerzo por deformación  $E_{st}$ . E es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a  $29,000 \text{ ksi}$  ( $2.039 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ ).  $E_{st}$  es más bajo y está bien definido, su valor es de alrededor de  $600 \text{ a } 800 \text{ ksi}$  ( $42000 \text{ a } 56000 \text{ kg/cm}^2$ ). Las pruebas de  $\epsilon$  y  $\epsilon_{st}$  se basan en vigas sujetas a flexión más que a valores de tensión, debido a lo sensible de la prueba de tensión y a las variaciones en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación.

El calor de la soldadura y el oxido provoca cambios locales en la estructura del acero, a menos que la entrada de calor y la velocidad de enfriamiento sean cuidadosamente controladas. Generalmente esto resulta en zonas muy localizadas del material en aceros de alta resistencia y baja ductilidad, como en los bordes de corte por flama (oxido) o el calor de la soldadura. Para todos los propósitos prácticos, estas zonas han aumentado los límites de fluencia en aproximadamente igual a la fuerza o la resistencia nominal del metal de la soldadura.

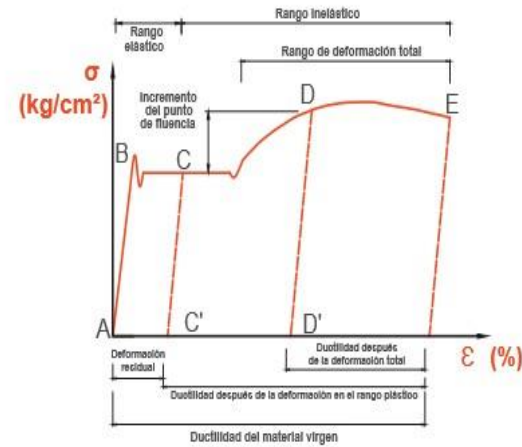


Figura 4 Curva esfuerzo - deformación de los efectos de perfiles laminados en caliente ya enfriados

www.gerdaucorsa.com.mx ■ Fig.8



### 2.2.3 Dureza

La temperatura común de la prueba CVN es de 40 °F (5 °C). Las condiciones de servicio reales pueden llegar a temperaturas mucho más bajas; para requisitos especiales pueden ser necesarias otro tipo de pruebas. Ciertos aceros y especialmente algunas zonas dentro de la sección transversal de los perfiles y las placas pueden presentar baja tenacidad, que son áreas fundamentales de perfiles, placas y la región de filete entre el alma y el patín de los perfiles. La región de filete se refiere a veces como la zona k.

Las piezas gruesas de acero tienden a ser más frías que las delgadas; algunas de las razones de esto son que los núcleos de perfiles gruesos están sometidos a un menor laminado, poseen mayor contenido de carbono y tienen mayores esfuerzos de tensión por el entramiento (esfuerzos residuales) (Figura 5).

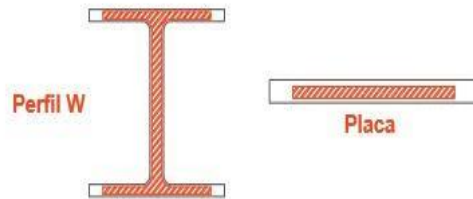


Fig. 5 Las fallas frías se presentan en el núcleo de perfiles gruesos y pesados.

El núcleo es una característica de perfiles pesados y placas producto de lingote o palanquilla, un ejemplo típico es el área enriquecida de carbono en el borde del alma de las secciones producidas antes de 1980 y en los bordes de los patines de perfiles jumbo. Debido a la naturaleza del proceso de colada continua, los perfiles y placas tienen núcleos mucho más pequeños, y los problemas de enriquecimiento de carbono, no son significativos para dichos productos.

La baja dureza de la región del filete es atribuida al proceso de enderezado que se utiliza en un amplio rango de tamaños de perfiles por los fabricantes de acero, para garantizar el cumplimiento de los requisitos de la rectitud de la norma ASTM A6 y normas similares. La rectificación se realiza mediante el paso del perfil a través de una serie de rodillos que deforma la zona plástica. La rectificación produce una pequeña área en la sección del material con mayor resistencia y menor dureza.

Los perfiles pesados se enderezan con una aplicación específica de cargas. Este proceso se conoce como mordaza enderezadora. Los cuestionamientos relacionados con la resistencia y la ductilidad en la región de filete no se aplican a esos perfiles.



Máquina de enderezado de patines.

Fig.9 ■ Elección del tipo de acero para estructuras

### 2.3 Características metalúrgicas

La metalurgia del acero estructural se define, por el hierro y el contenido de carbono, pero también los diversos elementos de aleación que se utilizan para lograr determinada resistencia, ductilidad y otras características. En el pasado, el acero se producía a partir de arrabio (desarrollado en el alto horno de mineral de hierro, coque y caliza) en el horno de reverbero y hornos de oxígeno básico. Se vertía el acero fundido y se formaba en los moldes de lingotes aproximadamente con un peso de diez toneladas. Los lingotes se recalcaban y se procesan para formar floraciones o losas. Estos son laminados en caliente en forma de placas, palanquilla, tubos, riel, hojas o tiras, o los perfiles estructurales. Debido a las características principales del proceso de producción, específicamente, el entramiento del acero en el lingote, el cristalino o la estructura de grano del material se compone de granos variables de gran tamaño. Las estructuras de grano con elementos muy pequeños podrían presentar mayor resistencia, dureza y baja deformabilidad. Lo contrario sería el caso de material con granos más grandes. El acero en cualquier forma, perfil o placa debe, por lo tanto, presentar diferencias significativas de propiedades mecánicas y de otro tipo, en toda la geometría del producto terminado.

Hoy en día el método principal de producción de acero, para todos los perfiles y la mayoría de los productos de acero, se basa en la colada continua. Además, debido a la eficiencia de la producción, los hornos de arco eléctrico son ahora más frecuentes. Esto ha llevado al acero que se produce principalmente a partir de chatarra, en lugar de hierro en lingotes. La colada continua da palanquillas, planchones o tochos, que sólo deben ser objeto de una cantidad relativamente pequeña de pasos del material antes de alcanzar la forma final. Esto contrasta con el antiguo sistema de laminación de lingotes o formas de planchones grandes, que exigía un gran número de pasos del tren de laminación para alcanzar la forma definitiva.

La reducción del número de pasos de producción del proceso de colada continua, explica por qué las formas actuales tienen características de los materiales más uniformes. Como resultado, el acero de hoy es de mayor calidad, y más uniforme que antes.



www.gerdaucoresa.com.mx ■ Fig.10



Fig.11 ■ Elección del tipo de acero para estructuras

## 2.4 Química del acero estructural

### 2.4.1 Tipos de acero

Los principales tipos de acero estructural se clasifican según su composición química y características de procesamiento:

1. Aceros al carbono o aceros al carbono-manganeso.
2. Alta resistencia, baja aleación (HSLA).
3. Alta resistencia, apagados y templados (QT) Aceros aleados.
4. Alta resistencia, apagados y auto-templados (QST), aceros de aleación.

Aceros al carbono o al carbono-manganeso son también conocidos como aceros estructurales. Además de hierro, los elementos químicos principales son el carbono (C) y el manganeso (Mn). Hay restricciones también en las cantidades de algunos productos químicos, en particular de fósforo (P) y azufre (S), que tienen efectos perjudiciales de la ductilidad y soldabilidad del acero. Entre los aceros más comunes de este grupo es el A36, con un esfuerzo mínimo de 36 ksi (2530 kg/cm<sup>2</sup>).

Aceros de alta resistencia, baja aleación (HSLA), fueron desarrollados durante los últimos 30 años, siendo los materiales más utilizados para las estructuras de acero en la actualidad. La mayor resistencia se consigue mediante la reducción del contenido de carbono y la adición de ciertos elementos de aleación. Todos estos aceros son soldables y algunos han aumentado la resistencia a la corrosión. Los aceros HSLA más comunes son ASTM A 992, A 572 y A 588, con un límite elástico mínimo de 50 ksi (3,515 kg/cm<sup>2</sup>), aunque el A 572 y A 588 están disponibles también en otras resistencias. La producción por colada continua de perfiles W (IPE) se centra ahora en el A 992, y como resultado de esta calidad se prefiere para perfiles W en los Estados Unidos y en México. El A 588 es un acero patinable.

