

TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



Reporte de Residencia Profesional

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño De Un Equipo Para Medir La Energía Cinética Y El Tiempo De Reacción De Atletas.

INGENIERÍA MECÁNICA

NOMBRE DEL ASESOR INTERNO:

Dr. Roberto Carlos García Gómez

NOMBRE DEL ALUMNO:

Ozuna Guillén Irving Jesús

Periodo:

Enero-Junio 2016

Contenido

1. ANTECEDENTES.....	6
1.1 INTRODUCCION	6
1.2 JUSTIFICACION	9
1.3 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE TRABAJO	10
1.4 POLITICAS DE LA EMPRESA	11
1.4.1 MISION	11
1.4.2 VISION	11
1.5 OBJETIVOS.....	12
1.5.1 OBJETIVOS GENERALES	12
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
1.6 PROBLEMAS A RESOLVER	12
2. ESTUDIO DEL CAMPO DEL ARTE.....	13
2.1 CATAPULT Sports	13
EL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO INERCIAL.....	14
2.2 STATSports	16
2.3 ADIDAS MICOACH	20
3. MARCO TEORICO	22
3.1 CONCEPTOS BASICOS:	22
POTENCIA:.....	22
VELOCIDAD:	22
ACELERACION:	22
FUERZA MUSCULAR EXPLOSIVA:	22
FUERZA DE ARRANQUE:.....	22
POTENCIA EN LA VELOCIDAD MOTORA:.....	22
POTENCIA EN LA FUERZA MOTORA:	22
BIOMECANICA:.....	22
3.2 BIOMECANICA DEPORTIVA:.....	24
EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DEL ATLETA DE ALTO RENDIMIENTO	30
ANÁLISIS CUANTITATIVO	40
3.3 DISEÑO MECANICO	43
DISEÑO	43
EL DISEÑO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA.....	44
FASES E INTERACCIONES DEL PROCESO DE DISEÑO	45
CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	49
HERRAMIENTAS Y RECURSOS DE DISEÑO.....	50
HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES	51

RESPONSABILIDADES PROFESIONALES DEL INGENIERO DE DISEÑO	53
NORMAS Y CÓDIGOS.....	56
3.4 DISEÑO MECANICO DE PIEZAS.	60
POLEAS DE FRICCIÓN.	60
DISEÑO DE EJES.....	61
RESORTES MECÁNICOS	75
RESORTES.....	75
ESFUERZOS EN RESORTES HELICOIDALES	76
RESORTES DE ESPIRAS HELICOIDALES DE TORSIÓN	77
DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS EXTREMOS	79
DEFLEXIÓN Y RAZÓN DEL RESORTE.....	80
COJINETES.....	82
VIDA DE LOS COJINETES.....	86
CABLES.....	87
4. PROPUESTAS DE DISEÑO ANTE PROYECTOS.....	93
PROPUESTA NUMERO 1.....	93
PROPUESTA NUMERO 2.....	96
PROPUESTA NUMERO 3.....	98
5. MEMORIA DE CÁLCULO.....	100
5.1 CÁLCULOS MATEMATICOS.....	100
POLEAS DE FRICCIÓN.....	100
RESORTES MECÁNICOS	100
5.2 DISEÑO MECANICO.....	102
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN	102
PLANO DE EMSAMBLE.....	104
5.3 INSTRUMENTACION.....	105
CONCLUSIONES	111
ANEXOS.....	114

Tabla De Ilustraciones.

Ilustración 2-1 Catapult Sports	14
Ilustración 2-2 Funcionamiento	15
Ilustración 2-3 Antena STAT	18
Ilustración 3-1 Secuencia de imágenes de golpeo en pelota en la altura de la cadera	29
Ilustración 3-2 Fases de movimiento en salto vertical y desplazamiento en el centro de masa.....	29
Ilustración 3-3 Distancias horizontales parciales en la fase final del salto triple....	34
Ilustración 3-4 Proceso de diseño	47
Ilustración 3-5 Ejemplo de la deflexión de un eje.	74
Ilustración 3-6 a) Resorte helicoidal con carga axial; b) diagrama de cuerpo libre donde se muestra que el alambre está sometido a cortante directo y a cortante por torsión.	76
Ilustración 3-7 Resortes de torsión. (Cortesía de Associated Spring Corporation.)	79
Ilustración 3-8 El ángulo de la ubicación del extremo libre está dado por β . La coordenada rotacional θ resulta proporcional al producto Fl . Su ángulo complementario es α . Para todas las posiciones del extremo móvil, $\theta + \alpha = \Sigma =$ constante.....	80
Ilustración 3-9 Nomenclatura de un cojinete de bolas. (General Motors Corporation. Usada con permiso, GM Media Archives.)	83
Ilustración 3-10 Varios tipos de cojinetes de bolas.....	84
Ilustración 3-11 Tipos de cojinetes de rodillos: a) rodillo recto; b) rodillo esférico, empuje; c) rodillo cónico, empuje; d) de agujas; e) rodillo cónico; f) rodillo cónico, ángulo agudo. (Cortesía de The Timken Company.).....	85
Ilustración 3-12 Relación determinada en forma experimental entre la vida para la fatiga de un cable de acero y la presión de la polea.	91
Ilustración 4-1 Anteproyecto 1	94
Ilustración 4-2 encoders lineales	95
Ilustración 4-3 Tablero control de resultados.....	95
Ilustración 4-4 Anteproyecto 2.....	96
Ilustración 4-5 Fuerzas que actúan.	96
Ilustración 4-6 Sistema de Trinquete.....	97
Ilustración 4-7 Mecanismo de Biela-Manivela	97
Ilustración 4-8 Anteproyecto.....	98
Ilustración 4-9 Diagrama de cuerpo libre.....	98
Ilustración 4-10 Resortes de torsión.....	99

Índice De Tablas.

Tabla 3-1 CARACTERISTICAS BIOMECANICAS CUALITATIVAS.....	32
Tabla 3-2 Instrumento para el análisis biomecánico cualitativo del impulso de la bala	35
Tabla 3-3 Formato para la evaluación biomecánica cualitativa	37
Tabla 3-4 Materiales de fricción	60
Tabla 3-5 Factores mínimos de seguridad para cables de acero* Fuente: Compilado de diversas fuentes, incluyendo la norma ANSI A17.1-1978.	89
Tabla 3-6 Presiones radiales máximas permisibles para cables sobre poleas (en psi) Fuente: Wire Rope Userst Manual, AISI, 1979.....	90

1. ANTECEDENTES.

1.1 INTRODUCCION

Toda persona envuelta en la educación física o ciencia de la salud física, particularmente la fisiología del ejercicio aplicada/clínica, el entrenamiento físico/deportivo, el diseño/estructuración de los programas de ejercicio y en la administración de pruebas ergonómicas de esfuerzo/ejercicio progresivo, debe poseer las destrezas y el conocimiento para poder estimar el gasto/costo energético y la potencia producida durante el ejercicio/entrenamiento, deporte competitivo/recreativo, o actividades físicas cotidianas. La práctica del deporte y el ejercicio o actividad física requiere el uso de energía. Para poder determinar cuántas calorías necesita un individuo, de manera que pueda reducir una cantidad de grasa/peso, requiere conocer el gasto/costo energético durante el ejercicio/deporte ha de ser practicado o bajo el cual se entrena. Esto se consigue mediante su estimación a base de la potencia que genera o mediante su medición en el laboratorio utilizando calorimetría indirecta (comúnmente mediante espirómetro en circuito abierto). (Corsino)

Los resultados extraordinarios que actualmente se registran en las competencias deportivas, son productos de procesos de entrenamiento sistemático y científicamente planificado. Los campeones son atletas con condiciones especiales, descubiertos en la mayoría de los casos a través de procesos precisos de selección, y formados y preparados durante muchos años para lograr resultados superiores en los eventos internacionales de gran importancia. Para la obtención del rendimiento superior, los entrenadores, en colaboración con los profesionales de las diferentes ciencias del deporte, diseñan las estrategias más adecuadas para que los atletas obtengan las ventajas en el campo deportivo. En la actualidad, las competencias deportivas son muy equilibradas y, en la mayoría de los casos, los ganadores obtienen la ventaja mínima que a veces es perceptible solo con equipos computarizados sofisticados a pesar de los diferentes sistemas de entrenamiento empleados en la preparación. Los resultados superiores obtenidos por los atletas son producto de años de entrenamiento, en los cuales se deben tomar en consideración los diferentes factores físicos, técnico tácticos o

psicológicos que en una u otra forma influyen en el resultado. Los logros deportivos se obtienen en base a un desarrollo físico óptimo de los atletas, estrategias adecuadas y una correcta ejecución de los diferentes movimientos específicos (la técnica). La Medicina Deportiva ayuda a los atletas a fortalecer la salud para el logro de las condiciones básicas de las grandes exigencias de las cargas de entrenamientos y tener un óptimo estado durante los eventos deportivos. A través de los medios de la fisiología del ejercicio, antropometría, biomecánica, nutrición y psicología se realiza el control biomédico del entrenamiento. La Biomecánica es la ciencia que estudia el movimiento desde el punto de vista de las leyes físicas. Todos los cuerpos en movimiento respetan estas leyes y para el logro del máximo rendimiento, la técnica de ejecución se debe fundamentar en los diferentes principios biomecánicos. El entendimiento de los mecanismos de base del movimiento del cuerpo humano y de los implementos deportivos en relación con los diferentes objetivos que se persiguen, tomando en consideración las particularidades del aparato locomotor, constituye la principal condición del entrenamiento consciente y científicamente fundamentado. No sería posible la elaboración de un plan de entrenamiento para un atleta, sin tener claridad sobre los objetivos que se buscan y los diferentes factores que producen el resultado. Este es el eje principal, no solamente en el aspecto técnico de la ejecución, sino también en la determinación de las cualidades físicas que deben ser desarrolladas con prioridad. La Biomecánica es la ciencia que estudia el movimiento de los seres vivos. La Biomecánica de los Ejercicios Físicos constituye una parte de la biomecánica que se encarga del estudio de las posiciones y de los movimientos de las diferentes actividades deportivas, en base a los principios de la mecánica aplicados al específico del esfuerzo deportivo (Dimitri y Genes, 1973). En estos estudios se toma en consideración tanto el movimiento del cuerpo humano o parte de él, como también de los diferentes implementos deportivos involucrados. El entendimiento y la aplicación de las leyes del movimiento en la ejecución de las diferentes destrezas deportivas permiten al entrenador realizar los ajustes necesarios para que los atletas ejecuten los movimientos que más se recomiendan para la obtención de resultados superiores.

La aplicación más importante de la Biomecánica en el proceso del entrenamiento deportivo lo constituye el Análisis Biomecánico y la Investigación en este campo. El Análisis Biomecánico puede ser Cualitativo, Cuantitativo o Mixto. (donskoy, 1988)

1.2 JUSTIFICACION

Las personas que realizan el análisis deben tener suficiente experiencia y capacidad de observación de los detalles de los movimientos ejecutados por los atletas, para poder identificar cualquier elemento que modifica el patrón de la ejecución. Generalmente, la observación de la performance es visual directa, sin embargo es posible utilizar otras fuentes de información como la observación visual indirecta (marcas o huellas dejadas por los atletas e implementos deportivos), la percepción auditiva (diferentes sonidos típicos: últimos pasos en el salto largo, fases de pique-despegue, pasos de carreras, sonidos de pelotas, etc.), percepción táctil (ciertos contactos con el atleta: gimnasia, deportes de combate, etc.) y percepción kinestésica (contribución del atleta en relación con su propia percepción sobre el movimiento -"¿ cómo sentiste la ejecución?"). La observación visual, en la mayoría de los casos es directa durante la ejecución, sin embargo, es posible la observación de la performance registrada previamente (video, cine, fotografías, etc.). En la observación de la performance, el lugar donde se coloca el entrenador depende del plano principal de ejecución y la ubicación debe ser perpendicular a este y a una distancia que le permita observar los detalles de la ejecución (5-10 metros). En algunos casos, el entrenador analiza la ejecución en diferentes planos, por lo que él tiene que cambiar su posición con respecto al atleta (frontal, posterior). La observación de los detalles de los movimientos registrados previamente (cine, video) facilita el proceso, ya que el entrenador puede observar las performances en repetidas oportunidades, identificar los detalles de la ejecución y posteriormente mostrarlas a los atletas.

Es sin duda una herramienta muy útil obtener los datos mediante sensores que con mayor exactitud arrojen valores que permitan al entrenador y al atleta el rendimiento que está alcanzando y cuál será el entrenamiento más adecuado para el sujeto en particular.

1.3 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE TRABAJO

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG); es una universidad pública de tecnología, ubicada en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Es una Institución educativa pública de educación superior, que forma parte del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos de México. El Instituto también está afiliado a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), zona Sur-Sureste.

Actualmente es considerado una de las dos máximas casas de estudios del estado de Chiapas, junto con la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Su lema es Ciencia y Tecnología con Sentido Humano y su actual director es M.E.H. José Luis Méndez Navarro.

Cuenta con tres extensiones en las ciudades de Chiapa de Corzo, Carranza y la otra en la ciudad de Bochil, además posee un Centro de Posgrado para estudios de Maestría en Ciencias en Mecatrónica, Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y el Doctorado en Ciencias en Biotecnología.

El cual cuenta con un banco de proyectos para alumnos que cuentan con el requerimiento para realizar su residencia. El presente proyecto se llevara a cabo con el seguimiento de Fededome que es una empresa que solicito al ITTG su apoyo.

Fededome

Es un gimnasio que incorpora nuevos conceptos de entrenamiento y diseño para atender las necesidades de todo tipo de deportistas en cuanto a preparación física se refiere. La empresa ambiciona con apoyo del ITTG poder medir la energía cinética y potencial en sus atletas para así poder llevar un control de los resultados obtenidos en cada individuo con apoyo de la tecnología de softwares y equipos mecánicos nuevos. Esto mejorara la competencia entre atletas y dará una mayor motivación a los atletas a seguir superando sus propias marcas.

1.4 POLITICAS DE LA EMPRESA

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez brinda Servicios Educativos de Calidad Certificada, con la misión de formar de manera integral a profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al ambiente y apego a los valores éticos.

Somos una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometidos con el desarrollo sustentable de la región, el cual es uno de los ejes transversales de nuestra oferta educativa, tanto a nivel licenciatura como posgrado.

Trabajamos con Sistemas de Gestión Ambiental Certificados, en donde nuestros estudiantes aplican sus conocimientos en función del cuidado del ambiente: aire, agua, suelo, flora, fauna y seres humanos.

1.4.1 MISION

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

1.4.2 VISION

Ser una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVOS GENERALES

Crear sistemas integrales que permitan monitorear, almacenar, analizar y visualizar parámetros para determinar la condición física de atletas de alto rendimiento para poder llevar un seguimiento del entrenamiento personal.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Diseñar un dispositivo con el cual podamos medir la potencia física de un atleta, bajo los siguientes parámetros: potencia en la velocidad motora, potencia en la fuerza motora, fuerza muscular explosiva y fuerza de arranque. Bajo las siguientes restricciones: masa a desplazar entre el rango de 60 a 120 Kg, sobre una distancia máxima de prueba de 10 m.

1.6 PROBLEMAS A RESOLVER

Se pretende resolver el problema de usar a más de una persona para poder determinar la energía cinética y el tiempo de reacción del atleta con la ayuda de un equipo computarizado que mida las variables presentes en la ejecución de un esfuerzo físico ya que para poder medir estas variables se necesita a más de una persona las cuales se encargan de ver, anotar y organizar los resultados.

Una vez diseñado el equipo computarizado con los sensores y mecanismos correspondientes no será necesario la colaboración de más personas para poder medir el tiempo de reacción y la energía cinética, con solo estar presente el atleta obtendrá el informe correspondiente de su esfuerzo el cual estará indicado en un display.

2. ESTUDIO DEL CAMPO DEL ARTE

2.1 CATAPULT Sports

Catapult Sports es una compañía australiana que comenzó oficialmente en 2006 y el año pasado compró GPSports para ampliar y convertirse en uno de los mayores sistemas analíticos y de seguimiento GPS para deportistas de todo el mundo. Hay 13 equipos de la NFL, 6 equipos de la NBA (incluyendo actual equipo de playoffs de Golden State Warriors), 15 equipos de fútbol de la universidad, muchos clubes de fútbol, rugby son algunos equipos que utilizan tecnología de seguimiento de jugadores de la catapult, llamado OptimEye.

OptimEye es el dispositivo más reciente en el catálogo de la catapult sports es uno de los dispositivos de localización GPS más ligeros para el atletismo. Este nuevo dispositivo, junto con su software actualizado llamada Openfield permite el seguimiento de los movimientos de un atleta con más precisión que en la actualidad pueden ser recogidos en diversos ambientes y grandes estadios.

Capacidades

Seguimiento de la velocidad atletas (aceleración y deceleración)

Seguimiento de los cambios en la dirección (movimiento lineal y movimientos angulares y rotacionales)

Monitor de pulso cardiaco

Información inalámbrica a la computadora

200 metros de alcance de transmisión

5 horas de batería

La característica que hace que este dispositivo y la compañía de diferenciar entre los demás es su algoritmo que mide el esfuerzo del jugador en base a las mediciones tomadas con el seguimiento de la velocidad, el movimiento y el ritmo cardíaco. Catapult llama a este número de la " Player Load" en cuanto mayor sea el número mayor será el esfuerzo. Estos datos pueden ser utilizados también en

deportes de asistencia personal, en medicina en la prevención de lesiones y enfermedades, ya que permite base de datos que se establece para los jugadores para entrenar en contra.



Ilustración 2-1 Catapult Sports

EL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO INERCIAL

IMA es lo que diferencia a Catapult de cualquier otra forma de monitoreo de atletas.

Es un algoritmo científico que elimina los errores inherentes de los sensores de inercia. Los acelerómetros, giroscopios y magnetómetros miden la fuerza, la dirección e inclinación, pero esta información así pura, no es relativa al atleta.

El IMA remueve la fuerza de gravedad con un filtro de Kalman avanzado que te ofrece información precisa y validada de las aceleraciones, las desaceleraciones, los cambios de dirección y los saltos (altura y frecuencia).

Si tus atletas se mueven como robots de A hasta B, entonces lo que necesitas es un GPS.

El IMA es la única herramienta de micro-movimientos científicamente validada.

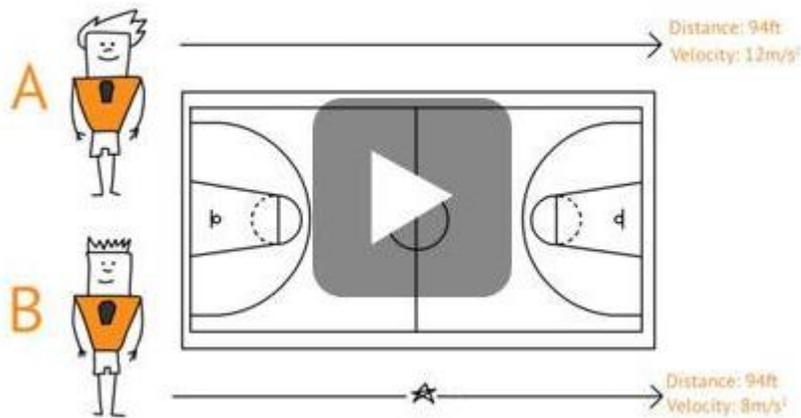


Ilustración 2-2 Funcionamiento

LA HISTORIA DE LA INERCIA

Análisis del movimiento

Yendo más allá de análisis de datos GPS tradicional, Catapult ha abarcado progresivamente análisis de atleta en su conjunto a contar todo sobre el movimiento de un jugador. Al igual que un coche de Fórmula 1 se supervisa minuciosamente en todas las etapas de la producción y la competencia, los atletas de un equipo son su mayor activo y un área que carecía antes del inicio de la catapult.

Sólo a partir de datos de GPS para medir el rendimiento del atleta sería como un Ferrari sólo en el control de velocidad y distancia. Es la compleja información proporcionada por los sensores inerciales dentro de un dispositivo de la catapult que significa la diferencia entre la medición de la fuerza de impacto del frente y confundiendo una entrada con un dispositivo que se dejó caer en el suelo.

Esta información compleja es el resultado de acelerómetros, magnetómetros y giroscopios y se procesa con un algoritmo avanzado para proporcionar inercial. El Análisis Movimiento (IMA) – es una manera sencilla de expresar los movimientos atleta más complejo.

2.2 STATSports

En el año 2007 en Irlanda STATsports fue fundada y sigue creciendo con oficinas en Londres, Chicago y Florida. El Viper Pod es el nombre del dispositivo STATsports para supervisar el rendimiento del equipo. Se utiliza principalmente por los clubes de fútbol europeos como Liverpool, Manchester United, Arsenal y muchos otros. En los EE.UU. utilizando equipos de la NBA STATSports son los Washington Wizards y Chicago Bulls.

El sistema Viper es una plataforma orientada al cliente. La interfaz única, fácil de usar y ha sido diseñado en forma junto a algunos de los mejores entrenadores de la fuerza del mundo, médicos y entrenadores deportivos. Es el único sistema para ofrecer software específico para el deporte de fútbol, baloncesto, fútbol americano, rugby y atletismo.

El Viper Pod ha sido probado y validado por muchos de los mejores equipos y centros de investigación de todo el mundo y una y otra vez resultados demuestran nuestro sistema Viper ser el dispositivo más preciso, fiable y consistente en el mercado. Sea cual sea su deporte, sea cual sea su ubicación - en contacto con nosotros para obtener más información y Vamos a mostrar lo que puede hacer el sistema Viper para usted.

Con el sistema Viper STATSports somos capaces de planificar, controlar y manipular a los jugadores en la cancha entrenamientos y partidos. La capacidad de hacer esto ha ayudado a aumentar los niveles de jugadores acondicionado y también nos ha dado la capacidad de prevenir lesiones. Debido a que el sistema Viper nos ha ayudado a controlar con precisión lo que las salidas del jugador son, somos capaces de cargar progresivamente los jugadores de vuelta a esos niveles cuando están regresando de una lesión”.

Capacidades Viper Pod

- ✓ Mide la distancia total de
- ✓ Mide la velocidad
- ✓ Las medidas de aceleración y deceleración
- ✓ Medidas de distancia carga metabólica
- ✓ ritmo cardíaco Monitores
- ✓ informes colisiones
- ✓ Informes índice de fatiga
- ✓ balance de las medidas de la etapa (izquierdo y derecho)
- ✓ Las medidas de carga de estrés dinámico.

Una característica única de la Viper Pod es el software que está asociado con el dispositivo. Se permite a los entrenadores ver la posición del jugador y los movimientos del jugador en tiempo real a vista de pájaro en un monitor de ordenador y un televisor. Esta característica normalmente tiene que ser hecho con una cámara, pero es posible con un chip de procesamiento de la computadora de Viper Pod's y el sistema GPS en el hardware. También debido a su hardware es capaz de tener menos interferencias en comparación con otros dispositivos cuando se utilizan en grandes estadios con espectadores utilizando su teléfono celular u otros dispositivos celulares en la misma red.



Ilustración 2-3 Antena STAT

ANTENA MOVIL

La tecnología de antena móvil es la solución estándar de la antena como parte del sistema Viper para un equipo que desean vivir datos de la corriente durante el entrenamiento o juegos para el análisis en tiempo real.

Nuestra industria principal modelo permite Viper Transmisión de datos para proporcionar un rendimiento preciso que coincide con el análisis posterior a la sesión. Esto significa que los entrenadores pueden ser informados plenamente cuando se toman decisiones vitales - cuando realmente importa - durante el entrenamiento y en los juegos. La eficacia de la antena en la supervisión de un equipo de más de 30 jugadores combina con su movilidad y facilidad de uso hace que sea la solución más utilizada antena con los mejores equipos en el mundo del deporte.

Viper Transmisión en vivo utiliza múltiples canales y redes de malla sincronizado para entregar todos los flujos de datos de todas las unidades. Viper ofrece toda velocidad GPS y datos de posición, la frecuencia cardíaca, R-R duraciones, brújula digital, acelerómetro y giroscopio de datos; la transmisión de más de medio millón de números de cada minuto durante una escuadra de más de treinta jugadores.

Viper Streaming es el único sistema en el mercado que ofrece una comparación fiable, consistente entre los datos de eventos en vivo y post y estaríamos encantados de proporcionar cualquier cliente con un ensayo competitivo directo para permitir la evaluación de lado a lado.

El uso de Transmisión de víbora, se puede medir la distancia, la velocidad, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, aceleraciones, desaceleraciones, el impacto, la carga de estrés dinámico y diversas lecturas de la energía, como la energía metabólica.

Con Viper Streaming que pueda tomar decisiones en vivo con confianza.

2.3 ADIDAS MICOACH

Adidas Micoach se compone de una multitud de productos de la compañía de ropa deportiva alemana. Su sistema del equipo MICOach Elite, que está siendo utilizado por todos los equipos de la MLS, es uno de los únicos sistemas de monitoreo que pueda recopilar datos de todo un equipo con la capacidad de su base de MICOach para sostener lo que Adidas llamadas "células jugador" durante más de 20 jugadores. La célula jugador MICOach es un pequeño sensor ligeramente más pequeño y más delgado que un iPod de primera generación. Puede caber fácilmente en la parte posterior de las camisas hechas especialmente entre los omóplatos de un jugador. Este sistema del equipo Elite también está siendo utilizado por el club de fútbol AC Milán y la selección alemana. Otros equipos de fútbol nacionales que utilizan la tecnología son Colombia, México, Argentina y Japón.

Capacidades MICOach Adidas

- Medidas de potencia
- Las medidas de velocidad media
- Mide la distancia
- Medidas del ritmo cardíaco
- medidas de aceleración
- Apunta a la posición de campo

La MICOach es diferente de otras compañías, ya que tiene la capacidad para que los entrenadores para ver todos los jugadores a través de su dispositivo iOS y el cambio entre las diferentes métricas mencionadas anteriormente en-tiempo real. También se destaca por la posibilidad de ver el análisis a través de una aplicación web en lugar de utilizar el software que acompaña a la mayoría del hardware.

Los tres sistemas son muy similares en lo que miden en cuanto a velocidad de un jugador individual, la dirección, la fatiga, y la frecuencia cardíaca. La principal diferencia es qué y cómo se analizan los datos y cómo se muestra. Ya sea basado Internet o por medio de software, los entrenadores tienen la opción de ver una gran variedad de información que se muestra en varios formatos y gráficos. Los entrenadores y personal de entrenamiento ahora son capaces de ajustar simulacros y entrenamientos a través de esta información, junto con el reconocimiento del riesgo potencial de lesiones.

Aunque, muchos equipos de deportes profesionales y universitarios están comenzando a utilizar este equipo para mejorar sus prácticas y mejorar el rendimiento del equipo en general los órganos de gobierno, tales como la FIFA y la NCAA prohibir su uso en juegos; por temor a que puede dar un equipo una ventaja injusta sobre sus competidores. Con las reglas y reglamentos que

prohíben el uso de la información de seguimiento para los atletas entrenador Cook tiene un largo camino por recorrer antes de que pueda utilizarla en el nivel de secundaria. Hasta que llegue ese día tendrá que obtener información de un jugador a la antigua usanza, con un cronómetro y un bolígrafo y papel.

Después de analizar los métodos o sistemas con los que se lleva a cabo el análisis biomecánico de los atletas a nivel mundial es necesario hacer consideraciones sobre la situación actual en nuestro país.

Actualmente en México no se dispone de sistemas de monitoreo para atletas de alto rendimiento de lo cual es ampliamente necesario para llevar un control estricto del entrenamiento de cada uno de ellos, es por ello que surge la necesidad de diseñar un equipo que realice algunas de las mediciones necesarias para llevar un análisis biomecánico de un atleta.

Fededome es una empresa que se dedica al entrenamiento de atletas de alto rendimiento junto con los alumnos del ITTG están emprendiendo en llevar a cabo el diseño y la construcción de un equipo que pueda realizar este tipo de monitoreo de maneras semejantes a las antes mencionadas.

En los siguientes capítulos se lleva a cabo la explicación de los términos antes mencionados y el desarrollo que se llevara a cabo para la realización de un equipo que permite monitorear a un atleta midiendo para este caso la potencia desarrolla por el mismo.

3. MARCO TEORICO

3.1 CONCEPTOS BASICOS:

POTENCIA: cantidad de trabajo por unidad de tiempo. La potencia es la capacidad de la musculatura de contraerse venciendo una resistencia que se opone al acercamiento de sus puntos de inserción.

VELOCIDAD: es una magnitud física, a partir de la cual se puede expresar el desplazamiento que realiza un objeto en una unidad determinada de tiempo.

ACELERACION: es una magnitud vectorial que nos indica la variación de velocidad por unidad de tiempo.

FUERZA MUSCULAR EXPLOSIVA: determina el tiempo que transcurre para la realización de determinada acción o fuerza.

FUERZA DE ARRANQUE: habilidad del sistema neuromuscular para desarrollar la mayor fuerza posible en el menor tiempo posible.

POTENCIA EN LA VELOCIDAD MOTORA: se denomina a la acción de vencer una resistencia a la mayor velocidad posible.

POTENCIA EN LA FUERZA MOTORA: para que un movimiento pueda ser calificado de potente deben darse dos condiciones primordiales. El movimiento debe vencer relativamente grandes resistencias que lo dificulten. Deben alcanzarse relativamente grandes aceleraciones.

BIOMECANICA: El concepto de biomecánica (combinación de las palabras biología y mecánica) tiene que ver con los principios y métodos de la mecánica aplicados al estudio de la estructura y función de sistemas biológicos. Este término así como el de kinesiología, se han utilizado para darle nombre a los estudios del movimiento del cuerpo humano. Las investigaciones en este ámbito, se realizan en movimientos que el individuo desempeña durante la vida diaria, en los lugares de trabajo y en la actividad física como la marcha, la danza y las diferentes especialidades deportivas.

Los especialistas de esta interdisciplinar, tienen conocimientos de anatomía y fisiología del cuerpo humano, de entrenamiento a ingenieros mecánicos, médicos

ortopedistas, antropólogos físicos, entrenadores deportivos, rehabilitadores físicos, ergónomos y computó logos. Dependiendo de la orientación y de los objetivos, los proyectos de investigación toman en consideración aspectos fundamentales de las distintas áreas de conocimiento.

Los cambios de posición de los segmentos corporales son un proceso complejo que demanda un elaborado control del sistema músculo-esquelético por parte del sistema nervioso. Cada músculo tiene su propia longitud de brazo de palanca (o de momento). El centro de una articulación, eje de giro o punto de giro o eje de rotación de los segmentos corporales, generalmente, varía conforme crece o disminuye la amplitud del ángulo que forman dos segmentos, y el punto de giro se desplaza a diferentes puntos anatómicos dentro de la articulación.

La contracción del músculo esquelético depende de las características químicas de los tejidos y fisiológicas del tipo de fibras que lo componen: rápidas o lentas. La velocidad a la que se puede contraer el músculo para desarrollar fuerza, depende del número de unidades de contracción; y unidades motoras que constan de la neurona motora y de las fibras musculares que controla.

3.2 BIOMECANICA DEPORTIVA:

Por siglos, el hombre ha mostrado fascinación por la “arquitectura”, el estilo, la forma y composición de su cuerpo. La búsqueda por entender la anatomía del cuerpo humano, ha creado disciplinas muy especializadas y, con ello, la producción y desarrollo de herramientas científicas, cuya función principal es y ha sido, ayudar a descifrar el enigma que constituye el funcionamiento del mismo.

Es por ello que, en la actualidad, el ser humano adecua programas y software de cómputo para diseñar sistemas informáticos que produzcan modelos “virtuales” del movimiento corporal de los individuos, con los cuales sea posible explicar y entender el cuerpo humano.

El concepto de biomecánica (combinación de las palabras biología y mecánica) tiene que ver con los principios y métodos de la mecánica aplicados al estudio de la estructura y función de sistemas biológicos. Este término así como el de kinesiología, se han utilizado para darle nombre a los estudios del movimiento del cuerpo humano. Las investigaciones en este ámbito, se realizan en movimientos que el individuo desempeña durante la vida diaria, en los lugares de trabajo y en la actividad física como la marcha, la danza y las diferentes especialidades deportivas. Los especialistas de esta interdisciplinar, tienen conocimientos de anatomía y fisiología del cuerpo humano, de entrenamiento a ingenieros mecánicos, médicos ortopedistas, antropólogos físicos, entrenadores deportivos, rehabilitadores físicos, ergónomos y computólogos. Dependiendo de la orientación y de los objetivos, los proyectos de investigación toman en consideración aspectos fundamentales de las distintas áreas de conocimiento.

En el inicio de la vida, el desarrollo motor del individuo es muy limitado, y está asociado al desarrollo del sistema nervioso. Las formas de locomoción que aprenderá, implican una secuencia determinada que va desde el arrastrarse y gateo, hasta la marcha en posición erguida. Para el ser humano, el desarrollo motor es el proceso por medio del cual adquiere los patrones de movimiento básicos o formas elementales de movimiento como saltar, lanzar o caminar.

Entre los individuos de los diferentes grupos humanos, las partes del esqueleto presentan variaciones, de las cuales también hay tipos anatómico-individuales. Así, la estructura corporal de los distintos individuos varía considerablemente; en los tratados sobre anatomía, se describe la estructura del cuerpo que se observa en la mayoría de los individuos que va de un 60-79% de un rango normal de variación. Entonces, la variabilidad anatómica contribuye a la variabilidad de movimiento; por ejemplo: cada quien camina de una manera, pero también, cada paso del andar de cada quien es diferente.

Los cambios de posición de los segmentos corporales son un proceso complejo que demanda un elaborado control del sistema músculo-esquelético por parte del sistema nervioso. Cada músculo tiene su propia longitud de brazo de palanca (o de momento). El centro de una articulación, eje de giro o punto de giro o eje de rotación de los segmentos corporales, generalmente, varía conforme crece o disminuye la amplitud del ángulo que forman dos segmentos, y el punto de giro se desplaza a diferentes puntos anatómicos dentro de la articulación.

La contracción del músculo esquelético depende de las características químicas de los tejidos y fisiológicas del tipo de fibras que lo componen: rápidas o lentas. La velocidad a la que se puede contraer el músculo para desarrollar fuerza, depende del número de unidades de contracción; y unidades motoras que constan de la neurona motora y de las fibras musculares que controla.

Las articulaciones sinoviales son las más frecuentes e importantes desde el punto de vista funcional, poseen una rica inervación, y el tipo fundamental de sensación que transmiten es la propiocepción, que ofrece información sobre el movimiento y la posición en el espacio de las distintas partes del cuerpo. La localización de los puntos anatómicos que representan los ejes de rotación en las articulaciones, es uno de los temas actuales de discusión e investigación debido a la incertidumbre que se tiene en su definición.

Las partes del cuerpo humano se consideran estructuras o cuerpos rígidos para facilitar el estudio del movimiento. Los movimientos se miden en tres dimensiones con relación a los planos anatómicos estándar: sagital, frontal y transversal. Anidados a esta referencia, se usan sistemas de ejes cartesianos (x, y, z).

La variación en los movimientos (lineales y angulares) se describe por medio de los parámetros cinemáticos y cinéticos, y son los valores de estos parámetros los que caracterizan a los movimientos. En general, se pueden tener dos posibles descripciones: una cualitativa, que informa sobre los elementos que componen el desplazamiento del cuerpo, o sea el cómo nos movemos. La otra descripción es la cuantitativa, que es una descripción numérica de las características del desplazamiento, basada en las mediciones experimentales, es el significado funcional: el cuánto nos movemos.

La postura es la actitud, es la distribución de las partes del cuerpo en el espacio durante el movimiento. Conforme el individuo crece, varía su postura; estas variaciones son parte de los recursos que el individuo tiene como respuesta a las demandas de la gravedad. Los patrones de postura varían con la edad, el sexo, el nivel de desarrollo y el somato tipo del cuerpo.

Coordinar se relaciona conceptualmente con las fases de movimiento o conductas parciales, partes que pueden ser conectadas ordenadamente dentro de la ejecución motriz. El ordenamiento está relacionado con el trabajo muscular, mediante reglas determinadas de la actividad sinergista y antagonista de los músculos y procesos parciales del sistema nervioso, esto se conoce como coordinación motriz. Se debe tener claro que hay gran cantidad de factores y procesos individuales que actúan conjuntamente. En un acto motor, se deben dominar una gran cantidad de ejes de movimiento. El factor referente a la elasticidad de los músculos, los tendones y los ligamentos, elimina la localización fija de los ejes de movimiento. Es necesario también considerar cualidades como el ritmo del movimiento, que abarca el orden temporal del acto motor, y la fluidez, que es la ejecución del acto motor con más o menos grado de continuidad. Las investigaciones en el área permiten concluir que el nivel de estas cualidades sólo se eleva a través de la actividad física, y que se mejora considerablemente, si las cualidades se ejercitan dirigidas a mejorar la condición física.

Entonces, el mejor método para adquirir coordinación, ritmo y fluidez en los movimientos, es la ejercitación variada.

Para la estimación de los parámetros de los segmentos, han surgido modelos matemáticos, así como métodos que proveen procedimientos para la localización de centros de masa, y el cálculo de velocidades angulares y de momentos de inercia de los segmentos.

Para permitir el cálculo de parámetros cinemáticos y cinéticos en el movimiento del cuerpo humano, se hacen suposiciones como las siguientes: cada segmento tiene una masa fija concentrada en el centro de masa, la localización del centro de masa permanece fija durante el movimiento, las articulaciones se suponen son del tipo bisagra, y la longitud del segmento permanece constante durante el movimiento.

Un sistema de movimiento a cíclico, como por ejemplo un salto de longitud, se puede considerar compuesto por las siguientes fases: la carrera, el impulso, el vuelo y la caída. Un ejemplo de un proceso cíclico es la marcha (el andar), en este sistema las fases se repiten constantemente: contacto en el piso con el talón, soporte de los dos pies en el piso, soporte de un pie en el piso y desplazamiento del otro pie en el aire, contacto del otro pie en el piso con el talón, soporte de los dos pies en el piso, etc.

Gracias al desarrollo de la tecnología, en la actualidad se cuenta con métodos para la descripción e instrumentos de medición del movimiento del cuerpo humano; el uso de estos depende de qué y como se quiera medir:

- El goniómetro sirve para medir la amplitud de los segmentos corporales que conforman una articulación.
- El acelerómetro emite señales usualmente analógicas y fácilmente digitalizables.
- El electromiógrafo detecta, mediante electrodos (cutáneos o intramusculares), la actividad muscular de determinados músculos
- Las plataformas de fuerza dividen las fuerzas que actúan sobre ellas en tres direcciones espaciales.
- Los dinamómetros registran el valor de las torcas en la rotación de segmentos en las diferentes articulaciones.

- La videografía provee los cuadros de video digitalizados con información de la proyección de secuencias de movimientos ejecutados
- Para reconstruir la información tridimensional de imágenes planas de dos dimensiones captadas con cámaras de video, se utilizan varias cámaras viendo al mismo objetivo, y un algoritmo para una reconstrucción fotogramétrica.
- El análisis científico del desplazamiento tridimensional se realiza con sistemas optoelectricos.
- Actualmente la exactitud y la velocidad de los sistemas modernos de computadora-televisión son las herramientas estándar de medición en la mayoría de los lugares donde se hace análisis de desplazamiento o Gait Laboratories.

Las aplicaciones de las investigaciones del movimiento del cuerpo humano son dirigidas, entre otras, a la comprensión y depuración de las técnicas deportivas, al diseño

(Conjuntamente con la ergonomía) de equipos, espacios e instrumentos de uso humano, y al estudio de la marcha normal y patológica con fines diagnósticos y de rehabilitación.

Como en todas las áreas del conocimiento, simultáneamente a la necesidad de medir con mayor precisión, confiabilidad y rapidez, los diferentes grupos de científicos han promovido el desarrollo tecnológico de equipos de medición y, también, de la automatización de la captura, registro y manejo de los datos. De allí la necesidad de implantar sistemas de programas de computadora que faciliten esta tarea. Estos sistemas de programas, o software, han surgido principalmente en las universidades y en los centros de investigación.

En la actualidad, un grupo de investigación puede optar por comprar, si se tienen los recursos, uno de los tantos sistemas computarizados que hay en el mercado, o puede optar por desarrollar un software para aplicaciones propias. (Sanchez, 2004)

En el Área de Biomecánica Deportiva de la Unidad de Investigación en Cómputo Aplicado de la DGSCA, utilizamos métodos videográficos, así como el sistema computarizado ANABIO, desarrollado en dicha dependencia, para calcular las variables cinemáticas de los movimientos; con el cual se ha trabajado en varios proyectos como son: la cinemática de la marcha en adolescentes, la simetría de palada en el canotaje de velocidad, la técnica individual en el fútbol soccer, el golpeo de la pelota en el ulama de cadera (figura 4), el desplazamiento angular de segmentos en la danza azteca (Figura 5), la evaluación de la coordinación y el desplazamiento del centro de masa en el salto vertical.



Ilustración 3-1 Secuencia de imágenes de golpeo en pelota en la altura de la cadera

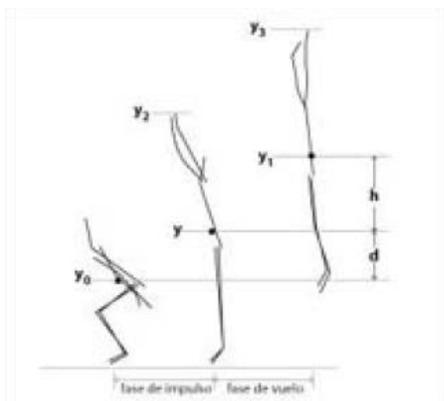


Ilustración 3-2 Fases de movimiento en salto vertical y desplazamiento en el centro de masa.

La primera versión del sistema computarizado ANABIO© se desarrolló en 1993, teniendo por objetivo proporcionar al entrenador deportivo una herramienta útil en la depuración de la técnica de sus atletas.

El uso de este sistema en la investigación, sin embargo, se ha dado también dentro del ámbito de la antropología física, para obtener algún tipo de patrón de movimiento que caracterice a un grupo o población; asimismo, es una herramienta en la ergonomía y en el conocimiento de las características de las diferentes posturas que adopta una persona en un determinado puesto de trabajo.

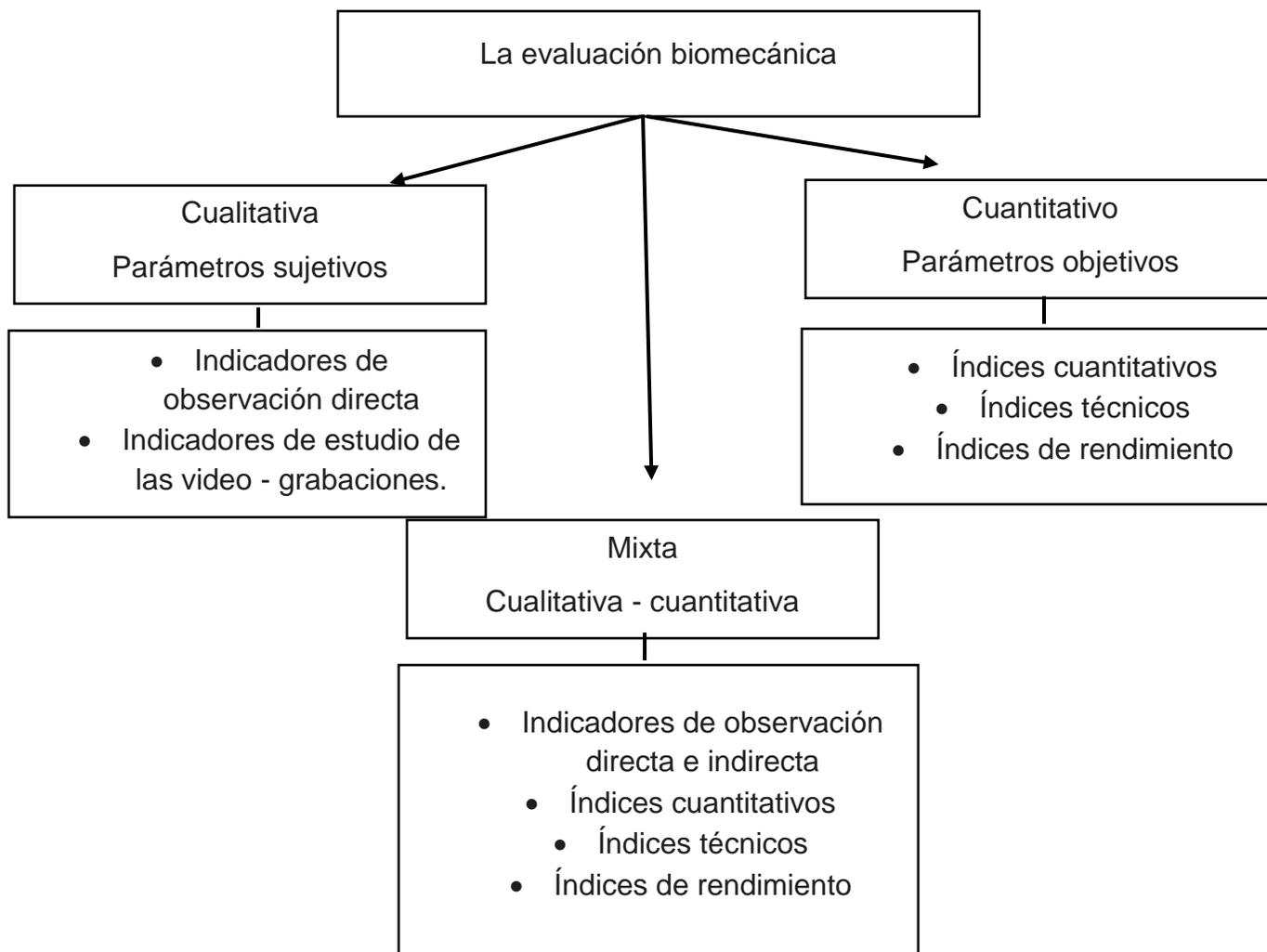
Los métodos implantados en el sistema, permiten evaluar los movimientos y desplazamientos del cuerpo humano utilizando los principios de la biomecánica deportiva.

En este sistema, el cuerpo humano es representado en 14 segmentos corporales lineales: cabeza, tronco, brazos, antebrazos, manos, muslos, piernas y pies, considerados como cuerpos rígidos.

La primera versión formal de este sistema se ejecuta en plataforma PC, consta de un sistema de menús que ofrece la posibilidad de hacer un análisis cinemático bidimensional, desde la captura de datos para crear archivos de movimiento, la depuración e interpolación de la información, la representación gráfica del desplazamiento de determinados puntos anatómicos y del centro de masa de todo el cuerpo, así como conocer la variación de la amplitud de las uniones articulares o de los segmentos corporales en el desplazamiento angular, entre otras. En años recientes al sistema, se le han añadido módulos para el cálculo de los parámetros cinemáticos en 3D.

EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DEL ATLETA DE ALTO RENDIMIENTO

La aplicación más importante de la Biomecánica en el proceso del entrenamiento deportivo lo constituye el Análisis Biomecánico y la Investigación en este campo. El Análisis Biomecánico puede ser Cualitativo, Cuantitativo o Mixto.



ANÁLISIS CUALITATIVO

Este nivel de análisis es el más directo, pero al mismo tiempo el más utilizado por los técnicos deportivos. Consiste en el estudio de los movimientos en base a la observación y apreciación de las distintas características técnico-biomecánicas. Los entrenadores aplican este análisis durante la mayoría de las sesiones del entrenamiento, especialmente cuando se trata de los entrenamientos técnicos.

Para realizar con éxito un análisis cualitativo, existen ciertos conocimientos previos que el entrenador debe tener:

1. Conocer qué es lo que se busca mediante la ejecución de una determinada destreza, y cuáles son las restricciones reglamentarias para el logro del resultado (Hay y Reid, 1988);
2. Tener experiencia y conocimientos en el campo de la destreza que se analiza;
3. Conocer y entender las principales leyes del movimiento, la biomecánica básica.

En el proceso de la preparación deportiva, los entrenadores generalmente observan la ejecución de los atletas y después le dan indicaciones para conservar o modificar la estructura del movimiento. En esta forma, ellos utilizan el análisis biomecánicos cualitativos para la perfección de las destrezas. Las principales características que se pueden observar mediante el análisis biomecánico cualitativo son las siguientes:

Tabla 3-1 CARACTERISTICAS BIOMECANICAS CUALITATIVAS

CARACTERISTICAS BIOMECANICAS CUALITATIVAS	
Ritmo de movimiento	Estética
Fluidez	Precisión
Rapidez	Continuidad
Equilibrio	Amplitud
Coordinación	Elasticidad y otras

Tomando como base a Hay y Reid (1988), el sistema de análisis biomecánico cualitativo se realiza en cinco (5) etapas básicas:

1. Desarrollo del Modelo Biomecánico.
 2. Elaboración del Instrumento de Evaluación;
 3. Observación de la performance e identificación de las fallas.
 4. Evaluación de la importancia relativa de las fallas.
 5. Instrucciones a los atletas, de acuerdo con las conclusiones del análisis.
- (Kreighbaum & Barthels , , 1990)

DESARROLLO DEL MODELO BIOMECÁNICO

El Modelo Biomecánico es una estructura que representa le relación que existe entre los objetivos de las destrezas y los factores que los producen. Los entrenadores deben conocer los objetivos de las destrezas que se analizan, los cuales pueden ser medidas objetivas o subjetivamente. Las primeras (objetivas) son resultados que pueden ser cuantificados:

- Distancia (lanzamiento de disco, bala, jabalina, martillo, saltos atléticos horizontales o verticales).

- Tiempo (carreras en atletismo, natación, patinaje, ciclismo, canotaje, remo),
- Peso (levantamiento de pesas).
- Puntos logrados (tiro; lanzamientos a la canasta en baloncesto; tiro al arco en fútbol, jockey, polo acuático).
- Pines caídos: (Bowling). (Kreighbaum & Barthels , , 1990).

Las medidas subjetivas, son resultados que se evalúan mediante apreciaciones. Por ejemplo:

- Puntos otorgados por jueces (gimnasia, patinaje sobre hielo, saltos ornamentales, nado sincronizado y otros),
- “ventaja”, categoría en la cual se puede incluir los elementos técnicos de los deportes (pases, voleas, saques, dribles, recepciones) (Hay, 1978); el término de "ventaja" se seleccionó debido a que la correcta ejecución de los elementos técnicos antes nombrados producen verdaderas ventajas durante las actividades deportivas.

Cuando es posible, el resultado se puede subdividir en diferentes partes, ya que cada una de ellas puede ser producida por factores diferentes. Por ejemplo, las distancias parciales del Salto Largo (L1 - Distancia de Despegue; L2 - Distancia de Vuelo; L3 - Distancia de Caída) (dayson, 1978).

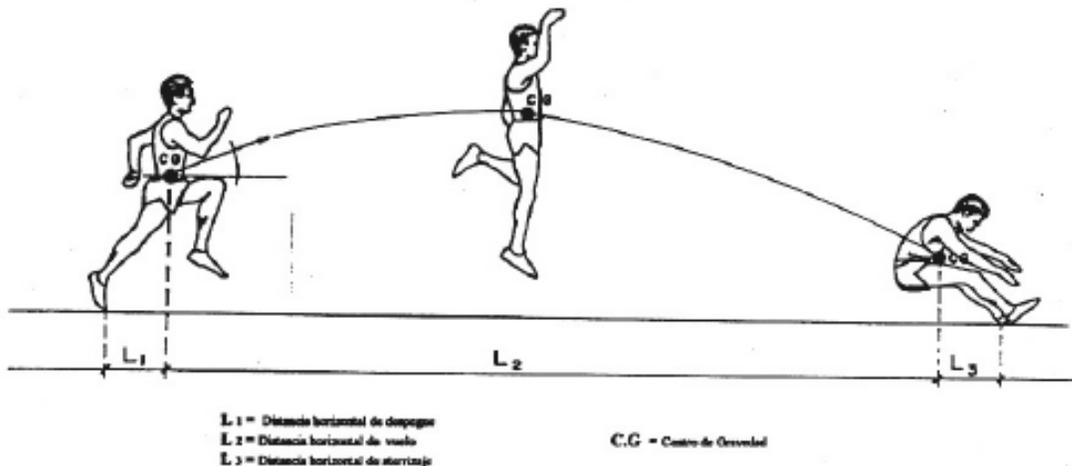


Ilustración 3-3 Distancias horizontales parciales en la fase final del salto triple.

El siguiente paso en el desarrollo de un Modelo Biomecánico es la identificación de los factores que producen los resultados. Estos deben cumplir las siguientes condiciones: (a) los factores deben ser preferiblemente factores mecánicos; (b) cada uno de éstos debe ser determinado por los que se encuentran inmediatamente debajo; (c) éstos deben encontrarse en relación directa entre ellos y (d) los primeros niveles corresponden a los factores cinemáticos, luego los cinéticos. (donskoy, 1988).

ELABORACIÓN DEL INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN CUALITATIVA

El instrumento sirve de referencia a los evaluadores para la realización del análisis cualitativo de una determinada destreza deportiva. En cada disciplina deportiva se deben estructurar instrumentos para cada destreza o elemento técnico fundamental que se desea evaluar. Debe reflejar para cada fase estructural de la destreza, los principales indicadores y variables técnico-biomecánica observable, la escala de estimación sugerida y una descripción precisa de cada indicador, presentando los aspectos fundamentales a tomar en consideración.

El instrumento, después de ser elaborado con la ayuda de especialistas, se somete a una exigente validación por parte de un grupo de expertos. Después del ajuste, se realizan pruebas piloto, para determinar la confiabilidad y objetividad del mismo.