Aceros apagados y templados (QT) constituyen un pequeño grupo de materiales con fluencia mínima de 90 a 100 ksi. Estos sólo están disponibles como placas. La alta resistencia se consigue a través de una combinación de bajo contenido en carbono y una secuencia de enfriamiento rápido (es decir revenido) del acero. Esto deja al material con una estructura muy dura, de grano fino. La ductilidad de estos aceros es significativamente menor que la del carbono-manganeso y aceros HSLA.

Aceros apagados y auto templados (QST) están actualmente en disponibilidad limitada. Su alta resistencia se obtiene a través de enfriamiento selectivo de determinadas regiones de un perfil, pero además, el calor que se almacena en el material del procedimiento de rodado es utilizado para proporcionalar el efecto de templado. El enfriamiento localizado deja un producto con una superficie distinta a las regiones del interior del perfil, por lo que el material en su superficie tiende a ser mucho más duro y de grano más fino que el del interior. La soldabilidad es buena.

### 2.4.2 Elementos Químicos

Solamente una selección de elementos químicos del acero son discutidos a continuación:

**Azufre (S):** Es extremadamente perjudicial, afecta a la ductilidad en especial a la flexión transversal y reduce la soldabilidad.

**Carbono (C):** A mayor contenido, mayor resistencia, perjudica sensiblemente a la ductilidad en especial el doblado.

**Cobre (Cu):** La adición de cobre de hasta el 0.35%, aumenta ostensiblemente la resistencia a la corrosión atmosférica de los aceros, también aumenta la resistencia a la fatiga.

**Cromo (Cr):** Aumenta la resistencia mecánica a la abrasión y a la corrosión atmosférica, pero, reduce la soldabilidad.

**Fósforo (P):** Aumenta el límite de resistencia, favorece la resistencia a la corrosión y la dureza, pero perjudica la ductilidad y la soldabilidad.

**Manganeso (Mn):** Es usado prácticamente en todos los aceros estructurales, el aumento de su contenido asegura el aumento de su resistencia mecánica, perjudica la soldabilidad pero es menos perjudicial que el carbono, afecta poco a la ductilidad.

**Molibdeno (Mo):** Aumenta el límite de fluencia y la resistencia a la corrosión atmosférica, mejora la soldabilidad y el comportamiento del acero a altas temperaturas.

**Niobio (Nb):** En poca cantidad aumenta considerablemente el límite de resistencia y el límite de fluencia, no ataca a la soldabilidad y permite disminuir el contenido de carbono y manganeso, es favorable a la ductilidad.

**Níquel (Ni):** Aumenta la resistencia mecánica, la tenacidad, y la resistencia a la corrosión, pero reduce la soldabilidad.

**Silicio (Si):** Como desoxidante del acero, favorece sensiblemente a la resistencia, pero reduce la soldabilidad.

**Titanio (Ti):** Aumenta el límite de resistencia, la resistencia a la abrasión y mejora el desempeño del acero a temperaturas elevadas, también se utiliza para inhibir el envejecimiento precoz.

**Vanadio (V):** Aumenta el límite de resistencia sin perjudicar la soldabilidad y la tenacidad.



www.gerdaucorsa.com.mx ■ Pág.12



Fig.13 Elección del tipo de acero para estructuras

## 2.5 Soldabilidad de los aceros estructurales

Los procesos de soldadura disponibles son: manual, semi-automático y automático. Algunos tipos son más convenientes para la soldadura de taller, mientras que otros son más convenientes para la soldadura de campo. El manual de soldadura de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) da una descripción detallada de todos los procesos.

Es vital que el acero tenga una composición química que garantice la fusión del metal base con el metal del electrodo sin la formación de grietas o imperfecciones similares. Esta característica se conoce como la soldabilidad del acero.

Todos los aceros estructurales disponibles en la actualidad son soldables. Sin embargo, los requerimientos para los aceros QT, tales como aceros A 514 son mucho más restrictivos que los A36. Para los aceros que atienden a dos aplicaciones de las normas ASTM, por ejemplo: A 36 / A 572 certificados, la soldadura debe realizarse de acuerdo a los requerimientos del A 572. Sin embargo, para la rehabilitación estructural y/o con fines de adaptación, donde los detalles del acero que se utiliza, no se conocen, es importante para el diseñador y el fabricante determinar si el material es adecuado para la soldadura.

La medida más común de la soldabilidad es el contenido de carbono (CE). Un material con un contenido de carbono muy alto (fundición de hierro, por ejemplo) no son soldables tradicionalmente, y efectivamente no en el sentido estructural, usando los procesos de soldadura que comúnmente se emplean en los talleres de fabricaciones de estructura de acero. El CE también se utiliza para evaluar las necesidades de precalentamiento para la unión soldada o de ensamble, y hay que tener en cuenta la influencia de hidrógeno y su retención conjunta.

Están disponibles varias fórmulas para el CE, algunas de éstas son adecuadas para los aceros estructurales según lo indicado por las ecuaciones (A) a (C). Estas expresiones son empíricas, basadas en las pruebas del acero dentro de ciertos rangos de composición química. Los números que se introducen son el contenido de elementos químicos en por ciento.

- A)  $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + Nb + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ <sup>1</sup>  
 B)  $CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ <sup>2</sup>  
 C)  $P_{cm} = CE = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + Sb$

<sup>1</sup> Para aceros ASTM A 20, A 572 G 30 debe ser menor a 0.22%

<sup>2</sup> Para aceros ASTM A 202, A 572 G 50, A 572 G 60 debe ser menor a 0.47%

Para el CE de la ecuación (A), la soldabilidad se considera aceptable si el CE es inferior a 0.55% aproximadamente. Esta ecuación se utiliza para el acero ASTM A 529 y en el código de soldadura estructural AWS, AWS D1.1 Anexo XI. La ecuación (B) es probablemente la de uso más común y es propuesta por el Instituto Internacional de Soldadura (IWS). Un equivalente de carbono basado en la ecuación (B) es considerado como una buena medida de la dureza del acero, y la soldabilidad es buena si el CE es de 0.47% como valor máximo para perfiles con un ancho de patín mayor de 50mm (2in) y de 0.45% para otros perfiles. El CE de la ecuación (C) es comúnmente referido como P<sub>cm</sub> composición parámetro; es una fórmula de carbono equivalente que fue desarrollada sobre la base de un gran número de pruebas de susceptibilidad al agrietamiento de los aceros HSLA (Alta resistencia - baja aleación) y con contenido de Boro. El nivel de aceptabilidad de la CE de la ecuación (C) es de aproximadamente 0.23%.

## 2.6 Otras características

### 2.6.1 Influencia de la geometría de la sección transversal

La geometría de los productos de acero y el proceso al cual ha sido sometido el material, influyen hasta cierto punto, en las características del acero. Por ejemplo, un lingote es procesado partiendo de un "Bloom" para que sea el punto de partida que será rodado como perfil estructural o placa. Una "beam blank" de colada continua entra en el tren de laminación para formar una sección de patín ancho. El calor que se almacena en el material antes de rodarse tendrá que disiparse; esto ocurre en la cama de enfriamiento. La disipación de calor y el enfriamiento desiguales consecuentes produce esfuerzos residuales. Estos esfuerzos residuales se presentan también producto del calor de la soldadura y el corte.

El rodado en caliente del acero reduce el tamaño original del Bloom y del beam blank, para llegar hasta el producto final. Durante este proceso, algunos cambios cristalinos se siguen produciendo, principalmente en la forma del crecimiento del grano, en las regiones de lento enfriamiento y en el refinamiento del grano en las áreas de rápido enfriamiento. Para los perfiles grandes, lingotes y placas el crecimiento de los granos puede ser acompañado por la segregación de carbono en algunas zonas. Adicionalmente además del crecimiento potencial del grano, la segregación de carbono se manifiesta en las áreas centrales, sobre todo en grandes perfiles estructurales. Debido a su alto contenido de carbono, el núcleo tiene mayor resistencia y menor ductilidad y tenacidad que en otras partes del perfil. Esto puede ser un problema cuando la soldadura debe ser depositada en o cerca del núcleo, debido a las altas contracciones del metal de soldadura que se llevarán a cabo. Los problemas de este tipo han quedado documentados en el caso de la estructura del Orange County Convention Center en Florida, USA.

Los problemas de la zona del núcleo son mucho menos frecuentes para los perfiles de colada continua, debido a las diferencias en las prácticas de producción y las limitadas oportunidades de crecimiento del grano y la segregación de carbono que existen en estos productos. El perfil de beam blank usado para estos perfiles implica la desaparición de pequeñas cantidades de calor, por tanto, con mucho menos distribución variable de tamaño de grano.