Tabla 3-2 Instrumento para el análisis biomecánico cualitativo del impulso de la bala

Nº	FASE	VARIABLES	ESCALA	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES
1	RENDIMIENTO	LOGRO	1-5	El objetivo del Impulso de bala es proyectar el implemento al aire con la finalidad de asegurar el mayor desplazamiento horizontal posible. Lograr una mayor distancia horizontal en condiciones reglamentarias. En función de las marcas referenciales en los diferentes ámbitos internacionales se considera: 5 - mayor de 20 m; 4 - entre 18m y 20m; 3 - entre 16 y 18m; 2 - entre 14 y 16m; 1 - menor de 14m.
2	CARACTERÍSTICAS DE PROYECCIÓN	VELOCIDAD INICIAL	1-5	La velocidad inicial es la velocidad de proyección del implemento. Es el factor biomecánico de mayor importancia en cualquier lanzamiento. Mientras la velocidad inicial sea mayor, el implemento se proyectará más lejos.
3		ANGULO DE PROYECCIÓN	1-5	El ángulo de proyección es el ángulo formado por la dirección de la velocidad inicial de la bala y la horizontal. El ángulo óptimo está por debajo de 45° (40°-42), aún que se han obtenido resultados sobresalientes con ángulo menores (38°-40°). El ángulo de proyección depende principalmente de la magnitud de la componente horizontal y vertical de proyección del implemento. En un ángulo de 45°, la magnitud de la velocidad inicial horizontal y vertical es igual. Por la mayor altura de proyección en relación al nivel de caída en el impulso de bala, el ángulo óptimo para lograr la mayor distancia es menor de 45° (40°-42°).
4		ALTURA DE PROYECCIÓN	1-5	La altura de proyección es la distancia vertical desde el punto de proyección del implemento y la superficie del suelo. Mientras mayor sea la altura de proyección, la bala se trasladará más lejos. Esta característica biomecánica depende principalmente de la posición extendida del atleta en el instante de proyección del implemento y de la talla del atleta.

Nº	FASE	VARIABLES	ESCALA	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES
5	IMPULSO (DESLIZAMIENTO O GIRO)	TRAYECTORIA DE LA BALA LA FASE DE IMPULSO (DESLIZAMIENTO-GIRO)	1-5	Para que se asegure una adecuada proyección del implemento, con alta velocidad inicial y un ángulo adecuado, la trayectoria de la bala debería ser la más continua posible y ascendente, con mayor declive en la fase final del deslizamiento, sin inflexiones importantes en el trayecto. En el caso de los atletas menos experimentados, se observa una fase crítica al final del deslizamiento durante el apoyo bipodal de los pies, cuando se produce una desaceleración horizontal, descenso de la bala y reducción de su velocidad. La altura del implemento en la fase final del deslizamiento no será la mayor, ya que todavía el atleta mantendrá una determinada semiflexión de las rodillas e inclinación leve del tronco
6		POSICIÓN DE LOS MIEMBROS INFERIORES EN EL DOBLE APOYO	1-5	Al final del deslizamiento, se toma el contacto con el pie correspondiente al miembro superior (MS) lanzador, aproximadamente en el centro del círculo, con leve rotación del cuerpo hacia el MS lanzador y el pie girado a 45º-90º con respecto a la posición inicial. La rodilla del miembro inferior (MI) correspondiente al MS lanzador se encuentra en semiflexión. El miembro inferior (MI) contrario al MS lanzador se coloca casi extendido en la rodilla, con una rotación externa en la articulación de la cadera, con el pie cerca o pegado al tope y orientado hacia la dirección y sentido del lanzamiento.
7		...	1-5	...

Tabla 3-3 Formato para la evaluación biomecánica cualitativa

N°	INDICADOR	ESCALA DE ESTIMACIÓN (1-5)							OBSERVACIONES (ERRORES)	CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES
		INTENTO						X		
		1	2	3	4	5	6			
2	VELOCIDAD INICIAL DE LA BALA	4	3	3	4	3	4	3,5	Se observó una insuficiente velocidad inicial de proyección de la bala, factor de mayor importancia para el logro de una significativa distancia horizontal. ...	La ejecución del atleta es considerada BUENA (3,2 ptos.). Los principales problemas encontrados en la ejecución fueron...

NOTA. Leyenda: 5 – Muy Bien; 4 – Bien; 3 – Regular; 2 – Deficiente; 3 – Muy Deficiente

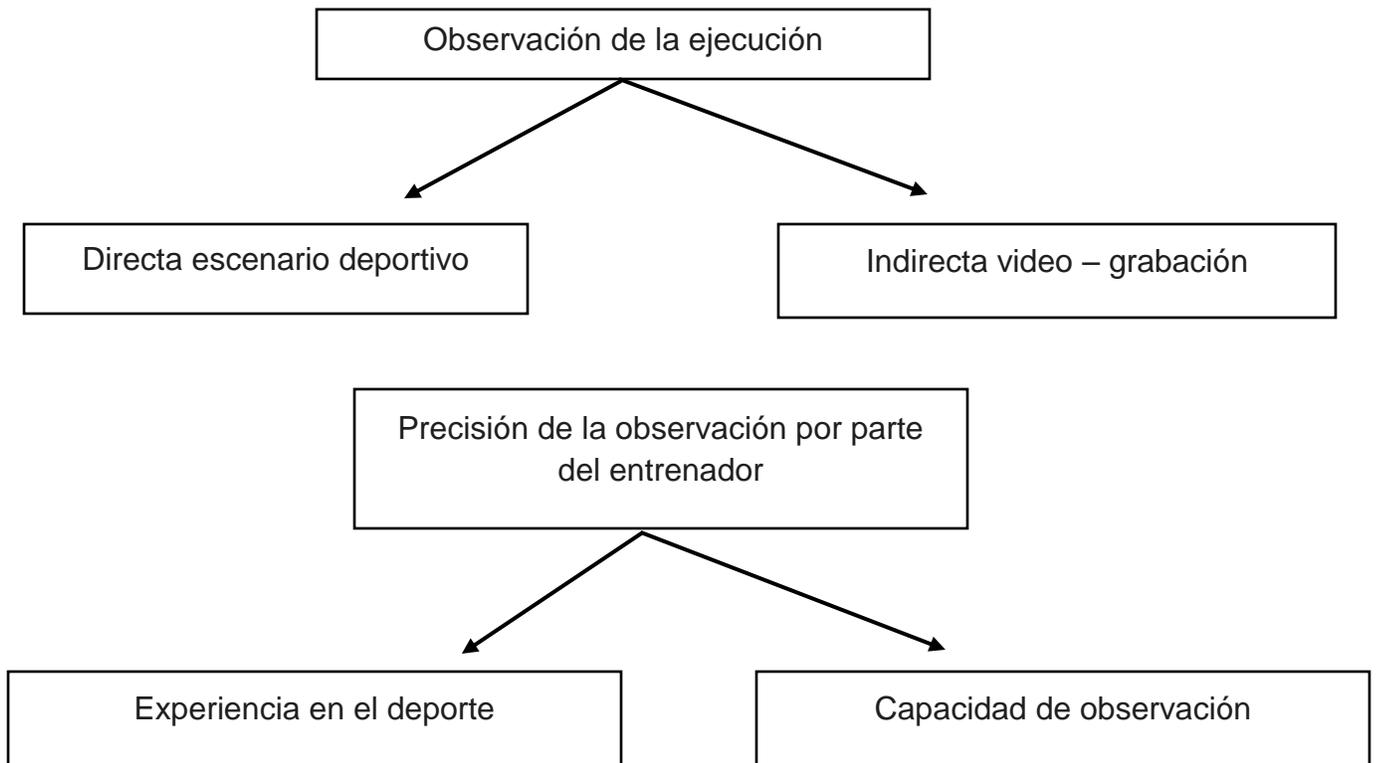
OBSERVACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE LOS ATLETAS

Esta etapa es una de las más importantes y al mismo tiempo exigente del análisis cualitativo. Las personas que realizan el análisis deben tener suficiente experiencia y capacidad de observación de los detalles de los movimientos ejecutados por los atletas, para poder identificar cualquier elemento que modifica el patrón de la ejecución.

Generalmente, la observación de la performance es visual directa, sin embargo es posible utilizar otras fuentes de información como la observación visual indirecta (marcas o huellas dejadas por los atletas e implementos deportivos), la percepción auditiva (diferentes sonidos típicos: últimos pasos en el salto largo, fases de pique-despegue, pasos de carreras, sonidos de pelotas, etc.), percepción táctil (ciertos contactos con el atleta: gimnasia, deportes de combate, etc.) y percepción kinestésica (contribución del atleta en relación con su propia percepción sobre el movimiento -"¿ cómo sentiste la ejecución?").

La observación visual, en la mayoría de los casos es directa durante la ejecución, sin embargo, es posible la observación de la performance registrada previamente (video, cine, fotografías, etc.). En la observación de la performance, el lugar donde se coloca el entrenador depende del plano principal de ejecución y la ubicación debe ser perpendicular a este y a una distancia que le permita observar los

detalles de la ejecución (10-20 metros). En algunos casos, el entrenador analiza la ejecución en diferentes planos, por lo que él tiene que cambiar su posición con respecto al atleta (frontal, posterior). La observación de los detalles de los movimientos registrados previamente (cine, video) facilita el proceso, ya que el entrenador puede observar las performances en repetidas oportunidades, identificar los detalles de la ejecución y posteriormente mostrarlas a los atletas. (donskoy, 1988).



IDENTIFICACIÓN DE FALLAS

Según Hay (1998) el análisis de los movimientos con el fin de determinar las partes positivas y negativas de las ejecuciones, se pueden hacer en dos (2) maneras o combinación de las dos, que es recomendable:

1. Método Secuencial - la performance en su totalidad es considerada en función de las diferentes fases; por ejemplo, en los saltos atléticos se puede analizar la carrera de impulso, la fase de pique-despegue, el vuelo y la caída. El entrenador observa y evalúa los detalles de cada una de estas fases y los compara con la supuesta "forma ideal" (estereotipo dinámico) de ejecución de la destreza. Se trata de identificar las diferencias entre la ejecución del atleta evaluado y la ideal (modelos de los atletas exitosos); las diferencias representarían las fallas. Esta forma de identificar errores tiene sus limitaciones, ya que no siempre la técnica de los "campeones" se adapta a los otros atletas con diferencias individuales; este método es considerado con poca base científica. (donskoy, 1988)

2. El segundo es el **Método Mecánico** - en este se toma en consideración el Modelo Biomecánico de la performance y se juzga en forma sistemática si la ejecución observada se ajusta a los diferentes elementos del Modelo Biomecánico. Se trata de determinar los diferentes aspectos que se relacionan con la posibilidad de mejoría del rendimiento en función de los diferentes factores biomecánicos. Por ejemplo, en el Salto Largo se debe tratar de conseguir la forma de incrementar el resultado en la longitud de despegue (L1), de vuelo (L2) y de caída (L3). En la práctica, los entrenadores con experiencia y conocimientos biomecánicos utilizan en una u otra forma combinación de los dos métodos mencionados, secuencial y mecánico. (donskoy, 1988)

EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS ERRORES

En la mayoría de los casos, el entrenador observa varios errores en la misma ejecución. No es conveniente que se las comunique todos a la vez a atletas. Es preferible que se evalúen las fallas y que se informe al atleta, en primer lugar, las de mayor importancia y las que probablemente puedan ser motivo de otros errores. Desde otro punto de vista, en algunos entrenamientos se fijan metas específicas, como sería el perfeccionamiento de una determinada fase. En estos casos, en la evaluación se deben tomar en consideración también a los movimientos que preceden las mismas, ya que en muchas oportunidades las fallas que cometen los atletas se deben a los movimientos de la fase anterior. Cada falla se debe evaluar en términos de su contribución al resultado que se espera.

En esta forma, las mismas se pueden jerarquizar y establecer cuáles son de importancia mayor o menor. Algunas pueden ser corregidas mediante la simple comunicación al atleta; otras necesitan de un proceso de corrección a mediano o largo plazo. Este último involucra un perfeccionamiento técnico, desarrollo físico o ambos. (donskoy, 1988)

INSTRUCCIONES A LOS ATLETAS.

Una vez que se hayan identificado y evaluado los errores, de tal forma que se conozca la importancia relativa de cada uno de ellos, se debe dar instrucciones a los atletas con el fin de corregirlos. Este proceso de perfeccionamiento de las ejecuciones es fundamental para asegurar el éxito del análisis biomecánico y su contribución para mejorar el rendimiento deportivo. El atleta debe recibir información sobre los errores que se hayan encontrado mediante un lenguaje acorde con su nivel de entendimiento, pero es el papel del entrenador conseguir la metodología más adecuada para el logro de la corrección de los mismos. En muchos casos, este proceso se dificulta debido a hábitos mal formados, sin embargo se deben hacer todos los esfuerzos para el logro de la perfección a través de adecuadas estrategias, donde los conocimientos del campo del Aprendizaje Motor son de mucha ayuda; la motivación del atleta es otro factor muy importante para tomarlo en consideración.

Muchos de los errores técnicos se deben a insuficiente desarrollo físico y es por esto que se indica realizar periódicamente evaluaciones del nivel del desarrollo de las diferentes cualidades físicas generales y específicas del deporte respectivo; esto se hace mediante la utilización de pruebas específicamente diseñadas para tal fin (los tests pedagógicos). En este proceso la ayuda del metodólogo y fisiólogo es recomendable, a pesar de que la mayoría de los entrenadores tienen formación en este campo. (donskoy, 1988)

ANÁLISIS CUANTITATIVO

Mediante el análisis cualitativo se pueden detectar errores, los cuales al ser corregidos, contribuyen a mejorar el rendimiento de los atletas. Sin embargo, en vista de que este nivel de análisis se basa en la simple observación, es difícil evaluar detalles que no pueden ser identificados por esta vía.

Por esto, y especialmente cuando se trata de deportistas con posibilidades de convertirse en atletas destacados en el ámbito internacional, se recomienda reforzar la evaluación de sus ejecuciones mediante un análisis mucho más preciso, el Análisis Cuantitativo. Este se basa en mediciones objetivas, exige instrumentación mucho más compleja y una formación especializada de las personas que realizan el análisis. Conocimientos de biomecánica, matemática, física, computación y de las destrezas que se analizan, son imprescindibles para el desarrollo de las diferentes etapas de análisis biomecánico cuantitativo. En vista de que la mayoría de los entrenadores no tienen formación para realizar este tipo de análisis, se recomienda el apoyo del especialista en el área de la biomecánica; de todos modos, el entrenador debe participar en las diferentes etapas de recolección y análisis de los resultados. Mediante este método de análisis, se pueden cuantificar casi todas las características biomecánicas, cinemáticas y cinéticas; también se pueden medir algunas características antropométricas de los sujetos. (dayson, 1978)

Las etapas del Análisis Cuantitativo son las siguientes:

1. Desarrollo del Modelo Biomecánico;
2. Selección de las características que se van a analizar;
3. Registro de la performance;
4. Procesamiento de los datos para la cuantificación de las variables escogidas;
5. Análisis de los resultados e identificación de los errores;
6. Evaluación de la importancia relativa de los errores;
7. Conclusiones del análisis, incluyendo las instrucciones a los atletas. (dayson, 1978)

SELECCIÓN DE LA CARACTERÍSTICAS QUE SE VAN A ANALIZAR

Dependiendo del interés de la evaluación, se deben establecer los aspectos de la ejecución que se van a analizar. Se puede decidir sobre la ejecución global de la destreza, sin embargo en la mayoría de los casos se selecciona solamente una o más fases de la ejecución. En base a esto se establecen cuáles son las características de interés (variables).

Estas, según la clasificación de Donskoy (1990), pueden ser cinemáticas (espaciales, temporales y espacio-temporales) o cinéticas, así como también elementos de la estática. (donskoy, 1988)

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

En la mayoría de las técnicas, los resultados se registran en forma directa (electrónicamente) o mediante la lectura y anotación manual.

Mediante la Videografía y Cinematografía, la recolección de los datos y obtención de los resultados es indirecta. Los procedimientos específicos en estas técnicas son complejos y se requieren de tecnología avanzada. (donskoy, 1988)

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E IDENTIFICACIÓN DE LOS ERRORES.

Una vez obtenidos los resultados, estos se deben organizar y analizar, tanto cuantitativamente, mediante la apreciación de los valores encontrados, como también en forma cualitativa. Es importante la comparación de éstos con los reportados en la bibliografía de la especialidad y con resultados obtenidos por el mismo atleta en oportunidades anteriores. Se pueden utilizar tres (3) métodos para el análisis e identificación de las debilidades:

1. Método Secuencial (Descrito anteriormente);
2. Método Mecánico (Descrito anteriormente);
3. Método Cuantitativo. Este consiste en la comparación de los resultados obtenidos en las evaluaciones con los valores de un Modelo Cuantitativo, elaborado en base a una extensa revisión bibliográfica y ajustada en función de los principios y leyes biomecánicas.

En caso de evaluaciones de varios atletas, se pueden realizar comparaciones entre ellos en base a las características investigadas y se recomienda también realizar diferentes cálculos estadísticos para su utilización en el análisis. En base a los resultados de la evaluación, se pueden identificar las posibles debilidades de la ejecución. (donskoy, 1988)

EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS ERRORES

Esta etapa es similar a la del análisis biomecánico cualitativo, pero la incidencia de los diferentes errores en el resultado de la destreza puede ser cuantificada.

Esto significa que se puede determinar con precisión, en base a simulaciones del movimiento corregido, la contribución de cada una de las posibles modificaciones en el resultado de la destreza. (donskoy, 1988).

CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS E INSTRUCCIONES AL ATLETA

Esta etapa es parecida al la del análisis cualitativa, con la diferencia de que la información que se le da a los atletas se basa en mediciones precisas, y los resultados de las simulaciones permiten una mayor motivación para el logro de la corrección de los errores y la búsqueda de rendimientos superiores. (donskoy, 1988).

3.3 DISEÑO MECANICO

DISEÑO

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema.

Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. (Shigley, 2008)

Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtengan más datos. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas. El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Los ingenieros deben comunicarse en forma eficaz y trabajar con gente de muchas disciplinas. Éstas son habilidades importantes y el éxito de un ingeniero depende de ellas. (Shigley, 2008)

Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto *funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar*, sin importar quién lo construya o lo use. (Shigley, 2008)

EL DISEÑO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA

Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimiento son extensas. Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y la teoría eléctrica y de la información. El diseño en la ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina. (Shigley, 2008)

Los problemas reales se resisten a la especialización. Un simple muñón y cojinete involucran flujo de fluidos, transferencia de calor, fricción, transporte de energía, selección de materiales, tratamientos termomecánicos, descripciones estadísticas, etc. La construcción debe respetar el medio ambiente. Las consideraciones de calefacción, ventilación y de acondicionamiento del aire son lo suficientemente especializadas que algunos hablan del diseño de la calefacción, ventilación y del acondicionamiento del aire como si estuvieran separados y fueran distintos del diseño en la ingeniería mecánica. En forma similar, algunas veces el diseño de motores de combustión interna, de turbo-maquinaria y de motores de reacción se considera entidades discretas. La serie de adjetivos que siguen a la palabra diseño sólo es una ayuda para describir el producto. De manera similar, hay frases como diseño de máquinas, diseño de elementos de máquinas, diseño de componentes de máquinas, diseño de sistemas y diseño de potencia hidráulica.

Todas ellas son *ejemplos* un poco más enfocados del diseño en la ingeniería mecánica. Se basan en las mismas fuentes de conocimiento, se organizan en forma similar y requieren habilidades semejantes. (Shigley, 2008)

FASES E INTERACCIONES DEL PROCESO DE DISEÑO

¿Qué es el proceso de diseño? ¿Cómo comienza? ¿El ingeniero simplemente se sienta en la silla de su escritorio con una hoja de papel en blanco y anota algunas ideas? ¿Qué sucede después? ¿Qué factores influyen o controlan las decisiones que deben tomarse? Por último, ¿cómo termina el proceso de diseño?

El proceso completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la ilustración 9, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación. En las siguientes secciones se examinarán estos pasos del proceso de diseño con más detalle. Por lo general, el proceso de diseño comienza con la *identificación de una necesidad*.

Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien. A menudo la necesidad no es del todo evidente; el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa particular o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea. Por ejemplo, la necesidad de hacer algo acerca de una máquina de empaque de alimentos se manifiesta por el nivel de ruido, la variación en el peso del paquete y por alteraciones ligeras pero perceptibles en la calidad del paquete o envoltura.

Hay una diferencia notable entre el enunciado de la necesidad y la identificación del problema. (Shigley, 2008)

La *definición del problema* es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse.

Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse al objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En este caso deben especificarse las entradas y salidas de la caja, junto con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad.

Los puntos obvios en las especificaciones son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura, el intervalo máximo, las variaciones esperadas en las variables, las limitaciones dimensionales y de peso, etcétera.

Hay muchas especificaciones implicadas que resultan del entorno particular del diseñador o de la naturaleza del problema en sí. Los procesos de manufactura disponibles, junto con las instalaciones de una cierta planta, constituyen restricciones a la libertad del diseñador y de aquí que sean parte de las especificaciones implicadas. Quizá una planta pequeña, por ejemplo, no posea maquinaria de trabajo en frío. Debido a que conoce esta circunstancia, el diseñador selecciona otros métodos de procesamiento de metal que se puedan realizar en la planta. Las habilidades de trabajo disponibles y la situación competitiva también constituyen restricciones implícitas. Cualquier cosa que limite la libertad de elección del diseñador significa una restricción. Por ejemplo, muchos materiales y tamaños se incluyen en los catálogos del proveedor, pero no todos pueden conseguirse con facilidad y suelen sufrir de escasez. (Shigley, 2008)

Además, la economía del inventario requiere que un fabricante tenga en existencia un número mínimo de materiales y tamaños.

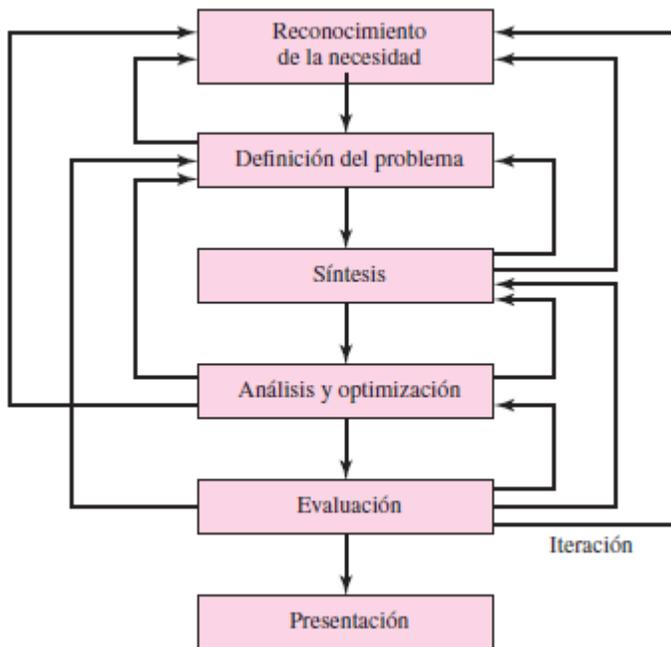


Ilustración 3-4 Proceso de diseño

“Algunas veces, a la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama *invención del concepto* o *diseño del concepto*. Éste es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas”¹. A medida que el desarrollo del esquema progresa, se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es cuando menos satisfactorio, y si lo es, qué tan bien se desempeñará. Los esquemas del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, se mejoran o se desechan. Los que cuentan con potencial se optimizan para determinar el mejor desempeño del esquema. Los esquemas en competencia se comparan de manera que se pueda elegir el camino que conduzca al producto más competitivo. En la ilustración 8 se muestra que la síntesis, el análisis y la optimización están relacionados en forma íntima e iterativa.

¹ En Stuart Pugh, *Total Design—Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison Wesley, 1991, se presenta un excelente desarrollo de este tópico. También se proporciona una descripción del *metodo Pugh* en el Capítulo 8 de David G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, 3a. ed., McGraw-Hill, 2003.

Puede observarse, y debe destacarse, que el diseño es un proceso iterativo en el cual se procede a través de varios pasos, se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase inicial del procedimiento. De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizar y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema. Por ejemplo, el diseño de un sistema para transmitir potencia requiere que se preste atención al diseño y la selección de los elementos más pequeños que lo componen (por ejemplo, engranes, cojinetes, eje). Sin embargo, como sucede con frecuencia en el diseño, estos componentes no son independientes. Con el propósito de diseñar el eje para el esfuerzo y la deflexión, es necesario conocer las fuerzas aplicadas. Si éstas se transmiten a través de engranes, es necesario conocer las especificaciones de éstos para determinar las fuerzas que se transmitirán hacia el eje. Pero los engranes en inventario se encuentran en el mercado con ciertos tamaños de diámetro interior, lo que requiere un conocimiento de los diámetros necesarios para introducir el eje. Resulta claro que deberán hacerse estimaciones gruesas para poder avanzar en el proceso, refinando e iterando hasta que se obtenga un diseño final que sea satisfactorio para cada componente individual así como para las especificaciones de diseño generales. A lo largo del texto se elaborará este proceso para el caso de estudio de un diseño de transmisión de potencia. (Shigley, 2008)

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos. Cuando se les crea se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real. Como se indica en la ilustración 9, la *evaluación* es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en el laboratorio. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface la necesidad o las necesidades. ¿Es confiable? ¿Competirá exitosamente con productos similares? ¿Es económica su manufactura y uso? ¿Se mantiene y se ajusta con facilidad? ¿Se puede obtener una ganancia por su venta o uso?

¿Qué tan probable es que el producto propicie demandas legales? ¿Se obtiene un seguro con sencillez y a bajo costo? ¿Quizá sea necesario que se reconozca que se requiere reemplazar partes o sistemas defectuosos?

La comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital de *presentación* del proceso de diseño. Sin duda, muchos grandes diseños, invenciones y trabajos creativos se han perdido para la posteridad sólo porque sus creadores no fueron capaces o no estuvieron dispuestos a explicar sus logros a otros. La presentación es un trabajo de venta. El ingeniero, cuando presenta una nueva solución al personal administrativo, gerencial o de supervisión, está tratando de vender o de probarles que la solución que él propone es la mejor. A menos que lo anterior se pueda hacer de manera exitosa, el tiempo y el esfuerzo empleado en obtener la solución en gran parte se habrán desperdiciado. Cuando los diseñadores venden una idea nueva, también se venden a sí mismos. Si suelen tener éxito en la venta de ideas, diseños y soluciones nuevas a la gerencia, comienzan a recibir aumentos salariales y promociones; de hecho, así es como cualquiera tiene éxito en su profesión. (Shigley, 2008)

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Algunas veces la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la *resistencia* es una consideración de diseño importante. Cuando se emplea la expresión *consideración de diseño* se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema. A menudo se deben considerar muchas de esas características en una situación de diseño dada. Entre las más importantes se pueden mencionar (no necesariamente en orden de importancia):

1. Funcionalidad
2. Resistencia/Esfuerzo
3. Distorsión/deflexión/rigidez
4. Desgaste
5. Corrosión
6. Seguridad

7. Confiabilidad
8. Manufacturabilidad
9. Utilidad
10. Costo
11. Fricción
12. Peso
13. Vida
14. Ruido
15. Estilo
16. Forma
17. Tamaño
18. Control
19. Propiedades térmicas
20. Superficie
21. Lubricación
22. Comercialización
23. Mantenimiento
24. Volumen
25. Responsabilidad legal
26. Capacidad de reciclado/recuperación de recursos.

Algunas de estas propiedades se relacionan de manera directa con las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los elementos del sistema. Algunas características pueden estar interrelacionadas, lo que afecta la configuración del sistema total. (Shigley, 2008)

HERRAMIENTAS Y RECURSOS DE DISEÑO

En la actualidad, el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles que le ayudan a solucionar problemas de diseño. Las microcomputadoras poco caras y los paquetes robustos de software proporcionan herramientas de gran capacidad para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos.