Las diferencias en los pasos en la reducción de espesores que tienen lugar en los patines y alma durante el nivelado de los perfiles dan como resultado diferentes niveles de resistencia para el acero en esas regiones de la sección transversal. En otras palabras, a mayores cantidades de pasos en la reducción del espesor, el acero tendrá mayor resistencia. Esta es una de las razones de la menor resistencia de las alas de un perfil W, con respecto al alma, por ejemplo.

### 2.6.2 Efectos de laminado en caliente

Antes del laminado en caliente, los blooms y los beams blank son recalentados a una temperatura adecuada, uniforme de aproximadamente 1,400°C (2,300 °F). Una vez que el rodado se termina y el elemento se coloca en la cama de rodillos, el calor debe disiparse. El proceso de enfriamiento no es uniforme, de modo que el enfriamiento se lleva a cabo a diferentes ritmos. Algunas fibras por lo tanto, llegan a la temperatura ambiente antes que otras. Las fibras que se encuentran cerca de una punta del patín, por ejemplo, se enfriarán más rápido, las que están cerca de la unión con el alma serán las últimas en llegar a la temperatura ambiente.

Resultados del proceso de enfriamiento en la contracción de las fibras. Una vez que las primeras fibras han alcanzado la temperatura ambiente, también han llegado a lo que será su longitud final. Sin embargo, como las fibras en las inmediaciones al alma, todavía tienen que liberar algo de calor, se contraen más y, como las fibras en la sección transversal de un perfil continuo, que ejercerá una fuerza en las primeras fibras exigirá que se acorten un poco más. Las fibras que se enfrían primero, tendrán que trabajar más de lo necesario para alcanzar la longitud final a la temperatura ambiente. Estas fibras, se mantienen en un estado de acortamiento forzoso, de tal manera que terminan en un estado forzoso de esfuerzos a compresión. Cuando las últimas fibras están enfriadas a temperatura ambiente, se dice que todo el material ya está listo. En consecuencia, estas fibras están restringidas para completar la cantidad de contracción que se produciría si no estuvieran rodeadas por otras fibras. Estas fibras, por lo tanto llevarán a cabo un estado de elongación forzada o esfuerzos de tensión. El desarrollo de tensiones residuales es mucho más complicado de lo descrito anteriormente. Sin embargo, esta presentación hace hincapié en los puntos principales. Una gama de tensiones residuales por lo tanto, existen en la sección transversal, de la compresión a la tensión, en ausencia de cualquier carga aplicada externa. La cantidad de acortamiento en el proceso de enfriamiento es independiente del límite de fluencia del acero. Dado que E (módulo de elasticidad) es una constante para todos los aceros, la magnitud y la distribución de las tensiones residuales es independiente de la calidad del acero. Esto explica por qué la tensión residual en general es más perjudicial para los materiales de baja resistencia, porque desde entonces estarán sujetos a esfuerzos que afectan en un alto porcentaje a su nivel de límite de fluencia.



### 2.6.3 Efectos del calor localizado

Los efectos del calor a partir de fuentes tales como la soldadura y corte con soplete dependerá de la magnitud y la duración del calor involucrados. Sólo los perfiles pequeños o placas serán afectados significativamente. Para perfiles con medianas o grandes dimensiones el calor localizado sólo afectará a la distribución de tensiones residuales en las inmediaciones de la soldadura o de llama de corte. Como el calor es intenso y muy localizado, el enfriamiento posterior será muy rápido. El índice de enfriamiento se puede bajar con precalentamiento o poscalentamiento, lo que disminuirá las tensiones residuales.

El alto índice de enfriamiento asociado con la soldadura y corte con soplete provoca cambios en la estructura del grano en las inmediaciones de la fuente de calor. Estos resultados en un material de grano fino en las proximidades de la soldadura y la llama de corte, lo hacen más fuerte, más duro y menos dúctil que el resto del metal base.

### 2.6.4 Efectos del rolado en frío

Algunos de los efectos del rolado en frío ya se han comentado. Por ejemplo, el enderezado se hace normalmente a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente, lo que se clasifica como enderezado en frío. A fin de lograr una curvatura permanente en la configuración de un elemento recto, las deformaciones plásticas se presentan como consecuencia, con el resultado de que las tensiones residuales originales son redistribuidas. Un perfil roto en frío, tiene entonces valores más bajos de esfuerzos residuales.

En los perfiles rolados en frío, se manifiesta en ciertas regiones una mayor resistencia localizada y menor deformabilidad. Para la fabricación en general se recomienda evitar la soldadura en o cerca de las áreas de la sección transversal del roto o doblado frío. Esto requiere un diseño y detallado que considere estas regiones.

## 3. GRADOS Y TIPOS DE ACEROS ESTRUCTURALES

Un gran número de grados de acero estructural están disponibles para los perfiles, placas y perfiles huecos estructurales y tuberías en el mercado. Los más importantes se discuten brevemente a continuación.

### 3.1 Grados de acero para perfiles y placas

(TABLA 1)

La ASTM aprobó las normas para las placas y laminados en caliente que son A 36, A 572, A 242, A 588, A 709, A 852, A 514, A 513 y A 992. El ASTM A 529, A 709 es único, define los aceros aptos para la construcción de puentes; los distintos grados de acero por debajo del A 709 tienen equivalentes como A 36, etc.

**ASTM A 36:** El A 36 ha sido uno de los grados de acero primarios para todos los tipos de estructuras. Se han especificado mínimos de  $f_y$  y  $f_u$  de 36 y 58 ksi (2,530 y 4,080 kg/cm<sup>2</sup>). Casi todos los tamaños y tipos de perfiles y placas están todavía disponibles en el A 36 (excepto los perfiles IR, W 4 H), aunque el esfuerzo de fluencia mínimo especificado baja a 32 ksi (2,260 kg/cm<sup>2</sup>) para espesores de placa de más de 8 pulgadas (203 mm).

**ASTM A 529:** El A 529 es muy utilizado por la industria de la construcción metálica, también es un grado muy común para barras, perfiles como los ángulos, canales pequeños. El A 529 básicamente incluye grado 50 para los perfiles de ASTM en los grupos 1 y 2, placas de hasta una pulgada de espesor y 12 pulgadas de ancho y barras hasta 2-1/2 pulgadas de diámetro.  $f_y$  y  $f_u$  y los mínimos son de 50 y 70 ksi (3,515 y 4,920 kg/cm<sup>2</sup>).

**ASTM A 572:** El A 572 está disponible en varios grados, dependiendo del tamaño del perfil y el espesor de la placa. Grado 50, con  $f_y = 50$  ksi y  $f_u = 65$  ksi (3,515 y 4,570 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente) está disponible en todos los tamaños de perfiles y espesores de placa hasta 4 pulgadas. Este es el grado de acero estructural más usado en el mercado de los EE. UU. actualmente, a pesar de que está siendo rápidamente reemplazado por A 992 para perfiles W.

**ASTM A 588:** Este acero para intemperie fue aprobado en 1968, también conocido como "patinable" está disponible en varios grados con pequeñas variaciones en su química. El límite de fluencia mínimo especificado y resistencia a la tracción en todos los grupos de ASTM de perfiles estructurales y de planchas en espesores de 4 pulgadas y menos de 50 y 70 ksi (3,515 y 4,920 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.

**ASTM A 992:** El ASTM A 992 es el acero más reciente (1998) adicionalmente a la lista de los aceros estructurales. Está destinado para la construcción, y se aplica en perfiles W. Para todos los fines prácticos, el ASTM A 992 es el A 572 grado 50 con controles adicionales. Específicamente, además de hacer hincapié en un determinado límite de fluencia mínimo de 50 ksi (3,515 kg/cm<sup>2</sup>). El ASTM A 992 también ofrece un límite superior para el límite de fluencia  $f_u$  de 65 ksi (4,600 kg/cm<sup>2</sup>). La relación de resistencias,  $f_u/f_y$ , no es mayor de 0.85, y el equivalente de carbono no supera el 0.47%. Este acero ha sido efectivamente producido en los Estados Unidos desde mediados de 1997, y era entonces conocido como A 572 G 50 Mejorado. El material también puede ser ordenado como "A 572 con requisitos especiales, de conformidad con AISC el Boletín Técnico N° 3" (AISC A 572-50). El ASTM A 992 ofrece una excelente soldabilidad y las características de ductilidad, al tener menor contenido de carbono, y mayor control en el Molibdeno.