Además de estas herramientas, el ingeniero siempre necesita información técnica, ya sea en forma de desempeño básico en ciencias/ingeniería o las características de componentes especiales recién lanzados. En este caso, los recursos pueden ir desde libros de ciencia/ingeniería hasta folletos o catálogos de los fabricantes. También la computadora puede jugar un papel importante en la recolección de información. (Shigley, 2008)

HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

“El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático”². Las trayectorias de las herramientas pueden generarse a partir de los modelos 3-D y, en algunos casos, las partes pueden crearse directamente desde una base de datos 3-D mediante el uso de un método para la creación rápida de prototipos y manufactura (estereolitografía): *manufactura sin papeles*. Otra ventaja de este tipo de base de datos es que permite cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de masa. Del mismo modo, pueden obtenerse con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos. Existe una gran cantidad de software de CAD disponible como Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Unigraphics, Solid Works y ProEngineer, sólo por mencionar algunos. (Shigley, 2008). El término *ingeniería asistida por computadora* (CAE) se aplica generalmente a todas las aplicaciones de ingeniería relacionadas con la computadora. Con esta definición, el CAD puede considerarse como un subconjunto del CAE. Algunos paquetes de computadora realizan análisis de ingeniería específicos y/o tareas de simulación que ayudan al diseñador, pero no se consideran una herramienta para la creación del diseño como lo es el CAD.

² En el capítulo 4 de George E. Dieter, Engineering design. A Materials and Processing Approach, 3ª. Ed., McGraw Hill, nueva York, 200, puede encontrarse un excelente y comprensible análisis del proceso de recolección de información.

Este software pertenece a dos categorías: basado en ingeniería y no específico para ingeniería. Algunos ejemplos de programas basados en ingeniería para aplicaciones de ingeniería mecánica

—software que también podría integrarse dentro de un sistema CAD— son los programas para el análisis del elemento finito (AEF), para el análisis del esfuerzo y la deflexión (vea el capítulo 19), la vibración y la transferencia de calor (por ejemplo, Algor, ANSYS y MSC/

NASTRAN); programas para la dinámica de fluidos computacional (CFD) para el análisis del flujo de fluidos y la simulación (por ejemplo, CFD++, FIDAP y Fluent); y programas para la simulación de fuerzas dinámicas y el movimiento en mecanismos (por ejemplo, ADAMS, DADS y Working Model). (Shigley, 2008).

Entre los ejemplos de aplicaciones asistidas por computadora no específicas para ingeniería pueden mencionarse los programas para el procesamiento de palabras, las hojas de cálculo (por ejemplo, Excel, Lotus y Quattro-Pro), y solucionadores matemáticos (por ejemplo,

Maple, MathCad, MATLAB, Mathematica y TKsolver).

Su profesor es la mejor fuente de información acerca de los programas que es posible obtener y puede recomendarle aquellos que son útiles para tareas específicas. Sin embargo, es necesario tener cuidado: los programas de computadora no sustituyen el proceso de pensamiento humano. En este caso, el conductor es *usted*; la computadora es el vehículo que lo ayuda en el camino hacia una solución. Los números generados por una computadora pueden estar muy lejanos a la realidad si usted ingresa una entrada incorrecta, si malinterpreta la aplicación o la salida del programa, si éste contiene algún error, etc. Es su responsabilidad asegurar la validez de los resultados, por lo que debe tener cuidado al revisar la aplicación y los resultados, realizar pruebas de calibración introduciendo problemas con soluciones conocidas, y monitorear las noticias de la compañía de software y de los grupos de usuarios. (Shigley, 2008).

RESPONSABILIDADES PROFESIONALES DEL INGENIERO DE DISEÑO

En general, el ingeniero de diseño debe satisfacer las necesidades de los usuarios (la administración, clientes, consumidores, etc.) y se espera que lo haga de una manera competente, responsable, ética y profesional. Una gran parte del trabajo en el curso de ingeniería y en la experiencia práctica se enfoca en la competencia, pero, ¿cuándo se comienzan a desarrollar la responsabilidad y el profesionalismo en ingeniería? Para encarrilarse en el camino hacia el éxito, debe comenzar por establecer estas características a inicios de su programa educativo. Usted debe cultivar su ética de trabajo profesional y aptitudes de proceso antes de graduarse, de manera que cuando inicie formalmente su carrera en ingeniería esté preparado para enfrentar los retos.

Para algunos alumnos no es obvio, pero las habilidades de comunicación juegan un papel importante aquí, por lo cual los estudiantes informados trabajan continuamente en el mejoramiento de estas destrezas *¡aun cuando no sea un requerimiento directo de algún curso!*

El éxito en ingeniería (logros, promociones, ascensos, etc.) puede deberse en gran parte a la competencia, pero si usted no logra comunicar sus ideas en forma clara y concisa, su calidad técnica suele verse comprometida. (Shigley, 2008).

Puede comenzar a desarrollar sus habilidades en comunicación a través de la elaboración de un diario/registro nítido y claro de sus actividades, en el cual debe introducir datos de manera frecuente. (Muchas compañías exigen que sus ingenieros lleven un diario para asuntos referentes a patentes y responsabilidades legales.) Deben usarse diarios distintos para cada proyecto de diseño (o materia). Cuando inicie un proyecto o enfrente un problema, en la etapa de definición, introduzca datos al diario con bastante frecuencia. Esta tarea puede ser realizada por otras personas, o incluso usted mismo. Podría preguntar después por qué tomó ciertas decisiones. Si se tienen buenos registros cronológicos será más fácil explicar dichas decisiones en el futuro.

Muchos estudiantes de ingeniería se ven a sí mismos después de graduarse como ingenieros que practican el diseño, desarrollo y análisis de productos y procesos y consideran que la necesidad de buenas habilidades de comunicación, ya sean orales o escritas, es secundaria, lo cual está muy lejos de ser verdad. La mayoría de los ingenieros practicantes pasan una buena cantidad de tiempo comunicándose con otros, en la redacción de propuestas e informes técnicos, y dando presentaciones e interactuando con personal de apoyo con estudios de ingeniería o sin ellos. Ahora, usted tiene el tiempo para agudizar sus destrezas de comunicación. Cuando se le asigne una tarea para escribir o hacer una presentación, ya sea técnica o no, acéptela con entusiasmo y trabaje en el mejoramiento de sus habilidades de comunicación. Es una buena inversión de tiempo aprender estas destrezas ahora y no en el trabajo.

Cuando trabaje en un problema de diseño, es importante que desarrolle un enfoque sistémico.

Los siguientes pasos deben recibir una atención especial, lo cual le ayudará a organizar su técnica de procesamiento de la solución:

- *Entienda el problema.* La definición del problema es el paso más significativo en el proceso de diseño en ingeniería. Lea, comprenda y afine cuidadosamente el enunciado del problema.
- *Identifique la información conocida.* A partir del enunciado perfeccionado del problema, describa en forma concisa qué información es conocida y relevante.
- *Identifique la información desconocida y formule la estrategia de solución.* Establezca aquello que debe determinar, y en qué orden, con el propósito de llegar a una solución del problema. Bosqueje el componente o sistema bajo investigación, es decir, identifique los parámetros conocidos y desconocidos. Construya un diagrama de flujo de los pasos necesarios para llegar a la solución final. Los pasos pueden requerir el uso de diagramas de cuerpo libre; propiedades de materiales de las tablas; ecuaciones de los principios básicos, libros de texto o manuales que relacionan los parámetros conocidos y desconocidos.

- *Establezca todos los supuestos y todas las decisiones.* Por lo general, los problemas de diseño reales no tienen soluciones únicas, ideales y cerradas. Las selecciones, como la elección de materiales y los tratamientos térmicos, exigen tomar decisiones. Los análisis requieren supuestos relacionados con el modelado de los componentes o sistemas reales. Todos los supuestos y todas las decisiones deben identificarse y registrarse.
- *Analice el problema.* Usando su estrategia de solución junto con sus decisiones y supuestos, ejecute el análisis del problema. Haga referencia a las fuentes de todas las ecuaciones, tablas, gráficas, resultados del software, etc. Verifique la credibilidad de sus resultados.

Compruebe el orden de magnitud, la dimensionalidad, las tendencias, señales, etcétera.

- *Evalúe su solución.* Evalúe cada paso de la solución, es decir, observe la forma en que los cambios de estrategia, decisiones, supuestos y ejecución podrían modificar los resultados, de manera positiva o negativa. Si es posible, incorpore los cambios positivos en su solución final.
- *Presente su solución.* Aquí es donde sus habilidades de comunicación son importantes. En este punto, usted se está vendiendo a sí mismo y sus capacidades técnicas. Si no puede explicar hábilmente lo que ha hecho, una parte o todo su trabajo suele no entenderse e incluso no aceptarse. Conozca a su audiencia.

Como se estableció antes, todos los procesos de diseño son interactivos e iterativos. Por lo tanto, puede ser necesario repetir algunos o todos los pasos anteriores más de una vez si se obtienen resultados que no sean satisfactorios.

Con el propósito de ser eficaces, todos los profesionales deben mantenerse al corriente en sus campos de conocimiento.

El ingeniero de diseño puede satisfacer este objetivo de muchas maneras: participar como miembro activo de una sociedad profesional como la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (*American Society of Mechanical Engineers*, ASME), la Sociedad de Ingenieros Automotrices (*Society of Automotive Engineers*, SAE), la Sociedad de Ingenieros en Manufactura (*Society of Manufacturing Engineers*, SME); asistir a reuniones, conferencias y seminarios de sociedades, fabricantes, universidades, etc.; tomar cursos o programas de posgrado específicos en universidades; leer en forma regular revistas técnicas y profesionales; etc. La educación de un ingeniero no termina con su graduación. (Shigley, 2008).

NORMAS Y CÓDIGOS

Una *norma* es un conjunto de especificaciones para partes, materiales o procesos establecidos a fin de lograr uniformidad, eficiencia y cantidad especificadas. Uno de los propósitos importantes de una norma es poner un límite al número de artículos en las especificaciones para proporcionar un inventario razonable de herramientas, tamaños, formas y variedades.

Un *código* es un conjunto de especificaciones para analizar, diseñar, manufacturar y construir algo. El propósito de un código consiste en lograr un grado específico de seguridad, eficiencia y desempeño o calidad. Es importante observar que los códigos de seguridad *no* implican *seguridad absoluta*. De hecho, la seguridad absoluta es imposible de obtener. Algunas veces realmente acontece un suceso inesperado. Diseñar un edificio para que resista un viento de 120 mi/h no significa que el diseñador piense que un viento de 140 mi/h es imposible; sólo significa que piensa que es muy improbable.

Todas las organizaciones y sociedades que se presentan enseguida han establecido especificaciones para normas y códigos de diseño o seguridad. El nombre de la organización proporciona una guía de la naturaleza de la norma o código. Algunas de las normas y códigos, así como las direcciones, se pueden obtener en la mayor parte de las bibliotecas técnicas.

DECLARATORIA de vigencia y orden de cancelación de las normas mexicanas NMX-DT-007-IMNC-2010, NMX-CH-068-IMNC-2010, NMX-CH-4787-IMNC-2010, NMX-CH-117-IMNC-2009 y NMX-CH-118-IMNC-2009, y orden de cancelación de las normas mexicanas NMX-Z007-1970, NMX-CH-068-1986, NMX-BB-086-1982, NMX-CH-117-1992 y NMX-CH-118-1992.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Economía.- Subsecretaría de Competitividad y Normatividad.- Dirección General de Normas.- Dirección de Normalización.

DECLARATORIA DE VIGENCIA Y ORDEN DE CANCELACION DE LAS NORMAS MEXICANAS QUE SE INDICAN

La Secretaría de Economía, por conducto de la Dirección General de Normas, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 34 fracciones XIII y XXXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 51-A, 54 y 66 fracciones III y V de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 46 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y 19 fracciones I y XV del Reglamento Interior de esta Secretaría y habiéndose satisfecho el procedimiento previsto por la ley de la materia para estos efectos, expide la declaratoria de vigencia de las normas mexicanas que se enlistan a continuación, mismas que han sido elaboradas, aprobadas y publicadas como proyectos de normas mexicanas bajo la responsabilidad del organismo nacional de normalización denominado Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. (IMNC), lo que se hace del conocimiento de los productores, distribuidores, consumidores y del público en general. El texto completo de las normas que se indican pueden ser adquiridos en la sede de dicho organismo ubicado en Manuel María Contreras número 133, tercer piso, colonia Cuauhtémoc, Delegación Cuauhtémoc, México, D.F., código postal 06500, México, D.F., o consultado gratuitamente en la biblioteca de la Dirección General de Normas de esta Secretaría, ubicada en Puente de Tecamachalco número 6, Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes, Naucalpan de Juárez, código postal 53950, Estado de México.

Las presentes normas mexicanas entrarán en vigor 60 días naturales después de la publicación de esta declaratoria de vigencia en el Diario Oficial de la Federación.

CLAVE O CODIGO	TITULO DE LA NORMA
NMX-DT-007-IMNC-2010	DIBUJO TECNICO-PARA LA INDUSTRIA MECANICA Y CONEXAS-ACOTACIONES, DEFINICIONES Y PRINCIPIOS
Objetivo y campo de aplicación	
Esta Norma Mexicana establece el dibujo técnico en conexas, acotaciones y principios para la industria mecánica.	
Concordancia con normas internacionales	
Esta Norma Mexicana no coincide con algún documento internacional por no existir documento internacional sobre el tema tratado.	
NMX-CH-068-IMNC-2010	MATERIALES DE REFERENCIA-PREPARACION DE DISOLUCIONES DE TRABAJO DE pH.
Objetivo y campo de aplicación	
Esta Norma Mexicana establece los procedimientos para la preparación de disoluciones de trabajo de pH. Cabe aclarar que los valores de pH asignados a estas disoluciones son nominales, no son trazables a las unidades del SI y de ningún modo reemplazan el uso de materiales de referencia certificados. El usuario debería determinar si son adecuadas para un propósito específico.	
Concordancia con normas internacionales	
Esta Norma Mexicana no concuerda con ninguna Norma Internacional por no existir documento	

internacional al momento de su elaboración.

NMX-CH-4787-IMNC-2010	CRISTALERIA DE LABORATORIO -INSTRUMENTOS VOLUMETRICOS-METODOS PARA LA CALIBRACION DE SU CAPACIDAD Y USO.
------------------------------	--

Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Mexicana proporciona los métodos para el ensayo, calibración y empleo de los instrumentos volumétricos hechos de cristal para obtener la mejor exactitud en su empleo.

NOTA La calibración es el proceso mediante el cual se determina la conformidad de un instrumento volumétrico individual con la norma apropiada, culminando con la determinación de su error de medición en uno o más puntos.

Las normas mexicanas para los instrumentos volumétricos individuales incluyen cláusulas sobre la definición de capacidad, éstas describen el método de manipulación con suficiente detalle para definir la capacidad sin ambigüedades. Esta norma mexicana contiene información suplementaria.

Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Mexicana es idéntica con la Norma Internacional ISO 4787:2010 "Laboratory glassware-Volumetric instruments-Methods for testing of capacity and for use".

NOTA: Para la versión mexicana de esta norma se incluyó el Anexo D (informativo), que pretende servir como una directriz para todos aquellos usuarios que quieran emplear una balanza para medir volúmenes menores a los establecidos en la Tabla 1. Por otra parte se agregó una Nota al primer párrafo de la subcláusula A.3 para brindar mayor información sobre la concentración de la disolución de ácido clorhídrico diluido o ácido oxálico que puede emplearse para limpiar los instrumentos volumétricos. En ambos casos es información que no contiene la norma internacional de referencia pero que, sin embargo, el IMNC/COTNNMET/SC 48/GT Volumen decidió agregar para dar una mayor claridad a dichos textos.

NMX-CH-117-IMNC-2009	MATERIALES DE REFERENCIA-ESCALA DE pH PARA DISOLUCIONES ACUOSAS.
-----------------------------	--

Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Mexicana establece la escala de pH, especificando los valores típicos de pH para estas disoluciones acuosas, en el intervalo de temperatura de 273,15 K (0 °C) a 368,15 K (95 °C).

Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Mexicana no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir norma internacional sobre el tema tratado.

NMX-CH-118-IMNC-2009	MATERIALES DE REFERENCIA-DISOLUCIONES PATRON QUE REPRODUCEN LA CONDUCTIVIDAD DE ELECTROLITOS.
-----------------------------	---

Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Mexicana establece las características de disoluciones patrón que reproducen la conductividad de electrolitos para ser utilizados en la calibración de celdas de conductancia. Se aplica a disoluciones patrón que reproducen la conductividad de electrolitos en el intervalo de 30 S/m a 1×10^{-3} S/m.

Esta Norma también establece los valores de conductividad para disoluciones de patrón primario a 273,15 K (0 °C), 291,15 K (18 °C) y 298,15 K (25 °C) y conductividad para disoluciones de patrón secundario a 298,15 K (25 °C).

Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Mexicana no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir norma internacional sobre el tema tratado.

Las organizaciones de interés para los ingenieros mecánicos son:

Aluminum Association (AA)

American Gear Manufacturers Association (AGMA)

American Institute of Steel Construction (AISC)

American Iron and Steel Institute (AISI)

American National Standards Institute (ANSI)⁵

ASM International⁶

American Society of Mechanical Engineers (ASME)

American Society of Testing and Materials (ASTM)

American Welding Society (AWS)

American Bearing Manufacturers Association (ABMA)⁷

British Standards Institution (BSI)

Industrial Fasteners Institute (IFI)

Institution of Mechanical Engineers (I. Mech. E.)

International Bureau of Weights and Measures (BIPM)

International Standards Organization (ISO)

National Institute for Standards and Technology (NIST)

Society of Automotive Engineers (SAE).

3.4 DISEÑO MECANICO DE PIEZAS.

POLEAS DE FRICCIÓN.

Este sistema consiste en dos ruedas solidarias con sus ejes, cuyos perímetros se encuentran en contacto directo. El movimiento se transmite de una rueda a otra mediante fricción (rozamiento).

Desde el punto de vista técnico tenemos que considerar, como mínimo, 4 operadores:

Eje conductor: que tiene el giro que queremos transmitir. Normalmente estará unido a un motor.

Rueda conductora: solidaria con el eje conductor, recoge el giro de este y lo transmite por fricción (rozamiento) a la rueda conducida.

Rueda conducida: recoge el giro de la rueda conductora mediante fricción entre ambas.

Eje conducido: recibe el giro de la rueda conducida y lo transmite al receptor.

Tabla 3-4 Materiales de fricción

Material	Coeficiente de fricción		Temperatura máxima		Presión máxima	
	Húmedo	Seco	°F	°C	psi	kPa
Hierro fundido sobre hierro fundido	0.05	0.15-0.20	600	320	150-250	1 000-1 750
Metal pulverizado* sobre hierro fundido	0.05-0.1	0.1-0.4	1 000	540	150	1 000
Metal pulverizado* sobre acero duro	0.05-0.1	0.1-0.3	1 000	540	300	2 100
Madera sobre acero o hierro fundido	0.16	0.2-0.35	300	150	60-90	400-620
Cuero sobre acero o hierro fundido	0.12	0.3-0.5	200	100	10-40	70-280
Corcho sobre acero o hierro fundido	0.15-0.25	0.3-0.5	200	100	8-14	50-100
Fieltro sobre acero o hierro fundido	0.18	0.22	280	140	5-10	35-70
Asbesto tejido* sobre acero o hierro fundido	0.1-0.2	0.3-0.6	350-500	175-260	50-100	350-700
Asbesto moldeado* sobre acero o hierro fundido	0.08-0.12	0.2-0.5	500	260	50-150	350-1 000
Asbesto impregnado* sobre acero o hierro fundido	0.12	0.32	500-750	260-400	150	1 000
Grafito de carbono sobre acero	0.05-0.1	0.25	700-1 000	370-540	300	2 100

(Budynas & Keith Nisbett, 2008)

DISEÑO DE EJES.

Ejes.

Una flecha es un elemento rotatorio, por lo general de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Ella constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, catarinas y miembros similares y, además, controla la geometría de su movimiento. Un eje es un elemento no giratorio que no transmite par de torsión que se utiliza para soportar ruedas rotatorias, poleas y elementos parecidos. El eje de un automóvil no es un eje verdadero. El término es un remanente de la era de caballo y la calesa, cuando las ruedas giraban sobre elementos no rotatorios.

Un eje no giratorio puede diseñarse con facilidad y analizarse como una viga estática, pero no justifica la atención especial que se le da en este capítulo a los ejes giratorios que están sometidos a carga por fatiga.

Los análisis de deflexión y de pendiente no pueden hacerse hasta que se haya definido la geometría de todo el eje. De esta manera, la deflexión es una función de la geometría de todas partes, mientras que el esfuerzo en una sección de interés es una función de la geometría local. Por esta razón, el diseño de ejes permite primero una consideración de esfuerzo y resistencia. Una vez que se hayan establecido valores tentativos para las dimensiones del eje, se pueden determinar las deflexiones y las inclinaciones.

Materiales para fabricar ejes

La deflexión no se ve afectada por la resistencia sino por la rigidez, representada por el módulo de elasticidad, que es esencialmente constante en todos los aceros. Por esa razón, la rigidez no puede controlarse mediante decisiones sobre el material, sino sólo por decisiones geométricas.

La resistencia necesaria para soportar esfuerzos de carga afecta la elección de los materiales y sus tratamientos. Muchos ejes están hechos de acero de bajo carbono, acero estirado en frío o acero laminado en caliente, como lo son los aceros ANSI 1020-1050. A menudo no está garantizado el incremento significativo de la resistencia proveniente del tratamiento térmico ni el contenido de alta

aleación. La falla por fatiga se reduce moderadamente mediante el incremento de la resistencia, y después sólo a cierto nivel antes de que los efectos adversos en el límite de resistencia a la fatiga y la sensibilidad a la muesca comience a contrarrestar los beneficios de una resistencia mayor. Una buena práctica consiste en iniciar con un acero de bajo o medio carbono de bajo costo, como primer paso en los cálculos del diseño. Si las consideraciones de resistencia resultan dominar sobre las de deflexión, entonces debe probarse un material con mayor resistencia, lo que permite que los tamaños del eje se reduzcan hasta que el exceso de deflexión adquiera importancia.

El costo del material y su procesamiento debe ponderarse en relación con la necesidad de contar con diámetros de eje más pequeños. Cuando están garantizadas, las aleaciones de acero típicas para tratamiento térmico incluyen ANSI 1340-50, 3140-50, 4140, 4340, 5140 y 8650.

Por lo general, el acero estirado en frío se usa para diámetros menores de 3 pulgadas. El diámetro nominal de la barra puede dejarse sin maquinarse en áreas que no requieren el ajuste de los componentes. El acero laminado en caliente debe maquinarse por completo. En el caso de ejes grandes que requieren la remoción de mucho material, los esfuerzos residuales pueden tender a causar alabeo. Si la concentricidad es importante, puede ser necesario maquinar las rugosidades, después tratar térmicamente para remover los esfuerzos residuales e incrementar la resistencia, luego maquinarse para el terminado y llegar a las dimensiones finales. Cuando se debe seleccionar el material, la cantidad que se producirá es un factor sobresaliente. Para pequeñas producciones, el torneado es el proceso de formado más común. Un punto de vista económico puede requerir la eliminación de una cantidad mínima de material. La alta producción puede permitir un método de conformado conservador de volumen (formado en caliente o en frío, fundición) y un mínimo de material en el eje puede convertirse en una meta de diseño. Se puede especificar el hierro fundido si la cantidad de producción es alta, y los engranes deberán fundirse de manera integral con el eje. Las propiedades del eje dependen localmente de su historia: trabajo en frío, formado en frío, laminado de los rasgos del filete, tratamiento térmico, incluyendo el medio de

temple, agitación y régimen de templado. El acero inoxidable puede resultar apropiado para algunos entornos.

Transmisión de par de torsión

Muchas flechas sirven para transmitir un par de torsión de un engrane o polea de entrada, a través del eje, a un engrane o polea de salida. Por supuesto, el eje debe tener el tamaño adecuado para soportar el esfuerzo y la deflexión por torsión.

Diseño de ejes para el esfuerzo

Ubicaciones críticas

No es necesario evaluar los esfuerzos en todos los puntos de un eje; es suficiente hacerlo en unas cuantas ubicaciones potencialmente críticas. Por lo general, estas ubicaciones se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzo. Por comparación directa de diferentes puntos a lo largo del eje, pueden identificarse unas cuantas ubicaciones críticas sobre las cuales puede basarse el diseño. También puede resultar útil una evaluación de situaciones de esfuerzo típicas.

La mayoría de los ejes transmiten el par de torsión sólo a través de una parte de ellos. De manera típica, el par de torsión entra al eje por un engrane y sale del eje por otro engrane. Un diagrama de cuerpo libre del eje permite determinar el par de torsión en cualquier sección. Con frecuencia, el par de torsión es relativamente constante en un estado de operación estable.

El esfuerzo cortante debido a la torsión será mayor en superficies exteriores. Los momentos flexionantes sobre un eje pueden determinarse mediante diagramas de cortante y momento flexionante. Como la mayoría de los problemas de ejes incorporan engranes o poleas que introducen fuerzas en dos planos, por lo general los diagramas de momento cortante y flexionante deberán ser en dos planos. Los momentos resultantes se obtienen al sumar momentos como vectores en los puntos de interés a lo largo del eje.

El ángulo de fase de los momentos no es importante puesto que el eje gira. Un momento flexionante constante producirá un momento completamente reversible sobre un eje giratorio, como un elemento de esfuerzo específico alternará de compresión a tensión en cada revolución del eje. El esfuerzo normal debido a los momentos flexionantes será mayor sobre las superficies exteriores.

En situaciones donde un cojinete se localiza en el extremo del eje, con frecuencia los esfuerzos cerca del cojinete no son críticos puesto que el momento flexionante es pequeño.

Esfuerzos en ejes

Los esfuerzos de flexión, torsión o axiales pueden estar presentes tanto en componentes medios como en alternantes. Para el análisis, es suficientemente simple combinar los diferentes tipos de esfuerzos en esfuerzos de von Mises alternantes y medios. Algunas veces es conveniente adaptar las ecuaciones específicamente para aplicaciones de ejes. En general, las cargas axiales son comparativamente muy pequeñas en ubicaciones críticas donde dominan la flexión y la torsión, por lo que pueden dejarse fuera de las siguientes ecuaciones. Los esfuerzos fluctuantes debidos a la flexión y la torsión están dados por

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \quad \sigma_m = K_f \frac{M_m c}{I} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a c}{J} \quad \tau_m = K_{fs} \frac{T_m c}{J} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde M_m y M_a son los momentos flexionantes medio y alternante, T_m y T_a son los pares de torsión medio y alternante, y K_f y K_{fs} son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión y la torsión, respectivamente.

Si se supone un eje sólido con sección transversal redonda, pueden introducirse términos geométricos apropiados para c , I y J , lo que resulta en

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad \sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad \tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$$

Ecuación 3-4

Cuando se combinan estos esfuerzos de acuerdo con la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos de von Mises para ejes giratorios, redondos y sólidos, sin tomar en cuenta las cargas axiales, están dados por

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 3-6}$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Observe que, en ocasiones, los factores de concentración del esfuerzo se consideran opcionales para los componentes medios con materiales dúctiles, debido a la capacidad de éstos de fluir localmente en la discontinuidad.

Estos esfuerzos medios y alternantes equivalentes pueden evaluarse usando una curva de falla apropiada sobre el diagrama de Goodman modificada. Por ejemplo, el criterio de falla por fatiga de la línea de Goodman tal como se expresó antes en la ecuación es

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

La sustitución de σ'_a y σ'_m en las ecuaciones y resulta en

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Para propósitos de diseño, también es deseable resolver la ecuación para el diámetro.