### 3.2 Grados de acero para secciones estructurales huecas y tubos

Las especificaciones de acero estructural para las secciones huecas estructurales (HSS) son ASTM A 500, A 501, A 618 y A 847, para tubos de acero es ASTM A 53. Los más importantes se discuten a continuación.

**ASTM A 53:** A 53 está disponible en los tipos E y S, donde E designa a una resistencia a la soldadura y S a tubos sin costura. El grado B es apto para usos estructurales, con el esfuerzo de fluencia y la resistencia a la tensión de 35 y 50 ksi (2,460 kg/cm<sup>2</sup> y 3,515 kg/cm<sup>2</sup>).

**ASTM A 500:** A 500 está disponible para perfiles redondos formados en frío HSS en tres grados, y también en tres grados para cuadrados o rectangulares formados en frío HSS. Las propiedades de HSS cuadrados y rectangulares difieren de las del HSS redondos. El grado más común es el A500 grado B, cuyo esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción se encuentra en el orden de los 46 y 58 ksi (3,250 y 4,100 kg/cm<sup>2</sup>).

**ASTM A 501:** A 501 es idéntico al A 36 para todos los efectos prácticos. Se utiliza para las secciones circulares, así como HSS cuadrados y rectangulares.



Fig.17 Elección del tipo de acero para estructuras

### 3.3 Otros tipos de Acero

A veces es necesario el uso de los aceros con normas no nacionales. En este caso es fundamental para el diseñador de cerciorarse de que todas las propiedades de los materiales satisfagan las necesidades de diseño, incluyendo la química, la metalurgia, y las propiedades mecánicas equivalentes a los criterios pertinentes. Los aceros pueden incluir los grados de aceros producidos en Canadá, los cuales son producidos bajo las Canadian Standards Association (CSA), en la mayoría de los grados, los requisitos son generalmente muy cerca de las contrapartes de EE.UU. Por ejemplo, CSA G40.21-350W es prácticamente idéntico al A 572 (50), G40.21-350A es el mismo que A 588.

Los grados de acero que se producen fuera del mercado de América del Norte pueden tener diferentes requisitos, según el país de origen. Los requisitos que se aplican a las calidades de acero nacional y sus productos, se aplican igualmente a esos materiales.

TIPO DE ACERO	DIFERENTES U 80 8
ASTM A 36	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placa de Carbono</li> <li>Perfilado de acero estructural (I-beam) y perfiles (I)</li> <li>Perfilado de acero y laminado de acero (L)</li> <li>Mataderos y laminados de laminado (L)</li> <li>Longanas, Tuberías (S) y (S)</li> <li>Contrapesos de laminado (S)</li> </ul>
ASTM A 529 C 50	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placa de acero "F" de espesor (Placa de Carbono, Placa de laminado etc.)</li> <li>Perfiles (S) producidos específicamente para el diseño de momento y resistencia a la tracción de acero</li> <li>Mataderos y laminados (L)</li> <li>Contrapesos de laminado (S)</li> </ul>
ASTM A 572 C 50	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placa de acero "F"</li> <li>Perfilado de acero (S)</li> <li>Perfilado de acero (S)</li> <li>Chapas de Placa (S)</li> <li>Mataderos</li> </ul>
ASTM A 502	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acero fabricado para la general en una zona que está sujeta a la fatiga</li> <li>Mataderos Matados</li> </ul>
ASTM A 709	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placa</li> <li>Perfilado de laminado</li> </ul>
ASTM A 992	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuberías (S)</li> <li>Mataderos (S)</li> <li>Perfilado de acero (S)</li> <li>Perfilado de acero (S)</li> <li>Chapas de Placa (S)</li> <li>Mataderos</li> </ul>
ASTM A 53	Mataderos
ASTM A 508	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas de acero laminado de acero (S)</li> <li>Chapas de acero laminado de acero (S)</li> <li>Chapas de acero laminado de acero (S)</li> </ul>
ASTM A 501	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perfiles (S) y (S)</li> <li>Perfilado de acero de gran, de gran, de (S) y (S)</li> </ul>

- 1) Norma Mexicana
- 2) American Society for Testing and Materials
- 3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material
- 4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.
- 5) ASTM especifica varios grados de acero A 500, para tubos circulares y rectangulares
- 6) Para perfiles estructurales: placas y barras ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material
- 7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70

TABLA 1

CORRELACION DE LA S NMX Y A 81M DE ACERO S ESTRUCTURALE S					
Nomenclatura		F <sub>y</sub>		F <sub>u</sub>	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A 36	250	2,530	400 a 550	4,080 a 5,620
		345	3,515	485	4,950
	A 529	380	3,880	485	4,950
		320	3,235	480	4,710
B-282	A 242	345	3,515	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
B-284	A 572	345	3,515	450	4,570
		414	4,220	515	5,270
	A 992	450	4,570	550	5,620
		345	3,515	450 a 620	4,570 a 6,330
B-177	A 53	240	2,460	414	4,220
B-199	A 500	320	3,235	430	4,360
B-200	A 501	250	2,530	400	4,080
		345	3,515	483	4,920
	A 709	250	2,560	400	4,080
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040
A 913 (3)	483	345 a 4920	3,515 a 4,920	448 a 620	4,570 a 6,330

www.gerdaucorsa.com.mx Fig.18



Fig.19 ■ Elección del tipo de acero para estructuras

## 4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

La selección de los tipos de acero estructural para ser utilizado en un proyecto es realizado por el ingeniero que está ejecutando el diseño estructural. Las consideraciones para determinar la aplicación más eficiente del acero son:

1. Eficiencia estructural, en términos de menor costo.
2. Simplicidad y facilidad de conexiones a los miembros estructurales.
3. Costo unitario relativo del perfil o la placa.
4. La disponibilidad del material.

Muchos ingenieros han tratado de dar el peso mínimo de acero como una medida de máxima eficiencia en sus diseños. Sin embargo, en muchos casos, esto no dará lugar a la solución más eficiente en general, ya que puede aumentar los costos de fabricación y montaje asociados a la solución de menos peso. Para algunos miembros, las secciones seleccionadas pueden llegar a ser más caras que las secciones un poco más grandes, si los tamaños no son comunes o si las conexiones son innecesariamente complicadas, en virtud de las secciones seleccionadas.

### 4.1 Como especificar el acero estructural

La selección del material está dado en las especificaciones del proyecto por los diferentes grados que son apropiados para los miembros y las conexiones. Más allá de los requisitos de las normas de acero, puede ser incluido en las especificaciones del proyecto. Éstas pueden incluir la necesidad de demostrar la dureza del material, la estructura metalúrgica del perfil, de las pruebas de materiales más allá de las pruebas de tensión estándar y/o requisitos de composición química específica. Todas esas necesidades adicionales y los costos relacionados deben estar claramente delimitadas, usando otros materiales y las especificaciones de las pruebas siempre que sea posible.

### 4.2 Selección de sección

Los perfiles de ala ancha son las secciones predominantes utilizadas para vigas y columnas, para vigas de entresolio, esto es en gran parte debido a la eficiencia de su forma de corte transversal y la disponibilidad de una amplia gama de tamaños. Para las columnas, los perfiles "H" de patín ancho es el más utilizado debido a su forma abierta que permite que las conexiones a las vigas, sean relativamente simples, y debido a que están disponibles en tamaños que incluyen la sección transversal de gran tamaño.

Otros perfiles, tales como canales y ángulos son también ampliamente usados en aplicaciones estructurales. Por ejemplo, los canales se utilizan para disminuir los claros de las vigas y miembros estructurales diversos. Muchas armaduras se construyen con alguno o varios miembros de ángulo doble. En su mayor parte, los canales y los ángulos están disponibles como material ASTM A 529 G 50.

Los miembros de acero estructural con sección transversal cerrada también se usan comúnmente en forma de sección circular o rectangular estructurales huecos o HSB. Estos se usan a menudo para las columnas, debido a su eficiencia en la compresión axial. Además, los consideran para algunos elementos arquitectónicos y estructurales expuestos a menudo, a pesar de lo complejo que pueden resultar las conexiones, y por consecuencia mayor costo.

### 4.3 La selección de la placa

La construcción en acero también hace uso extensivo a las placas. Algunos ejemplos son las vigas construidas con 3 placas o columnas de 4 placas, placas base de columnas y placas de conexión diversas. Están disponibles en una amplia gama de espesores y es generalmente más fácil conseguir en acero ASTM A 36 y con menos frecuencia en ASTM A 572 G 50.