Esto resulta en

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Se pueden obtener expresiones similares para cualquiera de los criterios de falla comunes mediante la sustitución de los esfuerzos de von Mises de las ecuaciones y en cualquiera de los criterios de falla expresados por las ecuaciones. Las ecuaciones resultantes para varias de las curvas de falla usadas comúnmente se resumen a continuación. Los nombres que se dan a cada conjunto de ecuaciones identifican la teoría de falla significativa, seguida por el nombre de un lugar geométrico de falla por fatiga. Por ejemplo, ED-Gerber indica que los esfuerzos se combinan mediante la teoría de distorsión (ED), y que para la falla por fatiga se usa el criterio de Gerber

ED-Goodman

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

ED-Gerber

$$\frac{1}{n} = \frac{8A}{\pi d^3 S_e} \left\{ 1 + \left[1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$$
$$d = \left(\frac{8nA}{\pi S_e} \left\{ 1 + \left[1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Ecuación 3-11

Dónde:

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$
$$B = \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

Ecuación 3-12

ED-ASME elíptica

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Ecuación 3-13

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Ecuación 3-14

ED-Soderberg

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

Ecuación 3-15

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Ecuación 3-16

En el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constantes, el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante. Las ecuaciones pueden simplificarse al igualar M_m y T_a a 0, lo cual simplemente elimina algunos de los términos.

Los criterios de Gerber y Goodman modificado no protegen contra la fluencia, por lo que requieren una verificación adicional de este aspecto. Para tal propósito, se calcula el esfuerzo máximo de von Mises.

$$\begin{aligned}\sigma'_{\text{máx}} &= [(\sigma_m + \sigma_a)^2 + 3(\tau_m + \tau_a)^2]^{1/2} \\ &= \left[\left(\frac{32K_f(M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}\end{aligned}$$

Ecuación 3-17

Para verificar la fluencia, este esfuerzo máximo de von Mises se compara como siempre con la resistencia a la fluencia.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{\text{máx}}}$$

Ecuación 3-18

Para una verificación rápida y conservadora, se puede obtener una estimación de $\sigma_{\text{máx}}$ simplemente al sumar σ_a y σ_m . El valor de $(\sigma_a + \sigma_m)$ siempre será mayor o igual que $\sigma_{\text{máx}}$, por lo cual será conservador.

Consideraciones sobre deflexión

El análisis de deflexión incluso en un solo punto de interés requiere información completa de la geometría de todo el eje. Por esta razón es deseable diseñar las dimensiones de las ubicaciones críticas para manejar los esfuerzos, y encontrar estimaciones razonables de todas las otras dimensiones, antes de realizar un análisis de dimensión. La deflexión del eje, tanto lineal como angular, debe verificarse en los engranes y cojinetes.

Las deflexiones permisibles dependerán de muchos factores, y los catálogos de cojinetes y engranes deben usarse como guía para considerar la desalineación permisible para cojinetes y engranes específicos. Como una directriz general, en la tabla 7-2 se presentan los intervalos típicos de las pendientes máximas y deflexiones transversales de la línea de centro del eje. Las deflexiones transversales permisibles de los engranes rectos dependen del tamaño del diente, por lo que están representadas por el paso diametral $P = \text{número de dientes/diámetro de paso}$.

El análisis de deflexión es directo, pero es largo y tedioso para realizarlo de manera manual, en particular cuando se consideran muchos puntos de interés. En consecuencia, prácticamente todos los análisis de deflexión de ejes deben ser evaluados con la ayuda de software. Cualquier programa de elemento finito de propósito general puede manejar con facilidad un problema de ejes. Este recurso es práctico si el diseñador ya está familiarizado con el uso del software y con la forma de modelar apropiadamente el eje. También existen soluciones de software de propósito general para el análisis de ejes en tres dimensiones, pero es algo caro si sólo se usa de manera ocasional. También existe software que requiere muy poco entrenamiento para el análisis de vigas planas, el cual puede bajarse de internet.

Una vez que se ha determinado la deflexión en varios puntos, si cualquier valor es mayor que la deflexión permisible en alguno de ellos, se puede encontrar un nuevo diámetro a partir de

$$d_{\text{nuevo}} = d_{\text{anterior}} \left| \frac{n_d y_{\text{anterior}}}{y_{\text{perm}}} \right|^{1/4}$$

Ecuación 3-19

Donde y_{perm} representa la deflexión permisible en esa estación y n_d es el factor de diseño. De manera similar, si alguna inclinación es más grande que la pendiente permisible θ_{perm} , se puede determinar un nuevo diámetro a partir de:

$$d_{\text{nuevo}} = d_{\text{anterior}} \left| \frac{n_d(dy/dx)_{\text{anterior}}}{(\text{pendiente})_{\text{perm}}} \right|^{1/4}$$

Ecuación 3-20

Donde (pendiente) perm es la pendiente permisible. Como resultado de estos cálculos, determine la relación más grande $d_{\text{nuevo}}/d_{\text{anterior}}$, luego multiplique todos los diámetros por esta relación.

La restricción estricta sólo será estricta, y todas las otras serán holgadas. No se preocupe demasiado acerca de los tamaños de los muñones de extremos, ya que su influencia suele ser despreciable. El atractivo del método es que necesitan completarse las deflexiones sólo una vez y que todas las restricciones, menos una, pueden hacerse holgadas; además, todos los diámetros se identifican sin volver a trabajar cada deflexión.

El cortante transversal V , en una sección de una viga sometida a flexión, impone una distorsión cortante que se superpone a la distorsión flexionante. Por lo general, la deflexión por cortante es 1% menor que la deflexión flexionante transversal y rara vez se evalúa. Sin embargo, cuando la relación longitud a diámetro de una flecha es menor que 10, la componente cortante de la deflexión transversal merece atención. Hay muchos ejes cortos.

La extensión o contracción total de una barra uniforme en tensión o compresión pura, respectivamente, está dada por

$$\delta = \frac{Fl}{AE}$$

Ecuación 3-21

Esta ecuación no se aplica a una barra larga cargada a compresión si existe la posibilidad de pandeo. Mediante las ecuaciones anteriores, se ve que la constante del resorte de una barra cargada axialmente está dada por:

$$k = \frac{AE}{l}$$

Ecuación 3-22

La deflexión angular de una barra circular uniforme sometida a un momento torsional T es

$$\theta = \frac{Tl}{GJ}$$

Ecuación 3-23

Donde θ se expresa en radianes. Si la ecuación se multiplica por $180/\pi$ y se sustituye $J = \pi d^4/32$ para una barra circular sólida, se obtiene

$$\theta = \frac{583.6Tl}{Gd^4}$$

Ecuación 3-24

Donde θ está en grados.

La ecuación puede reordenarse para dar la razón del resorte en torsión como

$$k = \frac{T}{\theta} = \frac{GJ}{l}$$

Ecuación 3-25

Deflexión debida a flexión

El problema de la flexión de vigas probablemente ocurre con más frecuencia que cualquier otro problema de carga en el diseño mecánico.

Los ejes fijos y los rotatorios, las manivelas, las palancas, las ménsulas y las ruedas, así como muchos otros elementos, a menudo se deben considerar como vigas para el diseño y análisis de estructuras y sistemas mecánicos. Sin embargo, el tema de la flexión debió haberse analizado antes de iniciar la lectura de este texto.

Por esta razón, aquí sólo se incluye un repaso breve para establecer la nomenclatura y las convenciones que se utilizan en todo el libro. La curvatura de una viga sujeta a un momento flexionante M está dada por

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Ecuación 3-26

Se interpreta que y representa la deflexión de la viga en cualquier punto x a lo largo de su longitud. La pendiente de la viga en cualquier punto x es

$$\theta = \frac{dy}{dx}$$

Ecuación 3-27

Para muchos problemas de flexión, la pendiente resulta muy pequeña y, por lo tanto, se considera como igual a la unidad. Entonces, la ecuación puede escribirse como

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2}$$

Ecuación 3-28

Si se observan las ecuaciones anteriores y se diferencia sucesivamente la ecuación se produce

$$\frac{V}{EI} = \frac{d^3y}{dx^3} \quad \text{Ecuación 3-29}$$

$$\frac{q}{EI} = \frac{d^4y}{dx^4} \quad \text{Ecuación 3-30}$$

Es conveniente desplegar estas relaciones agrupadas como sigue:

$$\frac{q}{EI} = \frac{d^4y}{dx^4} \quad \text{Ecuación 3-31}$$

$$\frac{V}{EI} = \frac{d^3y}{dx^3} \quad \text{Ecuación 3-32}$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad \text{Ecuación 3-33}$$

$$\theta = \frac{dy}{dx} \quad \text{Ecuación 3-34}$$

$$y = f(x) \quad \text{Ecuación 3-35}$$

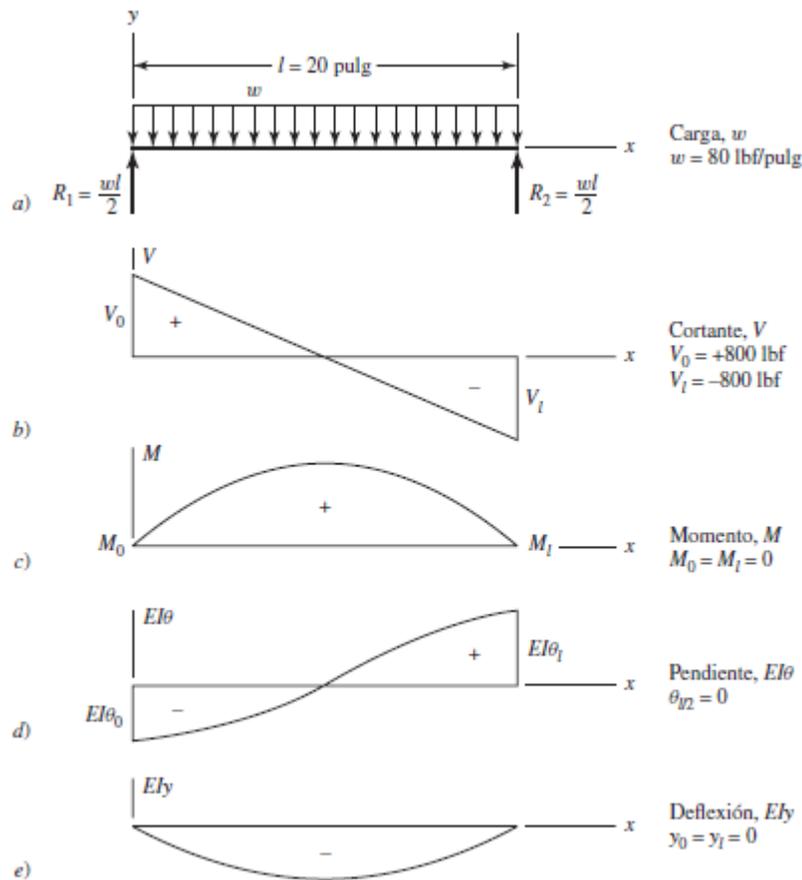


Ilustración 3-5 Ejemplo de la deflexión de un eje.

Velocidades críticas de ejes

Cuando un eje gira, la excentricidad ocasiona una deflexión debida a la fuerza centrífuga que se resiste por la rigidez a flexión del eje EI . Siempre y cuando las deflexiones sean pequeñas, no se ocasiona ningún daño. Sin embargo, otro problema potencial se llama velocidades críticas: a ciertas velocidades el eje es inestable, y las deflexiones se incrementan sin un límite superior. Por fortuna, aunque la forma de la deflexión dinámica se desconoce, mediante una curva de deflexión estática se obtiene una estimación excelente de la velocidad crítica.

Esa curva cumple con la condición de frontera de la ecuación diferencial (momento y deflexión cero en ambos cojinetes) y la energía del eje no es en particular sensible a la anatomía de la curva de deflexión. En primer lugar, los diseñadores tratan de determinar las velocidades críticas de al menos el doble de la velocidad de operación.

El eje, debido a su propia masa, tiene una velocidad crítica. De igual forma, el ensamble de elementos a un eje tiene una velocidad crítica que es mucho menor que la velocidad crítica intrínseca del eje. La estimación de estas velocidades críticas (y sus armónicas) es una tarea del diseñador. Cuando la geometría es simple, como la de un eje de diámetro uniforme, simplemente apoyado, la tarea es fácil. Puede expresarse como

$$\omega_1 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{gEI}{A\gamma}} \quad \text{Ecuación 3-36}$$

Donde m es la masa por unidad de longitud, A el área de la sección transversal y γ el peso específico. En el caso de un ensamble de elementos, el método de Rayleigh para masas concentradas establece

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{g \sum w_i y_i}{\sum w_i y_i^2}} \quad \text{Ecuación 3-37}$$

Donde w_i es el peso de la i -ésima ubicación y y_i es la deflexión en la ubicación del i -ésimo cuerpo. (Shigley, 2008)

RESORTES MECÁNICOS

RESORTES.

En general, los resortes se pueden clasificar como resortes de alambre, resortes planos o resortes con formas especiales, y existen variaciones dentro de estas divisiones.

Los resortes de alambre incluyen a los resortes helicoidales de alambre redondo o cuadrado, hechos para resistir cargas de tensión, de compresión y de torsión. En los resortes planos se incluyen los tipos en voladizo y elípticos, así como los resortes de tipo motor arrollado y de tipo de reloj y las arandelas planas de resorte, que por lo general se denominan resortes Belleville.

ESFUERZOS EN RESORTES HELICOIDALES

En la figura se presenta un resorte helicoidal de compresión hecho de alambre redondo, sometido a una fuerza axial F . Se designará con D el diámetro medio de la espira y con d el diámetro del alambre. Ahora, imagine que el resorte se secciona en algún punto, que se remueve una parte y que el efecto de ésta se reemplaza por las reacciones internas netas. Entonces, como se muestra en la figura, a partir del equilibrio la parte seccionada ejercería una fuerza cortante directa F y una torsión $T = FD/2$.

Para visualizar la torsión, imagine una manguera de jardín arrollada. Ahora jale uno de sus extremos en línea recta, perpendicular al plano de la espira. A medida que cada vuelta de la manguera se saca de la espira, se tuerce o gira respecto de su propio eje. La flexión de un resorte helicoidal crea una torsión similar en el alambre.

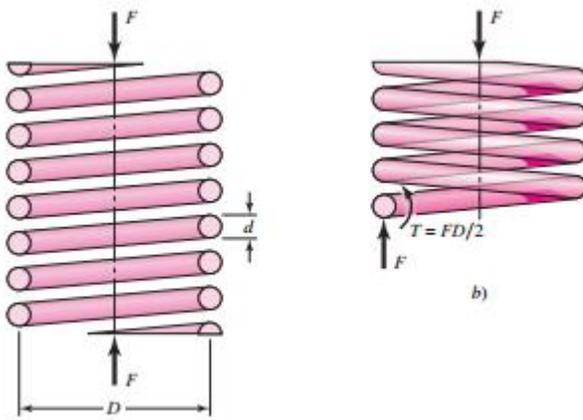


Ilustración 3-6 a) Resorte helicoidal con carga axial; b) diagrama de cuerpo libre donde se muestra que el alambre está sometido a cortante directo y a cortante por torsión.

Ahora se define el índice del resorte

$$C = \frac{D}{d} \quad \text{Ecuación 3-38}$$

Que es una medida de la curvatura de las espiras. El esfuerzo máximo en el alambre se puede calcular mediante la superposición del esfuerzo cortante directo

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}$$

Ecuación 3-39

Donde K_s es un factor de corrección del esfuerzo cortante y se define mediante la ecuación

$$K_s = \frac{2C + 1}{2C}$$

Ecuación 3-40

En la mayoría de los resortes, C varía aproximadamente de 6 a 12. La ecuación es muy general y se aplica tanto para cargas estáticas como dinámicas. No se recomienda el uso de alambre cuadrado o rectangular para resortes, a menos que las limitaciones de espacio lo hagan necesario. Los resortes de alambre de formas especiales no se fabrican en cantidades tan grandes como los de alambre redondo, pues no se han beneficiado de un desarrollo refinado y de aquí que quizá no sean tan fuertes como los que se fabrican con alambre redondo. Cuando el espacio sea muy limitado, se debe considerar el empleo de resortes de alambre redondo anidados, ya que tienen ventaja económica respecto de los resortes de sección especial, así como una mayor resistencia.

RESORTES DE ESPIRAS HELICOIDALES DE TORSIÓN

Cuando un resorte de espiras helicoidales se somete a torsión en los extremos, se llama resorte de torsión. A menudo se enrolla apretado, de la misma manera que un resorte de espiras helicoidales de extensión, pero con tensión inicial despreciable.

Hay tipos de resorte de cuerpo único y de doble cuerpo, como se representa en la figura donde los resortes de torsión tienen extremos configurados para aplicar torsión de manera conveniente al cuerpo de espiras, con gancho corto, con desplazamiento recto con gozne, de torsión directa y con extremos especiales. En última instancia, los extremos conectan una fuerza a una distancia respecto del eje de las espiras, con el objeto de aplicar un par de torsión. El extremo que se encuentra con más frecuencia (y el menos costoso) es el de torsión directa. Si se

debe evitar por completo la fricción entre espiras, el resorte se puede enrollar con un paso que apenas separe las espiras del cuerpo. Los resortes de torsión con espiras helicoidales suelen usarse con una varilla o mandril, para tener soporte reactivo cuando los extremos no se pueden incorporar, a fin de mantener la alineación y proporcionar resistencia al pandeo en caso de ser necesario. El alambre de un resorte de torsión trabaja bajo flexión, en contraste con la torsión que se encuentra en los resortes de espiras helicoidales de compresión y de extensión. Los resortes se diseñan para que se enrollen de manera más apretada durante el servicio. A medida que se incrementa el par de torsión aplicado, el diámetro interior de la espira disminuye. Debe tenerse cuidado de no pellizcar el pasador, la varilla o el mandril. El modo flexionante de la espira parecería indicar que se debe utilizar un alambre de sección transversal cuadrada o rectangular, pero el costo, la variedad de materiales y la disponibilidad inhiben su uso. (Shigley, 2008)

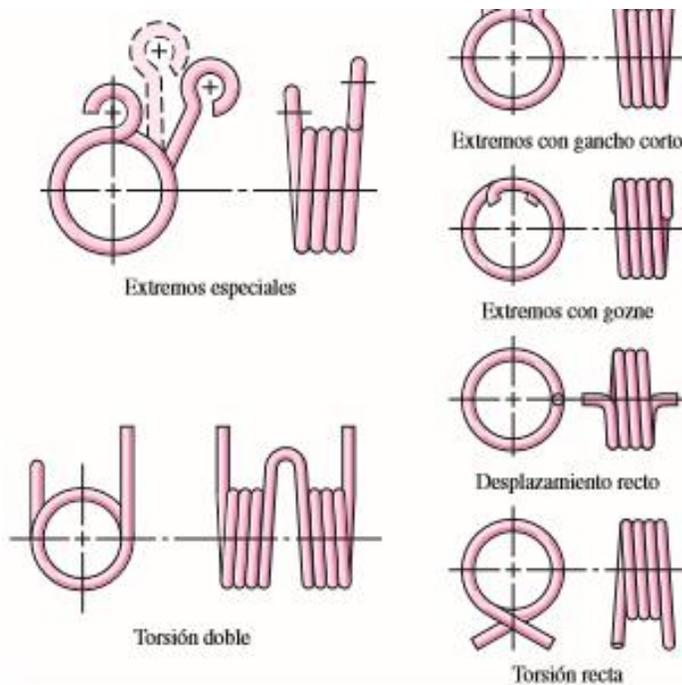


Ilustración 3-7 Resortes de torsión. (Cortesía de Associated Spring Corporation.)

Los resortes de torsión son de uso común en ganchos para ropa, persianas de ventana, trampas para animales, se pueden ver alrededor de la casa y fuera de la vista en mecanismos de compensación, trinquetes y en una variedad de otros componentes de máquinas. Existen muchos resortes ordinarios que se pueden comprar directamente de las existencias de un proveedor. Esta selección puede agregar economía de escala a proyectos pequeños, con lo que se evita el costo del diseño a la medida y de la manufactura de corridas pequeñas.

DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS EXTREMOS

Al especificar un resorte de torsión, los extremos se deben ubicar de acuerdo con la relación entre sí. El esquema más simple para expresar la ubicación de un extremo respecto del otro es en términos de un ángulo β , que define la vuelta parcial presente en el cuerpo de las espiras como $N_p = \beta/360^\circ$, como se muestra en la figura. Para fines de análisis se puede usar la nomenclatura que se utiliza en ella. A menudo, la comunicación con el fabricante de resortes es en términos del ángulo complementario α .

El número de vueltas del cuerpo N_b es el número de vueltas que puede contarse en el cuerpo libre del resorte. El número de vueltas en el cuerpo está relacionado con el ángulo de posición inicial β mediante

$$N_b = \text{entero} + \frac{\beta}{360^\circ} = \text{entero} + N_p \quad \text{Ecuación 3-41}$$

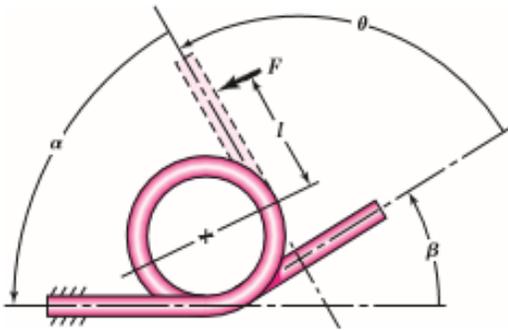


Ilustración 3-8 El ángulo de la ubicación del extremo libre está dado por β . La coordenada rotacional θ resulta proporcional al producto Fl . Su ángulo complementario es α . Para todas las posiciones del extremo móvil, $\theta + \alpha = \Sigma = \text{constante}$.

Donde N_p es el número de vueltas parciales. La ecuación anterior significa que N_b adopta valores no enteros y discretos como 5.3, 6.3, 7.3, ..., con diferencias sucesivas de 1, como posibilidades del diseño de un resorte específico. Esta consideración se analiza más adelante.

DEFLEXIÓN Y RAZÓN DEL RESORTE

En el caso de los resortes de torsión, la deflexión angular puede expresarse en radianes o revoluciones (vueltas). Si un término contiene unidades de revolución, el término se debe expresar con un signo de prima.

El esfuerzo por flexión para un resorte de tensión hecho de alambre redondo se determina como sigue:

$$\sigma = K_i \frac{32Fr}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 3-42}$$

La razón del resorte k_{se} se expresa en unidades de par de torsión/revolución ($\text{lbf} \cdot \text{pulg/rev}$ o $\text{N} \cdot \text{mm/rev}$) y el momento es proporcional al ángulo θ' expresado en vueltas en vez de radianes.

La razón del resorte se expresa como

$$k' = \frac{M_1}{\theta'_1} = \frac{M_2}{\theta'_2} = \frac{M_2 - M_1}{\theta'_2 - \theta'_1} \quad \text{Ecuación 3-43}$$

Donde el momento M puede expresarse como Fl o Fr.

El ángulo subtendido por la deflexión del extremo de un voladizo, cuando se ve desde los extremos construidos, es y/l rad. De la tabla A-9-1,

$$\theta_e = \frac{y}{l} = \frac{Fl^2}{3EI} = \frac{Fl^2}{3E(\pi d^4/64)} = \frac{64MI}{3\pi d^4 E} \quad \text{Ecuación 3-44}$$

La deflexión angular total en radianes se obtiene al sumar la ecuación en cada extremo de longitudes l_1, l_2 :

$$\theta_t = \frac{64MDN_b}{d^4 E} + \frac{64MI_1}{3\pi d^4 E} + \frac{64MI_2}{3\pi d^4 E} = \frac{64MD}{d^4 E} \left(N_b + \frac{l_1 + l_2}{3\pi D} \right) \quad \text{Ecuación 3-45}$$

El número equivalente de vueltas activas, N_a , se expresa como

$$N_a = N_b + \frac{l_1 + l_2}{3\pi D} \quad \text{Ecuación 3-46}$$

El número equivalente de vueltas activas, N_a , se expresa como

$$k = \frac{Fr}{\theta_t} = \frac{M}{\theta_t} = \frac{d^4 E}{64DN_a} \quad \text{Ecuación 3-47}$$

La razón del resorte también se puede expresar como el par de torsión por vuelta y su expresión se obtiene multiplicando la ecuación por 2π rad/vuelta. Así, la razón del resorte k' (unidades de par de torsión/vuelta) es:

$$k' = \frac{2\pi d^4 E}{64DN_a} = \frac{d^4 E}{10.2DN_a} \quad \text{Ecuación 3-48}$$

Las pruebas demuestran que el efecto de la fricción entre las espiras y el mandril es tal que la constante 10.2 se debe incrementar a 10.8 (las unidades son par de torsión por vuelta). La ecuación anterior se convierte en

$$k' = \frac{d^4 E}{10.8 D N_a} \quad \text{Ecuación 3-49}$$

Con frecuencia, los resortes de torsión se usan sobre una barra o pasador redondo. Cuando la carga se aplica a un resorte de torsión, éste se enrolla, lo que causa una disminución del diámetro interior del cuerpo de espiras. Resulta necesario asegurar que el diámetro interior de la espira nunca sea igual o menor que el diámetro del pasador, en cuyo caso se ocasionaría la pérdida de la función del resorte.

Resistencia estática

$$S_y = \begin{cases} 0.78 S_{ut} & \text{Alambre de piano y aceros al carbono estirados en frío} \\ 0.87 S_{ut} & \text{Aceros al carbono y de baja aleación T y R en aceite} \\ 0.61 S_{ut} & \text{Acero inoxidable austenítico y aleaciones no ferrosas} \end{cases} \quad \text{Ecuación 3-50}$$

De ahí que para obtener el factor de seguridad tenemos que:

$$n_f = \frac{M_{max \text{ perm}}}{M_{max \text{ real}}} \quad \text{Ecuación 3-51}$$

(Budynas & Keith Nisbett, 2008)

COJINETES.

Los términos cojinete de contacto rodante, cojinete antifricción y cojinete de rodamiento se emplean para describir la clase de cojinete en la cual se transfiere la carga principal mediante elementos que experimentan contacto rodante en vez de contacto deslizante. En un cojinete de rodamiento, la fricción inicial aproximadamente duplica la fricción de operación, pero aún es despreciable en comparación con la fricción inicial de un cojinete de manguito. La carga, la velocidad y la viscosidad de operación del lubricante afectan las características de fricción de un cojinete de rodamiento.

Probablemente no sea adecuado describir un cojinete de rodamiento como “antifricción”, pero este término se utiliza a menudo en la industria.

Tipos de cojinetes Los cojinetes se fabrican para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ellas. La nomenclatura de un cojinete de bolas se ilustra en la figura, en la que también se muestran las cuatro partes esenciales de un cojinete. Dichas partes son: el anillo exterior, el anillo interior, las bolas o elementos rodantes y el separador. En los cojinetes baratos, algunas veces se omite el separador, a pesar de que realiza la importante función de aislar los elementos de manera que no ocurra contacto de rozamiento entre ellos.

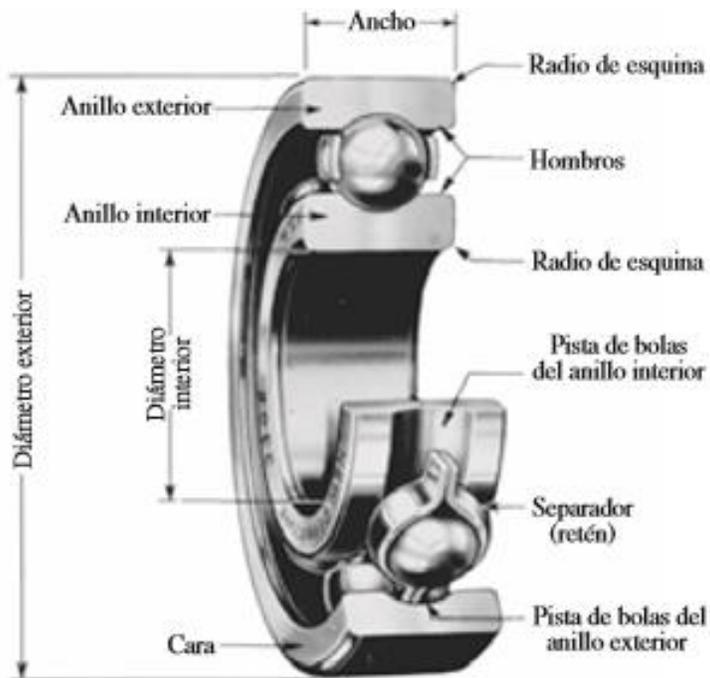


Ilustración 3-9 Nomenclatura de un cojinete de bolas. (General Motors Corporation. Usada con permiso, GM Media Archives.)

En la figura 3.10 se presentan algunos de los diversos tipos de cojinetes estandarizados que se fabrican. El cojinete de una fila de ranura profunda estará sujeto a carga radial, así como a cierta carga de empuje. Las bolas se introducen en las ranuras, desplazando el anillo interior a una posición excéntrica. Las bolas se separan después de la carga, para insertar a continuación el separador.

La utilización de una ranura de llenado (figura b) en los anillos interior y exterior permite que se inserte un mayor número de bolas, lo que incrementa la capacidad de carga. Sin embargo, disminuye la capacidad de empuje debido al golpeteo de las bolas contra el borde de la ranura, cuando se presentan cargas de empuje. El cojinete de contacto angular (figura c) proporciona una capacidad de empuje mayor.

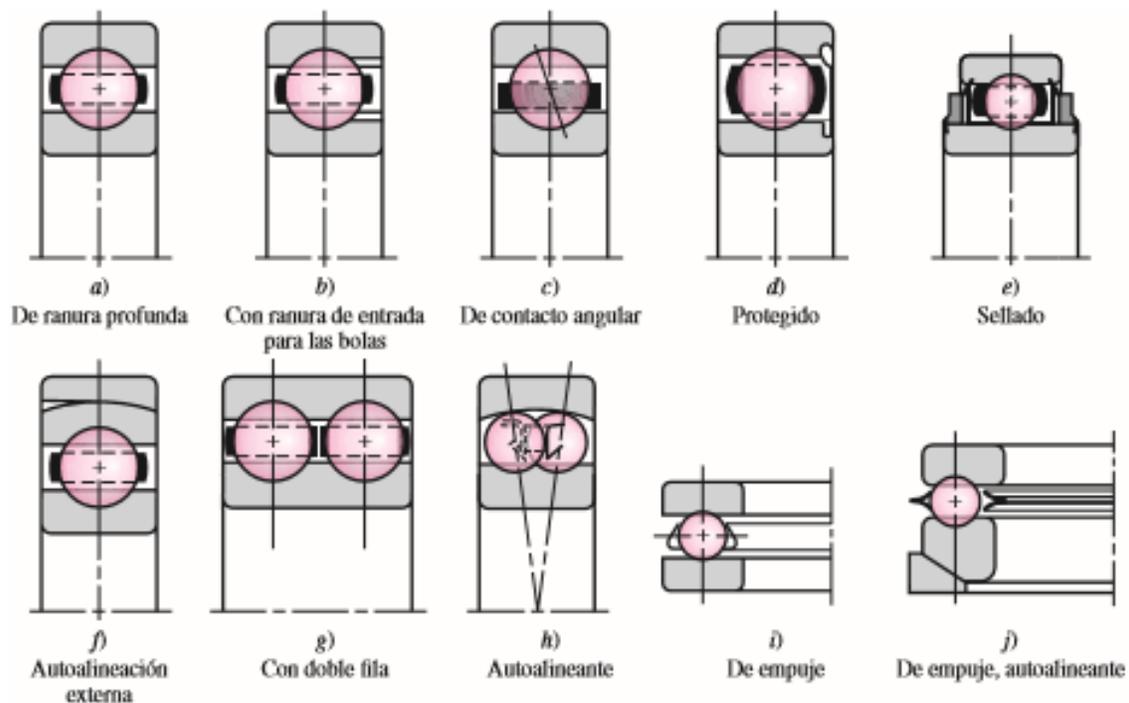


Ilustración 3-10 Varios tipos de cojinetes de bolas.

En la siguiente figura se ilustran algunos cojinetes de rodillos estándar, de la gran variedad existente. Los cojinetes de rodillos cilíndricos (a) soportarán una carga mayor que los de bolas del mismo tamaño, debido a la mayor área de contacto. Sin embargo, presentan la desventaja de que requieren una geometría casi perfecta de las pistas y rodillos. Un ligero desalineamiento provoca que los rodillos se muevan oblicuamente y pierdan la alineación. Por esta razón, el retén debe ser grueso y resistente. Por supuesto, los cojinetes de rodillos cilíndricos no se diseñan ni deben operar con cargas de empuje.

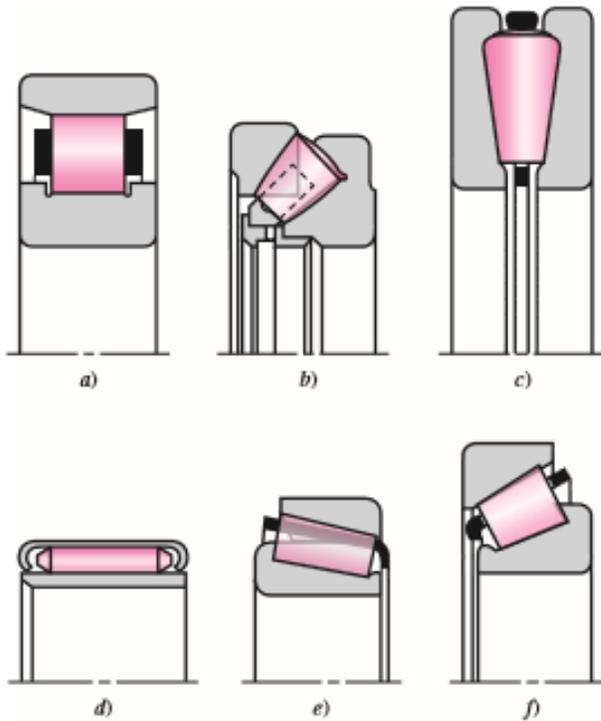


Ilustración 3-11 Tipos de cojinetes de rodillos: a) rodillo recto; b) rodillo esférico, empuje; c) rodillo cónico, empuje; d) de agujas; e) rodillo cónico; f) rodillo cónico, ángulo agudo. (Cortesía de The Timken Company.)

Los rodillos helicoidales se fabrican devanando material rectangular alrededor de la forma de los rodillos, para después endurecerlos y rectificarlos. Debido a la flexibilidad inherente, soportan un desalineamiento considerable. Si es necesario, el eje y el alojamiento se emplean como pistas en vez de utilizar una pista interior y otra exterior separadas, lo cual es muy importante si el espacio radial es limitado.

Los cojinetes aquí descritos sólo representan una mínima parte de la gran variedad existente. Se fabrican muchos cojinetes para propósitos específicos y también para clases particulares de maquinaria. Los más característicos son:

- Cojinetes para instrumentos: son de alta precisión y se fabrican en acero inoxidable y materiales resistentes a las altas temperaturas.

- Cojinetes que no son de precisión: por lo regular se fabrican sin separador y algunas veces tienen pistas hechas por estampado de lámina de metal o de construcción dividida.
- Bujes de bolas; permiten movimiento de rotación o deslizamiento, o ambos.
- Cojinetes con rodillos flexibles.

VIDA DE LOS COJINETES

Cuando rotan la bola o el rodillo de los cojinetes de contacto, se desarrollan esfuerzos de contacto en el anillo interior, en el elemento rodante y en el anillo exterior. Como la curvatura de los elementos en contacto en la dirección axial es diferente de la curvatura en la dirección radial, las ecuaciones de los esfuerzos son mucho más complicadas que las ecuaciones de Hertz. Si un cojinete está limpio y se lubrica de manera apropiada, si está montado y sellado para evitar la entrada de polvo y suciedad, si se mantiene en esta condición y si se hace funcionar a temperaturas razonables, entonces la fatiga del metal será la única causa de falla. Puesto que la fatiga del metal implica muchos millones de aplicaciones de esfuerzo que se han soportado con éxito, se necesita una medida cuantitativa de la vida. Las medidas comunes son:

- El número de revoluciones del anillo interior (el anillo exterior está inmóvil) hasta que se presenta la primera evidencia tangible de fatiga.
- El número de horas de uso a una velocidad angular estándar hasta que se advierte la primera evidencia tangible de fatiga.

El término que comúnmente se emplea es vida del cojinete, que se aplica a cualquiera de las medidas que se mencionaron. Es importante darse cuenta que, como en todo tipo de fatiga, la vida según se definió anteriormente es una variable estocástica y, como tal, tiene distribución y parámetros estadísticos asociados. La medida de la vida de un cojinete individual se define como el número total de revoluciones (u horas a una velocidad constante) de operación del cojinete hasta que se presente el criterio de falla. Bajo condiciones ideales, la falla por fatiga consiste en el descascarado de las superficies de soporte de la carga.

Efecto carga-vida del cojinete a confiabilidad nominal.

El resultado de muchas pruebas de varias clases de cojinetes es:

- $a = 3$ para cojinetes de bolas
- $a = 10/3$ para cojinetes de rodillos (rodillo cilíndrico y cónico)

Un fabricante de cojinetes elige un valor nominal de ciclos de 10^6 revoluciones (para la compañía Timken, $90(10^6)$ revoluciones), o en cualquier otro caso, según se declara en el catálogo del fabricante a fin de que corresponda a una clasificación básica de carga de cada cojinete fabricado, la definirá como su vida nominal.

A esta vida se le denomina como clasificación de carga de catálogo y se representa algebraicamente como C_{10} a fin de denotarla como el décimo percentil de la vida nominal de un cojinete particular en el catálogo. La carga asociada F_1 con C_{10} , la medida de la vida L_1 con L_{10} y se tiene

$$C_{10}L_{10}^{1/a} = FL^{1/a} \quad \text{Ecuación 3-52}$$

CABLES.

Cuando un cable metálico pasa alrededor de una polea, se produce cierto reajuste de los elementos. Cada uno de los alambres y toroides debe deslizarse sobre otros y puede ocurrir alguna flexión individual. Es probable que en esta acción compleja exista alguna concentración de esfuerzo. El esfuerzo en uno de los alambres de un cable que pasa alrededor de una polea puede calcularse como sigue.

Para el radio de curvatura ρ , se sustituye el radio de la polea $D/2$. Asimismo, $c = d_w/2$, donde d_w es el diámetro del alambre. Estas sustituciones dan

$$\sigma = E_r \frac{d_w}{D} \quad \text{Ecuación 3-53}$$

Donde E_r es el módulo de elasticidad del cable, no del alambre.

La tensión de un cable metálico que da el mismo esfuerzo de tensión que la flexión de la polea se llama carga de flexión equivalente F_b , la que se determina mediante

$$F_b = \sigma A_m = \frac{E_r d_w A_m}{D}$$

Ecuación 3-54

Un cable metálico puede fallar si la carga estática excede la resistencia última del cable. Por lo general, la falla de esta naturaleza no se atribuye al diseñador, sino al operador al permitir que el cable se someta a cargas para las que no fue diseñado.

La primera consideración al seleccionar un cable metálico consiste en determinar la carga estática, que se compone de los siguientes puntos:

- El peso conocido o muerto
- Cargas adicionales causadas por paros o arranques repentinos
- Cargas de impacto
- Fricción del cojinete de la polea

Cuando se suman estas cargas, el total se compara con la resistencia última del cable para determinar el factor de seguridad.

Tabla 3-5 Factores mínimos de seguridad para cables de acero* Fuente: Compilado de diversas fuentes, incluyendo la norma ANSI A17.1-1978.

Cables de sujeción	3.2	Elevadores de pasajeros, pies/min:	
Tirantes	3.5	50	7.60
Tiros de mina, pies		300	9.20
Hasta 500	8.0	800	11.25
1 000-2 000	7.0	1 200	11.80
2 000-3 000	6.0	1 500	11.90
Más de 3 000	5.0	Elevadores de carga, pies/min:	
Malacates	5.0	50	6.65
Arrastre	6.0	300	8.20
Grúas y grúas de brazo retráctil	6.0	800	10.00
Malacates eléctricos	7.0	1 200	10.50
Elevadores manuales	5.0	1 500	10.55
Elevadores privados	7.5	Elevadores domésticos automáticos para servicio, pies/min	
Elevadores domésticos para servicio	4.5	50	4.8
Elevadores de granos	7.5	300	6.6
		500	8.0

*El uso de estos factores no evita una falla por fatiga.

En la tabla se enumeran los factores de seguridad mínimos para una variedad de situaciones de diseño. Aquí, el factor de seguridad se define como

$$n = \frac{F_u}{F_t} \quad \text{Ecuación 3-55}$$

Donde F_u es la carga última del alambre y F_t es la tensión mayor de trabajo.

Una vez que se ha realizado una selección tentativa de un cable con base en la resistencia estática, el siguiente paso consiste en asegurar que la vida al desgaste del cable y de la polea o poleas cumpla ciertos requisitos. Cuando un cable cargado se curva sobre una polea, el cable se estira como un resorte y roza contra la polea, lo que causa desgaste en el cable y en la polea.

La cantidad de desgaste que ocurre depende de la presión del cable en la ranura de la polea. Tal presión se conoce como presión de apoyo; una buena estimación de su magnitud está dada por

$$P = \frac{2F}{dD} \quad \text{Ecuación 3-56}$$

Donde

F = fuerza de tensión en el cable

d = diámetro del cable

D = diámetro de la polea

Las presiones permisibles que se presentan en la tabla se deben emplear sólo como una guía aproximada; quizá no eviten una falla por fatiga o desgaste severo. Se proporcionan sólo porque representan la práctica acostumbrada y ofrecen un punto de partida en el diseño.

Tabla 3-6 Presiones radiales máximas permisibles para cables sobre poleas (en psi) Fuente: Wire Rope Userst Manual, AISI, 1979.

Cable	Material de la polea				
	Madera ^a	Hierro fundido ^b	Acero fundido ^c	Hierros fundidos enfriados ^d	Acero al manganeso ^e
Torzal regular:					
6 x 7	150	300	550	650	1 470
6 x 19	250	480	900	1 100	2 400
6 x 37	300	585	1 075	1 325	3 000
8 x 19	350	680	1 260	1 550	3 500
Torzal Lang:					
6 x 7	165	350	600	715	1 650
6 x 19	275	550	1 000	1 210	2 750
6 x 37	330	660	1 180	1 450	3 300

^aEn veta extrema de madera de haya, de nogal americano o de goma.

^bPara $H_B(\text{mín}) = 125$.

^cCarbono 30-40; $H_B(\text{mín}) = 160$.

^dSe emplea únicamente con dureza superficial uniforme.

^ePara altas velocidades con poleas balanceadas que posean superficie esmerilada.

Su es la resistencia última del alambre, no del cable, y las unidades de Su están relacionadas con las de F. Esta interesante ecuación contiene la resistencia del alambre, la carga, el diámetro del cable y el diámetro de la polea: las cuatro variables en una sola ecuación.

$$S_u = \frac{2\,000F}{dD} \quad \text{Ecuación 3-57}$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación anterior entre la resistencia última de los alambres S_u y despejando F se obtiene

$$F_f = \frac{(p/S_u)S_u d D}{2} \quad \text{Ecuación 3-58}$$

Donde F_f se interpreta como la tensión permisible a la fatiga cuando el alambre se flexiona un cierto número de veces que corresponde a la relación p/S_u seleccionada de la figura siguiente para un cable y una expectativa de vida en particular. El factor de seguridad se define por fatiga como

$$n_f = \frac{F_f - F_b}{F_t} \quad \text{Ecuación 3-59}$$

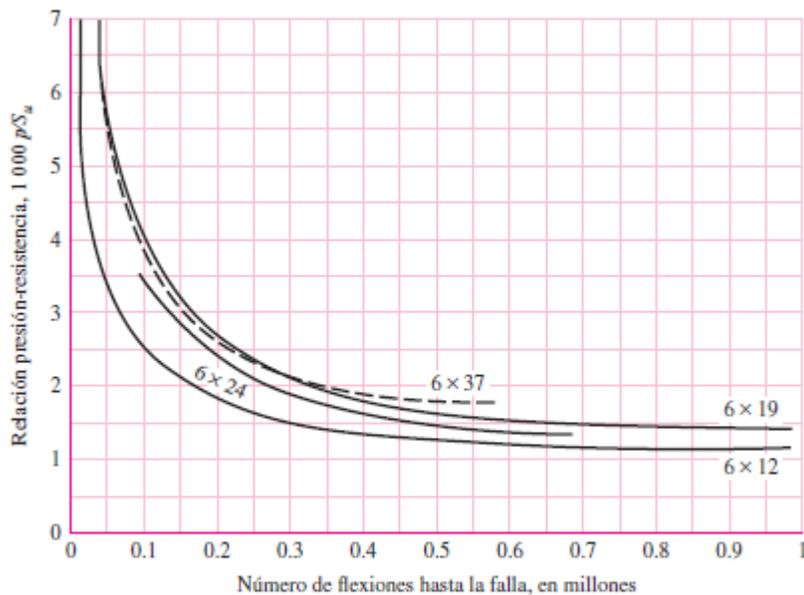


Ilustración 3-12 Relación determinada en forma experimental entre la vida para la fatiga de un cable de acero y la presión de la polea.

Donde F_f es la resistencia a la tensión del cable ante flexión y F_t es la tensión en el lugar donde el cable se flexiona.

Desafortunadamente, el diseñador a menudo tiene información del proveedor en la que se tabula la tensión última del cable, pero que no proporciona información sobre la resistencia última S_u respecto de los alambres, a partir de los que se fabrica el cable. Una guía acerca de la resistencia de alambres individuales es

Acero de arado mejorado (monitor) $240 < S_u < 280$ kpsi

Acero de arado $210 < S_u < 240$ kpsi

Acero de arado dulce $180 < S_u < 210$ kpsi

En el uso de los cables metálicos, el factor de seguridad se definió para cargas estáticas como $n = F_u/F_t$, o $n = (F_u - F_b)/F_t$, donde F_b es la tensión del cable que induciría el mismo esfuerzo en el alambre exterior que el que se da en la ecuación.

(Shigley, 2008)

4. PROPUESTAS DE DISEÑO ANTE PROYECTOS.

Al iniciar el proyecto se realizaron reuniones de trabajo en las que se acordó en grandes rasgos lo siguiente:

- A. El equipo debe tener la capacidad de medir la potencia física en los atletas de alto rendimiento.
- B. La distancia requerida para tomar los datos requeridos en este caso es de 10 metros.
- C. Considerar un rango de masa a desplazar entre 62 kg a 120 kg.
- D. Debe contener los siguientes parámetros.
 - Potencia en la velocidad motora.
 - Potencia en la fuerza motora
 - Fuerza muscular explosiva
 - Fuerza de arranque.
- E. Los resultados se mostraran de manera clara, concisa y sencilla en medida de lo que sea posible

En las reuniones consecuentes se presentaron otras propuestas de diseño que son las que se explican a continuación:

PROPUESTA NUMERO 1

La primer propuesta consiste en una maquina la cual tiene como elementos un resorte de tensión, un sistema de poleas, bloque de pesos y sensor óptico, su funcionamiento consiste en que el sensor mide el desplazamiento que el resorte de tensión sufre con lo cual se obtiene una velocidad al dividirlo con el tiempo transcurrido mientras este se tensa, basándose de eso podemos obtener la aceleración. Con ayuda de programación en labview obtendremos los parámetros que serán arrojados a un display.

En la siguiente imagen vemos el dibujo a mano alzada de la propuesta

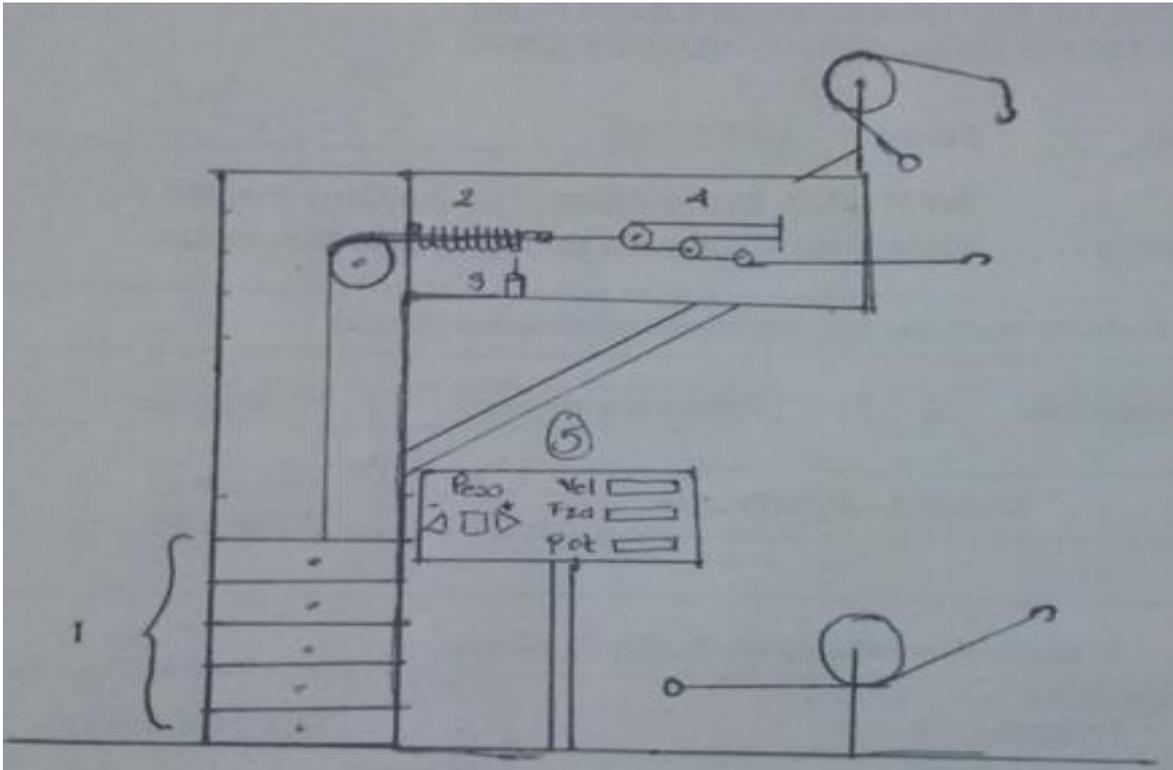


Ilustración 4-1 Anteproyecto 1

Elementos para el diseño

1.- Bloques de pesos

El primer peso a vencer sería de 10 kg, teniendo un resorte de constante $k=1$ n/m. los siguientes bloques de peso serían 4 de 5kg, 5 de 10kg y 6 de 20kg, haciendo un total de 200 kg.

2.- Resorte de tensión

3.- Sensor

Reglas digitales o encoders lineales

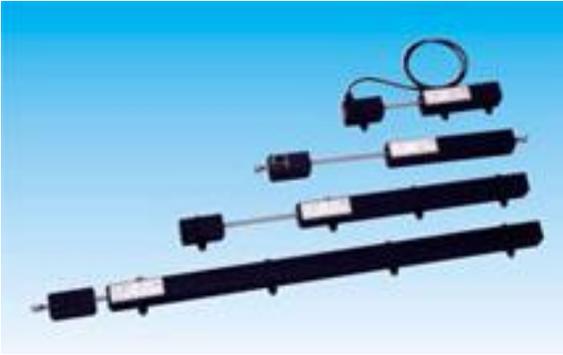


Ilustración 4-2 encoders lineales

4.- Sistema de poleas

5.- Pantalla de resultados

El tablero tendrá un diseño parecido al siguiente:

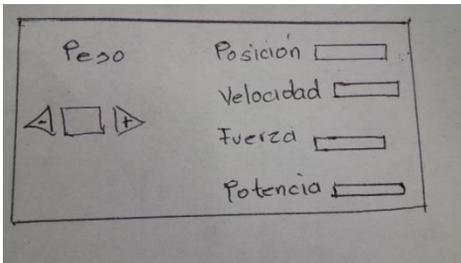


Ilustración 4-3 Tablero control de resultados

PROPUESTA NUMERO 2

Esta propuesta consiste en un resorte helicoidal de torsión que ira montado sobre un eje, en el extremo de este eje estará enrollado el cable que con el esfuerzo del atleta se ira desenrollando permitiendo así desarrollar su potencia. Consta de los siguientes elementos:

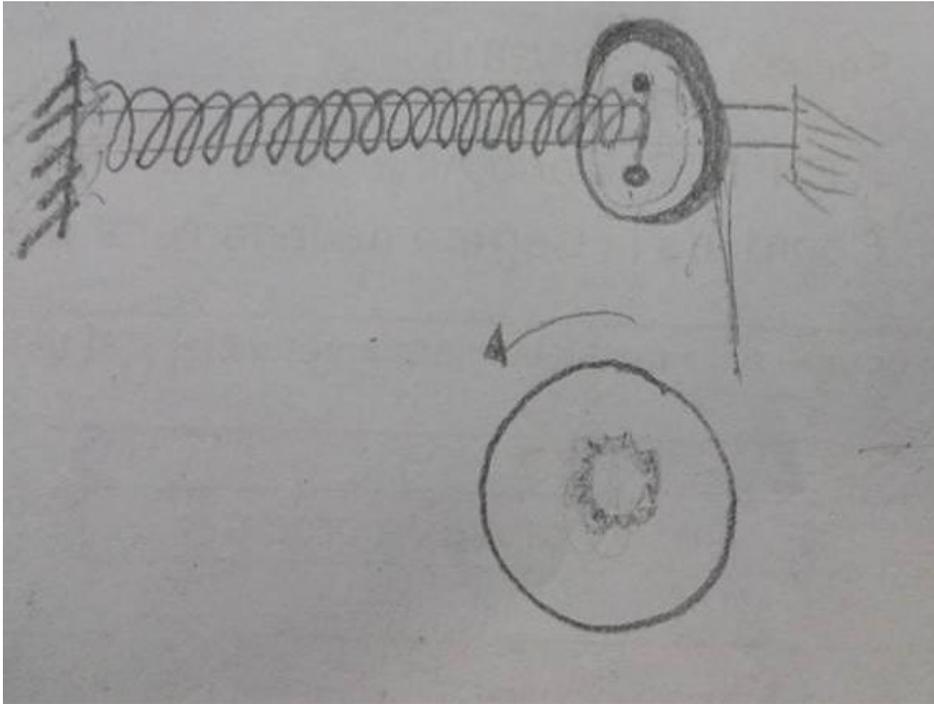


Ilustración 4-4 Anteproyecto 2

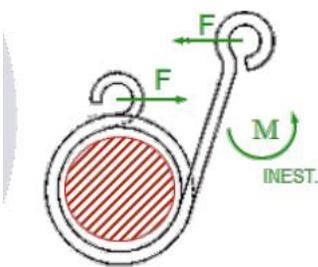


Ilustración 4-5 Fuerzas que actúan.