### 4.4 Diseño de miembros por esfuerzos

El cálculo de las cargas impuestas a los miembros en los marcos estructurales es típicamente hecho sobre la base de un análisis dimensional. Para los miembros que forman parte del sistema resistente lateralmente, es más común el análisis en dos dimensiones. El análisis tridimensional, generalmente se utiliza sólo para las estructuras de marco más complejas espacialmente. En estos análisis, los miembros generan fuerza axial, flexión, corte y distribución de la fuerza de torsión a lo largo de la longitud del propio miembro. Los tres aspectos dimensionales de las secciones transversales actuales de estos miembros no son explícitamente considerados.

Antes de la publicación de la Especificación AISI LRFD (1986), los miembros de acero estructural eran dimensionados por el diseño de esfuerzos permisibles (ASD). El concepto básico de esta filosofía, es el comportamiento elástico lineal. Las ecuaciones están basadas en la mecánica de materiales que son utilizadas para determinar en el miembro de los niveles esperados de esfuerzos a partir de diversas fuentes.

Con la llegada de las especificaciones LRFD, el diseño de elementos de acero se basa en los procedimientos resultantes de tensiones y el estado límite. Este es un enfoque más racional para el diseño, ya que aborda directamente la respuesta de los miembros y las conexiones a un nivel de carga, que satisface el estado límite de seguridad. El uso de métodos de resistencia última resultantes de tensiones implica que los miembros de acero pueden acomodar una redistribución de las tensiones a través de la obtención de esfuerzos locales. Las especificaciones de diseño LRFD y ASD hacen énfasis en las fuerzas y en los esfuerzos, respectivamente.

### 4.5 Diseño de miembros por rigidez y capacidad de servicio

Además de diseñar los miembros para proporcionar unos niveles mínimos de resistencia, también deben ser considerados la rigidez y la capacidad de servicio. El diseño por sollicitaciones de servicio, requiere que el diseñador considere las cargas de servicio solamente, para garantizar que el comportamiento sea el previsto. Esto contrasta con el diseño por resistencia utilizando LRFD, donde se utilizan cargas factorizadas. Algunos ejemplos de las sollicitaciones de servicio incluyen los asentamientos del suelo, desplazamientos laterales (flambos) en la estructura sujeta a momento y sujeta a acciones sísmicas o de viento, y el control de vibraciones. El control de rigidez es una constante para el acero, el control de la rigidez se concentra en el estado límite que tipo el diseño de miembros en muchos casos. De hecho, en las estructuras como los marcos a momento, las consideraciones de rigidez a menudo controlan el comportamiento estructural de tal manera que los diseñadores puedan especificar material con menor  $F_y$  en los puntos claves de menor esfuerzo y aún así satisfacer todos los requisitos en todos los puntos. Sin embargo, resulta importante señalar que especificar secciones con material de menor límite de fluencia no puede resultar en ahorros de costos, puesto que las diferencias de precios entre los distintos grados pueden ser pequeñas.

El diseño para el control de las vibraciones se ha convertido en algo muy frecuente en estructuras de uso público. La sensibilidad de los ocupantes en los tipos residenciales de edificios ha sido una preocupación a través de los años, y ha sido motivo de un gran espacio para su estudio. Estructuras con requisitos de ocupaciones especiales, tales como aeródromos, y pistas de hielo deben tener una atención especial. Por último, la sensibilidad a la vibración extrema de los equipos utilizados en la medicina, la informática biomédica, y otras industriales ha llevado a la necesidad de un diseño explícito para el control de la vibración. Dado que es un problema distinto, la combinación de la masa, la rigidez, amortiguamiento, cargas funcionales y la sensibilidad de los ocupantes (ya sea humano o mecánico), deben considerarse interrelacionando en la forma más desfavorable. El diseñador tiene cierto control sobre la masa y amortiguamiento de la estructura, pero poco o ningún control sobre las cargas que se aplicarán y la sensibilidad de los ocupantes. El medio más directo para controlar la vibración mediante el diseño, es a través de la rigidez estructural.

#### 4.6 Diseño de conexiones por esfuerzos

El diseño de las conexiones se centra casi exclusivamente en los esfuerzos. Como diseño de un miembro, el diseño de las conexiones es típicamente basado en un conjunto de supuestos simplificados que suponen la transferencia de cargas y resultantes de esfuerzos. Es importante para el diseñador saber que la distribución real de las tensiones es probablemente muy diferente de la utilizada en las hipótesis de diseño. Inherentes a estos procedimientos es la suposición de que tanto el material, la fabricación y como se colocan las conexiones, tienen una capacidad de deformación suficiente para permitir la redistribución de las fuerzas del miembro.

La distribución de la tensión en las conexiones es sustancialmente afectada por las tres dimensiones de los miembros que se unen, y deben ser tomadas en cuenta en el diseño. Las concentraciones de esfuerzos resultantes pueden dar lugar a grietas o fracturas, si el material no está diseñado para ceder. El esfuerzo de fluencia podrá ser limitado por la restricción, y puede no estar en todos los sentidos del esfuerzo triaxial de tensión. Por tanto, se debe tener precaución con los altos niveles de restricciones en las proximidades de las zonas de concentraciones de esfuerzos.

#### 4.7 Diseño de conexiones por rigidez

Aparte de la clasificación general de una conexión, de ser a momento resistente o a cortante, en el diseño habitual de conexiones es raro que se tome en cuenta la rigidez, y la flexibilidad, por lo que no se incluyen en el cálculo de las deformaciones de los miembros esforzados. Sin embargo, las solicitudes de conexiones parcialmente restringidas (PR) en marcos resistentes a momento han tratado de considerar de manera explícita la relación de la rotación de momento en el análisis del marco. Los principales cambios en las especificaciones de diseño de acero en este ámbito se esperan durante los próximos años.



## 5. CONSIDERACIONES DE FABRICACIÓN EN ACERO

Incluso cuando el costo del material es cercano a la mitad del precio de una estructura, es importante que todos los miembros del equipo de diseño de los elementos básicos entiendan el sistema de compras del material que utilizan los fabricantes.

El documento clave para la especificación, la compra o venta de acero estructural es la norma NMX B 252 (ASTM A6), "Requisitos generales para planchas, perfiles, tablaestacas y barras, de acero laminado para uso estructural". Esta norma cubre la terminología, la información de fabricación, requisitos de calidad, incluidos los de tratamiento de superficie y las tolerancias, métodos de prueba, informes, sistemas de identificación, y los requisitos complementarios estándar o comunes. Todos los perfiles estructurales de acero y placas deben cumplir con esta especificación, además de las especificaciones del material que cubre los requisitos físicos y químicos para un grado de acero dado.

### 5.1 Preparación de Pedidos

#### 5.1.1 Consideraciones generales

Si bien sería más eficiente esperar hasta que los planos del taller estén completos y aprobados antes de ordenar el material, el cronograma del proyecto rara vez lo permite. Los pedidos de material son comúnmente preparados de acuerdo a la fecha de inicio de obra y no a la fecha de programación de la producción y montaje. La orden de compra no necesariamente debe ser la orden de producción definitiva, pero sí debe incluir el tamaño y dimensiones de todos los elementos estructurales. La orientación de la columna debe ser indicada, así como la altura definitiva.

Si bien no es necesario mostrar los detalles en esta etapa, es útil indicar los tipos de conexiones que se requerirán. El tipo de conexión puede determinar la longitud de los materiales principales que deben ser ordenados. La estructuración de las conexiones y otros detalles de la estructura se pueden añadir más tarde. El material puede adquirirse a partir de la ingeniería básica.

#### 5.1.2 Preparación de pedidos

La preparación de la orden de compra se inicia con una lista de materiales anticipada, del proyecto o con el plan de producción de la orden del molino. Este es un resumen del acero requerido para el proyecto, y es preparado por el fabricante con la lista de material para el proyecto. El departamento de compras indica qué miembros se le ordenará a la longitud estándar y que miembros se ordenarán cortados a la medida. El detalle del material, como los ángulos de conexión y las placas, normalmente no se envía, a menos que se necesiten grandes cantidades. Los ángulos utilizados para refuerzos de los miembros del alma de armadura deben considerarse, a menos que la cantidad sea pequeña y las longitudes permitan el uso eficiente de los largos que están en stock.

El departamento de Ingeniería del fabricante utiliza la lista preliminar del molino como una guía para preparar la lista actual de la orden de producción. El pliego de condiciones se revisa para determinar las especificaciones de materiales para cada pieza. El estándar de material de acero y los requisitos especiales para cada miembro se detallan, junto con la longitud requerida para todo el material que se ordenó cortado a la medida. El material a cortar a partir de longitudes especiales puede resumirse de la longitud total que se necesita, en términos de número de piezas y la longitud de la media.