Sistema de frenado.

En parte libre del resorte. Tendremos un mecanismo de trinquete que se basa en un engranaje y un trinquete que le sigue al girar la rueda.

Cuando el engranaje se mueve en una dirección, el gatillo de parada se desplaza hacia arriba por los dientes del engranaje, encajando el trinquete en la muesca antes del siguiente diente. El gatillo de parada se frena entonces contra el hueco entre el diente del engranaje, evitando el movimiento de retroceso.

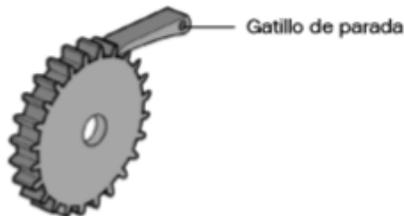


Ilustración 4-6 Sistema de Trinquete

Para aumentar o disminuir la fuerza de oposición.

Aumentar el número de espiras activas por medio de una manivela.



Ilustración 4-7 Mecanismo de Biela-Manivela

Posibles sensores:

Un encoder de cuadratura

Es un tipo de encoder rotativo incremental el cual tiene la capacidad de indicar tanto la posición como la dirección y la velocidad del movimiento.

PROPUESTA NUMERO 3

Consiste en hacer fricción entre las poleas que son para esta función. Todo esto, para oponerse a la fuerza que provocara el atleta. La fuerza de oposición se calcula multiplicando la fuerza normal por el coeficiente de fricción entonces para aumentar la misma aumentaríamos el valor de la normal colocando masas ya conocidas para poder tener el control de la fuerza antes mencionada. Sistema de poleas de fricción. Con pesos alternantes para aumentar la fricción.



Ilustración 4-8 Anteproyecto



Ilustración 4-9 Diagrama de cuerpo libre

Sistema de retorno con resortes helicoidales.

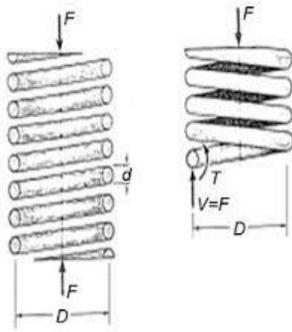


Ilustración 4-10 Resortes de torsión.

Al llevar a cabo una reunión con la empresa interesada esta nos hizo hincapié que lo que realmente le interesa es optar por un equipo que no ocupara mucho espacio a conveniencia de los mismos.

Al discutir las características de los prototipos se llevó al acuerdo que la propuesta más adecuada es la numero 3 que consiste en unas poleas de fricción y de esta última se desprende la siguiente memoria de cálculo.

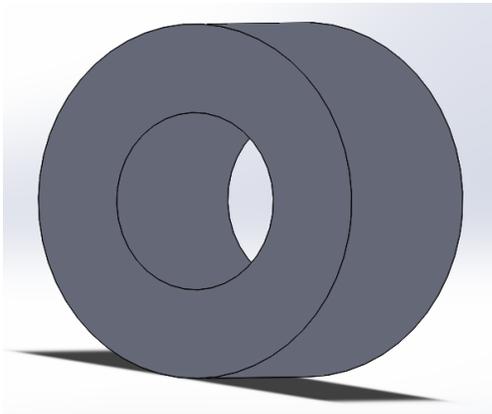
5. MEMORIA DE CÁLCULO.

5.1 CÁLCULOS MATEMÁTICOS.

POLEAS DE FRICCIÓN.

El diseño de estas poleas se basó en las características que algunos proveedores ofrecen, específicamente se utilizó el catálogo de Martin una empresa dedica a la fabricación de piezas mecánicas.

Las poleas son tipo rodillos que tiene un diámetro de 6" y un ancho de cara de 4" recubiertas de recubrimiento vulcanizado liso que es un material comúnmente utilizado para agregarle fricción a piezas varias.



RESORTES MECÁNICOS

Para el producto terminado contar con un sistema que retorne al comienzo la cuerda que estará utilizando de ahí la función de dos resortes de torsión que permitirá retornar el cable.

Se tiene un resorte de acero alto Carbono 1045 templado cuya resistencia última a la tensión es de 5GP (700ksi), y la reducción de su área por tensión es de un 20% (Schmid, 2002). Con un diámetro del alambre de 7/32 in con una longitud de 25 cm.

Tenemos que $S_{ut} = 700 \text{ Ksi}$

De la ecuación 50 se obtiene: $S_y = 546 \text{ ksi}$

Ahora se obtiene el índice del resorte con la ecuación 3-38 tomaremos como referencia el valor del diámetro del eje sobre el que estará colocado nuestro resorte es por ello que el valor de $D = 2.141 \text{ in.}$

$$C = 9.787$$

Obtenemos el coeficiente de corrección de esfuerzo cortante de la ecuación 3-40.

$$K_s = 1.1383$$

De la ecuación 3-42 podemos despejar el M_{\max} del resorte de lo que obtenemos.

$$M = \frac{\pi(0.218^3)(546000)}{32(1.1383)} = 492.924 \text{ lb. in}$$

De la ecuación 3-50 obtenemos el factor de seguridad:

$$n_f = 4.0142$$

Sabemos que el $N_a = 44$ y que $E = 30 \text{ Mpsi}$ tenemos de la ecuación 3-49

$$K' = 71.4244 \frac{\text{lb. in}}{\text{rev}}$$

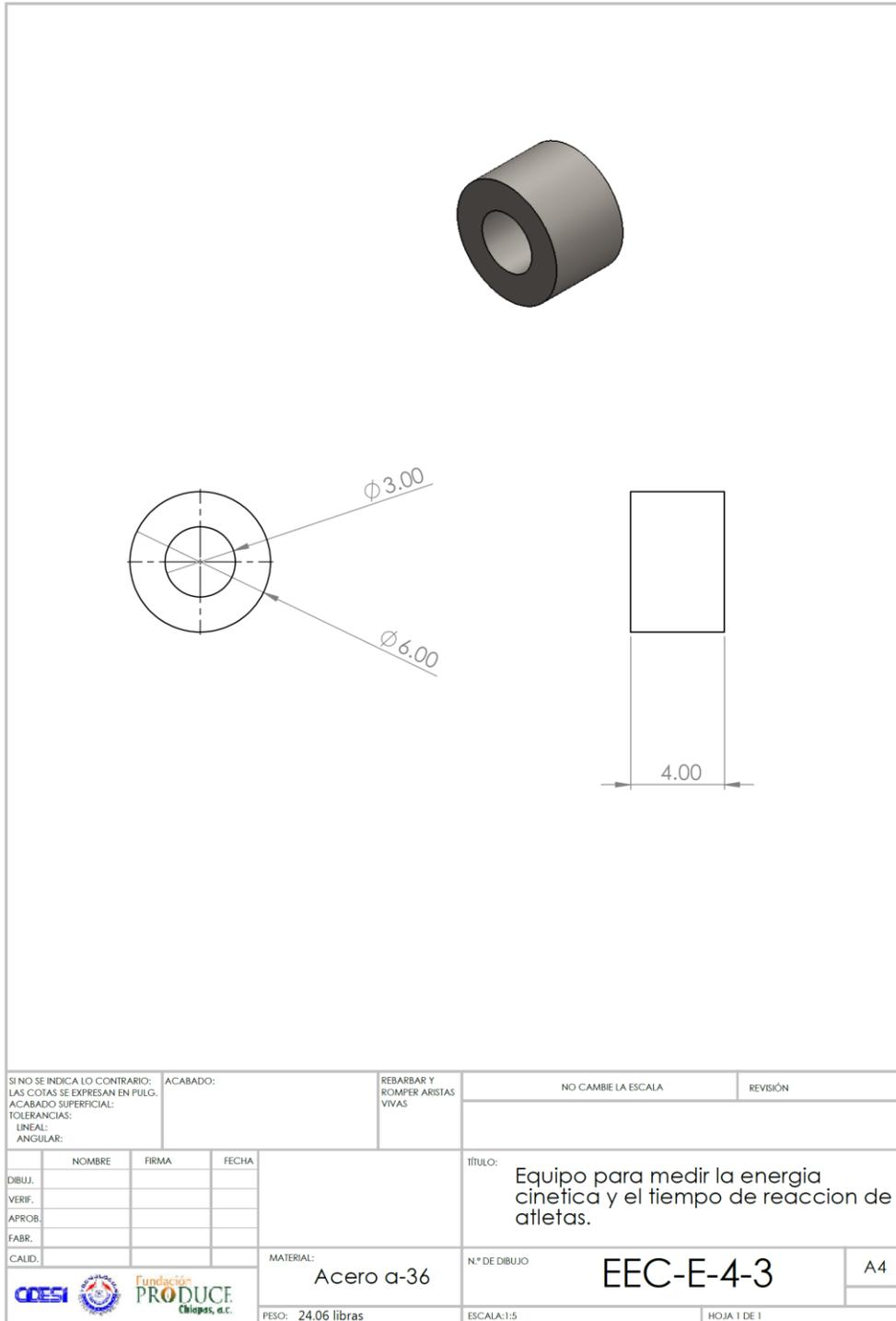
Que nos servirá para poder calcular el valor de la fuerza de restricción del resorte mediante la ecuación.

$$F = \frac{K'\theta}{r} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

5.2 DISEÑO MECANICO.

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

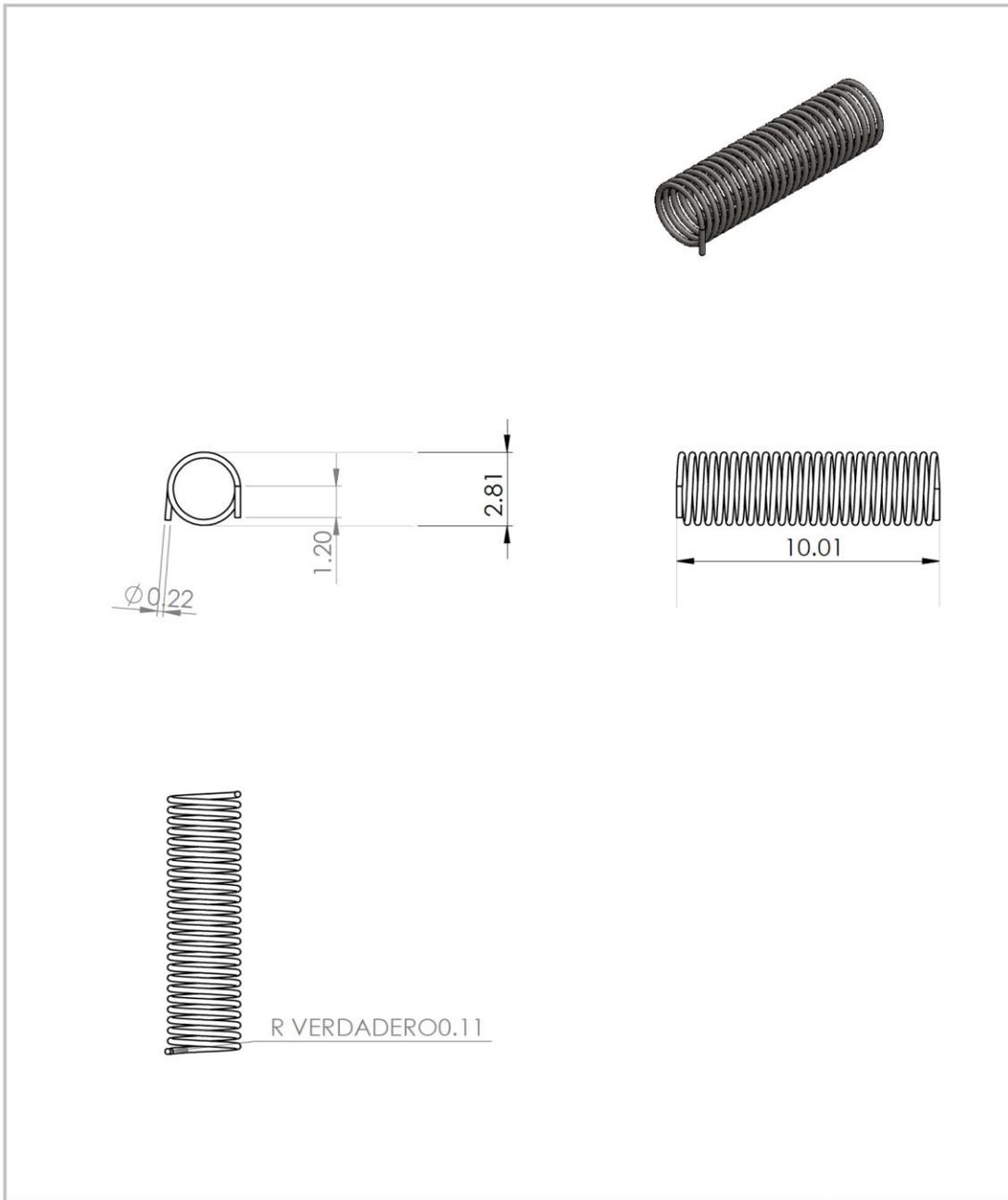
Poleas De Fricción.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG.		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:									
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:		Equipo para medir la energia cinetica y el tiempo de reaccion de atletas.	
VERIF.						N.º DE DIBUJO		EEC-E-4-3	
AFROB.				MATERIAL:				A4	
FABR.				Acero a-36					
CALID.				PESO: 24.06 libras		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	

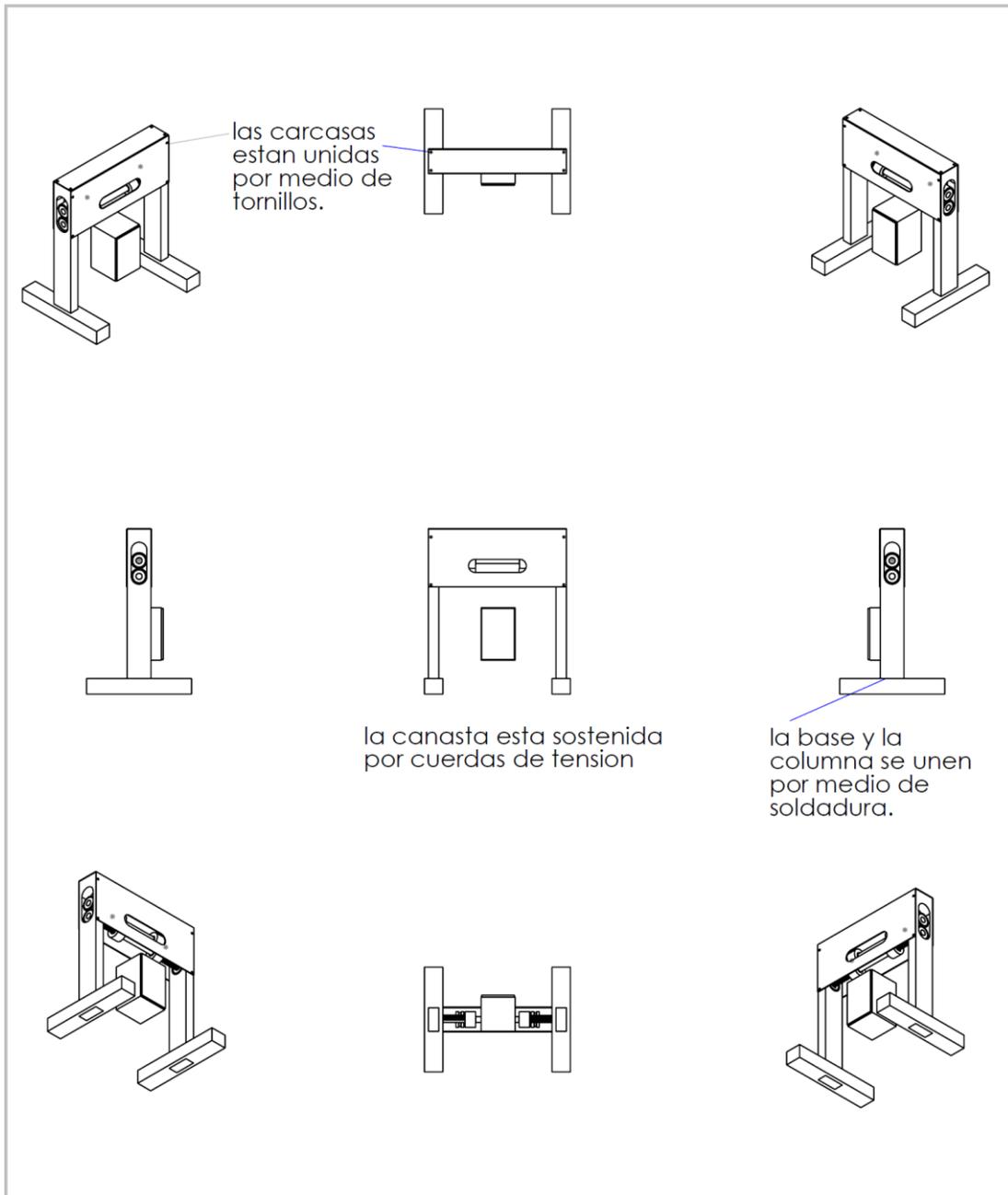


Resorte helicoidal de torsión.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL: Acero a-36	N° DE DIBUJO EEC-E-6-3
			PESO: 2.12 libras	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1

PLANO DE EMSAMBLE.



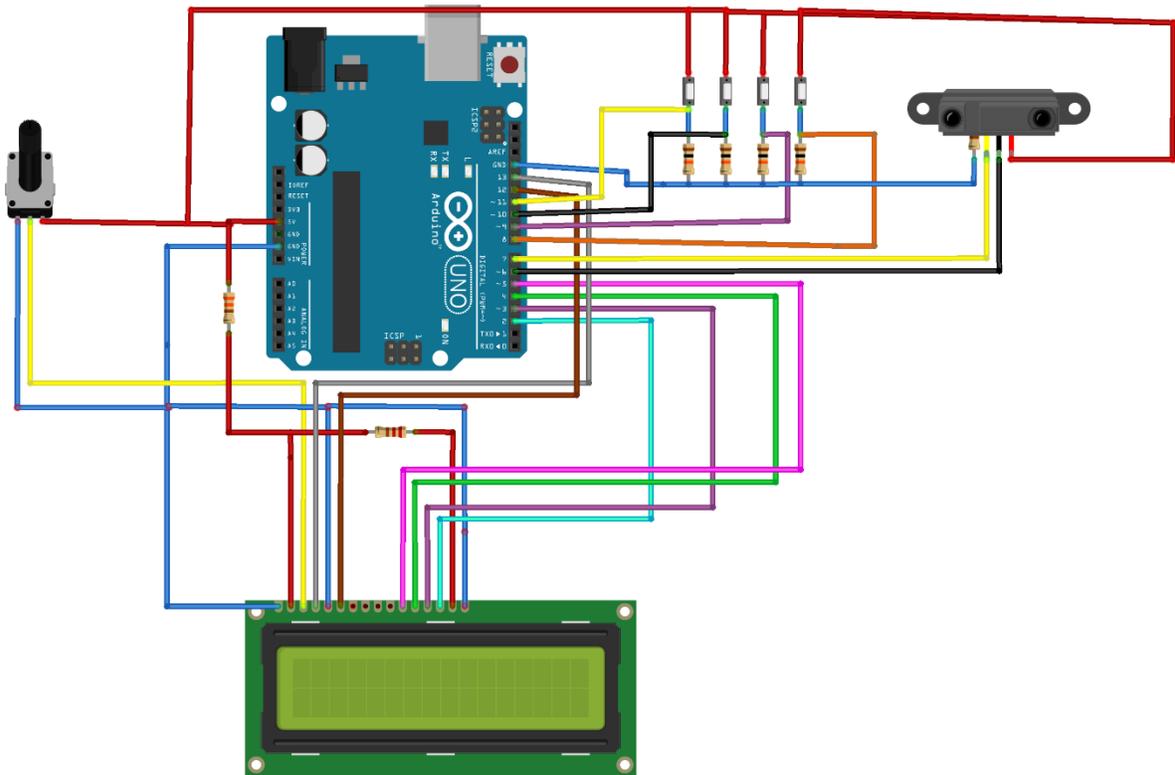
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO: Equipo para medir la energia cinetica y el tiempo de reaccion de atletas.	
VERIF.				MATERIAL: Acero a-36	N.º DE DIBUJO EEC-E-12-3
APROB.				PESO: 2502.86 libras	ESCALA: 1:50
FABR.					HOJA 1 DE 1
CALID.					A4



5.3 INSTRUMENTACION.

Para poder visualizar los datos necesarios para el monitoreo de los atletas tenemos la siguiente programación en la plataforma de arduino que es una plataforma libre, los resultados se muestran en una pantalla LCD 16X2.

Dando lugar al siguiente circuito:



fritzing

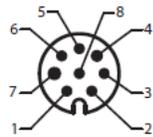
La simulación de este circuito se llevó a cabo con un sensor diferente al necesario para llevar a cabo nuestros objetivos; sin embargo el funcionamiento es similar.

El codificador rotatorio a utilizar es el:

847A and 847B Hollow Shaft Incremental Encoders

Connector Pins and Signal Availability

Signal Name	Wire color attached cable	Pin number M12 8-pin connector
VDC	Red	8
Common	Black with red band	7
A output	White	2
AN output	Black with white band	1
B output	Blue	4
BN output	Black with blue band	3
Z output	Green	6
ZN output	Black with green band	5
Zero set input	Yellow	-
Case	Black	-
Recommended mating cable	(Attached to encoder)	889D-F8FB-*



**M12 pins
on encoder connector**

Quedando la programación en Arduino de la siguiente manera:

```
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Ultrasonic.h>
// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(13, 12, 5, 4, 3, 2);
Ultrasonic ultrasonic(7,6,10000); // (Trig PIN,Echo PIN)
float d1;
float d2;
float v1;
float v2;
float a;
float f=0;
float fex=0;
float pot=0;
int m;
int i;
int t=0;
// declaracion de botones
const int sum = 8;
const int res = 9;
const int start= 10;
const int show = 11;// the number of the pushbutton pin
int sumar=0;
int restar=0;
int iniciar=0;
int mostrar=0;
void setup() {
    d1=0;
```

```

v1=0;
m=0;
// initialize the pushbutton pin as an input:
pinMode(sum, INPUT);
pinMode(res, INPUT);
pinMode(start, INPUT);
pinMode(show, INPUT);
// set up the LCD's number of columns and rows:
lcd.begin(16, 2);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Monitoreo");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Encoder");
}
void loop()
{
  sumar = digitalRead(sum);
  restar = digitalRead(res);
  iniciar = digitalRead(start);
  mostrar = digitalRead(show);

  if (sumar == HIGH)
  {
    for ( i = 0; i < 5; i=i+1 )
    m = m+1;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(m); // envía a la salida led de tipo PWM el valor
    delay(100);
  }
}

```

```

    }
    if (restar == HIGH)
    {
        m=m-5;
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print(m);
        delay(100);
    }
    if (iniciar == HIGH)
    {
        d2=ultrasonic.Ranging(CM);
        v2=((d2-d1)/100)*(10);
        d1=d2;
        a=((v2-v1)/100)*(10);
        v1=v2;
        t=(millis()/1000);
        f=m*a;
        fex=f/t;
        pot=f*v1;
    }
    // set the cursor to column 0, line 1
    // (note: line 1 is the second row, since counting begins with 0):
    if(mostrar==HIGH)
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.write("Vel:");
        lcd.print(v1);
        lcd.setCursor(0,1);

```

```
lcd.write("F:");  
lcd.print(f);  
lcd.setCursor(8,0);  
lcd.write("Fx:");  
lcd.print(fex);  
lcd.setCursor(8,1);  
lcd.write("Pw:");  
lcd.print(pot);  
Serial.println(show);  
}  
}
```

CONCLUSIONES

El actual diseño fue creado para satisfacer necesidades personales de atletas de alto rendimiento se puede observar que los equipos en el mercado actualmente manejan diferentes maneras de medir el desempeño de los atletas de futbol, basquetbol, natación, etc. Hoy en día muchos atletas necesitan una manera más de competencia para que ellos puedan dar todo de sí mismos y en el diseño mencionado se adapta una programación para llevar individualmente los siguientes parámetros de cada atleta:

- potencia en la fuerza motora
- potencia en la velocidad motora
- fuerza muscular explosiva
- fuerza de arranque

De esta manera el atleta desarrolla o genera una actitud de vencer y mejorar sus marcas más altas, el equipo está diseñado acatando las normas mexicanas y alejadas de los sistemas actuales de los equipos que sirven para medir implementar una mejor biomecánica en el deporte.

Con esto se pretende satisfacer a los atletas de alto rendimiento en cuanto se refiere a saber sus mejores marcas y su máximo esfuerzo, con la garantía de generar entre los mismos un ambiente de máxima competencia y deseo de ser el mejor en los parámetros que el equipo mide.

Además trae a México una idea de cómo podemos ir avanzando en cuanto a tecnología en nuestros deportes, es necesario avanzar.

Si puede ser medido puede ser mejorado.

Bibliografía

J.G. , R., & J. , H. (1988). *The Anatomical and Mechanical Bases of Human Motion. Englewood Cliffs N.J.: Prentice Hall.*

aguado, X., & Piasenta, J. (2012). *evaluacion biomecanica de atletas de alto rendimiento.* 21.

Corsino, E. L. (s.f.). *medicion de energia, trabajo y potencia y estimacion del gasto energetico.*

D., R. W. (1992). Ross W. Marfell Jones M y Stirling D. *The sport sciences. University of Victoria. PE Series .*

(1978). *biomedic.* En dayson, *biomedic.* new york: prentice hall.

Dayson, H. y. (1988).

donskoy, D. (1988). *biomecanica de los ejercicios fisicos, manual.*

Espinosa, M. (2011). *VALIDACIÓN METODOLÓGICA DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO 3D DEL CICLO DE PALADA EN EL PIRAGÜISMO DE VELOCIDAD. UN ESTUDIO PILOTO. Motricidad. European Journal of Human Movement, 26,39-54.*

Forchheimer, F., & Lundberg, A. (1986). *Wheelchair ergometer: Development of a prototype with electronic braking. Scand. J. Rehabil. Med., 18.*

Gerald D. Tharp, Glen O. Johnson , & William G. Th. (s.f.). *Medición de la potencia y capacidad anaeróbica en jóvenes atletas de élite usanso el test de Wingate . J. Sports Med, 100-106.*

Goosey, V., & Campbell, I. (1998). *Pushing economy and propulsion technique of wheelchair racers at three speeds. Adapted Physical Activity Quarterly,, 15.*

(1978). *The Biomechanics of Sports Techniques.* En J. Hay, *The Biomechanics of Sports Techniques.* new york : prentice hall.

J., A. (2002). *Cineantropometría: Fundamentos y Procesos. Faid Editores. Universidad de Pamplona - ISBN.*

Julio Martos , Gabriel Brizuela, & Enrique Sanchis. (s.f.). *APLICACIÓN DE UN SISTEMA ERGOMÉTRICO PARA VALORACIÓN BIOMÉDICA Y ENTRENAMIENTO DE DEPORTISTAS USUARIOS DE SILLA DE RUEDAS.* Departamento de Educación Física y Deportiva - Universidad de Valencia .

Kreighbaum, E., & Barthels , , K. M. (1990). *A qualitative Approach for Studying Human Movement.* En E. Kreighbaum, & ,. K. Barthels, *A qualitative*

Approach for Studying Human Movement. new york: Macmillan Publishing Company.

Reid, H. y. (1988).

Sanchez, M. E. (2004). *biomecanica deportiva* . 4.

Sánchez, M. E. (2005). *Biomecánica deportiva* .

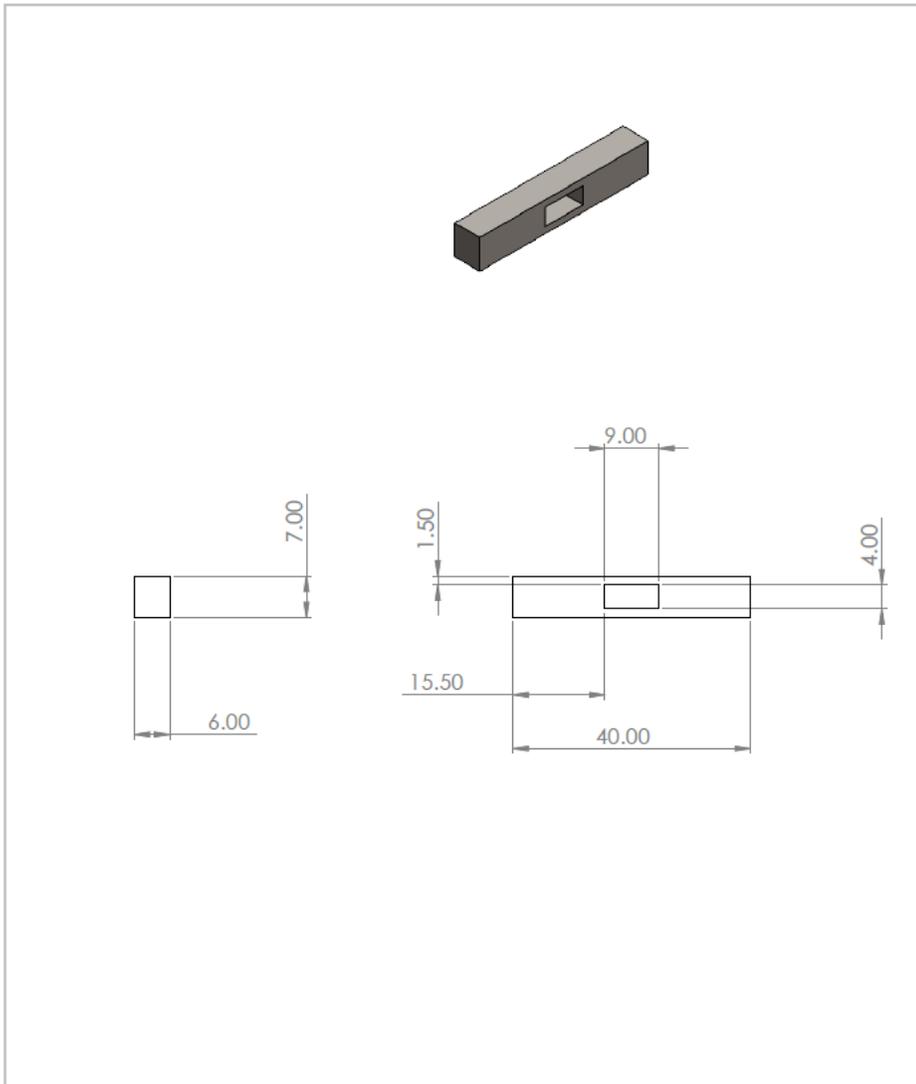
Shigley, J. E. (2008). *diseño en ingeniería mecánica de shigley* . Mexico, D.F: McGraw - hill.

Slaughter MH, L. T. (1998). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol.*

SORIANO, P. P. (2004). ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOMECÁNICOS DURANTE LA RECEPCIÓN EN COLCHONETAS Y SU INFLUENCIA EN LOS MECANISMOS DE LESIÓN EN GIMNASIA DEPORTIVA.

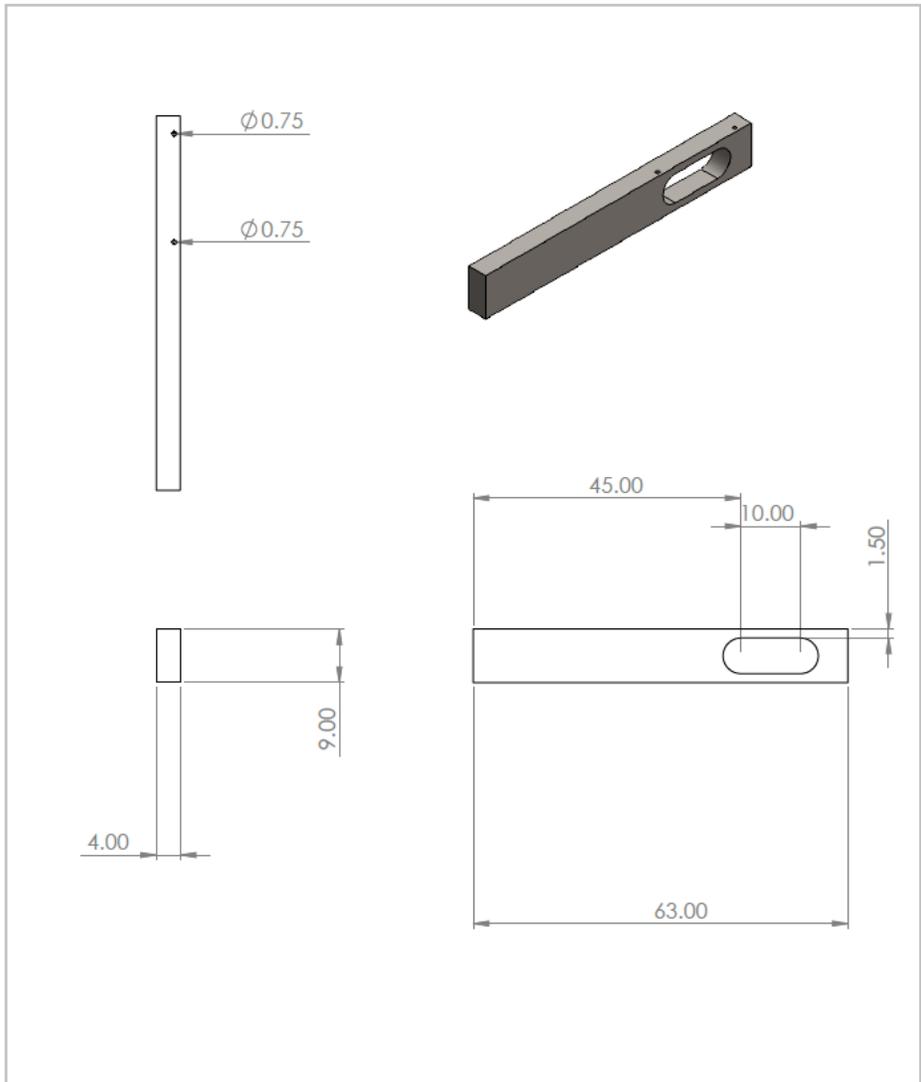
Vanlandenwijck, Y., Theisen, D., & Daly, D. (2001). Wheelchair propulsion biomechanics. Implication for wheelchair sports. . *Sports Med*, 31.

ANEXOS



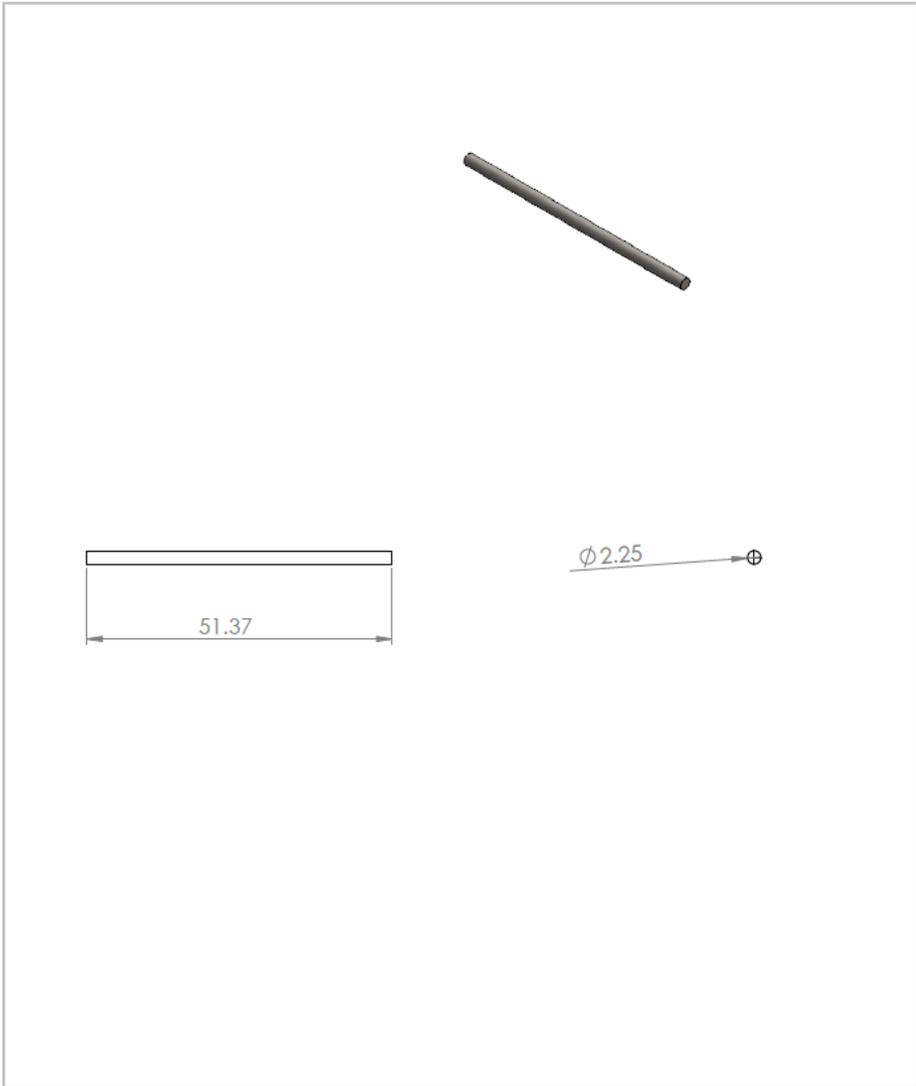
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG.			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.		
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						
MATERIAL: Acero a-36				N.º DE DIBUJO	EEC-E-1-3	A4
PESO: 415.19 libras				ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	





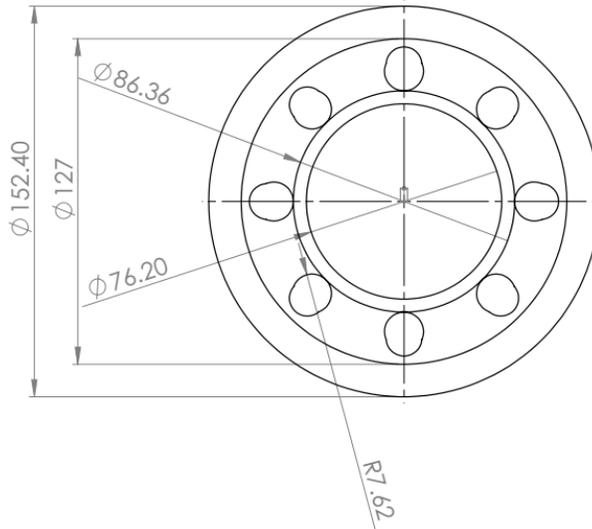
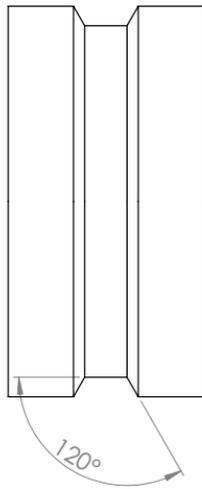
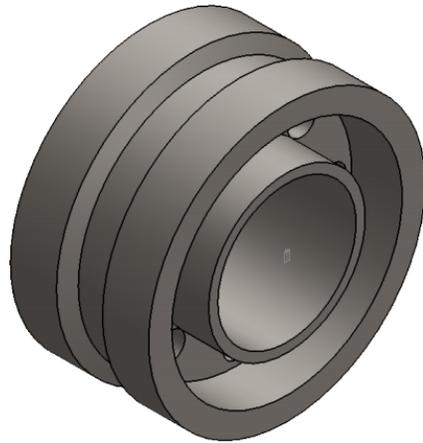
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.		
VERIF.				MATERIAL: Acero a-36		
APROB.				N.º DE DIBUJO: EEC-E-2-3		A4
FABR.				PESO: 541.81 libras		
CALD.				ESCALA: 1:20		HOJA 1 DE 1





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG.			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.	
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						
MATERIAL: Acero a-36				N.º DE DIBUJO	EEC-E-3-3	A4
PESO: 57.93 libras				ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	

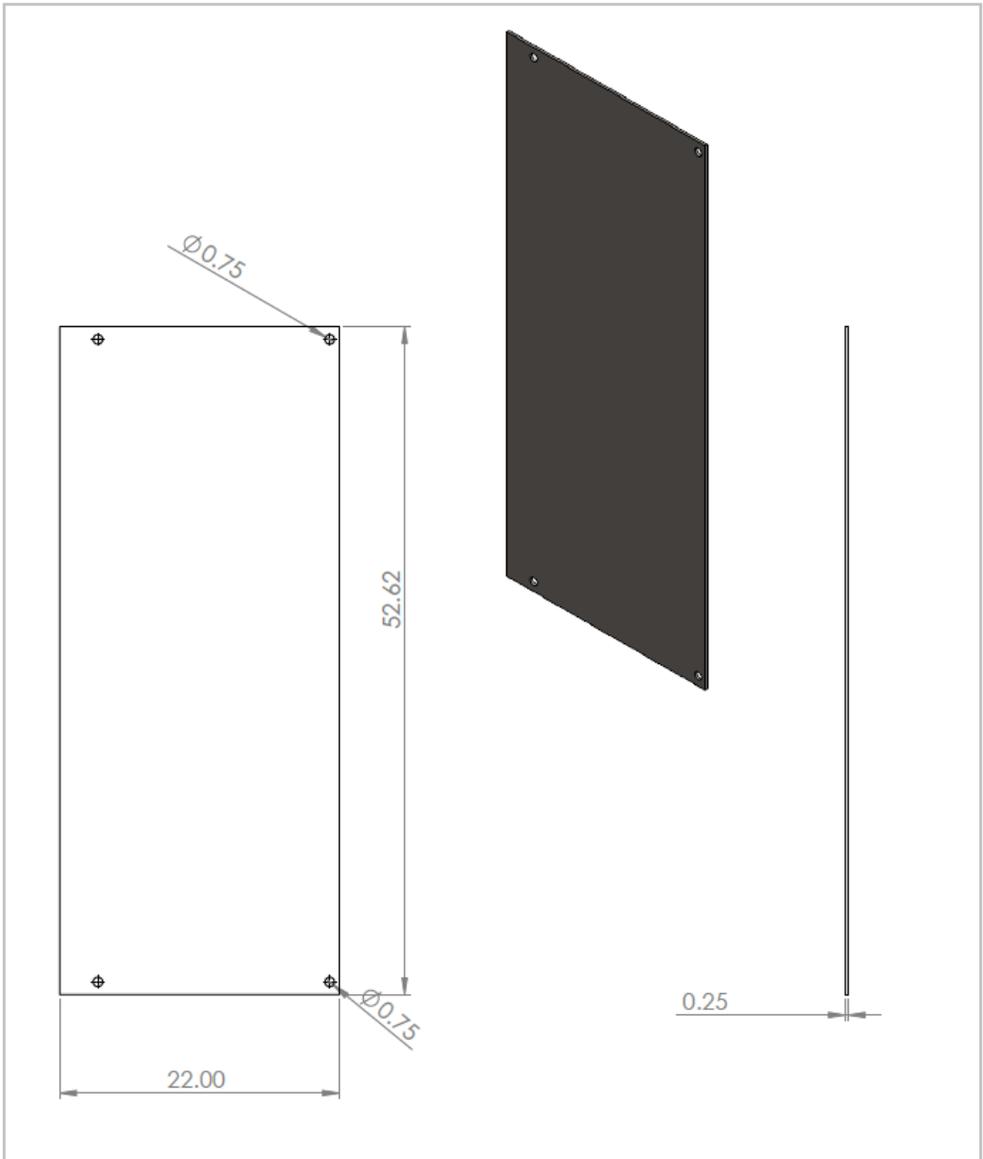




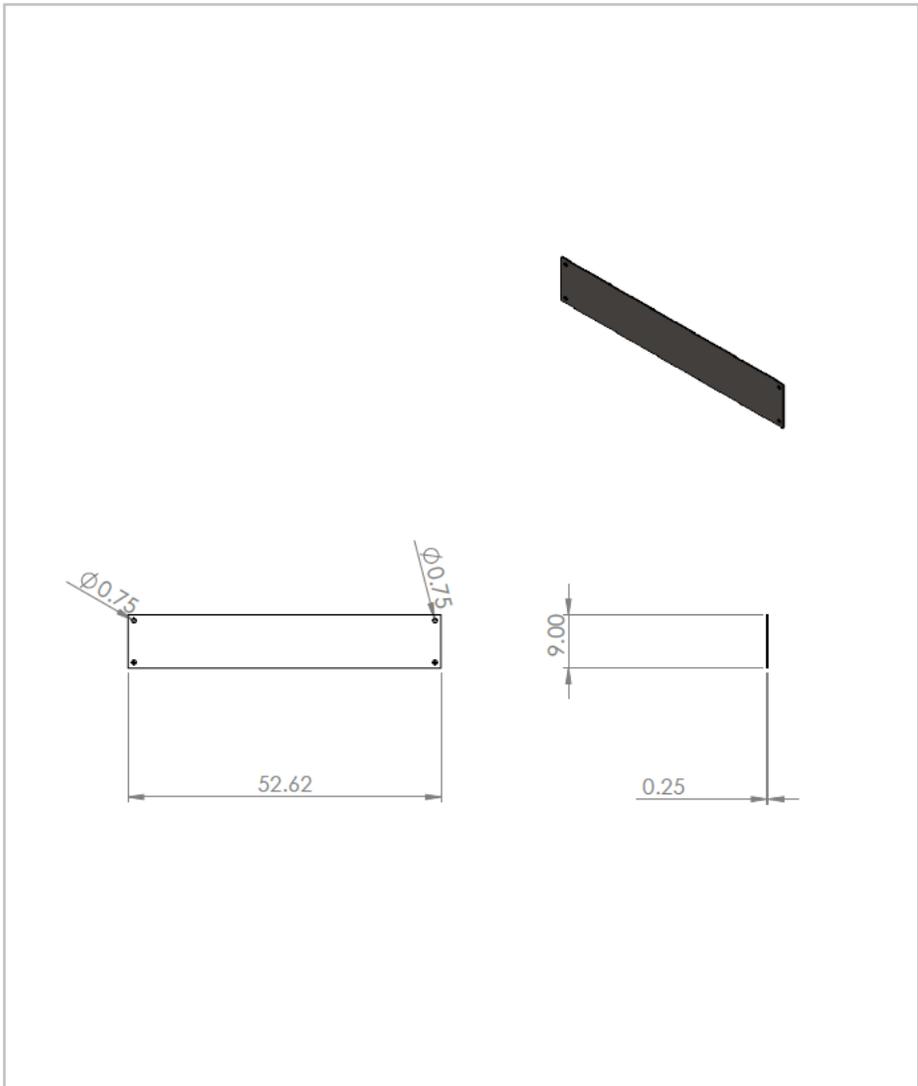
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energia cinetica y el tiempo de reaccion de atletas.	
VERIF.				N° DE DIBUJO	A4
APROB.				MATERIAL: Acero a-36	EEC-E-5-3
FABR.				PESO: 9.62 libras	ESCALA:1:2
CALID.					HOJA 1 DE 1



Fundación
PRODUCE
Chilepas, a.c.

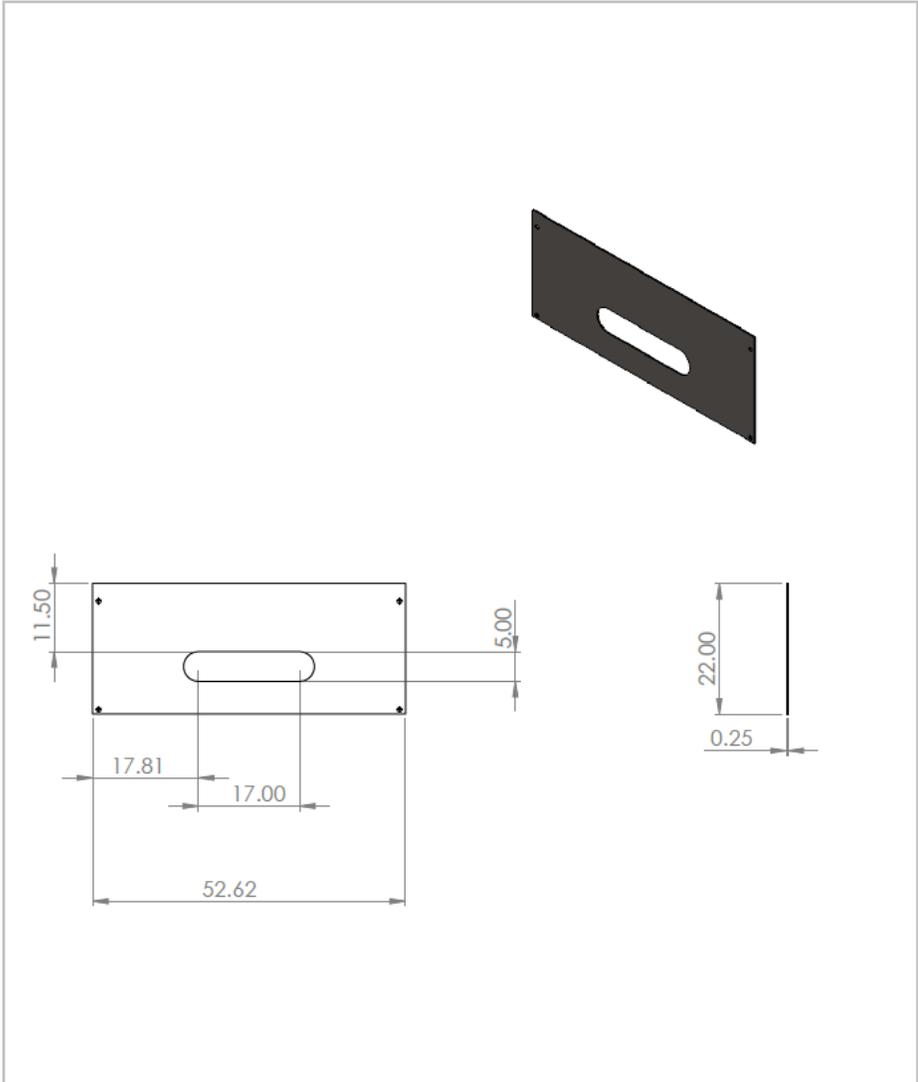


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.			
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.							
				MATERIAL: Acero a-36	N.º DE DIBUJO EEC-E-7-3	A4	
PESO: 81.95 libras				ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1		



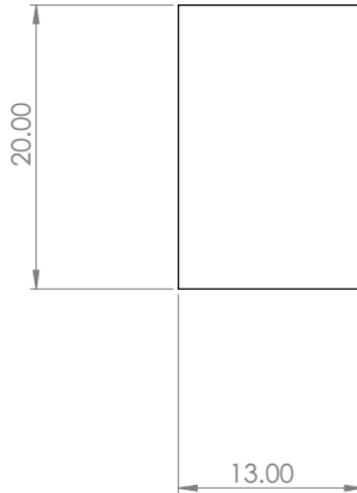
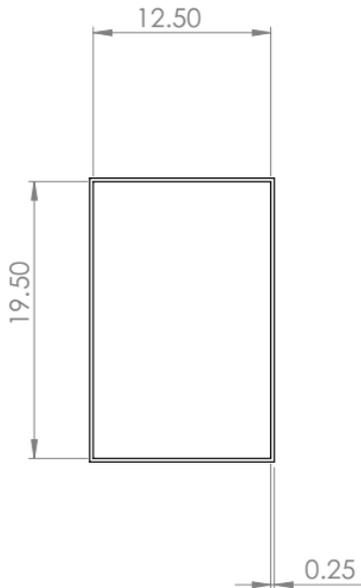
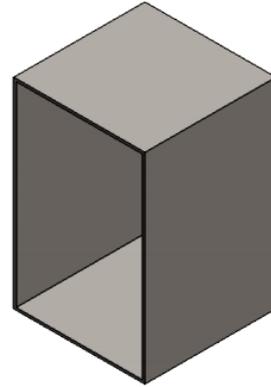
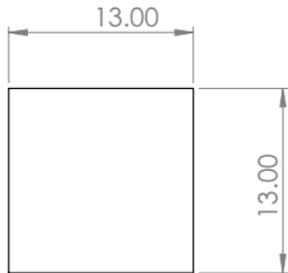
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL: Acero a-36			N° DE DIBUJO	EEC-E-8-3	A4
PESO: 33.45 libras			ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	



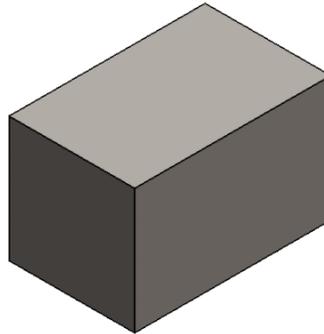


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.		
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						
MATERIAL: Acero a-36				N.º DE DIBUJO EEC-E-9-3	A4	
PESO: 74.53 libras				ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	

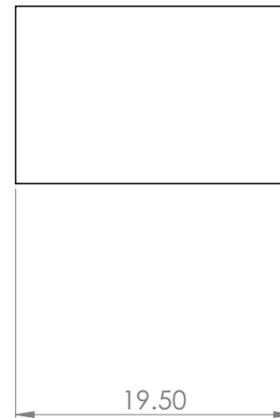
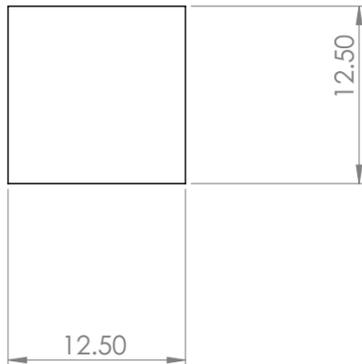




SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.			
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.							
				MATERIAL: Acero a-36	N.º DE DIBUJO EEC-E-10-3	A4	
PESO: 73.74 libras				ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1		



esta caja es hueca



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN PULG. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Equipo para medir la energía cinética y el tiempo de reacción de atletas.			
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CAUID.							
				MATERIAL: Acero a-36	N.º DE DIBUJO EEC-E-11-3	A4	
				PESO: 77.95 libras	ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1	