Antes de preparar el "programa de envíos del proyecto", es importante que se establezca la secuencia de construcción, para garantizar el cumplimiento de suministro. El dato para cada elemento de la estructura puede ser incluido en la lista de orden del molino. Esto le ayuda en la programación de las compras de material y permitir la entrega más eficiente de los materiales.

El departamento de compras ahora prepara la orden para cada uno de los elementos de la lista. Estos se colocan sobre la base de los límites de costos y calendario de construcción. Comúnmente hay tres opciones básicas para costear el material de una obra:

- 1.- Campañas de laminación
- 2.- Stock de Molinos
- 3.- Stock de Centros de servicio

La mayoría de los fabricantes también mantienen un inventario limitado de productos de acero y de diferentes grados, para ser capaz de manejar proyectos pequeños o reparaciones.

## 5.2 Perfiles de ala ancha

El precio de perfiles de ala ancha en los Estados Unidos hoy es de aproximadamente 30 por ciento menos de lo que era hace diez años. Actualmente no existe un diferencial en el precio entre el ASTM A 572-50 y el ASTM A 992, para los perfiles pesados, de aproximadamente 90 libras/pie (134 kg/m). Por encima de este peso hay un pequeño diferencial para el material de  $f_y = 50$  ksi (3,515 kg/cm<sup>2</sup>), incluso con este cargo adicional, el diseñador puede ganar en eficiencia, tales como reducir el tamaño de los miembros o la eliminación de los refuerzos y/o placas dobles, el grado 50 de acero es generalmente más rentable.

La mayoría de los molinos, publican calendarios mostrando la frecuencia con que producen los distintos perfiles. Los ciclos para cada serie varían, sobre la base de la demanda y la capacidad de producción. Por ejemplo, las secciones más pesadas se rotan cada 4 a 6 semanas. Algunas de las secciones más ligeras son rotadas solamente cada tres meses, debido a que se venden generalmente en longitudes especiales. Tales restricciones pueden significar que una orden de compra para un molino de un proyecto cualquiera, puede tomar de 3 a 9 semanas para que el fabricante pueda recibir todos los elementos de acero necesario para la secuencia inicial, contando desde el momento de la adjudicación del contrato. Esto se basa en una semana para preparar, comprobar y meter la orden de compra, y una o dos semanas para el envío por ferrocarril o por camiones. También es fundamental que las campañas estén disponibles en la laminación próxima. Si el laminado no está completo, el calendario se incrementará en la cantidad de tiempo para el próximo ciclo con un laminado disponible.

Los molinos suelen mantener un stock de existencias en los tamaños comunes, en incrementos de longitud de 5 pies desde 30 a 65 pies. Aunque se limitan las longitudes, es posible establecer órdenes de entrega de hasta 90 pies o más. Sin embargo, las maniobras y el transporte pueden ser un problema para esos largos, y el fabricante por lo tanto, tiene la opción de empalmar, si esto es más económico que comprar tramos más largos. Las fábricas de acero en Estados Unidos en la actualidad producen perfiles en pesados de hasta 40 pulgadas. Secciones más grandes tienen que ser suministradas por los productores fuera de América del Norte, pero esto puede suponer costos más elevados. La entrega puede estar sujeta a la disponibilidad de las navieras. Esto incrementará aún más el costo, en función de la diferencia entre las longitudes requeridas y el stock disponible. Incluso puede ser necesario aumentar el tamaño de la sección, en función de lo que está disponible.

Como una opción, en lugar de perfiles pesados para su uso como columnas, a menudo es más económico fabricar secciones con placa o utilizar perfiles pequeños de ala ancha para hacer secciones cruciformes. Recientemente se ha observado las ventajas y economías de las secciones compuestas, concreto-acero.



Fig.23 ■ Elección del tipo de acero para estructuras

## 5.3 Placas de acero

Los marcos de acero utilizan principalmente placas de sección variable, placas base, placas de vigas, refuerzos (placas de continuidad) y conexiones. Este material por lo tanto, generalmente se ordena en los tamaños estándares a partir del cual se cortan las piezas en múltiples o sub-múltiplos. La mayoría de los fabricantes mantienen un stock limitado de placas de espesor común en A 36, también pueden tener stock de algún grado A 572.

Las placas de acero de 36 y 50 ksi son un material fácilmente disponible en los centros de servicio a precios competitivos con respecto a adquiridas directamente en los molinos.

Las longitudes de stock para la placa son típicamente de 20 y 40 pies. Espesores de menos de 5/8" a menudo se cortan de placa en rollo. Las placas más delgadas son a menudo suministradas como ASTM A 529. Para materiales especiales, el molino es la mejor fuente de suministro. La mayoría de las aplicaciones en construcción requieren sólo la norma ASTM A 36, A 572 o A 588. Estos grados por lo general se pueden obtener de 6 a 9 semanas en un mercado normal.

Es esencial que cualquier análisis de inspección especial, se incluya en la orden de compra del molino. Cualquier prueba que vaya más allá de los requisitos estándares de la ASTM A 6, no es motivo para sustituir el material. Si la inspección o pruebas en el taller de fabricación demuestran el incumplimiento con el material estándar, será restaurado (si es posible), reforzado o sustituido, pero esto demora el proyecto.

El tamaño máximo de placa, es determinado por el ancho de los rodillos, el espesor requerido y la longitud en que se puede obtener del tren de laminación del molino. La longitud máxima por lo general es de 40 pies. El fabricante debe dar la opción de otras medidas. Las placas están disponibles en cualquier espesor, pero los incrementos son de 1/16" hasta 7/16" de espesor y en espesores mayores, aumenta en 1/8".

## 5.4 Los ángulos y las barras

Los ángulos y las barras se utilizan normalmente para el material de conexión. Los ángulos están disponibles en A 36 y en A 529, pero la mayoría de los centros de servicio y los molinos de stock principalmente tienen A 36. Debido a que los ángulos se utilizan normalmente en longitudes pequeñas, se cortan en longitudes de 20 y 40 pies.

Para diseño de armaduras y miembros que requieren medidas especiales y posiblemente un esfuerzo de fluencia de 50 ksi, es importante que el diseñador use el menor número de medidas. Esto permitirá al fabricante cumplir con los requisitos de orden mínima. Cuando sólo unas pocas piezas requieren mostrar miembros, puede ser rentable permitir algunos empalmes que utilicen longitudes mayores. El fabricante puede tener un problema al reastar el pedido en un molino si sólo son ángulos y barras, en el sentido de que las fábricas son relativamente especializadas o que las instalaciones no producen toda la gama de tamaños.

Estos, pueden ser competitivos con algunas medidas, debido a los costos de flete.



www.gerdaucorrea.com.mx ■ Fig.24



## 6. CONSIDERACIONES RECOMENDADAS EN LA ELECCIÓN DEL TIPO DE ACERO

Resumiendo las evaluaciones anteriores del material de acero, junto con los puntos clave del diseño estructural y fabricación, las consideraciones siguientes deben hacerse cuando se selecciona el material de acero de una estructura. Es muy importante también señalar que, aunque hay muchas pruebas de material que se pueden ejecutar, muchas de ellas no son ni útiles ni prácticas para una serie de tipos de estructuras. Así, una estructura de un puente, que está expuesta al medio ambiente natural y en condiciones de fatiga de ciclo alto, necesita disponer de un acero con propiedades de dureza de acuerdo con las condiciones de servicio previsto, no sería realista ni económico especificar un material con los criterios de una estructura con carga estática.

- 1.- Tipo de estructura, condiciones de servicio, condiciones de carga, entorno de la aplicación de las cargas.
- 2.- Resistencia del material, ductilidad, tenacidad, soldabilidad y metalurgia.
- 3.- Química del material.
- 4.- Tipos de miembros estructurales, tamaños longitudes y carga.
- 5.- Conexiones soldadas o atornilladas.
- 6.- Conexiones: viga a columna, viga a viga, empalmes.
- 7.- Criterios de fabricación, incluyendo técnicas de unión, corte, soldadura en el campo y soldadura en taller.
- 8.- Requisitos de construcción, que incluyen la soldadura de campo.
- 9.- Cuantificaciones y la experiencia de diseño, de fabricación y del personal en el campo y en la construcción.
- 10.- Las necesidades de equipo de taller y de campo.
- 11.- Necesidades de Inspección y sus métodos, calificaciones y procedimientos de garantía de calidad por parte del Inspector.
- 12.- Consideraciones especiales:
  - I. Realizar conexiones complicadas,
  - II. Conexiones soldadas y/o conexiones atornilladas,
  - III. Cordones de soldadura grandes,
  - IV. Estados triaxiales de esfuerzos por carga y descarga,
  - V. Contracción de soldadura,
  - VI. Direccionalidad de las propiedades del material,
  - VII. Aparición y consecuencias de la aparición de grietas:
    - a. Durante la fabricación,
    - b. Montaje y construcción, y
    - c. De servicio.
  - VIII. Cargas cíclicas y/o dinámicas,
  - IX. Detalles por fatiga, iniciación y propagación de grietas,
  - X. Condiciones de fractura frágil,
  - XI. La corrosión y concentración de esfuerzos por corrosión.



Fig.25 ■ Elección del tipo de acero para estructuras

## 7. PROPIEDADES QUÍMICAS

Elemento	ASTM A 36	ASTM A 588 G 58	ASTM A 572 G 52	ASTM A 572 G 58	ASTM A 982 / AWS A 572 G 52
C (máx)	0.26	0.27	0.23	0.26	0.23
Mn (máx)	***	1.35	1.60	1.60	0.50 - 1.60
P (máx)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.035
S (máx)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.045
Si (máx)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cu (mín)	0.20 *	0.20 *	0.20 *	0.20 *	0.60 *
Ni (máx)	***	***	***	***	0.45
Cr (máx)	***	***	***	***	0.35
Mo (máx)	***	***	***	***	0.15
V (máx)	***	***	0.01 - 0.15	0.01 - 0.15	0.15
Cb o Nb (máx)	***	***	0.005 - 0.05	0.005 - 0.05	0.05
f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	2530	3515	3515	4200	3515 - 4570
f <sub>t</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	4080 - 5620	4920 - 7030	4570	5300	4570 **
Elong. en 200 mm (mín,%)	20	18	18	16	18
Elong. en 60 mm (mín,%)	21	21	21	18	21

\*\*\* Indica que no tiene un contenido máximo.

\* Solo se coloca en la composición, cuando así se especifica.

Fuente: ASTM Volume 01.04.2009

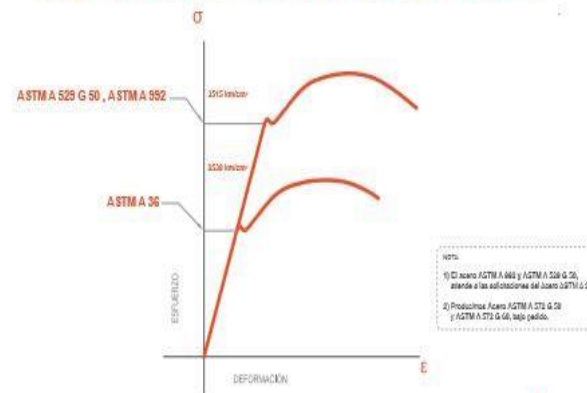
\*\* La relación entre f<sub>t</sub> / f<sub>y</sub> no excederá el valor de 0.85.

† Indica contenido máximo.

f<sub>y</sub> = Cálculo de Fluencia, kg/cm<sup>2</sup>.

f<sub>t</sub> = Resistencia a la Ruptura por Tensión, kg/cm<sup>2</sup>. Cuando se indican 2 valores, el segundo es el máximo admisible.

## 8. GRÁFICA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



www.gerdaucorsa.com.mx ■ Fig.26

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- "Manual of Steel Construction 2005", American Institute of Steel Construction (AISC).
- 2.- "Diseño de Estructuras de Acero: LRFD Method", Jack O. McCormac, Alfaomega, 2008, México.
- 3.- "Estructuras de Acero: Técnicas, Conceptos y Lenguaje", Luis Andrade de Mattos Dias, Instituto Latinoamericano del Hierro y del Acero (ILAHA), Ziguarte, 2006.
- 4.- "Normas Técnicas Complementarias para Estructuras Metálicas (NTC)", Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), 2004.
- 5.- "Manual de Construcción en Acero", Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, Limusa, 2006.
- 6.- "Annual Book of ASTM Standards", American Specifications of Test and Materials, Staff, 2009.
- 7.- "Selection of Steel for Structures", Reidar Bjorhovde, Tucson, Arizona.

Fig.27 ■ Elección del tipo de acero para estructuras



## 8.11. Ficha técnica de un servomotor SH31001P11A2000 SCHNEIDER.



### Main

Range compatibility	PacDrive 3
Product or component type	Servo motor
Device short name	SH3.....P

### Complementary

Maximum mechanical speed	6000 rpm
[Us] rated supply voltage	115...480 V
Network number of phases	Three phase
Continuous stall current	3.5 A
Continuous stall torque	3.3 N.m at 115...480 V three phase
Peak stall torque	9.6 N.m at 115...480 V three phase
Nominal output power	1630 W at 480 V three phase 410 W at 115 V three phase 790 W at 230 V three phase 1410 W at 400 V three phase
Nominal torque	3.15 N.m at 115 V three phase 2.6 N.m at 480 V three phase 3 N.m at 230 V three phase 2.7 N.m at 400 V three phase
Nominal speed	1250 rpm at 115 V three phase 2500 rpm at 230 V three phase 5000 rpm at 400 V three phase 6000 rpm at 480 V three phase
Maximum current I <sub>rms</sub>	12 A
Shaft end	Parallel key
Shaft diameter	19 mm
Shaft length	40 mm
Key width	6 mm
IP degree of protection	IP54 (shaft bushing without shaft seal ring) conforming to EN/IEC 60034-5

Dec 15, 2017

Encoder type	Absolute single turn SinCos Hiperface
Speed feedback resolution	128 periods
Holding brake	Without
Holding torque	9 N.m
Mounting support	International standard flange
Motor flange size	100 mm
Electrical connection	Rotatable right angled connector
Torque constant	0.89 N.m/A at 120 °C
Back emf constant	60 V/krpm at 20 °C
Number of motor poles	4
Rotor inertia	1.4 kg.cm <sup>2</sup>
Stator resistance	3.8 Ohm
Stator inductance	27.15 mH
Maximum radial force Fr	530 N at 5000 rpm 570 N at 4000 rpm 630 N at 3000 rpm 720 N at 2000 rpm 900 N at 1000 rpm
Maximum axial force Fa	160 N
Type of cooling	Natural convection
Length	168.5 mm
Centring collar diameter	95 mm
Centring collar depth	3.5 mm
Number of mounting holes	4
Mounting holes diameter	9 mm

---

Circle diameter of the mounting holes	115 mm
---------------------------------------	--------

---

Product weight	4.3 kg
----------------	--------

---

### Offer Sustainability

---

Sustainable offer status	Green Premium product
--------------------------	-----------------------

---

RoHS (date code: YYWW)	Compliant - since 1036 - Schneider Electric declaration of conformity <a href="#">Schneider Electric declaration of conformity</a>
------------------------	--

---

REACH	Reference not containing SVHC above the threshold <a href="#">Reference not containing SVHC above the threshold</a>
-------	--

---

Product environmental profile	Available
-------------------------------	-----------

---

Product end of life instructions	Need no specific recycling operations
----------------------------------	---------------------------------------

---

### Contractual warranty

---

Warranty period	18 months
-----------------	-----------

---

## 8.12. Catálogo de rodamientos SKF.



# Rodamientos

Conversiones de unidades .....	8
Prólogo .....	9
El Grupo SKF .....	14
SKF: la empresa del conocimiento industrial .....	16
<b>Principios para la selección y la aplicación de los rodamientos .....</b>	<b>18</b>
<b>A Conceptos básicos de rodamientos .....</b>	<b>21</b>
Selección de rodamientos .....	22
Terminología .....	23
Tipos y diseños de rodamientos .....	26
Dimensiones principales .....	40
Sistema de designación básica de rodamientos .....	42
Criterios básicos de selección .....	46
<b>B Selección del tamaño del rodamiento .....</b>	<b>61</b>
Un enfoque sistemático sobre la selección de rodamientos .....	62
Vida útil y capacidad de carga de los rodamientos .....	63
Selección del tamaño del rodamiento utilizando las fórmulas de la vida útil .....	64
Cargas dinámicas del rodamiento .....	84
Selección del tamaño del rodamiento utilizando la capacidad de carga estática .....	87
Ejemplos de cálculo .....	90
Herramientas de cálculo de SKF .....	92
Servicio de Consultoría en Ingeniería SKF .....	94
Prueba de la vida útil SKF .....	95
<b>C Fricción .....</b>	<b>97</b>
Cálculo del momento de fricción .....	98
El modelo SKF para el cálculo del momento de fricción .....	99
Par de arranque .....	114
Pérdida de potencia y temperatura del rodamiento .....	114
<b>D Velocidades .....</b>	<b>117</b>
Conceptos básicos sobre la velocidad de los rodamientos .....	118
Velocidad de referencia .....	118
Velocidad límite .....	126
Casos especiales .....	127
Generación de vibraciones a altas velocidades .....	128

## Prólogo

### Rodamientos energéticamente eficientes SKF

Con el fin de satisfacer las crecientes exigencias de reducción de consumo energético, SKF ha desarrollado los rodamientos de la clase de rendimiento energéticamente eficiente (E2) SKF. Los rodamientos E2 SKF se caracterizan por tener un momento de fricción en el rodamiento que es, al menos, un 30% inferior en comparación con los rodamientos estándares SKF del mismo tamaño.

### Rodamientos de rodillos cilíndricos de alta capacidad

Los rodamientos de rodillos cilíndricos de alta capacidad SKF combinan la alta capacidad de carga de los rodamientos completamente llenos de rodillos con la capacidad de soportar altas velocidades de los rodamientos con jaula. Están diseñados para aplicaciones tales como cajas de engranajes industriales, cajas de engranajes de turbinas eólicas y equipos de minería.

### Rodamientos SKF DryLube

Los rodamientos SKF DryLube son una nueva opción para aplicaciones a temperaturas extremas. Están rellenos de un lubricante seco con base de grafito y bisulfuro de molibdeno. El lubricante seco protege a los elementos rodantes y los caminos de rodadura de los daños causados por los contaminantes sólidos. Los rodamientos SKF DryLube ofrecen una lubricación eficaz para aplicaciones a altas temperaturas, un par de arranque bajo a cualquier temperatura y un momento de fricción reducido durante el funcionamiento.

### Rodamientos de bolas de material polimérico

Los rodamientos de bolas de material polimérico son una excelente solución desde el punto de vista técnico y económico, en aplicaciones en las que la resistencia a la humedad o a las sustancias químicas es un factor esencial. Los rodamientos de bolas de material polimérico utilizan aros o arandelas fabricados de diversos materiales poliméricos y bolas de vidrio, acero inoxidable o polímeros. Son livianos, no necesitan lubricación, tienen un funcionamiento silencioso y son resistentes a la corrosión, los productos químicos, y al desgaste y la fatiga.



Rodamiento de rodillos cilíndricos de alta capacidad SKF



Rodamiento SKF DryLube



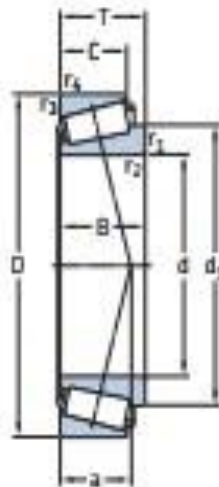
Rodamiento de bolas de material polimérico



Rodamiento YSAF ConCentro







Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación	Series de dimensiones para la normativa ISO 355 (ABMA)
d	D	T	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	-
15	42	14,25	22,4	20	2,08	13 000	18 000	0,094	30302 J2	2FB
17	40	13,25	19	18,6	1,83	13 000	18 000	0,079	30203 J2	20B
	47	15,25	28,1	25	2,7	12 000	16 000	0,13	30303 J2	2FB
	47	20,25	34,7	33,5	3,65	11 000	16 000	0,17	32303 J2/Q	2FD
20	42	15	24,2	27	2,65	12 000	16 000	0,098	32004 X/Q	3CC
	47	15,25	27,5	28	3	11 000	15 000	0,12	30204 J2/Q	20B
	52	16,25	34,1	32,5	3,55	11 000	14 000	0,17	30304 J2/Q	2FB
	52	22,25	44	45,5	5	10 000	14 000	0,23	32304 J2/Q	2FD
22	44	15	25,1	29	2,85	11 000	15 000	0,1	320/22 X	3CC
25	47	15	27	32,5	3,25	11 000	14 000	0,11	32005 X/Q	4CC
	52	16,25	30,8	33,5	3,45	10 000	13 000	0,15	30205 J2/Q	3CC
	52	19,25	35,8	44	4,65	9 500	13 000	0,19	32205 BJ2/Q	50C
	52	22	47,3	56	6	9 000	13 000	0,22	33205/Q	2CE
	62	18,25	44,6	43	4,75	9 000	12 000	0,26	30305 J2/Q	2FB
	62	18,25	38	40	4,4	7 500	11 000	0,27	31305 J2	7FB
	62	25,25	60,5	63	7,1	8 000	12 000	0,36	32305 J2	2FD
28	52	16	31,9	38	4	9 500	13 000	0,14	320/28 X/Q	4CC
	58	17,25	38	41,5	4,4	9 000	12 000	0,2	302/28 J2	30C
	58	20,25	41,8	50	5,5	8 500	12 000	0,25	322/28 BJ2/Q	50D
30	55	17	35,8	44	4,55	9 000	12 000	0,17	32006 X/Q	4CC
	62	17,25	40,2	44	4,8	8 500	11 000	0,23	30206 J2/Q	30B
	62	21,25	49,5	58,5	6,55	8 000	11 000	0,3	32206 BJ2/QCL7CVA606	50C
	62	21,25	50,1	57	6,3	8 500	11 000	0,29	32206 J2/Q	30C
	62	25	64,4	76,5	8,5	7 500	11 000	0,35	33206/Q	20E
	72	20,75	56,1	56	6,4	7 500	10 000	0,38	30306 J2/Q	2FB
	72	20,75	47,3	50	5,7	6 700	9 500	0,39	31306 J2/Q	7FB
	72	28,75	76,5	85	9,65	7 000	10 000	0,55	32306 J2/Q	2FD
32	53	14,5	27	35,5	3,65	9 000	13 000	0,11	L 26749 F/710	[L 26700]
	58	17	36,9	46,5	4,8	8 500	11 000	0,19	320/32 X/Q	4CC



**ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

Yo, Deciderio Enrique Díaz Rubio, docente de la facultad Ingeniería y Escuela profesional Mecánica Eléctrica de la universidad Cesar Vallejo, filial Chiclayo, revisor(a) del trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO Y FABRICACION DE BRAZO ROBOTICO PARA OPTIMIZAR PROCESOS DE MAQUINADO Y SOLDADURA TIG EN TALLER GEMINIS CHICLAYO 2017.”**, del(de la) estudiante (S) Isique Chavesta Norbert, constato que la investigación tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El / la suscrito (a) analizo dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Cesar Vallejo.

Chiclayo, 25 de Abril del 2019

Firma

Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio  
16728343



Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)
"César Acuña Peralta"

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O LA TESIS

1. DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: (solo los datos del que autoriza)

Isique Chavesta Norbert
D.N.I.: 16.726.057
Domicilio: Calle Antena Orrego # 954 - La Victoria - Chivilayo
Teléfono: Fijo: 930821429 Móvil 920915497
E-mail: nisique.ch.73@gmail.com

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

Modalidad:

Trabajo de Investigación de Pregrado

Tesis de Pregrado

Facultad: Ingeniería

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Grado Título

Ingeniero Mecánico Electricista

Tesis de Post Grado

Maestría

Doctorado

Grado:
Mención:

3. DATOS DE LA TESIS

Autor (es) Apellidos y Nombres:

Isique Chavesta Norbert

Título del trabajo de investigación o de la tesis:

Diseño y fabricación de brega robótica para optimizar procesos de maquinado y soldadura. Fig. en Taller. Ceminis Chivilayo 2017

Año de publicación: 2017

4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN ELECTRÓNICA:

A través del presente documento,

[X] Si autorizo a publicar en texto completo mi trabajo de investigación o tesis.

[ ] No autorizo a publicar en texto completo mi trabajo de investigación o tesis.

Firma: [Signature]

Fecha: 25/04/2019



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

E.P. Ingeniería Mecánica Eléctrica

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Bach. Isique Chavesta Norbert.

INFORME TITULADO:

Diseño y fabricación de brazo robótico para optimizar procesos de maquinado y soldadura Tig en Taller Gemini's Chiclayo 2017.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE: Ingeniero Mecánico Electricista.

SUSTENTADO EN FECHA: 25 de Mayo del 2018

NOTA O MENCIÓN: Aprobado por unanimidad.



FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN