



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**EQUIPO DE LABORATORIO PARA LA INSPECCIÓN DEL
COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y CINEMÁTICO DE ENGRANAJES**

Autores:

Br. Bitter Ali

Br. Chirivella Edgar

Valencia, Marzo de 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN

**EQUIPO DE LABORATORIO PARA LA INSPECCIÓN DEL
COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y CINEMÁTICA DE ENGRANAJES**

Tutor:

Ing. Luís Escalona

Aceptada en la Universidad de Carabobo

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Por:

C.I.

Valencia, Marzo de 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**EQUIPO DE LABORATORIO PARA LA INSPECCIÓN DEL
COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y CINEMÁTICA DE ENGRANAJES**
Trabajo de Grado presentado para optar por al título de Ingeniero Mecánico

Autores:

Br. Bitter Ali

Br. Chirivella Edgar

Valencia, Marzo de 2008

DEDICATORIA

A Dios por regalarnos cada día de vida, por todas aquellas experiencias que nos permiten dar nuestro granito de arena.

A la Virgen por cuidarnos en cada uno de nuestros pasos.

A nuestros padres por el gran apoyo que incondicionalmente nos brindan

Los Autores

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Carabobo por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestro potencial intelectual y espiritual.

A nuestros padres por siempre estar allí para nosotros.

A nuestros familiares y amigos por creer en nosotros.

Al Ingeniero Luís Escalona por aceptar ser el tutor de nuestro trabajo de grado, y por sus invaluable orientaciones en el desarrollo del mismo.

Al ingeniero Carlos Morales por su gran ayuda en el esclarecimiento de las dudas durante el desarrollo de la investigación.

Al ingeniero Angel Villegas por su apoyo en los aspectos técnicos de este trabajo.

A todo aquel que de alguna u otra manera contribuyó a la realización del presente trabajo de grado.

A todos muchas GRACIAS...

ÍNDICE GENERAL

| | Pág |
|-------------------------|------------|
| Índice de Figuras..... | 9 |
| Índice de Tablas..... | 11 |
| Índice de Gráficos..... | 12 |
| Introducción..... | 13 |

CAPÍTULO I.

| | |
|---------------------------------------|----|
| 1.1.- Planteamiento del problema..... | 15 |
| 1.2.- Objetivo general..... | 16 |
| 1.3.- Objetivos específicos..... | 16 |
| 1.4.- Limitaciones..... | 16 |
| 1.5.- Delimitaciones..... | 17 |
| 1.6.- Alcance..... | 17 |
| 1.7.- Justificación..... | 17 |
| 1.8.- Antecedentes..... | 17 |

CAPÍTULO II.

| | |
|--|----|
| 2.1.- Bases teóricas..... | 19 |
| 2.2.- Engranajes rectos..... | 19 |
| 2.3.- Ley Fundamental del engranaje..... | 23 |
| 2.4.- Tren de engranajes..... | 26 |
| 2.5.- Árboles de engranajes..... | 27 |
| 2.6.- Energía de un sistema rotatorio..... | 27 |
| 2.7.- Momento angular de una partícula..... | 28 |
| 2.8.- Momento angular de un sólido rígido..... | 28 |
| 2.9.- Teorema de Steiner..... | 32 |
| 2.10.- Energía cinética de rotación..... | 33 |
| 2.11.- Energía dinámica de rotación..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 2.12.- Principio de conservación del momento angular..... | 35 |
| 2.13.- Trabajo y energía en el movimiento de rotación..... | 35 |
| 2.14.- Impulso angular..... | 37 |
| 2.15.- Momento de inercia de una distribución de masas puntuales..... | 38 |
| 2.16.- Momento de inercia de una distribución continua de masa..... | 38 |
| 2.17.- Momento de inercia de una varilla..... | 38 |
| 2.18.- Momento de inercia de un disco..... | 40 |
| 2.19.- Momento de inercia de un cilindro..... | 41 |
| 2.20.- Rodamientos..... | 42 |
| 2.21.- Sensor final de carrera..... | 45 |
| 2.22.- Soldadura de arco..... | 46 |
| 2.23.- Entorno de programación..... | 48 |
| 2.24.- Visual Basic..... | 49 |
| 2.25.- Microprocesadores PIC..... | 50 |

CAPÍTULO III

| | |
|---------------------------------------|----|
| 3.1.- Nivel de la investigación..... | 53 |
| 3.2.- Diseño de la investigación..... | 53 |

CAPÍTULO IV

| | |
|---|----|
| 4.1 Diagnóstico del estado actual del equipo..... | 58 |
| 4.2 Estudio del funcionamiento mecánico e instrumental del equipo..... | 60 |
| 4.3 Listado de piezas..... | 62 |
| 4.4 Diseño y construcción de las piezas o partes faltantes..... | 66 |
| 4.5 Identificación de los datos cinemáticos posibles de obtener a través de los sensores existentes en la máquina..... | 67 |

| | |
|---|----|
| 4.6 Selección de los elementos constituyentes del sistema de recolección de datos..... | 69 |
| 4.7 Desarrollo del sistema captador los datos identificados y transmisor de los mismos al computador..... | 71 |
| 4.8 Estudio de las ecuaciones involucradas..... | 78 |
| 4.9 Estudio de las pérdidas..... | 86 |
| 4.10 Identificar los objetivos académicos para los cuales puede ser aplicado el uso del equipo..... | 89 |
| 4.11 Validar los datos obtenidos..... | 90 |
| 4.12 Costos..... | 93 |
| 4.13 Manual de procedimiento..... | 93 |

CAPÍTULO V

| | |
|---------------------------------|-----|
| 5.1 Conclusiones..... | 103 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 105 |
| Referencias Bibliográficas..... | 106 |
| Anexos..... | 107 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág |
|--|------------|
| Figuras 2.1. Engranajes rectos..... | 21 |
| Figuras 2.2. Esquema de un par de engranes | 23 |
| Figuras 2.3. Tren de engranajes simples..... | 26 |
| Figuras 2.4. Tren de engranajes compuestos..... | 27 |
| Figuras 2.5. Vectores en el movimiento angular de una partícula | 28 |
| Figuras 2.6. Vectores en el movimiento angular de un sólido..... | 29 |
| Figuras 2.7. Relación vectorial entre el momento y la velocidad angular..... | 31 |
| Figuras 2.8. Variables que involucra el teorema de Steiner | 32 |
| Figuras 2.9. Variación del momento angular con el tiempo..... | 34 |
| Figuras 2.10. Cuerpo rígido girando alrededor de un eje fijo | 36 |
| Figuras 2.11. Varilla ejemplo de cálculo con eje en el centro..... | 39 |
| Figuras 2.12. Varilla ejemplo de cálculo con eje en el extremo..... | 40 |
| Figuras 2.13. Disco ejemplo de cálculo..... | 40 |
| Figuras 2.14. Cilindro..... | 41 |
| Figuras 2.15. Partes del rodamiento..... | 44 |
| Figuras 2.16. Tipo de rodamientos..... | 45 |
| Figuras 2.17. Sensor final de carrera..... | 46 |
| Figuras 2.18. Esquema del proceso de soldadura por arco eléctrico..... | 48 |
| Figuras 2.19. Arquitectura del procesador | 52 |
| Figuras 4.1. Vista de planta de los ejes | 59 |
| Figuras 4.2. Estado inicial de la máquina..... | 60 |
| Figuras 4.3. Aspecto inicial del equipo..... | 62 |
| Figuras 4.4. Aspecto posterior al mantenimiento..... | 62 |
| Figuras 4.5. Antigua estructura del sistema..... | 66 |
| Figuras 4.6. Nueva estructura del computador y sus partes..... | 66 |
| Figuras 4.7. Sistema de frenado..... | 67 |
| Figuras 4.8. Sensor final de carrera..... | 68 |

| | |
|---|-----|
| Figuras 4.9. Vista de todos los sensores final de carrera..... | 68 |
| Figuras 4.10. Sensor y leva..... | 71 |
| Figuras 4.11. Esquema comunicación entre partes del sistema..... | 72 |
| Figuras 4.12. Esquema de vista lateral de leva eje 1 | 73 |
| Figuras 4.13. Esquema de vista lateral de leva eje 2 | 73 |
| Figuras 4.14. Esquema de vista lateral de leva ejes 3 y 4 | 73 |
| Figuras 4.15. Kit PCBA28. (microprocesador)..... | 77 |
| Figuras 4.16. Diagrama de flujo de programa de captación..... | 78 |
| Figuras 4.17. Esquema de un eje genérico..... | 80 |
| Figuras 4.18. Diagrama del eje 1..... | 81 |
| Figuras 4.19. Diagrama del eje 2..... | 82 |
| Figuras 4.20. Engranajes en contacto..... | 84 |
| Figuras 4.21. Engranajes entre eje 1 y 2..... | 87 |
| Figuras 4.22. Esquema de montaje experimental de validación de datos..... | 91 |
| Figuras 4.23. Validación de velocidades angulares..... | 92 |
| Figuras 4.24. Costos asociados..... | 93 |
| Figuras 4.25. Conexión al computador..... | 94 |
| Figuras 4.26. Botón de encendido del computador..... | 94 |
| Figuras 4.27. Apertura del programa captura puerto serial..... | 95 |
| Figuras 4.28. Masas inductoras..... | 95 |
| Figuras 4.29. Discos en soporte..... | 96 |
| Figuras 4.30. Manivela del banco..... | 96 |
| Figuras 4.31. Sistema de bobinado de guaya..... | 97 |
| Figuras 4.32. Sistema de freno de guaya | 97 |
| Figuras 4.33. Iniciación de la captación..... | 98 |
| Figuras 4.34. Finalización de la captación..... | 98 |
| Figuras 4.35. Apertura de aplicación Excel..... | 99 |
| Figuras 4.36. Datos arrojados..... | 99 |
| Figuras 4.37. Curvas del sistema..... | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figuras 4.38. Programa resolución de ecuaciones..... | 101 |
| Figuras 4.39. Aplicación Excel para resolución de ecuaciones..... | 102 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág |
|--|------------|
| Tabla 2.1. Especificaciones AGMA..... | 25 |
| Tabla 3.1. Cuadro técnico metodológico..... | 55 |
| Tabla 4.1. Piezas existentes del equipo..... | 63 |
| Figuras 4.2. Inercias fijas y móviles..... | 79 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Pág |
|---|------------|
| Gráfico 1. Diagrama conmutación vs. Tiempo..... | 74 |
| Gráfico 2. Diagrama conmutación vs. Vuelta..... | 75 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo especial de grado tiene como objetivo general, establecer la completa operatividad eléctrica y mecánica de un equipo de laboratorio para la inspección del comportamiento dinámico y cinemático de engranajes, con la finalidad de complementar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula y afianzar el entendimiento de los mismos.

Para alcanzar el objetivo se planteó realizar primeramente un diagnóstico del estado inicial del equipo, luego se procedió a identificar los datos cinemáticos obtenibles a través de los sensores existentes en la máquina, así como, identificar las opciones electrónicas con las que se podía realizar la recolección de datos, para posteriormente seleccionar la mejor opción, luego, se identificaron las opciones académicas de aplicación para el banco de ensayo, seguido de esto, se procedió a diseñar y construir un sistema capaz de captar los datos identificados y transmitirlos al computador, para luego ser manejados por una interfaz gráfica diseñada para tal fin, finalmente, se validaron los datos obtenidos y se realizó el manual de operaciones del equipo.

El trabajo aquí presentado, está estructurado de manera que el lector pueda ir adquiriendo los conocimientos básicos que le permitan entender a cabalidad la herramienta desarrollada y la tecnología referida. Sin embargo, cabe destacar que si el lector es lo suficientemente conocedor del tema, perfectamente puede obviar los capítulos que contengan información que considere ya conocida, y continuar con los aspectos que considere de interés sin perder la linealidad y coherencia de la información.

El presente informe está estructurado en cinco capítulos, el primero de ellos presenta el planteamiento del problema, la descripción del estado inicial y la

situación deseada, junto con los objetivos planteados en la investigación, la justificación y las limitaciones. El segundo capítulo, presenta el marco teórico del trabajo de grado, donde se da a conocer el basamento teórico que soporta la investigación. En el tercer capítulo se encuentra el marco metodológico, en él se destacan las actividades realizadas para el desarrollo de cada objetivo, el mecanismo o instrumento usado y la fuente de los mismos. En el capítulo cuatro se desarrollan las herramientas y mecanismos necesarios para el cumplimiento de los objetivos del trabajo de grado. Por último, el capítulo cinco presenta las conclusiones y recomendaciones más importantes obtenidas durante la investigación.

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del problema

La Universidad de Carabobo es una institución educativa ubicada en Bárbula, Estado Carabobo, fundada en 1880. En dicha institución se encuentra la Facultad de Ingeniería, donde está adscrita la Escuela de Ingeniería Mecánica. Esta última posee en uno de sus Laboratorios un equipo didáctico para el estudio de momentos de inercia de engranajes rectos cilíndricos, potencia en volantes de inercia y pérdida en cojinetes, el cual se encuentra fuera de servicio.

Esta situación significa para la Escuela de Ingeniería Mecánica el desperdicio de una gran herramienta para el área educativa que permitiría a los estudiantes de la facultad y a potenciales interesados externos a la misma conocer en la práctica, teorías mecánicas que en la actualidad sólo se muestran con ejemplos teóricos.

El trabajo consiste en el establecimiento de la completa operatividad de la máquina didáctica, así como el desarrollo de los procedimientos para llevar a cabo las prácticas de laboratorio en materias donde estas puedan ser utilizadas, tales como Mecánica Racional, Mecanismos, Elementos de Máquinas II y cursos de capacitación a empresas externas a la universidad.

1.2 Objetivo general

Restablecer la completa operatividad eléctrica y mecánica de un equipo de laboratorio para la inspección del comportamiento dinámico y cinemático de engranajes.

1.3 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual del equipo.
- Identificar los datos cinemáticos obtenibles a través de los sensores existentes en la máquina.
- Identificar las opciones electrónicas para la recolección de datos.
- Identificar los objetivos académicos para los cuales puede ser utilizado.
- Diseñar un sistema capaz de captar los datos identificados y transmitirlos al computador.
- Construir un sistema capaz de captar los datos identificados y transmitirlos al computador.
- Diseñar una interfaz gráfica que permita utilizar los datos.
- Elaborar una interfaz gráfica que permita utilizar los datos.
- Validar los datos obtenidos.
- Elaborar los manuales de procedimientos para la operación del equipo.

1.4 Limitaciones

- Debido a que el equipo se encuentra en un laboratorio del departamento de materiales, las actividades fueron sujetas a disponibilidad de horario del mismo.
- En caso de ser necesario no se cuenta con planos del equipo.

1.5 Delimitaciones

- Sólo se realizará trabajo sobre la máquina, más no así en el laboratorio o la constitución de uno.

- Sólo se trabajará con los sensores existentes en la máquina, debido a sus costos elevados no se adicionarán nuevos instrumentos captadores.

1.6 Alcance

Con el desarrollo de esta investigación se crearán las condiciones físicas y ambientales necesarias para implementar prácticas en laboratorio para inspección de comportamiento dinámico y cinemático de los engranajes, en materias referidas al tema, como mecánica racional, mecanismos y elementos de máquinas II, vale acotar que actualmente no se realiza en la facultad este tipo de actividades.

1.7 Justificación

Se justifica el desarrollo de este trabajo de investigación basado en la necesidad que plantea el control de la gestión pública, de dar un uso más eficiente de los recursos disponibles. El valor actual del equipo en estudio en el mercado, está alrededor de 34 mil Bolívares Fuertes.

1.8 Antecedentes

Como antecedentes a esta investigación se tienen dos trabajos de investigación desarrollados para cumplir con los objetivos de la asignatura de proyectos III, basados en el funcionamiento de este equipo y limitados a la construcción de piezas mecánicas faltantes en los semestres 2º 2003 y 1º 2004 respectivamente, bajo la tutela del profesor Edwin Peña.

Existe una compañía llamada GUNT HAMBURG (empresa alemana) que produce y vende bancos de ensayo con distintas aplicaciones físicas; entre la gran variedad de máquinas que ofrece esta empresa, se encuentra el “GL 210 Aparato

para análisis de engranaje”, el cual posee grandes similitudes con respecto al equipo en estudio, posee un sistema de trenes de engranajes con volantes similar, en vez de finales de carrera como sensores captadores de velocidad angular posee sensores inductivos, y como computador tiene un registrador digital de línea continua para los diagramas. Adicionalmente el equipo está diseñado para 4 ensayos distintos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas

A continuación serán presentados los fundamentos teóricos necesarios para describir el comportamiento cinemático y dinámico del equipo, el cual se divide en las dos partes que conforman la investigación desde el punto de vista teórico.

En primer lugar se tendrán todas las definiciones y ecuaciones necesarias para realizar los cálculos físicos, de donde se obtendrán los valores de las variables cinemáticas y dinámicas que el equipo será capaz de calcular por medio del ordenador. En segundo lugar se expone un resumen de lo necesario para comprender el entorno de programación a utilizar.

En lo que se refiere a la máquina se comenzará con un resumen de las partes mecánicas principales que conforman la máquina en estudio, y a medida que se avance en el desarrollo del marco teórico se explicará el funcionamiento de cada parte.

2.2 Engranajes

Uno de los problemas principales de la Ingeniería Mecánica es la transmisión de movimiento, entre un conjunto motor y máquinas conducidas. Desde épocas muy remotas se han utilizado cuerdas y elementos fabricados de madera para solucionar los problemas de transporte, impulsión, elevación y movimiento.

El inventor de los engranajes en todas sus formas fue Leonardo da Vinci. La forma más básica de un engrane es una pareja de ruedas, una de ellas provistas de barras cilíndricas y la otra formada por dos ruedas unidas por barras cilíndricas.

Leonardo se dedica mucho a la creación de máquinas de guerra para la defensa y el ataque, sus materiales son madera, hierro y cuerdas las que se elaboran en forma rudimentaria, pero sus esquemas e invenciones trascienden el tiempo y enseñan las múltiples alternativas que brindan mecanismos básicos de palancas, engranes y poleas unidas entre si en una máquina cuyo diseño geométrico es notable.

Se puede deducir que la posición entre los ejes es de gran importancia al diseñar la transmisión. Las situaciones son principalmente tres: ejes paralelos, ejes que se cortan y ejes que se cruzan.

Los engranes se pueden clasificar en tres grupos:

- Engranajes Cilíndricos (para ejes paralelos y que se cruzan)
- Engranajes Cónicos (para ejes que se cortan y que se cruzan)
- Tornillo sin fin y rueda helicoidal (para ejes ortogonales)

Un engranaje es una rueda dentada que permite, por medio del contacto entre los dientes, transmitir el movimiento y la carga rotacional entre dos ejes, entre los distintos tipos se encuentran los engranajes rectos que se emplean para transmitir movimientos rotatorios entre ejes paralelos. Estos engranajes son cilíndricos y sus dientes son rectos paralelos respecto al eje de rotación. En la figura 2.1 se muestran engranajes rectos.



Figura 2.1. Engranajes rectos

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/>

El piñón es el más pequeño de dos engranajes acoplados; el más grande se llama corona o rueda.

Para predecir el comportamiento de un tren de engranajes, se necesitan conocer algunas variables, por lo que es importante definir algunos términos:

- **Círculo de Paso [B]:** es un círculo teórico en el cual se basan todos los cálculos. Los círculos de paso de operación de un par de engranajes acoplados son tangentes entre sí (Ver Figura 2.2).
- **Paso Circular [p]:** es la distancia medida en el círculo de paso teórico, desde un punto de un diente hasta un punto correspondiente en un diente contiguo. El paso circular se mide en dientes o en unidades de longitud (Ver Figura 2.2).

$$\rho = \frac{\pi d}{N} = \pi m$$

2.1

- **Diámetro de paso [d piñón; D engrane]:** es el diámetro del círculo de paso y se mide en pulgadas o en milímetros (Ver Figura 2.2).

$$d = \frac{N}{Pd} = mN \quad 2.2$$

- **Módulo [m]:** es la razón del diámetro de paso teórico al número de dientes N. El módulo es el índice métrico del tamaño de los dientes y siempre se expresa en milímetros (Ver Figura 2.2).

$$m = \frac{d}{N} \quad 2.3$$

- **Paso diametral [Pd]:** es la razón del número de dientes de un engrane al diámetro de paso teórico. Es el índice del tamaño del diente cuando se utilizan unidades del sistema inglés y se expresa en dientes por pulgada (Ver Figura 2.2).

$$Pd = \frac{N}{d} \quad 2.4$$

- **Adendo (Addendum) [a]:** es la distancia radial entre la superficie superior F y el círculo de paso (Ver Figura 2.2).
- **Dedendo (Dedendum) [b]:** es la distancia radial entre el círculo de paso B y el círculo y el círculo de la raíz D. La profundidad total h es la suma de estos dos valores (Ver Figura 2.2).

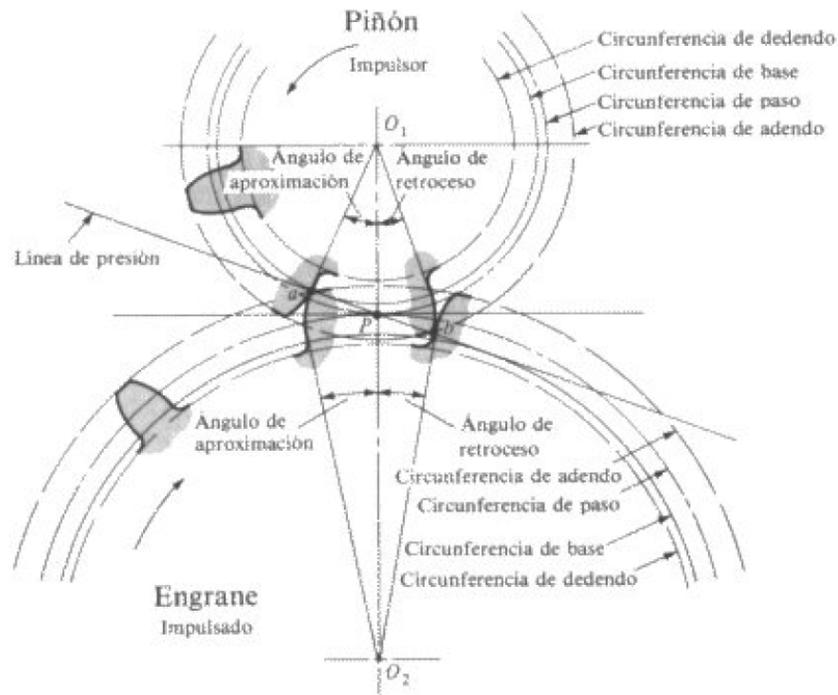


Figura 2.2. Esquema de un par de engranajes
 Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/>

2.3. Ley fundamental del engranaje.

El concepto general es que los dientes de cualquier forma evitarán deslizamientos extraordinarios. La ley fundamental de los engranes, dice que la razón de velocidad angular entre los engranes de un engranaje (o tren de engranes) debe mantenerse constante a través del acoplamiento. La razón de velocidad angular mv es igual a la razón del radio de paso del engrane de entrada dividido entre el correspondiente del engrane de salida.

$$mv = \frac{\omega_{sal}}{\omega_{ent}} = \pm \frac{r_{entrada}}{r_{salida}} = \pm \frac{d_{entrada}}{d_{salida}} \quad 2.5$$

Los radios de paso de la ecuación 2.5, son los de los cilindros de rodamiento a los cuales se agregan los dientes. El signo positivo o negativo toma en consideración

los conjuntos de cilindros internos o externos. Un conjunto externo invierte la dirección de rotación entre cilindros, lo que requiere un signo negativo. Un engranaje interno (igual que una transmisión por banda o cadena) tendrá la misma dirección de rotación y requiere un signo positivo en la ecuación. La superficie de los cilindros de rodamiento se convierte en círculos de paso, y sus diámetros en diámetros de paso de los engranes. El punto de contacto entre cilindros ocurre en la línea de centros.

La razón de par de torsión o ventaja mecánica m_a es la recíproca de la razón de velocidades m_v .

$$m_a = \frac{\omega_{ent}}{\omega_{sal}} = \pm \frac{r_{salida}}{r_{entrada}} = \pm \frac{d_{salida}}{d_{entrada}} \quad 2.6$$

Por lo tanto, un engranaje es en esencia un dispositivo que sirve para intercambiar par de torsión por velocidad, o viceversa. Una aplicación común de engranaje reduce la velocidad e incrementa el par de torsión para impulsar cargas pesadas, como la transmisión de un automóvil. Otras aplicaciones requieren de un incremento en la velocidad, para lo cual debe aceptarse una reducción en el par de torsión. En cualquier caso, por lo general es deseable mantener una razón constante entre engranes mientras giran. Cualquier variación en la razón se mostrará como una oscilación en la velocidad y en el par de torsión de salida, incluso si la entrada es constante a lo largo del tiempo.

Para efectos de cálculo, la **razón de engranes** m_G se toma como la magnitud, ya sea de la razón de velocidades o de la razón de pares de torsión, cualquiera que ésta sea > 1 .

$$m_G = |m_v| \quad \text{ó} \quad m_G = |m_a| \quad \text{para } m_G \geq 1$$

En otras palabras, la razón de engranajes será siempre un número positivo > 1 , sin importar la dirección en que fluya la potencia a través del engranaje.

Como se observa en la relación de par de torsión (m_a) que se muestra en la ecuación 2.6 es el recíproco de la relación de velocidad o viceversa. Los radios de las ecuaciones 2.5 y 2.6 son los de los cilindros rodantes a los que se le agregaron los dientes. El signo positivo o negativo corresponde a una conexión interna o externa, para efectos de este trabajo solo se hará referencia a los engranajes externos que son los que se encuentran presentes en la máquina en estudio. Las superficies de contacto de los cilindros rodantes serán los círculos de paso, y sus diámetros, los diámetros de paso de los engranajes. El punto de contacto entre los cilindros se localiza en la línea de centros, y se llama Punto de Paso.

Para todas estas variables la AGMA (American Gear Manufacturing Associates) establece una serie de valores estándar representados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Especificaciones AGMA dientes de engranajes de altura total.

| Parámetro | Paso Grueso (Pd<20) | Paso Fino (pd ≥ 20) |
|--|-------------------------------|----------------------------|
| Angulo de Presión | 20° ó 25° | 20° |
| Adendo | 1,000/pd | 1,000/pd |
| Dependo | 1,250/pd | 1,250/pd |
| Profundidad de trabajo | 2,000/pd | 2,000/pd |
| Profundidad Total | 2,250/pd | 2,200/pd+0,002 pulg. |
| Espesor del diente circular | 1,571/pd | 1,571/pd |
| Radio de filete: Cremallera básica | 0,300/pd | No estandarizado |
| Holgura básica mínima | 0,250/pd | 2,200/pd+0,002 pulg. |
| Ancho mínimo de tope | 0,250/pd | No estandarizado |
| Holgura (dientes esmerilados o pulidos). | 0,350 | 0,350/pd+0,002 pulg. |

Fuente: AGMA

pd: paso diametral

2.4 Tren de engranajes

Se denomina tren de engranajes a un conjunto de ruedas dentadas que transmiten potencia mecánica en forma de rotatoria entre un eje principal acoplado a un elemento rotatorio como fuente de la potencia y un eje final que va al sistema de consumo de potencia y se dice que es compuesto si al menos un eje tiene más de un engranaje. Este tren es utilizado para lograr el funcionamiento de elementos giratorios con velocidades y torques distintos a las fuentes de potencia, las cuales son generalmente motores. La lista de motores en el mercado es sumamente amplia, sin embargo lograr adaptar este elemento al diseño de una máquina en específico se logra a través de una serie de elementos o dispositivos mecánicos o eléctricos entre los que se incluyen los trenes de engranajes, en las figura 2.3 y figura 2.4 se muestra un tren de engranajes simple y uno de engranajes compuesto.

$$m_v = \frac{\text{Pr od. del \# engranajes impulsores}}{\text{Pr od. del \# engranajes impulsados}} \quad 2.7$$

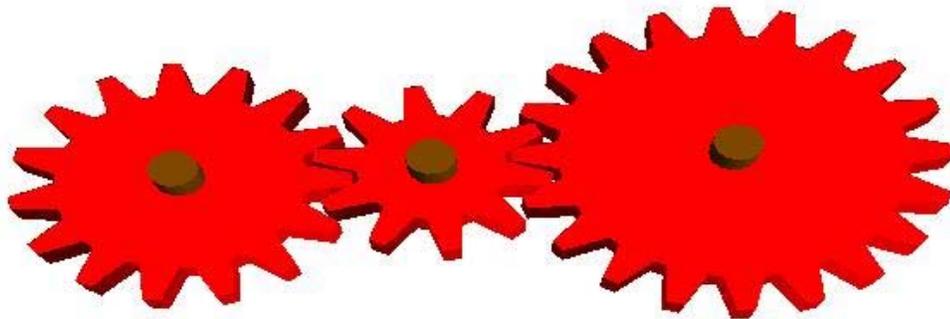


Figura 2.3. Tren de engranajes simple
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/>

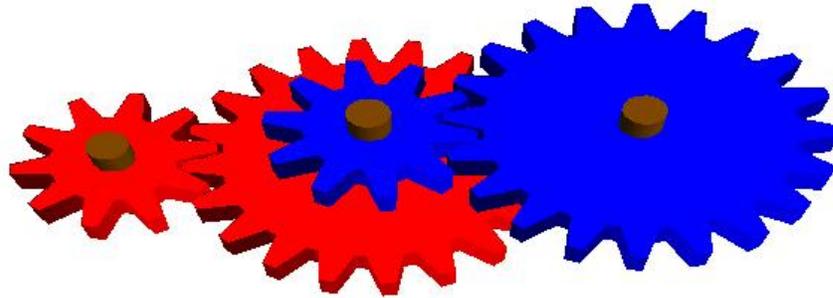


Figura 2.4. Tren de engranajes compuesto
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/>

2.5 Árboles de engranajes.

A los ejes que conforman los trenes de engranajes se les conoce con el nombre de árboles de engranajes o simplemente árbol, y consisten de ejes con ruedas dentadas solidarias a estos, que permiten hacerlos girar a la velocidad deseadas.

La geometría, disposición y el número de engranajes en la máquina dependerá de la potencia que esté transmitirá así como de las necesidades de espacio y la función específica que ésta cumpla.

2.6 Energía de un sistema rotatorio.

La energía cinética de un sistema rotatorio se puede expresar de acuerdo con la ecuación 2.8

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad 2.8$$

Donde I es el momento de inercia de toda la masa que gira en el eje. Se quiere determinar cuanta inercia es necesaria agregar, en forma de volante, para reducir la variación de la velocidad del eje a un nivel aceptable.

2.7 Momento angular de una partícula

Se define momento angular de una partícula como el producto vectorial del vector posición \vec{r} por el vector momento lineal $m\vec{v}$. En la figura siguiente se muestran los vectores involucrados en el movimiento angular de una partícula.

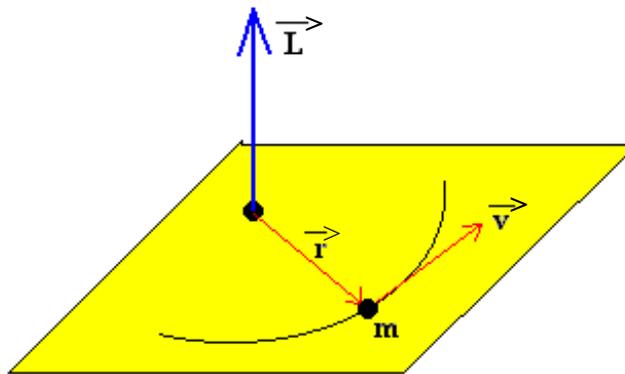


Figura 2.5. Vectores involucrados en el movimiento angular de una partícula
Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

2.8 Momento angular de un sólido rígido

El momento de inercia o inercia rotacional es una magnitud que da cuenta de cómo es la distribución de masas de un cuerpo o un sistema de partículas alrededor de uno de sus puntos. En el movimiento de rotación, este concepto desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme. Representa la inercia de un cuerpo a rotar.

La masa inercial es una medida de la resistencia de una masa al cambio en velocidad en relación con un sistema de referencia inercial.

Las partículas de un sólido rígido en rotación alrededor de un eje fijo describen circunferencias centradas en el eje de rotación con una velocidad que es proporcional al radio de la circunferencia que describen.

El vector momento angular \vec{L}_i de una partícula de masa m_i cuya posición está dada por el vector \vec{r}_i y que describe una circunferencia de radio R_i con velocidad \vec{v}_i como se muestra en la ecuación 2.9

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} \quad 2.9$$

El módulo del vector momento angular viene dado por la ecuación 2.10

$$\vec{L}_i = \vec{r}_i \times m_i \cdot \vec{v}_i \quad 2.10$$

Su proyección sobre el eje de rotación Z de acuerdo con la ecuación 2.11.

$$L_{iz} = m_i \cdot v_i \cdot r_i \cdot \cos(90 - \theta_i) \quad 2.11$$

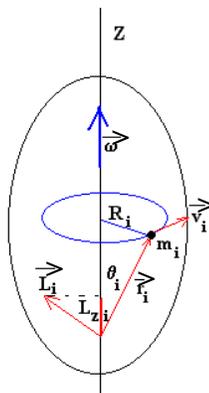


Figura 2.6. Vectores en el movimiento angular de un sólido
Fuente: <http://www.sc.edu/es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

El momento angular de todas las partículas del sólido se expresa de acuerdo con la ecuación 2.12

$$\vec{L} = \sum \vec{L}_i \quad 2.12$$

La proyección L_z del vector momento angular a lo largo del eje de rotación se representa tal y como lo indica la ecuación 2.13

$$L_x = \sum L_{ix} = \left(\sum m_i \cdot R_i^2 \right) \cdot \omega \quad 2.13$$

El término entre paréntesis de la ecuación 2.13 se denomina momento de inercia, el cual se muestra en la ecuación 2.14.

$$I = \sum m_i \cdot R_i^2 \quad 2.14$$

En general, el vector momento angular \vec{L} no tiene la dirección del eje de rotación, es decir, el vector momento angular no coincide con su proyección \vec{L}_z a lo largo del eje de rotación. Cuando coinciden se dice que el eje de rotación es un eje principal de inercia.

Para los ejes puede relacionarse el momento angular y la velocidad angular, dos vectores que tienen la misma dirección, con el eje de rotación, resultando en la ecuación 2.15

$$L = I\omega \quad 2.15$$

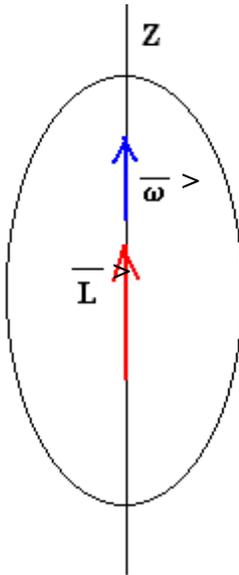


Figura 2.7 Relación vectorial entre el momento angular y la velocidad angular
 Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

El momento de inercia no es una cantidad característica como puede ser la masa o el volumen, sino que su valor depende de la posición del eje de rotación. El momento de inercia es mínimo cuando el eje de rotación pasa por el centro de masa.

2.9 Teorema de Steiner

El teorema de Steiner permite calcular el momento de inercia de un sólido rígido respecto de un eje de rotación que pasa por un punto “O”, cuando es conocido el momento de inercia respecto a un eje paralelo al anterior y que pasa por el centro de masas “C”.

El momento de inercia del sólido respecto de un eje que pasa por O esta representado en la ecuación 2.16

$$I_0 = \sum m_i \cdot r_i^2 \quad 2.16$$

El momento de inercia respecto de un eje que pasa por C, sigue lo planteado en la ecuación 2.17

$$I_c = \sum m_i R_i^2 \quad 2.17$$

Para relacionar I_0 e I_c hay que relacionar r_i y R_i , como se observa en la figura 2.8.

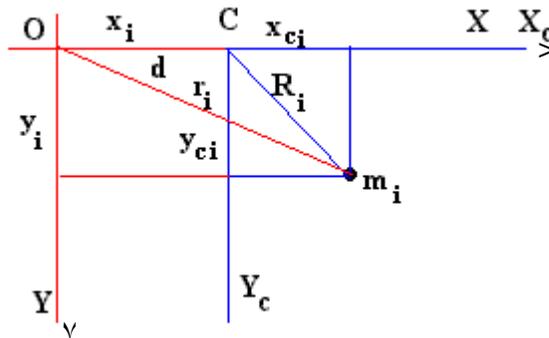


Figura 2.8. Variables que involucra el teorema de Steiner
Fuente: <http://www.sc.edu/es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

En la figura 2.8, se tiene que:

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2 = (x_{ic} + d)^2 + y_{ci}^2 = R_i^2 + 2dx_{ic} + d^2$$

$$I_0 = \sum m_i R_i^2 + 2d \sum m_i x_{ic} + d^2 \sum m_i$$

Obteniéndose así la ecuación 2.18.

$$I_0 = I_c + d^2 m \quad 2.18$$

El término intermedio en el segundo miembro es nulo ya que se obtiene la posición X_c del centro de masa desde el centro de masa.

2.10 Energía cinética de rotación.

Las partículas del sólido cualquiera, describen circunferencias centradas en el eje de rotación con una velocidad que es proporcional al radio de la circunferencia que describen $v_i = \omega \cdot r_i$. La energía cinética total es la suma de las energías cinéticas de cada una de las partículas. Esta suma se puede expresar de forma simple en términos del momento de inercia y la velocidad angular de rotación (ver ecuación 2.19)

$$E_k = \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum \frac{1}{2} m_i \omega^2 R_i^2 = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad 2.19$$

2.11 Ecuación de la dinámica de rotación

Considérese un sistema de partículas. Sobre cada partícula actúan las fuerzas exteriores al sistema y las fuerzas de interacción mutua entre las partículas del sistema. Supóngase un sistema formado por dos partículas como se observa en la figura 2.9. Sobre la partícula 1 actúa la fuerza exterior F_1 y la fuerza que ejerce la partícula 2, F_{12} . Sobre la partícula 2 actúa la fuerza exterior F_2 y la fuerza que ejerce la partícula 1, F_{21} .

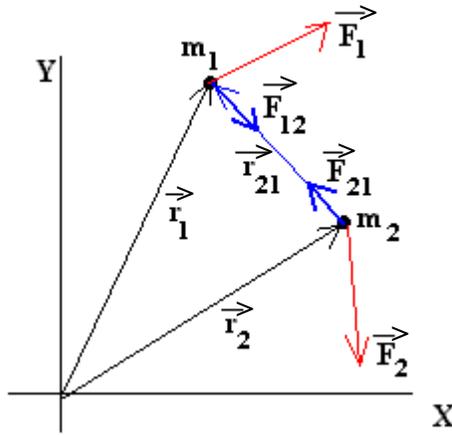


Figura 2. 9. Variación del momento angular con el tiempo
 Fuente: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

Para cada una de las partículas se cumple que la variación del momento angular con el tiempo es igual al momento de la resultante de las fuerzas que actúan sobre la partícula considerada.

$$\frac{dL_1}{dt} = r_1 \times (F_1 + F_{12}) \quad 2.20$$

Sumando miembro a miembro, aplicando la propiedad distributiva del producto vectorial, y teniendo en cuenta la tercera Ley de Newton, $F_{12} = -F_{21}$, se tiene que:

$$\frac{d(L_1 + L_2)}{dt} = r_1 \times F_1 + r_2 \times F_2 + (r_1 - r_2) \times F_{12} \quad 2.21$$

Como los vectores $r_1 - r_2$ y F_{12} son paralelos, su producto vectorial es cero. Por lo tanto queda:

$$\frac{dL}{dt} = M_{ext} \quad 2.22$$

La derivada del momento angular total del sistema de partículas con respecto del tiempo es igual al momento de las fuerzas exteriores que actúan sobre las partículas del sistema.

Considérese ahora que el sistema de partículas es un sólido rígido que está girando alrededor de un eje principal de inercia, entonces el momento angular $L=I\omega$, la ecuación anterior se escribe de acuerdo con a la ecuación 2.23.

$$\frac{d(I\omega)}{dt} = M \quad \text{o bien} \quad I\alpha = M \quad 2.23$$

2.12 Principio de conservación del momento angular

El principio de conservación del momento angular afirma que si el momento de las fuerzas exteriores es cero (lo que no implica que las fuerzas exteriores sean cero, que sea un sistema aislado), el momento angular total se conserva, es decir, permanece constante.

$$M_{ext} = \frac{dL}{dt} \quad \text{si } M_{ext}=0 \quad \text{Entonces } L = \text{cte}$$

2.13 Trabajo y energía en el movimiento de rotación

Considérese un cuerpo rígido que puede girar alrededor de un eje fijo tal como se indica en la figura 2.10. Supóngase que se aplica una fuerza exterior F en el punto P . El trabajo realizado por dicha fuerza a medida que el cuerpo gira recorriendo una distancia infinitesimal $ds = r dq$ en el tiempo dt , viene dado por la ecuación 2.24

$$d\omega = Fdr = F\sin\phi r d\theta$$

2.24

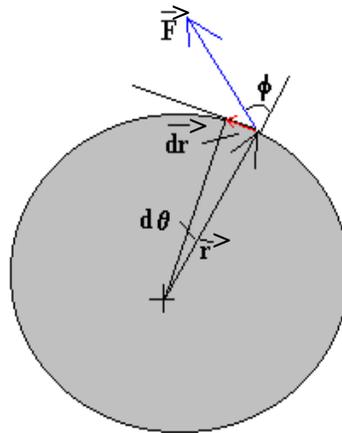


Figura 10. Cuerpo rígido girando alrededor de un eje fijo.

Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

$F\sin\phi$, es la componente tangencial de la fuerza, la componente de la fuerza a lo largo del desplazamiento. La componente radial de la fuerza no realiza trabajo, ya que es perpendicular al desplazamiento.

El momento de la fuerza es el producto de la componente tangencial de la fuerza por el radio. La expresión del trabajo puede escribirse de forma alternativa:

$$d\omega = md\phi$$

2.25

El trabajo total cuando el sólido gira un ángulo se expresa en 2.26.

$$\omega = \int_0^\theta m d\theta = \int_0^\theta I \alpha d\theta = \int_0^\theta I \frac{d\omega}{dt} d\theta = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I \frac{d\theta}{dt} d\omega$$

$$\int_{\omega_0}^{\omega} I \omega d\omega = \frac{1}{2} I \omega^2 - \frac{1}{2} I \omega_0^2$$

En la deducción se ha tenido en cuenta la ecuación de la dinámica de rotación $M=Ia$, y la definición de velocidad angular y aceleración angular.

Se obtiene una ecuación análoga al teorema trabajo-energía para una partícula. El trabajo de los momentos de las fuerzas que actúan sobre un sólido rígido en rotación alrededor de un eje fijo modifica su energía cinética de rotación.

2.14 Impulso angular

En la dinámica de una partícula se presenta el concepto de impulso lineal. Una fuerza aplicada durante un tiempo modifica el momento lineal (la velocidad de la partícula). (Ver ecuación 2.26).

$$\int_0^t F dt = mv - mv_0 \quad 2.26$$

En el caso de un sólido en rotación la magnitud equivalente se denomina impulso angular.

El momento de las fuerzas que se aplican durante un tiempo t a un sólido rígido en movimiento de rotación alrededor de un eje fijo, modifica el momento angular del sólido en rotación. (Ver ecuación 2.27).

$$\int_0^t m dt = I\omega - I\omega_0 \quad 2.27$$

2.15 Momento de inercia de una distribución de masas puntuales.

La inercia de una partícula de masa m_i se calcula a través de la ecuación 2.28.

$$I = \sum x_i^2 m_i \quad 2.28$$

Donde x_i es la distancia de la partícula de masa m_i al eje de rotación.

2.16 Momento de inercia de una distribución continua de masa

Pasando de una distribución de masas puntuales a una distribución continua de masa, la expresión matemática de la inercia está dada en la ecuación 2.29

$$I = \int x^2 dm \quad 2.29$$

Donde dm es un elemento de masa situado a una distancia x del eje de rotación.

2.17 Momento de inercia de una varilla.

El momento de inercia de una varilla de masa M y longitud L respecto de un eje perpendicular a la varilla que pasa por el centro de masas se puede describir como se muestra en la figura 2.11:

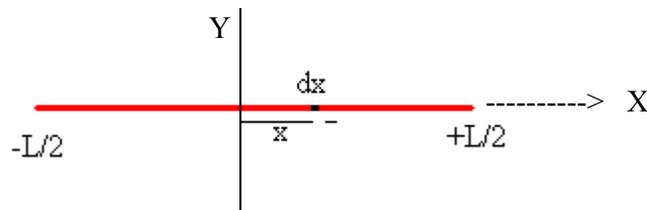


Figura 2.11 Varilla ejemplo de cálculo con eje en el centro.
Fuente: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

La masa dm del elemento de longitud “ x ” de la varilla comprendido entre x y $x + dx$ está definida como lo expresa la ecuación 2.30

$$dm = \frac{m}{l} dx \quad 2.30$$

El momento de inercia de la varilla está descrito por la ecuación 2.31.

$$I_c = \int_{-l/2}^{+l/2} \frac{m}{l} x^2 dx = \frac{m}{l} \frac{x^3}{3} \Big|_{-l/2}^{+l/2} = \frac{1}{12} ml^2 \quad 2.31$$

Aplicando el teorema de Steiner, es posible calcular el momento de inercia de la varilla respecto de un eje perpendicular a la misma que pasa por uno de sus extremos, de acuerdo con la ecuación 2.32 como se muestra en la figura 2.12.

$$I = I_c + m\left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{3} ml^2 \quad 2.32$$

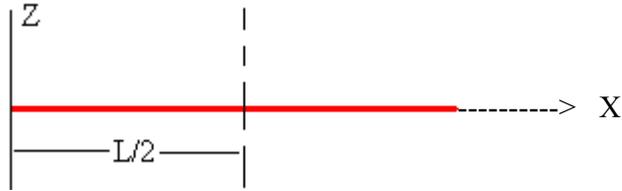


Figura 2.12 Varilla ejemplo de cálculo con eje en un extremo.
 Fuente: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

2.18 Momento de inercia de un disco.

El momento de inercia de un disco de masa M , espesor dx y radio R respecto de un eje perpendicular al plano del disco y que pasa por su centro (eje Z), se esquematiza en la figura 2.13:

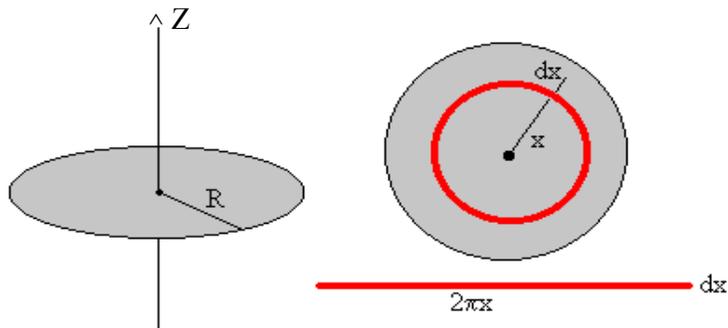


Figura 2.13 Disco ejemplo de cálculo

Fuente: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

Se toma un elemento de masa que dista “ x ” del eje de rotación. El elemento es un anillo de radio x y de anchura dx . Si se recorta el anillo y se extiende, se convierte en un rectángulo de longitud $2dx$ y anchura dx , cuya masa está dada por la ecuación 2.33.

$$dm = \frac{m}{\pi \cdot R^2} 2 \cdot \pi \cdot x dx = \frac{2m}{R^2} x dx \tag{2.33}$$

El momento de inercia del disco sigue lo planteado en la ecuación 2.34.

$$I_c = \int_0^R \frac{2m}{R^2} \cdot x^3 dx = \frac{1}{2} mR^2 \quad 2.34$$

2.19 Momento de inercia de un cilindro.

El esquema del momento de inercia de un cilindro de masa M, radio R y longitud L respecto de su eje Z, se describe a continuación (ver figura 2.14):

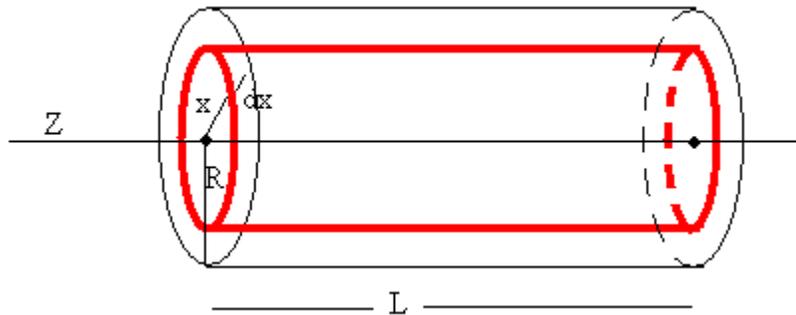


Figura 2.14 Cilindro

Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>

Se toma un elemento de masa que dista x del eje de rotación. El elemento es una capa cilíndrica cuyo radio interior es x, exterior x+dx, y de longitud L, tal como se muestra en la figura 2.14. La masa dm que contiene esta capa se representa de acuerdo con la ecuación 2.35.

$$dm = \frac{m}{\pi \cdot R^2 l} \cdot 2 \cdot \pi \cdot x dx l = \frac{2m}{R^2} x dx \quad 2.35$$

El momento de inercia del cilindro es:

$$I_c = \int x^2 dm = \int_0^R \frac{2m}{R^2} \cdot x^3 dx = \frac{1}{2} mR^2 \quad 2.36$$

Es preciso resaltar que la ecuación 2.36 describe la inercia de un disco de espesor l .

2.20 Rodamientos

Concepto

Los rodamientos son un tipo de soporte de ejes o cojinetes que emplean pequeños elementos rodantes para disminuir la fricción entre las superficies giratorias, dado que la resistencia de fricción por rodadura es menor que la resistencia de fricción por deslizamiento.

Las ventajas del empleo de los rodamientos en lugar de los cojinetes de fricción son:

- Menor fricción en los procesos transitorios (especialmente en el arranque)
- Poseen capacidad para soportar cargas combinadas radiales y axiales
- Exigen menor espacio axial.
- La lubricación es más sencilla y pueden trabajar a mayores temperaturas sin requerir mantenimiento riguroso.
- Fundamentalmente son elementos estandarizados y fáciles de seleccionar

Sin embargo presentan algunas desventajas frente a sus contrapartes de fricción:

- Tienen mayor peso.
- Exigen mayor espacio radial
- Su instalación posee algo de complejidad y dispositivos especiales.
- Poseen una durabilidad menor en virtud de las altas tensiones que deben soportar los elementos rodantes.

Descripción y Funcionalidad de los Rodamientos

El principio básico de funcionamiento de un rodamiento, radica en la reducción de la magnitud de la fuerza de rozamiento con la superficie base, introduciendo elementos rodantes pequeños, en consecuencia la fuerza de fricción opuesta al movimiento es mucho menor. Al introducir elementos rodantes se hace posible facilitar el movimiento entre los elementos en contacto por las características de rodadura propias de estos. Muchas veces, debido a esta circunstancia, estos elementos son llamados “cojinetes antifricción” pero en realidad la fricción está siempre presente aunque en menor magnitud.

En términos generales todos los rodamientos de contacto rodante están formados por las partes constructivas que se muestran en la figura 2.15. Aún así, existen excepciones. Algunos tipos de rodamientos no poseen sellos laterales, o por el contrario los tienen solo en una cara, muchos otros no tienen la jaula o rejilla y están completamente llenos de elementos rodantes. Algunos tipos de rodamientos no tienen anillo interior y ruedan directamente sobre la superficie del eje.

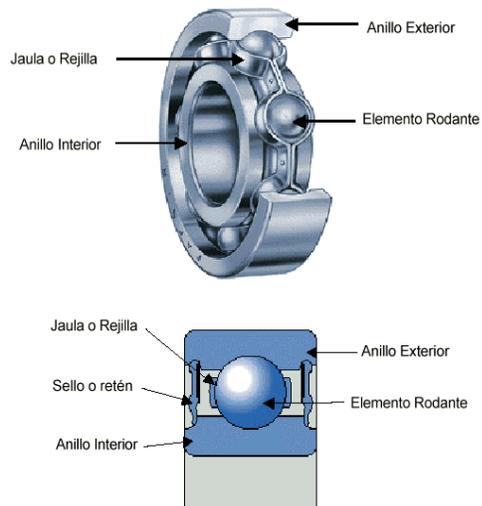


Figura 2.15. Partes del rodamiento
Fuente: <http://www.elprisma.com/apuntes/>

Existen diferentes tipos de rodamientos pero se pueden distinguir de acuerdo a la geometría de los elementos rodantes en los siguientes grupos:

- Rodamientos de bolas.
- Rodamientos de rodillos (Cilíndricos, Cónicos, Esféricos, de Agujas).

Los rodamientos de bolas son capaces de desarrollar velocidades más altas y los rodamientos de rodillos pueden soportar cargas más altas. De acuerdo al tipo de carga que deben soportar los rodamientos se dividen en:

- Rodamientos Radiales
- Rodamientos Axiales

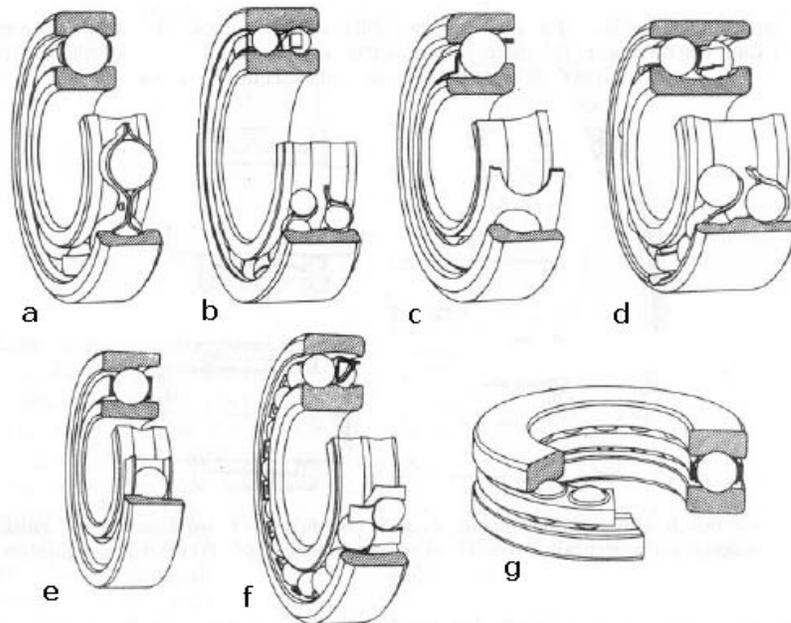


Figura 2.16. Rodamientos de bolas. (a) Rígido de una sola hilera (b) rígido de dos hileras (c) de contacto angular (d) de contacto angular de dos hileras (e) desmontable (f) oscilante (g) axial de simple efecto

Fuente: <http://www.elprisma.com/apuntes/>

En la Figura 2.16 se muestran algunos casos de rodamientos de bolas. Los rodamientos de bolas de dos hileras poseen razonablemente mayor capacidad de carga. Para aumentar la capacidad de carga radial se suelen utilizar rodamientos con abertura de entrada para bolas o los de contacto angular que permiten mayor número de bolas en contacto por hilera. Sin embargo este incremento de la capacidad de carga radial se produce a un costo de reducir la capacidad de carga axial. Para permitir desalineaciones considerables se utilizan rodamientos autoalineantes.

2.21 Sensor final de carrera

Dentro de los componentes electrónicos, el final de carrera o sensor de contacto es un dispositivo eléctrico, neumático o mecánico situado al final del

recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado.



Figura 2.17. Sensor final de carrera
Fuente: <http://www.elprisma.com/apuntes/>

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc. Los finales de carrera están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio.

2.22 Soldadura de arco

Dentro del campo de la soldadura industrial, la soldadura eléctrica manual al arco con electrodo revestido es la más utilizada. Para ello se emplean máquinas eléctricas de soldadura que básicamente consisten en transformadores que permiten modificar la corriente de la red de distribución, en una corriente tanto alterna como continua de tensión más baja, ajustando la intensidad necesaria según las características del trabajo a efectuar.

Los trabajos con este tipo de soldadura conllevan una serie de riesgos entre los que destacan los relacionados con el uso de la corriente eléctrica, los contactos eléctricos directos e indirectos; además existen otros que también se relacionan en esta NTP, cuyo objetivo es dar a conocer las características técnicas básicas de la soldadura eléctrica, los riesgos y sus factores de riesgo y los sistemas de prevención y protección. Además se dan normas de seguridad para la organización segura del puesto de trabajo, los equipos de protección individual y el mantenimiento e inspección del material.

Arco eléctrico

Para unir dos metales de igual o parecida naturaleza mediante soldadura eléctrica al arco es necesario calor y material de aporte (electrodos). El calor se obtiene mediante el mantenimiento de un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza a soldar (fig. 2.18). En este arco eléctrico a cada valor de la intensidad de corriente, corresponde una determinada tensión en función de su longitud. La relación intensidad/tensión establece la característica del arco. Para el encendido se necesita una tensión comprendida entre 40 y 110 VAC; esta tensión va descendiendo hasta valores de mantenimiento comprendidos entre 15 y 35 VAC, mientras que la intensidad de corriente aumenta notablemente, presentando todo el sistema una característica descendente, lo que unido a la limitación de la intensidad de corriente cuando el arco se ha cebado exige, para el perfecto control de ambas variables, la utilización de las máquinas eléctricas de soldadura.

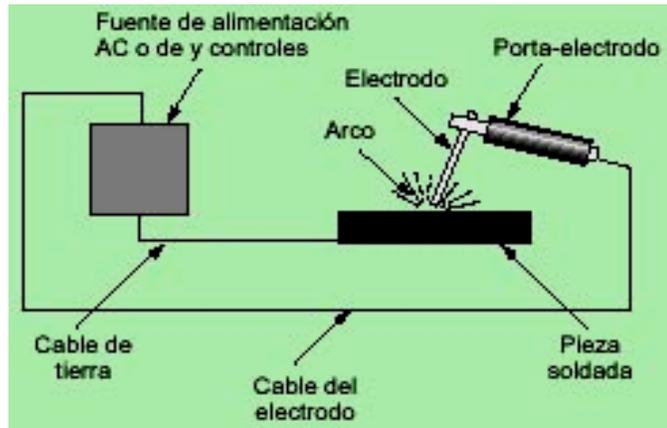


Figura 2.18. Esquema del proceso de soldadura por arco eléctrico
Fuente: <http://www.elprisma.com/apuntes/>

Equipos eléctricos de soldar

Están formadas por el circuito de alimentación y el equipo propiamente dicho. Sirven para reducir la tensión de red (220 o 380 V) a la tensión de cebado (entre 40 y 100 V) y de soldado (< 35 V) permitiendo regular la intensidad de la corriente de soldadura, asegurando el paso de la tensión de cebado a la de soldeo de forma rápida y automática. El circuito de alimentación está compuesto por un cable y clavija de conexión a la red y funcionando a la tensión de 220/380 VAC según los casos e intensidad variable.

Equipo de soldadura

En función del tipo de corriente del circuito de soldeo el equipo consta de partes diferentes. En equipos de corriente alterna, transformador y convertidor de frecuencia; en equipos de corriente continua, rectificador (de lámparas o seco) y convertidor (conmutatrices o grupos eléctricos).

Los equipos eléctricos de soldar más importantes son los convertidores de corriente alterna-continua y corriente continua-continua, los transformadores de corriente alterna-corriente alterna, los rectificadores y los transformadores convertidores de frecuencia. Además de tales elementos existen los cables de pinza y masa, el porta-electrodos y la pinza-masa, a una tensión de 40 a 100 V, que constituyen el circuito de soldeo.

2.23 Entorno de programación.

La instrumentación virtual

La instrumentación virtual es un concepto traducido por la compañía National Instruments (2001). En el año de 1983, Truchard y Kodosky, de National Instruments, decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera utilizar la computadora personal (PC) como un instrumento para realizar mediciones. Tres años fueron necesarios para crear la primera versión del software que permitió, de una manera gráfica y sencilla, diseñar un instrumento en la PC.

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal, como forma de reemplazar equipos físicos por software, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando un instrumento real. El usuario manipula un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora, tiene sus características definidas por software pero realiza las mismas funciones que un equipo real. La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", para ello se emplea un procesador que ejecute un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas. En muchas ocasiones el usuario final del sistema de instrumentación

sólo ve la representación gráfica de los indicadores y botones de control virtuales en la pantalla del ordenador.

El concepto de instrumentación virtual implica adquisición de señales, el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales, interfaz hombre-máquina, visualización, monitoreo y supervisión remota del proceso, la comunicación con otros equipos, etc.

Un sistema de instrumentación virtual está enfocado a los instrumentos encargados de medir señales, registrar datos y decidir las acciones de control, evidentemente, se requiere de una etapa de actuación, que conforma la interfaz entre la computadora y el sistema a controlar, por tanto esta etapa implicará drivers de potencia o transductores de señal especiales. Además, existen otras etapas auxiliares que no intervienen en el proceso de medida, como es el caso del subsistema de alimentación.

2.24 Visual Basic

La palabra "Visual" hace referencia al método que se utiliza para crear la interfaz gráfica de usuario (GUI). En lugar de escribir numerosas líneas de código para describir la apariencia y la ubicación de los elementos de la interfaz, simplemente puede agregarse objetos prefabricados en su lugar dentro de la pantalla. Si se ha utilizado alguna vez un programa de dibujo como Paint, ya se tiene la mayor parte de las habilidades necesarias para crear una interfaz de usuario efectiva.

La palabra "Basic" hace referencia al lenguaje BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code), un lenguaje utilizado por más programadores que ningún

otro lenguaje en la historia de la informática o computación. Visual Basic ha evolucionado a partir del lenguaje BASIC original y ahora contiene centenares de instrucciones, funciones y palabras clave, muchas de las cuales están directamente relacionadas con la interfaz gráfica de Windows. Los principiantes pueden crear aplicaciones útiles con sólo aprender unas pocas palabras clave, pero, al mismo tiempo, la eficacia del lenguaje permite a los profesionales acometer cualquier objetivo que pueda alcanzarse mediante cualquier otro lenguaje de programación de Windows.

La tecnología ActiveX™ permite usar la funcionalidad proporcionada por otras aplicaciones, como el procesador de textos Microsoft Word, la hoja de cálculo Microsoft Excel y otras aplicaciones Windows. Puede incluso automatizar las aplicaciones y los objetos creados con la Edición Profesional o la Edición Empresarial de Visual Basic.

2.25 Microprocesadores PIC

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instruments. El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es **PICmicro**, aunque generalmente se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (Controlador de Interfaz Periférico).

En 1965, la empresa GI creó una división de microelectrónica, GI Microelectronics División, que comenzó su andadura fabricando memorias EPROM y EEPROM, que conformaban las familias AY3-XXXX y AY5-XXXX. A principios de los años 70 diseñó el microprocesador de 16 bits CP1600, razonablemente bueno pero que no manejaba eficazmente las Entradas y Salidas. Para solventar este problema, en 1975 diseñó un chip destinado a controlar E/S: el PIC. Se trataba de un controlador rápido pero limitado y con pocas instrucciones pues iba a trabajar en combinación con el CP1600.

La arquitectura del PIC, que se comercializó a partir de 1975, era sustancialmente la misma que la de los actuales modelos PIC16C5X. En aquel momento se fabricaba con tecnología NMOS y el producto sólo se ofrecía con memoria ROM y con un pequeño pero robusto microcódigo.

Una de las razones del éxito de los PIC en el mercado se basa en su utilización. Cuando se aprende a manejar uno de ellos, conociendo su arquitectura y su repertorio de instrucciones, es muy fácil emplear otro modelo.

Características relevantes de un PIC

- La arquitectura del procesador sigue el modelo Harvard

En esta arquitectura, el CPU se conecta de forma independiente y con buses distintos con la memoria de instrucciones y con la de datos.

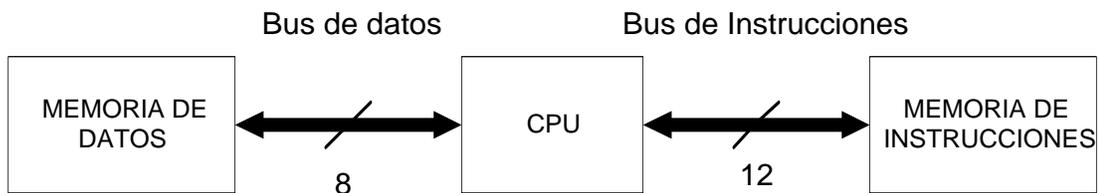


Figura 2.19. Arquitectura del procesador

Fuente: Todopic.com.ar/

La arquitectura Harvard permite al CPU acceder simultáneamente a las dos memorias. Además, propicia numerosas ventajas al funcionamiento del sistema como se irán describiendo.

- Se aplica la técnica de segmentación (“pipe-line”) en la ejecución de las instrucciones.

- La segmentación permite al procesador realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código de la siguiente. De esta forma se puede ejecutar cada instrucción en un ciclo (un ciclo de instrucción equivale a cuatro ciclos de reloj).
- Cualquier instrucción puede manejar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o como destino.
- Diversidad de modelos de microcontroladores con prestaciones y recursos diferentes.
- Herramientas de soporte potentes y económicas
- Son sistemas cerrados, ya que contiene todos los elementos de un computador en un solo chip.
- Son de propósito específico, es decir, son programados para realizar una única tarea.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de la Investigación.

Según los objetivos planteados en este trabajo de grado, el nivel de la investigación se define como descriptiva, ya que radica en la caracterización de un fenómeno con la finalidad de establecer su comportamiento; es una investigación correlacional, cuyo objeto es conocer como se puede comportar una variable o concepto conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas.

3.2 Diseño de la investigación.

La investigación se desarrollará con tres tipos de encuesta, que permitirán cumplir con los objetivos planteados, **una histórica o documental** que consistirá en recopilar toda la información que permita conocer los aspectos teóricos necesarios para el desarrollo de un sistema de comunicación entre el recolector de datos y un procesador, así como para el desarrollo del modelo físico y matemático a utilizar; una **descriptiva o de campo**, que plantea describir, registrar, analizar e interpretar la naturaleza actual de la máquina existente y las variables que puede manejar, y por último, **una experimental**, en la que se desarrollarán las herramientas necesarias para comprobar que las variables manipuladas por los equipos instalados en dicha máquina se encuentran dentro de los rangos necesarios para realizar los ensayos didácticos de laboratorio.

Tabla 3.1. Cuadro técnico metodológico

| OBJETIVOS | CATEGORIA | ITEMS | INSTRUMENTO | FUENTE |
|--|------------------|--|--|------------------------|
| Diagnosticar el estado actual de la máquina | Diagnóstico | ¿Cómo se encuentra el equipo? | Observación y descripción | Autores |
| Identificar los datos cinemáticos obtenidos a través de los sensores existentes | Definición | ¿Cómo funciona la máquina? | Operación de la máquina y chequeo de componentes | Autores |
| Identificar los objetivos Académicos para los cuales puede ser utilizado el banco | Definición | ¿Cuál es la aplicabilidad del banco de ensayo? | Contenido programático de materias relacionadas | Coordinación Académica |
| Diseñar un sistema capaz de captar los datos identificados y transmitirlos a un computador | Diseño | ¿Cómo se captan las señales de los sensores? | Microprocesador | Autores |
| Construir un sistema capaz de captar los datos identificados y transmitirlos al computador | Construcción | ¿Cómo se comunican los datos obtenidos por el microprocesador? | Tarjeta de conexión y cableado | Autores |

(Continuación) Tabla 3.1. Cuadro técnico metodológico

| OBJETIVOS | CATEGORIA | ITEMS | INSTRUMENTO | FUENTE |
|---|------------------|---|---|--|
| Diseño de una interfaz gráfica Que permita utilizar los datos | Diseño | ¿Cómo se captan los datos obtenidos por el computador? | Programación bajo lenguaje visual basic y aplicación de microsoft excel | Autores |
| Elaboración de una interfaz gráfica que permita utilizar los Datos | Construcción | ¿Cómo se procesan los datos captados por el computador? | Programa con plataformas Visual basic y microsoft Excel | Autores |
| Validar los datos obtenidos | Validación | ¿Cómo se validan los datos obtenidos por los sensores ? | Opto-lector de velocidad Angular | Lab. Termica Ingeniería Mecánica |
| Elaborar los manuales de operación y procedimientos del banco de ensayo | Operación | ¿Cómo se opera el banco de ensayo? | Operación de la máquina y definición de parámetros | Autores |

Para el logro de los objetivos propuestos, se presentan a continuación una secuencia lógica de pasos que describen la metodología utilizada.

- Diagnóstico del estado actual del equipo.
- Estudio del funcionamiento mecánico e instrumental del equipo.
- Listado de piezas funcionales y faltantes en el equipo.
- Identificación de los posibles datos a obtener por parte de los sensores existentes en la máquina.
- Selección de los componentes electrónicos de recolección de datos.
- Desarrollo de un sistema capaz de captar los datos identificados y transmitirlos a un computador.
- Estudio de las ecuaciones involucradas.
- Identificación de los objetivos académicos para los cuales puede ser aplicado el uso del equipo.
- Validación de los datos obtenidos.
- Diseño de los ensayos
- Elaboración de los manuales de procedimientos para la operación del equipo.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Diagnóstico del estado actual del equipo

Durante la recolección de información acerca de los antecedentes del banco de ensayo y su uso en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo en años anteriores, se evidenció que no existe ninguna prueba física de que alguna vez el equipo haya sido comprado o donado, aunque se logró conseguir un antiguo manual del equipo, que describe a grosso modo sus partes y su funcionamiento original. La máquina se encuentra en el laboratorio de procesos de fabricación de la facultad de ingeniería, allí trabaja un grupo de técnicos encargados por turnos rotativos en horarios definidos, algunos de estos trabajadores han laborado allí por más de veinte años, como es el caso de Néstor Gonzáles, quien al entrevistarlo negó haber visto alguna vez a la máquina funcionando, como banco de ensayo; desde su ingreso hasta ahora no ha tenido aplicación que pueda evidenciarse.

Al entrevistar al Profesor Edwin Peña, miembro del Departamento de Diseño Mecánico y Automatización de la Escuela de Ingeniería Mecánica, éste informó que en años pasados fueron realizados dos proyectos en pro de la reparación del mecanismo de la máquina; se encontró evidencia en dos trabajos hechos por estudiantes de la materia Proyectos III en los semestre 2º/2003 y 1º/2004, bajo la tutela del mismo profesor, en los cuales construyeron e instalaron algunas piezas mecánicas faltantes o dañadas del banco de ensayo, tales como rodamientos y engranajes, dejando el equipo mecánicamente operativo, pero no funcional para los fines didácticos.

El tren de engranajes que se estudia en este trabajo de grado (ver figura 4.1) consta de cuatro ejes (nombrados del 1 al 4) unidos por 3 pares de engranajes, a

través de los cuales se transmite la potencia, el tren posee 4 discos de inercia móviles (uno en cada eje) y un volante fijo (en el eje 4, el más rápido), posee una relación de transmisión total de 40 y cada eje consta de dos rodamientos de bola bien lubricados y ajustados en cada extremo, en su eje más lento (eje 1) se encuentra la carrilera, en el que se bobina el hilo metálico de donde pende la masa inductora, dicho bobinado se hace a través de una manivela.

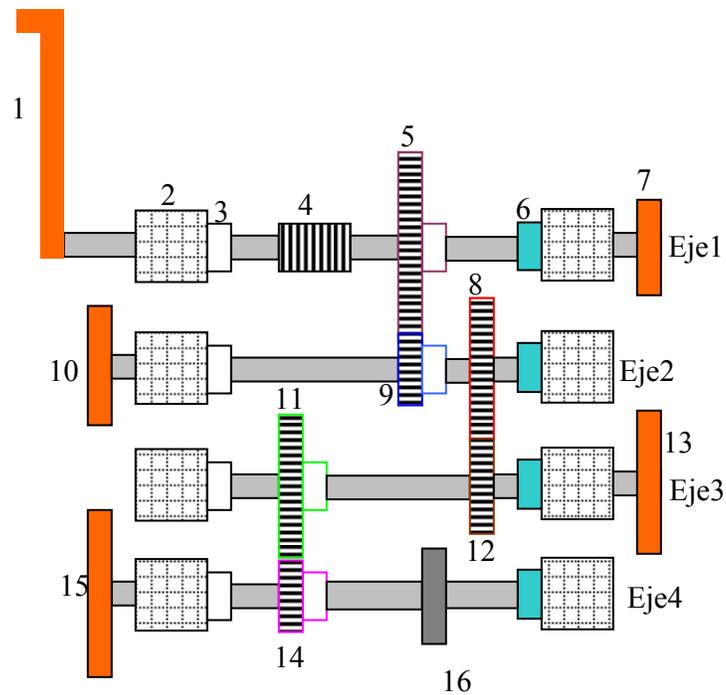


Figura 4.1. Vista de planta de los ejes

1.- Manivela, 2. Soportes (dos por eje), 3. Ajusta rodamiento (una por eje), 4. Carrilera de bobinado, 5. Engranaje 1 (eje 1), 6. Leva y ajusta rodamiento (una por eje), 7. Volante móvil de inercia, 8. Engranaje 2 (eje 2), 9. Engranaje 3 (eje2), 10. Volante móvil de inercia, 11. Engranaje 4 (eje3). 12. Engranaje 5 (eje3). 13. Volante móvil de inercia, 14. Engranaje 6 (eje 4), 15. Volante móvil de inercia, 16. Volante fijo de inercia

4.2 Estudio del funcionamiento mecánico e instrumental del equipo.

A través de la puesta en funcionamiento del equipo se evidenciaron las condiciones del mismo, denotando el deterioro parcial en algunas de sus partes, la obsolescencia de otras y la necesidad de la incorporación de piezas y partes nuevas que lo adecúen a las necesidades y tecnología actual, indispensables para un instrumento didáctico de la sociedad moderna. Los mecanismos presentes se encuentran en condiciones operativas; la máquina posee detectores, sensores final de carrera, los cuales luego de verificarles la continuidad eléctrica de sus contactos es posible afirmar que se encuentran operativos. En la figura 4.2 se muestra el estado inicial del banco de ensayo.



Figura 4.2. Estado inicial de la máquina

En cuanto a los ejes de la máquina, éstos rotan sin problema y los engranajes se encuentran completos e íntegros, presentan vestigios de corrosión (tratables) en muchas de sus partes, la estructura que los soporta es sólida, posee un sistema antiguo

de lectura de datos basado en un rodillo y transformadores parcialmente destruido e inservible; en cuanto a los sensores de contacto y su cableado, como se mencionó anteriormente, están funcionales, el mecanismo de sujeción de las pesas, presentó desgaste; siendo recuperable, las pesas y los discos de inercia están completos, la carcasa protectora formada por un acrílico estaba desprendida del banco, y en general, todas las piezas y la estructura requerían mantenimiento.

En vista de las condiciones presentadas por el equipo, se procedió a realizar un mantenimiento, el cual consistió en desarmar por completo el banco, los ejes y sus componentes.

Inicialmente se realizó el desacople de los engranajes, sacando su ejes; se realizó la extracción segura de todos los engranajes y rodamientos de los mismos. Una vez separadas todas las piezas e inspeccionados los niveles de corrosión, se procedió a aplicar a cada pieza una sustancia removedora de óxido (de la casa SQ), y utilizando un pequeño cepillo se removieron los vestigios que habían. Cabe destacar que el proceso de extracción se realizó con un instrumento especial llamado extractor, que permite sacar los rodamientos de sus ejes sin dañarlos.

Siguiendo con el proceso de renovación, se procedió a cubrir con una pequeña película de grasa de alta calidad a todos los engranajes y los ejes, con la finalidad de desacelerar el proceso natural de corrosión; luego se pintaron los volantes móviles, la estructura portadora y la manivela, para luego proceder a armar de nuevo el equipo. Para la inserción de los rodamientos en el eje se lubricó y calentó un poco este último, facilitando así esta tarea. En las figura 4.3 y 4.2, se muestra la comparación entre el estado inicial y el posterior al mantenimiento del equipo.

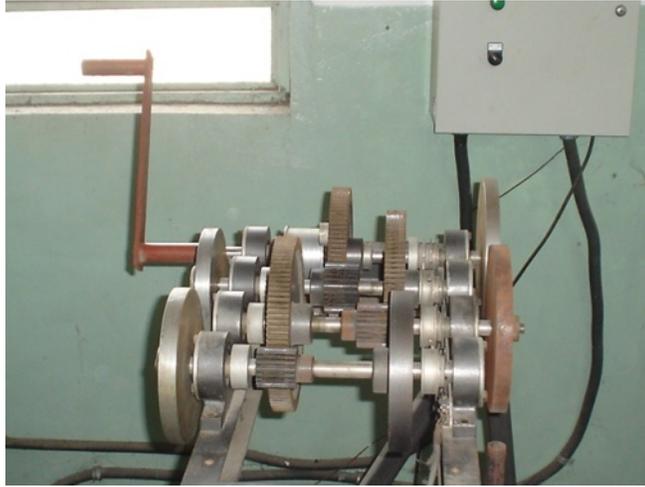


Figura 4.3. Aspecto inicial del equipo

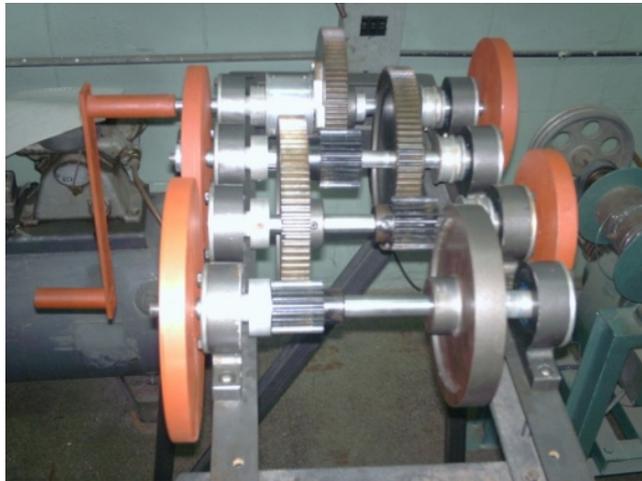


Figura 4.4. Aspecto posterior al mantenimiento.

4.3 Listado de piezas

En la tabla 4.1 se presenta el listado de las piezas que conforman el equipo, luego de la inspección inicial.

Tabla 4.1. Piezas existentes del equipo

| N° | Cantidad | Nombre | Descripción | Función |
|----|----------|------------------------------|--|--|
| 1 | 1 | Estructura de la máquina | Una combinación de tubos de sección cuadrada, circulares y ángulos soldadas con dimensiones totales de ancho = 86.6 cm alto = 150 cm y largo = 109 cm | Base del banco |
| 2 | 15 | Disco de peso | Masas comprendidas entre 500 g, y 5000 g. | Usados para ejercer el empuje necesario para mover el eje 1 |
| 3 | 1 | Mecanismo graficador | Mecanismo graficador de aguja, rodillo y transformadores pequeños | Tomar las lecturas de todos los sensores Y graficar cambios |
| 4 | 4 | Eje | Ejes del mismo diámetro(1,91 cm) con canales longitudinales, eje 1 de largo=4,75cm, masa= 700g, y ejes 2,3,4 de largo=3,70cm, y masa= 650 g. | Transmitir la potencia de entrada del eje 1 a los demás ejes |
| 5 | 8 | Chumaceras | N/A | Mantener lubricados los rodamientos |
| 6 | 8 | Rodamientos | Dobles de bola ancho: 1,4 cm | Permitir el Desplazamiento angular de los ejes |
| 7 | 5 | Discos de volante de inercia | Volantes de inercia : $I_{1movil}=0.03933 \text{ kg.m}^2$ $I_{2movil}=0.0117\text{kg.m}^2$ $I_{3movil}=0.0242 \text{ kg.m}^2$ $I_{4movil}=0.01449\text{kg.m}^2$ $I_{5fijoeje4}=0.01296\text{kg.m}^2$ | Balancear y frenar los ejes para fines didácticos. |

Rojo = inutilizable o inoperativo

(Continuación) Tabla 4.1. Piezas existentes del equipo

| Nº | Cantidad | Nombre | Descripción | Función |
|-----------|-----------------|---------------------------|--|--|
| 8 | 1 | Engranaje en eje 1 | Engranaje recto de diámetro=2,85cm, espesor=0,256cm, 90 dientes, masa=4700g | Transmitir la potencia de entrada a eje 2 |
| 9 | 1 | Engranaje piñón en eje 2 | Engranaje recto de diámetro=0,578cm, espesor=0,447cm, 30 dientes, masa=1230g | Recibir la potencia transmitida por el eje 1 |
| 10 | 1 | Engranaje corona en eje 2 | Engranaje recto de diámetro=1,96cm, espesor=0,255cm, 96 dientes, masa=4000g | Transmitir la potencia al eje 3 |
| 11 | 1 | Engranaje piñón en eje 3 | Engranaje recto de diámetro=0,455cm, espesor=0,447cm, 24 dientes, masa=710g | Recibir la potencia transmitida por el eje 2 |
| 12 | 1 | Engranaje corona en eje 3 | Engranaje recto de diámetro=2,05cm, espesor=0,257cm, 100 dientes, masa=4200g | Transmitir la potencia al eje 4 |
| 13 | 1 | Engranaje en eje 4 | Engranaje recto de diámetro=0,578cm, espesor=0,447cm, 20 dientes, masa=450g | Recibir la potencia transmitida por el eje 3 |

(Continuación) Tabla 4.1. Piezas existentes del equipo

| Nº | Cantidad | Nombre | Descripción | Función |
|----|----------|----------------------|--|---|
| 15 | 6 | Sensores de contacto | Finales de carrera limit switch | Sensar la velocidad Angular en cada eje |
| 16 | 1 | Manivela | Palanca metálica con extremo estriado para acoplar al eje 1 | Hacer girar al eje 1 para enrollar la guaya en la carrilera |
| 17 | 6 | Levas | Elemento de aluminio atornilladas sobre el eje. ancho=0,413cm, masa=380g | Activar y desactivar los sensores para definir una posición |
| 18 | 1 | Carrilera | Pieza de aluminio acoplada al eje mas Lento(1) de diámetro=0,83cm y ancho=0,55cm, masa=1260g | Enrollar la guaya que sujeta las pesas |
| 19 | 1 | Sujetador | Elemento sujetador de pesas variables con su cable compuesto por una barra para guiar las pesas y dos discos. masa=2100g | Sujetar los distintos pesos requeridos |
| 20 | 1 | Lámina protectora | Pieza Compuesta por material acrílico sujetado a la estructura del banco a través de tornillos | Dar protección sobre el sistema, y para evitar contactos con este en funcionamiento |

Rojo = inutilizable o inoperativo

4.4 Diseño y construcción de las piezas o partes faltantes

- Estructura de soporte del computador y sus partes

La estructura original poseía una especie de caja que contenía el antiguo sistema graficador, pero al observarla y estudiarla se tomó la decisión de construir una nueva estructura a medida y desde cero, para el nuevo computador, ya que no se adecuaba a las necesidades del mismo.

Con la finalidad de ilustrar, en las figuras 4.5 y 4.6 se presenta el estado de la estructura antes y después de su diagnóstico y mantenimiento:



Figuras 4.5. Antigua estructura del sistema graficador



Figura 4.6. Nueva estructura del computador y sus partes

Cabe destacar que la estructura que sostiene el tren de engranajes es pesada y rígida, capaz de soportar las modificaciones adicionales y partes que se agregaron, ya que al final el peso de los nuevos componentes no supera el de los anteriores.

- Freno del tren de engranajes

El freno del tren de engranajes es una carencia original del equipo, nunca lo tuvo, pero con fines de seguridad y control del tiempo de los ensayos a realizar, se decidió la colocación de uno. Este freno es manual y se encuentra ubicado a pocos centímetros del eje mas rápido y con solo girarlo es aplicado. A continuación se presenta una fotografía del mismo:

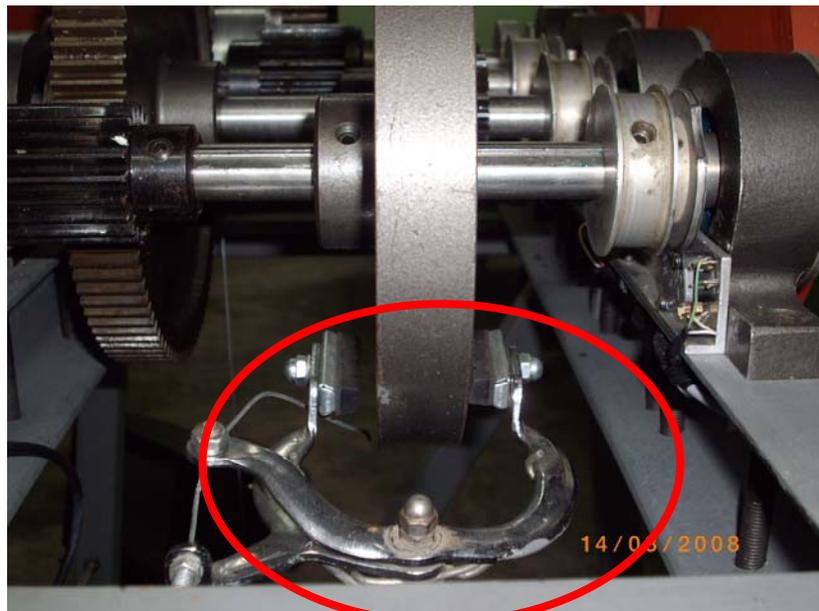


Figura 4.7. Sistema de frenado

4.5 Identificación de los datos cinemáticos posibles de obtener a través de los sensores existentes en la máquina.

Los sensores existentes en la máquina son de tipo final de carrera, que al ser conmutados dos veces sucesivas por medio de levas alineadas y acopladas a cada eje, permiten medir el tiempo de una revolución o desplazamiento angular. La leva del eje más lento posee cuatro puntos de toma de datos, el segundo eje más lento posee dos y

los otros dos ejes, solo poseen un punto de toma, todo esto, con la finalidad de obtener una lectura precisa. En las figuras 4.8 y 4.9 se muestran los sensores existentes en el banco.



Figura 4.8. Sensor final de carrera

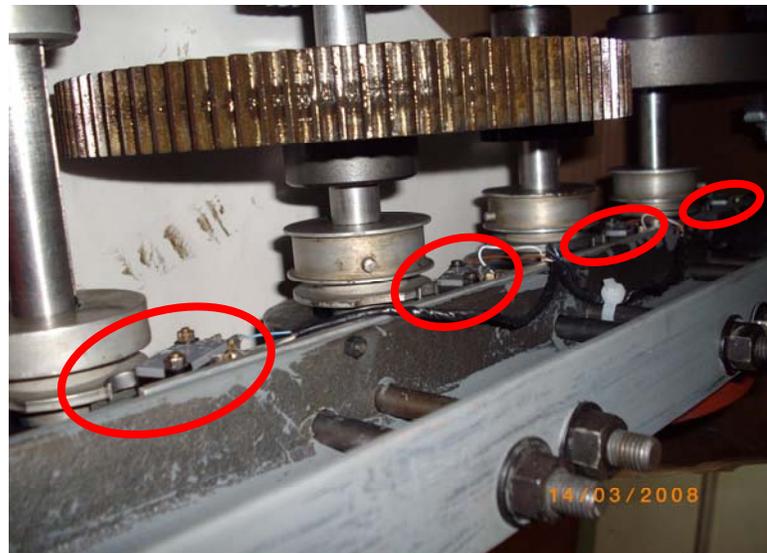


Figura 4.9. Vista de todos los sensores final de carrera

En este banco de ensayo existen dos tipos de variables, las directas y las indirectas, para el presente proyecto la única variable directa es el cambio de nivel en la periferia de las levas tomado por los sensores de contacto, y entre las indirectas

están: la velocidad y la aceleración, así como las cargas que inducen el movimiento con sus respectivas reacciones.

El mecanismo en sí posee masa asociada a sus componentes (adicional a los volantes móviles que tiene cada eje); cada engrane y hasta el mismo eje aportan una inercia fija y conocida al sistema, que debe ser tomada en cuenta en los cálculos a realizar, para así obtener un modelo matemático que sea lo más cercano posible a la realidad.

4.6 Selección de los elementos constituyentes del sistema de recolección de datos.

Recopilación de la información

Antes de hacer referencia a cualquier tipo de selección o investigación se debe hacer notar las características mínimas necesarias que debe tener el o los equipos electrónicos captadores de datos, y estas se muestran a continuación:

- a. Debe poder manejar al menos cuatro (4) entradas de señales digitales, que es igual al número total de sensores de contacto existentes en la máquina.
- b. Debe poseer un período de muestreo preciso para captar el tiempo entre cada cambio de estado del sensor. La lectura mínima debe estar por el orden de los 50 ms, ya que las velocidades angulares para las cuales fue diseñado el banco (en el eje más rápido) llegan a éste valor por vuelta.
- c. El dispositivo debe ser capaz de realizar operaciones matemáticas básicas, como suma, resta, multiplicación y división, incluyendo la combinación de ellas.
- d. Debe poseer recursos que permitan la transferencia de datos entre el dispositivo electrónico y la interfaz con el usuario (PC).

Selección de los dispositivos

Conociendo el rango de los valores de las variables que maneja el equipo (la base de tiempo es en el orden de milisegundos), y la disponibilidad de dispositivos en el mercado, se procedió a seleccionar de los catálogos de diversas empresas fabricantes, los dispositivos que mejor se ajustan a las necesidades del diseño.

De la gran variedad de instrumentos electrónicos capaces de captar señales digitales existentes, por razones económicas, y de acceso ya que se consiguen sin dificultad en el mercado local, se seleccionó un microprocesador o kit PCB-A28 de la casa “Rosso-control”, con las siguientes características:

- Elaborado en base a lámina de FR-4 de 0.062”, con 1.25 onzas de cobre (grosor de cobre de 0.0017”)
- Temperatura máxima de operación de 125 °C
- Dimensiones de 2.460” x 1.93”
- Posee 16 terminales de E/S digitales disponibles y Posee 4 terminales E/S digitales o analógicos
- Cuatro salidas digitales con LED’s preconectados
- Interfaz de programación lista para conectar directamente al PC
- Un microprocesador PIC 16F876 “ATOM”
- Fuente de poder y regulador de 5 Vdc y Pulsador reset

Características del hardware:

- 384 bytes de memoria RAM
- 8 Kwords de memoria de programa Flash re-programable
- 256 bytes de memoria EEPROM
- USART (comunicación serial)
- 2 módulos ccp (capture/compare/PWM) y 3 temporizadores
- 8 posibles fuentes de interrupción

Características mínimas del computador:

- Procesador Pentium 233Mhz o superior, con Windows 9x, 2000. NT4 o superior.
- Unidad de CD-ROM, Mouse y teclado
- Puerto de comunicaciones (COM)

4.7 Desarrollo del sistema captador de los datos identificados y transmisor de los mismos al computador

Inicialmente se explicará cómo se realiza la captación de datos; en la figura 4.11 se observa la vista lateral de un eje, donde se ve la leva y el sensor; el sensor va a tener dos posiciones, conmutado y no conmutado; para efectos de la programación lógica, al girar el eje, se tiene que el sensor no emite señal alguna al estar presionado, eso se va a llamar “0”, mostrada en la trayectoria roja; y emite una señal, al dejar de estar presionado, se llamará “1”, mostrada en la trayectoria azul.

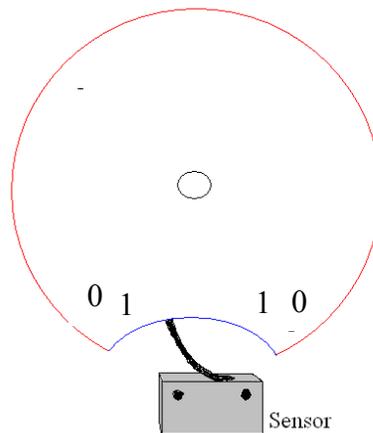


Figura 4.10. Sensor y leva

El sistema completo de captación y transmisión de datos esta comprendido por: un conjunto de sensores receptores de señales (4), un microprocesador que

capta y traduce las señales de los sensores y un computador que recibe la información suministrada por el PIC y la procesa para proporcionar las variables de salida deseadas. (Ver figura 4.12)

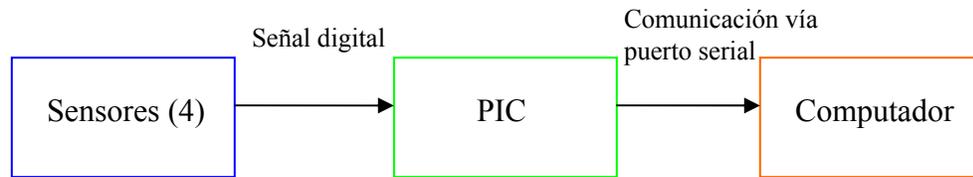


Figura 4.11. Esquema de comunicación entre partes del sistema
Fuente: Los autores

El programa que recibe la señal del PIC realiza dos conteos por leva, uno que marca el tiempo real o instante preciso en que pasa un cambio de estado de “1” a “0” (ejemplo: $t_1=1.2s$, $t_2= 2.3s$, $t_3= 4.1s$, $t_4=6.8s$, ... t_n), y otro, cuenta un $\Delta t = t_{n+1} - t_n$, es decir, relativo, que cuenta el tiempo que tarda la leva de un cambio de estado “1” a “0”, a otro igual.

Con el tiempo que tarda en dar una vuelta, se obtiene la velocidad angular, y, se obtendrá como dato tantas velocidades angulares como vueltas dé el eje en el tiempo de la captación.

Adicionalmente se debe saber que debido a que el eje número 1 es el mas lento, su leva tiene cuatro puntos de toma (ver figura 4.13) , es decir, cuatro curvaturas convexas, donde el sensor tomará el tiempo en esta tardará en dar un cuarto de vuelta; de manera similar el segundo eje más lento, es decir, el segundo, posee una leva con dos curvaturas convexas, de donde se obtienen lecturas del tiempo

en dar cada media vuelta. En la figuras 4.13, 4.14 y 4.15 se muestran unos esquemas de las levas de cada eje.

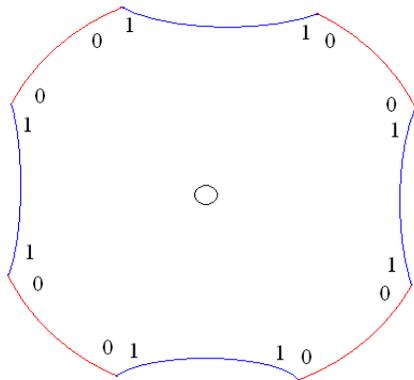


Figura 4.12. Esquema leva eje 1

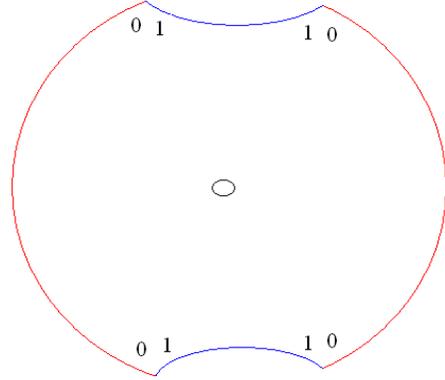


Figura 4.13. Esquema leva eje 2

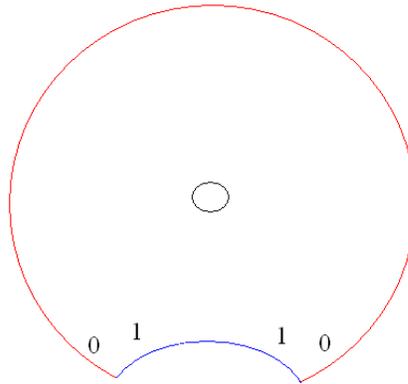
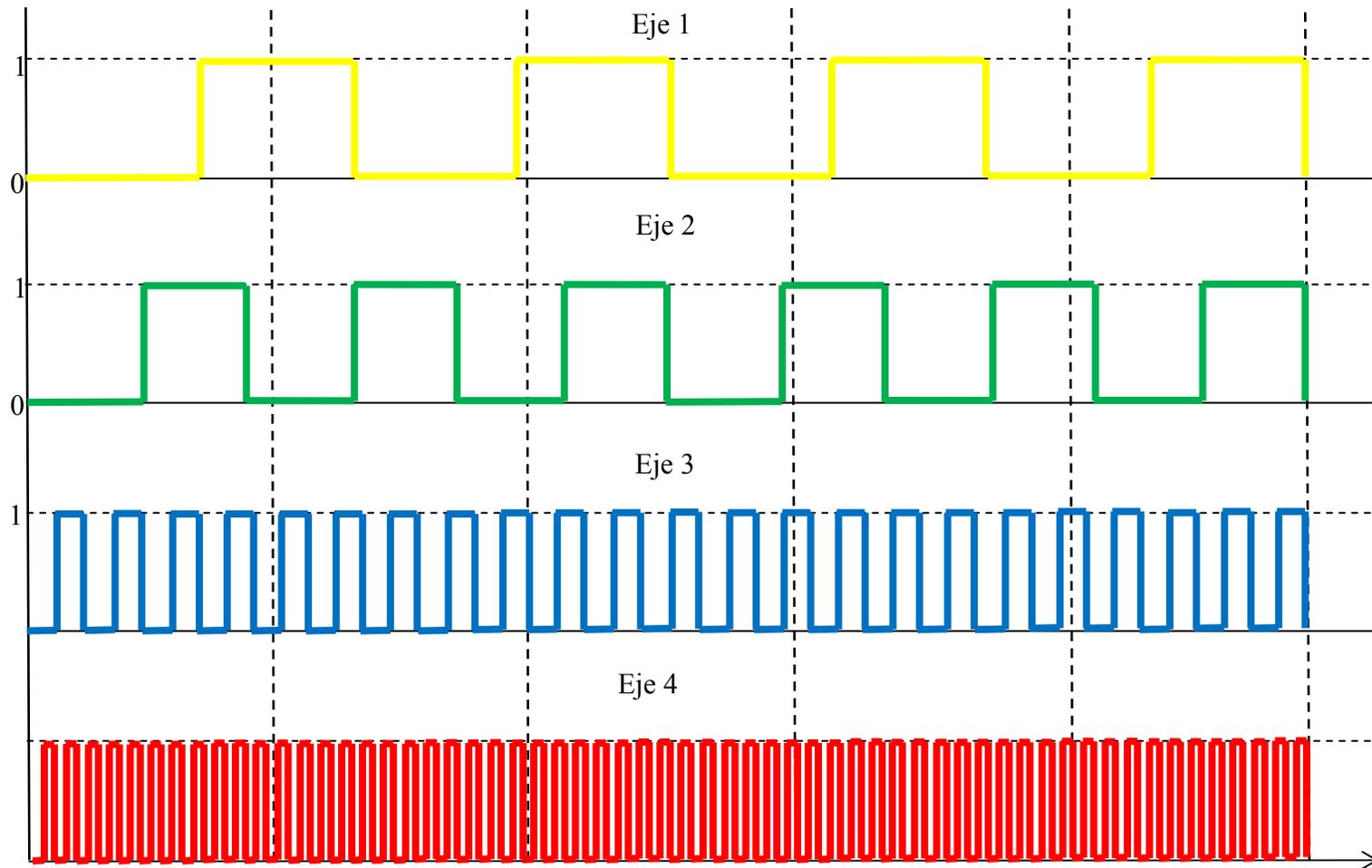


Figura 4.14. Esquema leva eje 3 y 4

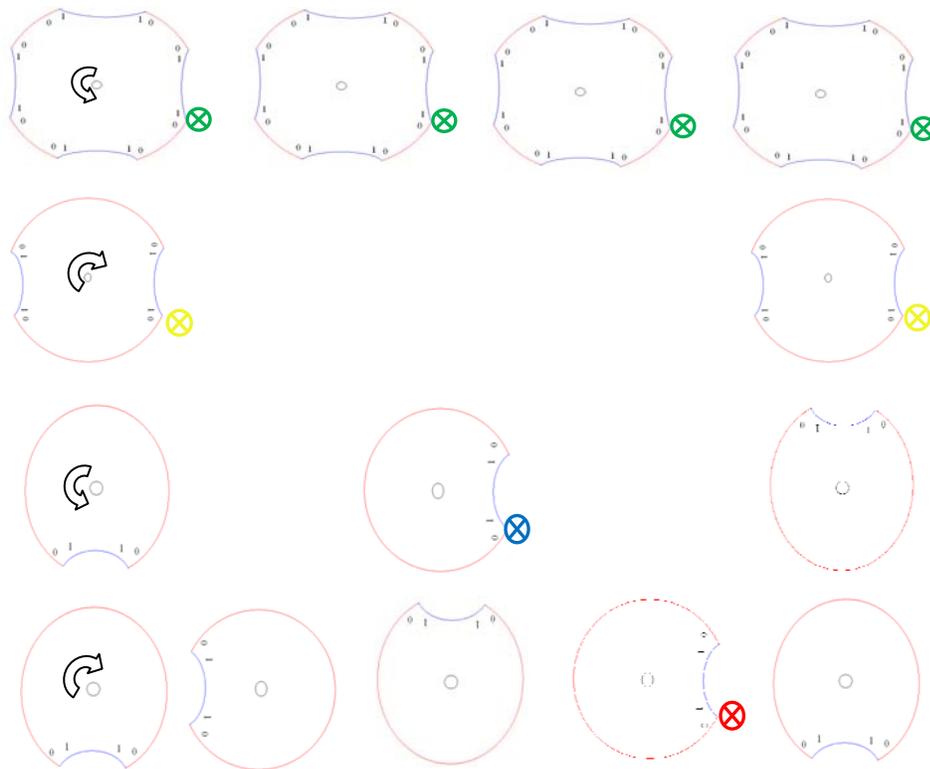
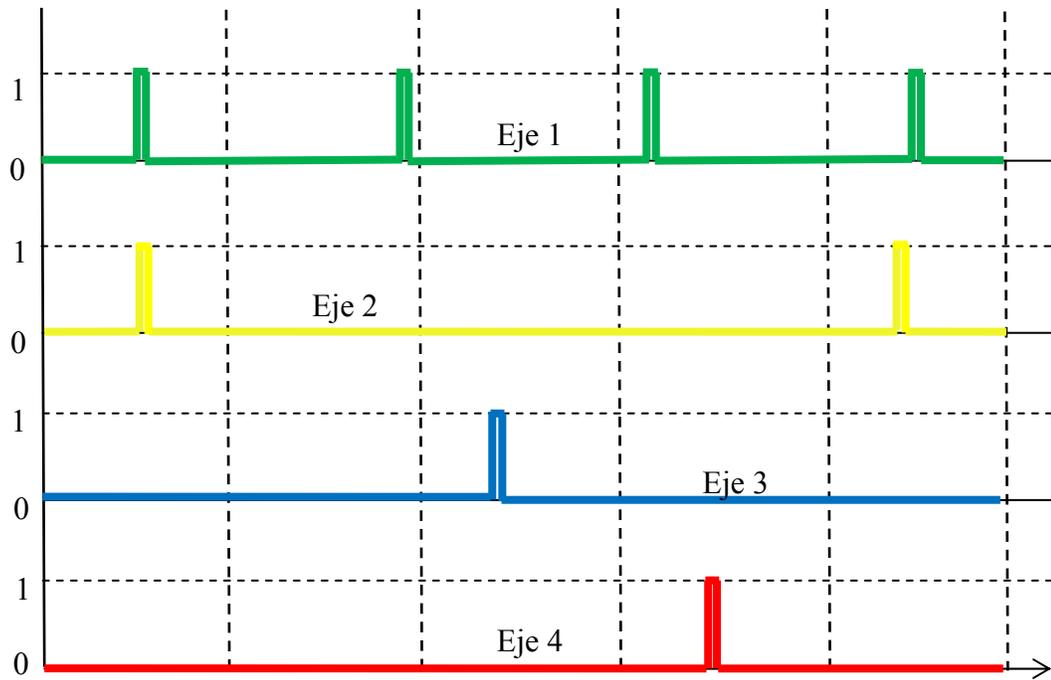
En la gráfica 4.1 se representa el diagrama de fase de conmutación y tiempo de cada eje, y en la gráfica 4.2 se representa el diagrama de conmutación vs. Vuelta del eje.

Grafico 4.1 Diagrama de fase de Conmutación vs Tiempo en cada eje



Fuente: los autores

Grafico 4.2 Diagrama de Conmutación vs Vuelta(1).



Como ya se explicó la captación se hace por medio de unos sensores de final de carrera (limit switch), con la ayuda de las levas que cada eje posee, estas señales son captadas por el dispositivo seleccionado (PIC) procesadas y enviadas a un computador por medio de una comunicación vía puerto serial.

El PIC ATOM fue programado para transmitir datos en forma de cadena de caracteres al ser conmutado uno de los pines, comprendidos entre el pin 4 y el 7; cuando el final de carrera esta conmutado (presionado), el pin conectado detecta un cero (0) como entrada, lo que resulta en ninguna acción, cuando el final de carrera esta no conmutado (sin presionar), el pin conectado detecta un uno (1) como entrada, lo cual resulta en ninguna acción, es el cambio de estado de uno (1) a cero (0) que es considerado como una señal, marcando y grabando en una base de datos el instante de tiempo en que se produce este cambio.

Para la cuenta del tiempo (en milisegundos) se utilizaron unas librerías del mismo sistema operativo (API) debido a que el control, que por defecto proporciona Visual Basic (timer), no es lo suficientemente preciso para esta labor, la rutina se guardo en un módulo (Module1) para su posterior uso.

Con el fin de grabar la información de forma permanente en disco y a modo de seguridad se utiliza una base de datos hecha en Access 2003 la cual contiene una tabla (llamada datos) y dentro de ésta los campos utilizados para el proceso: biela/la biela activada, tiempo/milisegundos de contacto, vuelta/tiempo de una revolución y Ax/coeficiente que representa las revoluciones por minuto de la leva.

La conexión del sistema principal a la base de datos esta hecha en ADO (ActiveX Data Objects) definida con una cadena de conexión (Conexión Maestra) apuntando al directorio donde se encuentre el archivo ejecutable. La conexión por el puerto de comunicaciones se realiza mediante un control proporcionado por Visual

Basic llamado Ms Com32 el cual esta configurado para ser conectado al puerto COM1 con una velocidad de 57.6 kbps. Se creó una tabla en memoria (RsTempSerial) para el almacenamiento de la información al momento de la captura y la misma va asignada a un control (DataGrid) tipo hoja de cálculo que muestra los registros y campos.

Durante el tiempo que dura la captura de los datos el evento del control Ms Comm32 se activa y al hacer una pulsación de cualquiera de los cuatro contactos (conectados a IN4,IN5,IN6,IN7) de la tarjeta se envía una cadena de caracteres específicos de ceros y unos; dependiendo del (o los) contactos que se hallan activado la tarjeta envía, por ejemplo, para el primero (IN4) la cadena "1000" para el segundo y el tercero envía "0110" y así sucesivamente. Esta cadena es evaluada en el programa de procesamiento separando los caracteres 0 y 1 y enviando la información a la tabla que se creó en memoria se almacenan los datos necesarios para poder interpretar la cadena y los tiempos requeridos.



Figura 4.15 Microprocesador PIC .

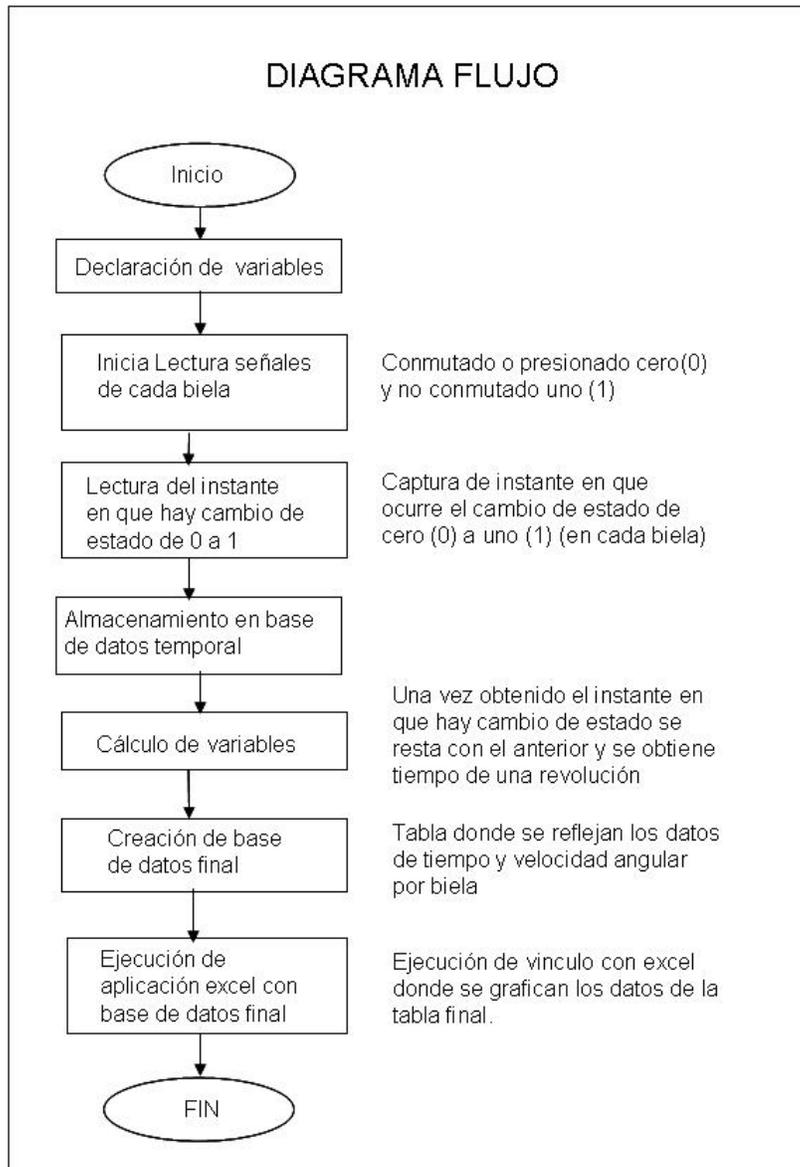


Figura 4.16. Diagrama de flujo de programa de captación
Fuente: Los autores

4.8 Estudio de las ecuaciones involucradas.

Antes de que un cuerpo empiece un movimiento, lo primero que debe hacer es vencer la inercia (1ra Ley de Newton) en un tren de engranajes, al ser aplicada una Fuerza fija, como es el caso el eje empieza a moverse con una aceleración

aproximadamente constante hasta alcanzar una velocidad angular fija, entonces se vence por completo la inercia total del mecanismo y tiende a estabilizarse.

Si se estudia cada eje por separado, la inercia de los elementos fijos del eje 1 se calcula mediante la ecuación 4.1.

$$I_{fija1} = I_{eje} + 2I_{separador} + I_{carrilera} + I_{engranaje} \quad 4.1$$

Aplicando las ecuaciones de inercia de un cilindro o disco (ecuación 2.36) se obtiene lo siguiente:

$$I_{fija1} = 0,04322 \text{ kg m}^2$$

Aplicando el mismo principio se obtienen las inercias móviles o de los volantes de los discos móviles del sistema, tal como se presenta en la tabla 4.1.

Tabla 4.2 Inercias fijas y móviles

| Inercia | Valor (kg m ²) |
|-----------------------|----------------------------|
| I _{fija1} | 0,04322 |
| I _{fija2} | 0,01786 |
| I _{fija3} | 0,02019 |
| I _{fija4} | 0,01063 |
| I _{volante1} | 0,03933 |
| I _{volante2} | 0,0117 |
| I _{volante3} | 0,0242 |
| I _{volante4} | 0,01499 |

El peso que pende del cable bobinado en la carrilera representa la potencia fija de un motor (T_m), el peso de las masas involucradas presenta la inercia a vencer, las fuerzas de reacción y las pérdidas (T_l) equivalen al consumo de la potencia. Esquematisando el caso, se obtendría lo mostrado en la figura 4.17.

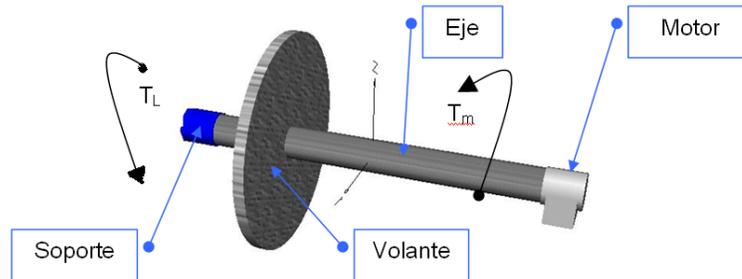


Figura 4.17. Esquema de un eje genérico
 Fuente: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.html>

Donde el volante representa la inercia de la masa total que tiene el eje y sus componentes, haciendo uso de la segunda ley de Newton que dice así:

“La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional al producto de su masa y su aceleración”

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad 4.2$$

Si se aplica este principio físico al movimiento angular de un eje se tiene la siguiente expresión:

$$\sum T = I_{total} \cdot \alpha \quad 4.3$$

, donde:

$\sum T$: es la sumatoria de los torques que hay en el eje

I_{total} : es la inercia total de cada masa presente en el eje

α : es la aceleración angular

Al estudiar el fenómeno físico ocurrido en el banco de ensayo, se evidencian tres tipos de pérdidas de energía; una pérdida producida por efecto de la fuerza de roce en los **rodamientos**, la cual depende del estado de lubricación, la presencia o ausencia de sucio y la integridad física del rodamiento en cuestión, la segunda

I_{fija-1} es la inercia generada por cada componente del eje 1 excepto el volante móvil 1.

$I_{volante-1}$: es la inercia del volante móvil del eje 1

α_1 : es la aceleración angular del eje 1

El torque motriz del eje 1 viene dado por el producto del peso de la masa inductora del movimiento y el brazo de la carrilera que contiene el bobinado, expresado por la ecuación 4.5 y 4.6.

$$F_{m1} = m_{motriz} \cdot g \quad 4.5$$

Donde :

g : aceleración de la gravedad = 9.81 m/s^2

m : masa motriz del eje 1

F : Fuerza motriz del eje 1

$$T_{m1} = F_{m1} \cdot r_{carrilera} \quad 4.6$$

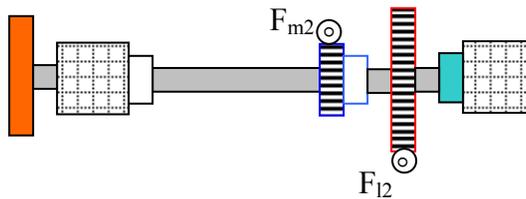


Figura 4.19. Diagrama de eje 2

Sabiendo que, al igual que en el eje 1, la fuerza de roce resultante en el eje 2 es opuesta al sentido de giro y aplicando la ecuación 4.2 al caso se tiene la ecuación 4.7.

$$T_{m2} - T_{l2} - T_{perdidas-2} = (I_{fija-2} + I_{volante-2}) \cdot \alpha_2 \quad 4.7$$

Donde:

T_{m2} es el torque motriz del eje 2

T_{l2} es el torque de reacción del eje 2

$T_{perdidas-2}$: es el torque producido por las pérdidas en el eje 2

I_{fija-2} : es la inercia generada por cada componente del eje 2 excepto el volante móvil 2.

$I_{volante-2}$: es la inercia del volante móvil del eje 2

α_2 : es la aceleración angular del eje 2

Del mismo modo se realiza el cálculo para los ejes 3 y 4 y se obtienen las siguientes ecuaciones 4.8 y 4.9.

$$T_{m3} - T_{l3} - T_{roce-3} = (I_{fija-3} + I_{volante-3}) \cdot \alpha_3 \quad 4.8$$

Donde:

T_{m3} es el torque motriz del eje 3

T_{l3} es el torque de reacción del eje 3

T_{roce-3} : es el torque producido por las pérdidas en el eje 3

I_{fija-3} : es la inercia generada por cada componente del eje 3 excepto el volante móvil 3.

$I_{volante-3}$: es la inercia del volante móvil del eje 3

α_3 : es la aceleración angular del eje 3

$$T_{m4} - T_{roce-4} = (I_{fija-4} + I_{volante-4}) \cdot \alpha_4 \quad 4.9$$

Donde:

T_{m4} es el torque motriz del eje 4

T_{roce-4} : es el torque producido por las pérdidas

I_{fija-4} : es la inercia generada por cada componente del eje 4 excepto el volante móvil 4.

$I_{volante-4}$: es la inercia del volante móvil del eje 4

α_4 : es la aceleración angular del eje 4

Adicionalmente se sabe que de acuerdo a la figura 4.20, la fuerza de reacción del eje 1, es exactamente igual pero en sentido contrario a la fuerza motriz del eje 2.

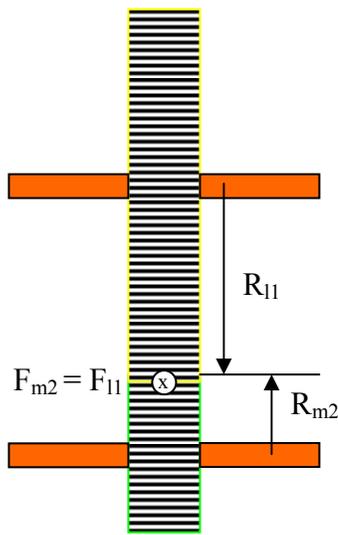


Figura 4.20. Engranes en contacto

La fuerza de reacción del eje 1, es exactamente igual pero en sentido contrario a la fuerza motriz del eje 2.

Con la ecuación de torque 4.10

$$T = F \cdot r \quad 4.10$$

Nota: los radios referidos son los radios de base de cada engrane

$$\frac{T_{l1}}{r_{engrane-1}} = \frac{T_{m2}}{r_{engrane-2}} \quad 4.11$$

Despejando la ecuación 4.11 se obtiene $T_{l1} = T_{m2} \cdot \frac{r_{engrane-1}}{r_{engrane-2}}$

Aplicando el mismo caso a los otros dos pares de engranajes se obtienen las ecuaciones 4.12 y 4.13

$$T_{l2} = T_{m3} \cdot \frac{r_{engrane-3}}{r_{engrane-4}} \quad 4.12$$

$$T_{l3} = T_{m4} \cdot \frac{r_{engrane-5}}{r_{engrane-6}} \quad 4.13$$

La inercia de un disco macizo y la de un cilindro macizo se calcula de acuerdo a la ecuación 4.14.

$$I_{disco-macizo} = I_{cilindro-macizo} = \frac{m \cdot (r_{ext}^2 - r_{int}^2)}{2} \quad 4.14$$

Conocida la inercia y la geometría se conoce la masa.

En cuanto a la aceleración angular se hará uso de la ecuación 4.15.

$$\omega_f = \omega_o + \frac{\alpha \cdot t^2}{2} \quad 4.15$$

Donde

ω_f : es la velocidad angular final, es decir, cuando se estabiliza.

ω_o : es la velocidad angular inicial, igual a cero.

α : es la aceleración angular

t: el tiempo que tarde en llegar de ω_o a ω_f

Una vez calculadas las aceleraciones angulares y las inercias fijas, y tomando la relaciones de fuerzas del sistema es posible obtener un sistema de 8 ecuaciones con 12 incógnitas. Faltarían incluir las ecuaciones que describen el comportamiento de las pérdidas, para llevar el sistema a resoluble. Dicho punto será tratado en la sección 4.9.

4.9 Estudio de las pérdidas

El torque producido por la fuerza resultante de todas las pérdidas de cada eje se puede expresar de acuerdo a la ecuación 4.16

$$T_{perdida} = F_{roce} \cdot r_{engrane} \quad 4.16$$

Los cuatro ejes poseen el mismo radio, tienen el mismo tipo de rodamientos y la misma lubricación, existe una relación fija entre los radios de cada par de engranes y como consecuencia las velocidades de cada par de ejes en contacto son proporcionales, siendo el valor de las pérdidas linealmente proporcional a la velocidad angular de cada eje, la interdependencia de las misma se puede expresar de acuerdo a la expresión 4.17 y según lo observado en la figura 4.21.

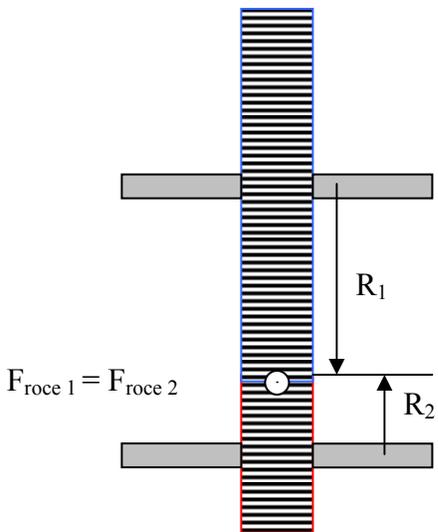


Figura 4.21. Engranés entre eje 1 y 2

Lo mismo sucede con los engranes 3 y 4, y los engranes 5 y 6, resultando las ecuaciones 4.17, 4.18 y 4.19.

$$T_{roce-1} = T_{roce-2} \cdot \frac{r_{engrane-1}}{r_{engrane-2}} \quad 4.17$$

$$T_{roce-2} = T_{roce-3} \cdot \frac{r_{engrane-3}}{r_{engrane-4}} \quad 4.18$$

$$T_{roce-3} = T_{roce-4} \cdot \frac{r_{engrane-5}}{r_{engrane-6}} \quad 4.19$$

En resumen ahora se tiene un sistema de 11 ecuaciones con 12 incógnitas, con lo cual existen dos maneras o enfoques de resolver el sistema, uno donde la masa inductora del movimiento es dato y un segundo enfoque donde se proporciona el

comportamiento de las pérdidas de uno de los ejes. Tal y como se muestra en el sistema resultante conformado por las ecuaciones 4.4, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.11, 4.12, 4.13, 4.17, 4.18, y 4.19.

$$T_{m1} - T_{l1} - T_{roce-1} = (I_{fija-1} + I_{volante-1}) \cdot \alpha_1 \quad 4.4$$

$$T_{m1} = F_{m1} \cdot r_{carrilera} \quad 4.6$$

$$T_{m2} - T_{l2} - T_{roce-2} = (I_{fija-2} + I_{volante-2}) \cdot \alpha_2 \quad 4.7$$

$$T_{m3} - T_{l3} - T_{roce-3} = (I_{fija-3} + I_{volante-3}) \cdot \alpha_3 \quad 4.8$$

$$T_{m4} - T_{roce-4} = (I_{fija-4} + I_{volante-4}) \cdot \alpha_4 \quad 4.9$$

$$T_{l1} = T_{m2} \cdot \frac{r_{engrane-1}}{r_{engrane-2}} \quad 4.11$$

$$T_{l2} = T_{m3} \cdot \frac{r_{engrane-3}}{r_{engrane-4}} \quad 4.12$$

$$T_{l3} = T_{m4} \cdot \frac{r_{engrane-5}}{r_{engrane-6}} \quad 4.13$$

$$T_{roce-1} = T_{roce-2} \cdot \frac{r_{engrane-1}}{r_{engrane-2}} \quad 4.17$$

$$T_{roce-2} = T_{roce-3} \cdot \frac{r_{engrane-3}}{r_{engrane-4}} \quad 4.18$$

$$T_{roce-3} = T_{roce-4} \cdot \frac{r_{engrane-5}}{r_{engrane-6}} \quad 4.19$$

4.10 Identificar los objetivos académicos para los cuales puede ser aplicado el uso del equipo.

4.10.1 Recopilación de la información.

De la información suministrada por el departamento de coordinación académica, surgieron 3 posibles cátedras con las que el banco de ensayo tendría aplicabilidad, ya que ninguna de ellas posee al menos un ensayo práctico. Por razones de campo y para sacarle el mayor provecho educativo a la máquina, se tomó a la cátedra de “Elementos de máquinas II” como piloto para la implementación de prácticas didácticas en áreas aplicables.

Entre los objetivos de la cátedra de Elementos de máquinas II, existen tres importantes, de interés para esta investigación y los son:

- a. Estudio de las partes de un engranaje recto (a manera descriptiva): no existe mejor manera para describir un engrane que presentarlo físicamente y en funcionamiento, ya que despierta mayor interés en el espectador.
- b. Cálculo de las pérdidas en un tren de engranajes: existen al menos tres tipos de pérdidas importantes de energía en el sistema estudiado, en el banco se pueden ver y cuantificar las pérdidas como un todo.
- c. Cálculo de masa inercial como inductora de movimiento: en el banco es posible cuantificar la inercia que induce el movimiento.

4.10.2 Selección de opciones académica de aplicación del banco de ensayo

El conjunto de la caja de engranajes, las masas involucradas, los sensores de contacto y la interfaz con el computador hacen posible relacionar los 3 objetivos anteriormente señalados, y con la finalidad de sacarle el mayor provecho, se pueden desarrollar dos actividades completas, ambas iniciando con la descripción de los engranes (objetivo “a”) seguido por el cálculo de pérdidas (objetivo “b”) ó por el cálculo de inercia inductora de movimiento (objetivo “c”). Las actividades propuestas deberán ser seleccionadas total o parcialmente por la cátedra de acuerdo a las necesidades de la misma.

4.11 Validación los datos obtenidos.

El dato a validar es la velocidad angular, cuyo dato de entrada es proporcionado por los sensores de final de carrera, el instrumento seleccionado en la investigación para dicha validación es un lector optoelectrónico de velocidad angular, de fácil manejo y relativamente accesible para uso en la facultad de ingeniería. El funcionamiento del aparato es sencillo, se marca el eje en un punto al azar con tinta blanca, se coloca el instrumento fijo y alineado de frente al punto se enciende, al girar el eje este medirá el tiempo en que tarda el punto blanco en pasar de nuevo por el punto inicial, proporcionando el dato de velocidad angular. Para tal fin se procedió a realizar mediciones paralelas con los dos instrumentos en un mismo eje (debido a la siempre presente proporcionalidad en los ejes), con el cual se lograron obtener dos grupos de velocidades en función del tiempo. El esquema del montaje se observa en la figura 4.22

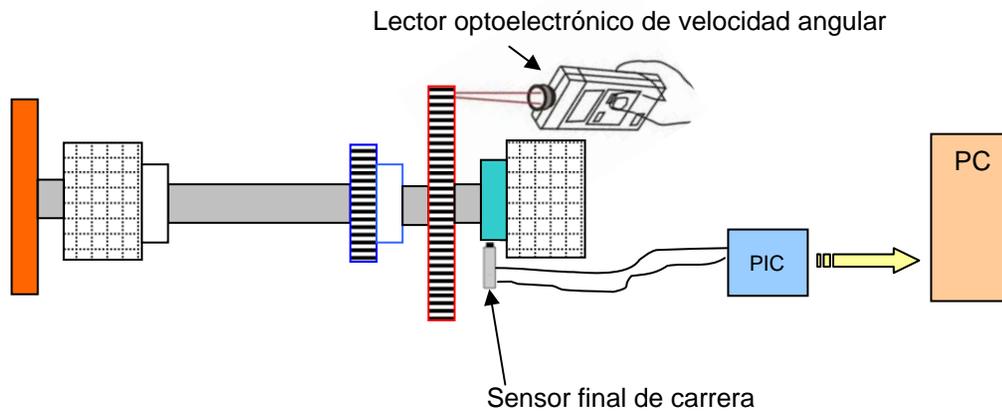


Figura 4.22. Esquema de montaje experimental de validación de datos

El instrumento con mayor presión es el lector optoelectrónico, por lo que para saber que tan buenos son los datos obtenidos por los sensores de final de carrera, se procederá a calcular el error entre las dos mediciones tomadas, haciendo uso de la ecuación 4.20.

$$E = \frac{V_{lector} - V_{sensor}}{V_{lector}} * 100 \% \quad 4.20$$

Donde:

V_{lector} = Velocidad leída por el instrumento opto-eléctrico

V_{sensor} = Velocidad obtenida por el sensor de final de carrera.

E = Error porcentual de la lectura del sensor

Tomando los datos obtenidos de ambas fuentes se obtiene la tabla 4.3

Tabla 4.3 Validación de Velocidades angulares

| Toma | V_{sensor} (rpm) | $V_{optoelectrica}$ (rpm) | E (%) |
|------|--------------------|---------------------------|-------|
| | 5,3 | 5,4 | 1,852 |
| | 8,2 | 8,5 | 3,529 |

| | | | |
|---|------------|------|-------|
| 1 | 11,6 | 11,9 | 2,521 |
| | 19 | 19,8 | 4,04 |
| | 26,8 | 27,1 | 1,107 |
| | 30,5 | 31,7 | 3,785 |
| | 36,4 | 37,7 | 3,448 |
| | 42,5 | 44 | 3,409 |
| 2 | 6 | 6,3 | 4,761 |
| | 8,8 | 9 | 2,222 |
| | 11,3 | 11,9 | 4,761 |
| | 17,6 | 18 | 2,222 |
| | 25,7 | 25,2 | 1,984 |
| | 33,6 | 34,5 | 2,6 |
| | 26,8 | 26 | 3,076 |
| | 42,3 | 43,3 | 2,309 |
| 3 | 2,5 | 2,6 | 3,8 |
| | 2,9 | 2,5 | 16 |
| | 4,1 | 4,3 | 4,651 |
| | 7,5 | 7,3 | 2,666 |
| | 9,6 | 9,3 | 3,125 |
| | 14 | 14,1 | 0,709 |
| | 22,2 | 21,2 | 4,5 |
| | 26,8 | 25,8 | 3,73 |
| 4 | 6,3 | 6,2 | 1,38 |
| | 8,6 | 9 | 4,444 |
| | 10,6 | 10,9 | 2,75 |
| | 12,8 | 13 | 1,428 |
| | 18,6 | 19,5 | 4,615 |
| | 21,3 | 22,1 | 3,50 |
| | 25,2 | 26,4 | 4,545 |
| | 27 | 27,9 | 3,225 |
| | E promedio | 3,3 | |

Fuente: Los autores

Para conseguir el valor del error se promediaron los datos obtenidos, lo cual arrojó como resultado un error de $\pm 3,3 \%$.

4.12 Costos

Para resumir los costos asociados al desarrollo de esta investigación y el banco de ensayo se puede observar el siguiente cuadro.

Tabla 4.4 Costos asociados

| Item | Costo Unidad (BsF) | Costo total (BsF) |
|--|--------------------|-------------------|
| Computador (monitor, CPU,teclado,etc) | 500 | 500 |
| PIC ATOM | 125 | 125 |
| Mano de obra de construcción | n/a | 500 |
| Impresiones | 0,2 | 200 |
| Otros (pintura, guaya, adaptaciones,etc) | 200 | 200 |
| TOTAL | | 1525 |

Fuente : Los autores

Los costos aquí mencionados no incluyen, gastos de tipografía ni de impresión del informe.

4.13 Manual de procedimiento

El procedimiento de operación del equipo se puede describir en los siguientes pasos:

1. Conectar las fuentes de energía del computador y del PIC (el microprocesador a 4.5 voltios), y comprobar que los puertos de comunicación de los componentes estén bien conectados. Si los puertos de serial del Mouse y PIC están invertidos el computador no reconocerá el microprocesador, ya que fue programado para un puerto específico. Ver figura 4.23

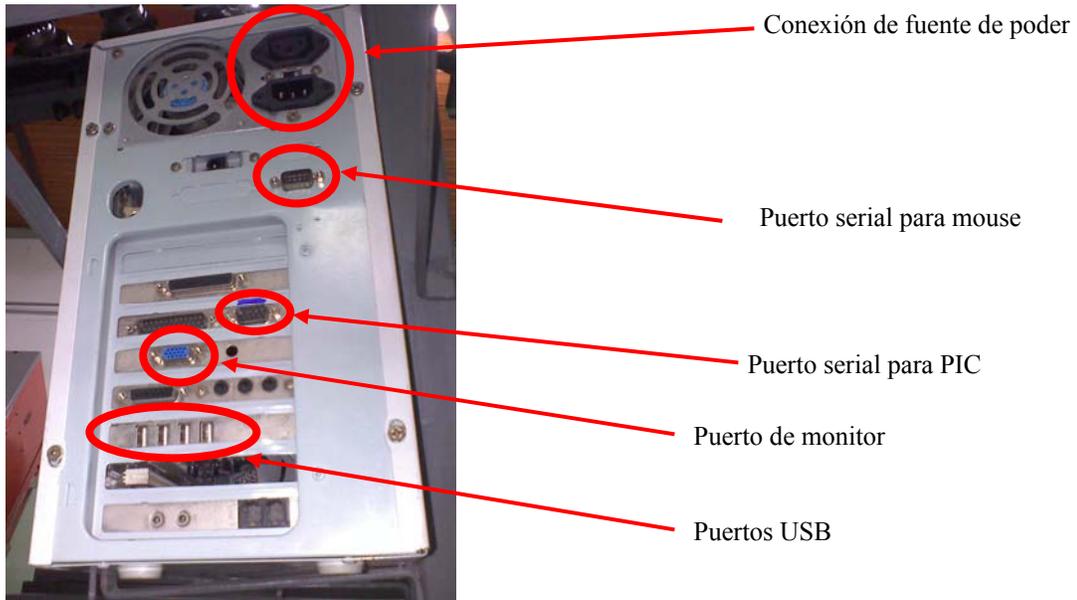


Figura 4.23. Conexión al computador

2. Encender el computador y el monitor y esperar a que inicie el PC (Ver figura 4.24)



Figura 4.24. Botón de encendido del computador

3. Abrir el programa Captura puerto serial según figura 4.25.

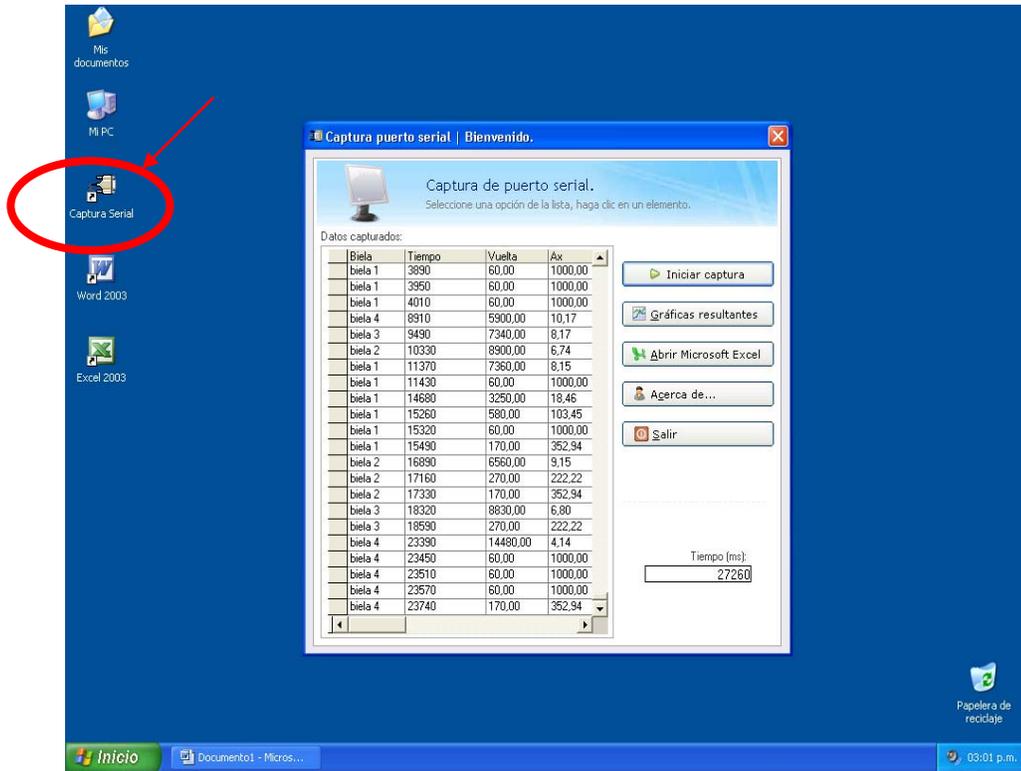


Fig.4.25 Apertura del programa captura puerto serial

4. Seleccionar la masa inductora de movimiento(ver figura 4.26) y colocarlas en su soporte (Ver figura 4.27)



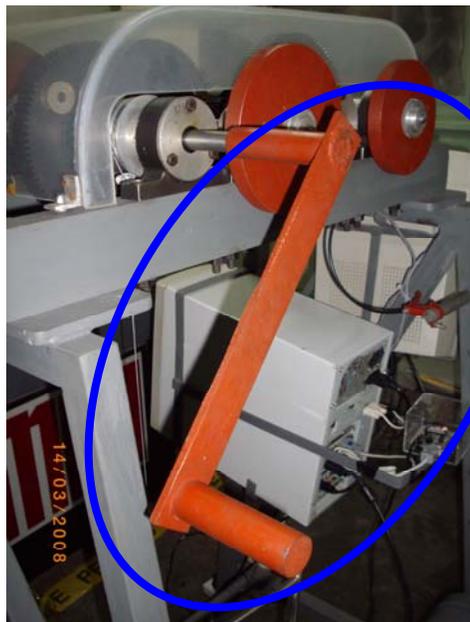
Fig.4.26. Masas inductoras



Discos en soporte

Fig.4.27 Discos en soporte

5. Colocar la manivela en el eje 1 (ver figura 4.28), bobinar o enrollar la guaya (ver figura 4.29), presionar el freno (ver figura 4.30), quitar la manivela y esperar a que desaparezca el efecto péndulo en la guaya.



Manivela

Fig.4.28 Manivela del banco



Bobina donde enrolla guaya

Fig.4.29 Sistema de bobinado de guaya



Sistema de Freno de guaya

Fig.4.30 Sistema de freno de guaya

6. Presionar con el Mouse el botón de “inicio de captura” (fig.4.31) del programa (los datos existentes se borran y se inicia de cero una nueva captura) y luego se suelta el freno.

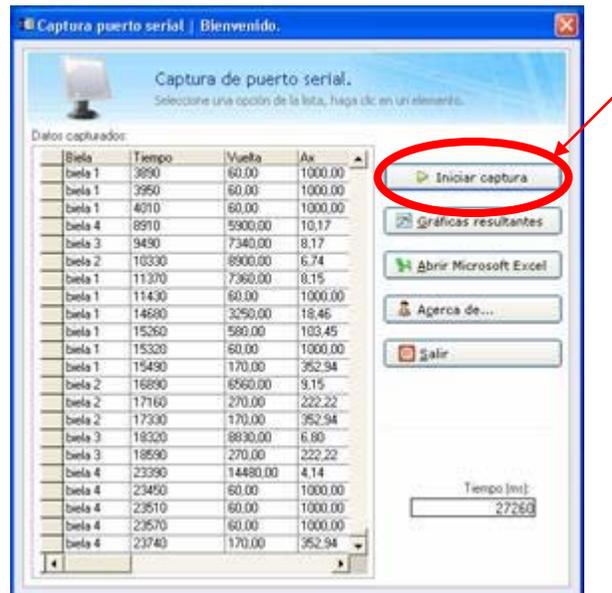


Fig.4.31 Iniciación de la captación

7. Luego de terminada la captura (desenrollada la guaya) se presiona el botón cerrar para finalizarla, (ver figura 4.32)

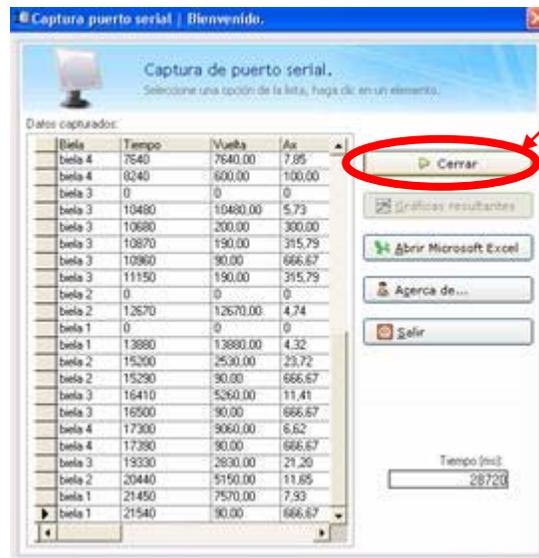


Fig.4.32 Finalización de la captación

8. Luego se presiona el botón “Abrir Microsoft Excel” (ver figura 4.33)

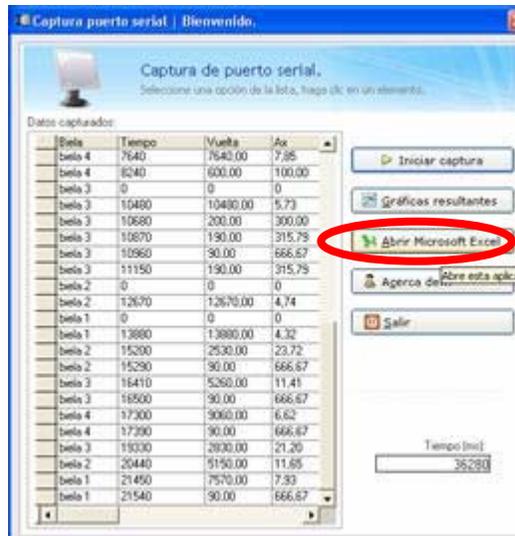


Fig.4.33 Apertura de aplicación excel

Al iniciar el programa Microsoft Excel se debe presionar el botón “actualizar” (ver figura 4.34) para obtener los datos de la última captura del programa

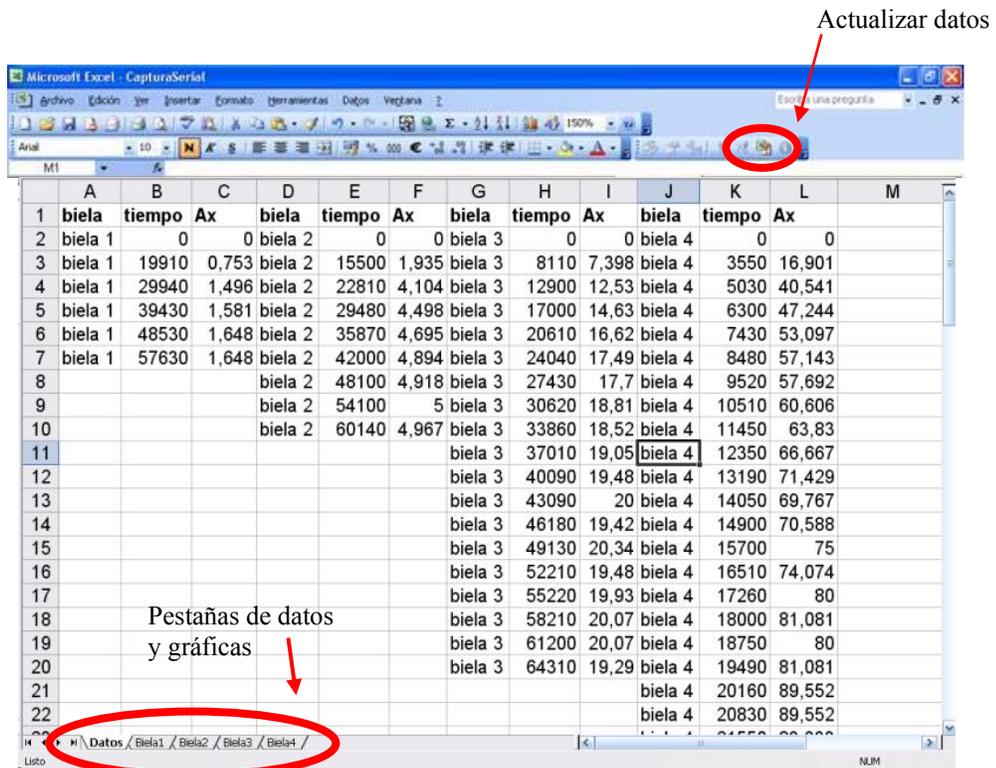


Fig.4.34 Datos arrojados

Como se puede ver en la figura 4.34 , existen 5 pestañas en la página, una de los datos y las otras cuatro donde están las gráficas de cada una de las bielas, representadas con un eje de abscisas donde se representa el tiempo en milisegundos y un eje de las ordenadas donde se representa la velocidad angular (en revoluciones por minuto).

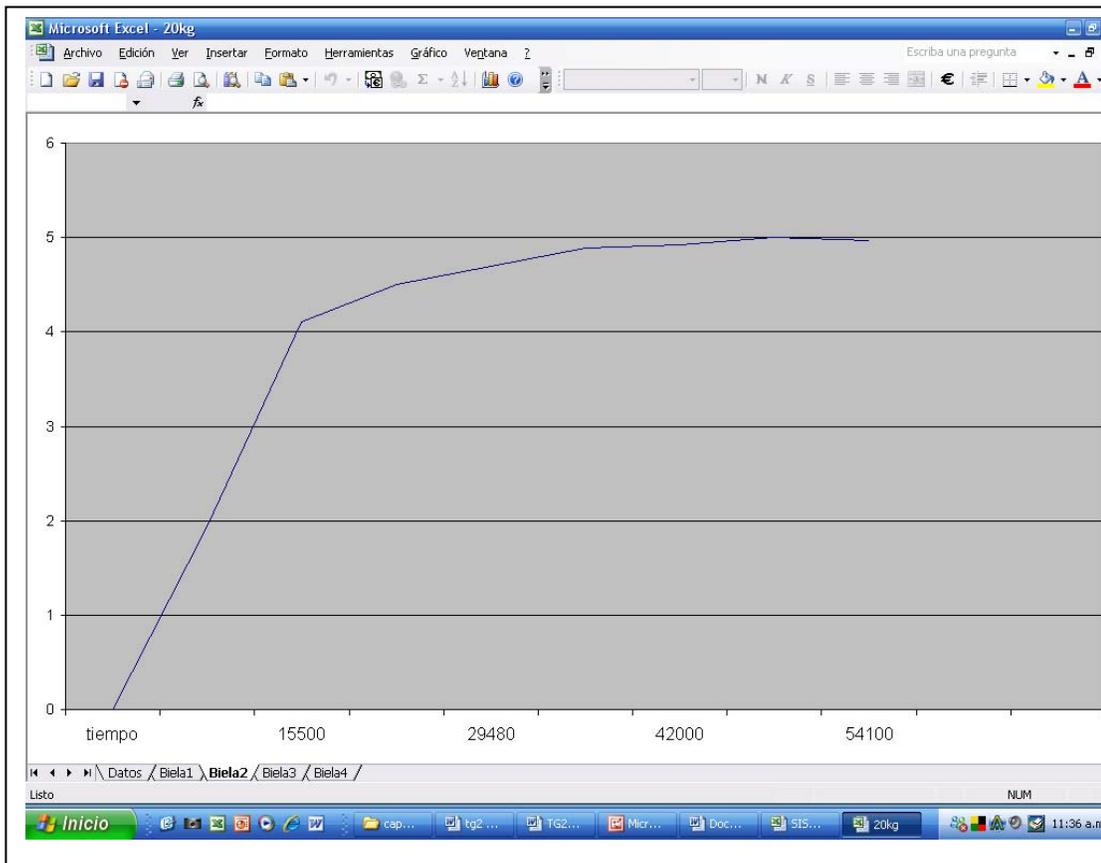


Fig.4.35 Curvas de sistema

9. Con el fin de calcular la aceleración angular y haciendo uso de la ecuación 4.15 en el intervalo donde existen variación de velocidad respecto al tiempo, se calcula la aceleración angular de cada eje. Se debe tomar en cuenta el error estimado en el punto 4.11 para dicho cálculo.

10. Luego de obtener las aceleraciones, se cierra el programa “captura de puerto serial” y se abre el programa “calcular” ver figura 4.36, donde se presenta el sistema de ecuaciones de 11 x 11 que describe el sistema

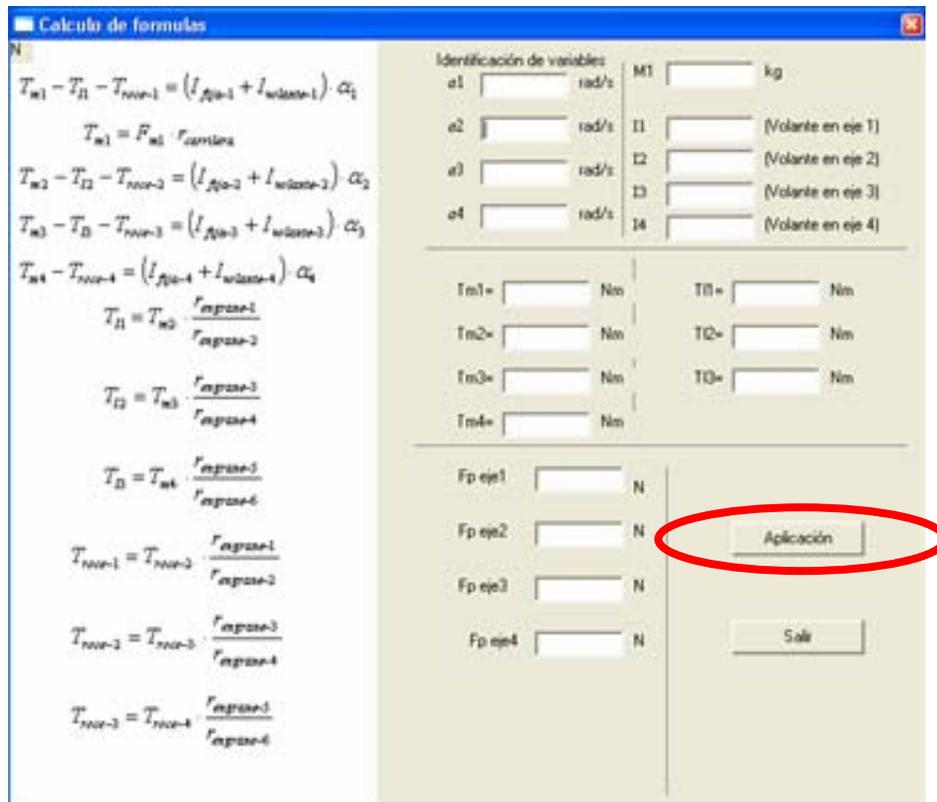


Fig.4.36 Programa resolución de ecuaciones

11. Existen dos incógnitas claves, una de ellas deben ser dato, para poder calcular la otra, se debe seleccionar cual de ellas será dada, dependiendo del objetivo de la práctica. Una de ellas es la masa inductora del movimiento, el peso que se coloca en el bobinado, y la otra es el torque producido por las pérdidas por eje, cuyo comportamiento fue deducido experimentalmente para el caso de búsqueda de masa inductora.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Luego de implementar y poner en funcionamiento el banco de ensayo, se sometió a diversas pruebas variando distintas condiciones de carga, con lo que se pudo comprobar el comportamiento apropiado del equipo siempre que se respetaron las limitaciones inherentes del mismo, los cuales son: mantener en buenas condiciones el equipo, mantener una buena lubricación de sus componentes mecánicos, realizar un bobinado uniforme en el proceso y usar masas inductoras comprendidas entre 20 y 30 kg.
- Se logró desarrollar e implementar una herramienta didáctica que permite al o los usuarios realizar de manera sencilla e interactiva ensayos enfocados a la descripción explícita del fenómeno físico que involucran las masas y sus inercias en un sistema rotatorio de tren de engranajes.
- El uso de microcontroladores es sin duda alguna, por su versatilidad y potencialidad, una solución económica y viable en muchas aplicaciones, ya que su uso permite, con pocos recursos y dedicación, el mejoramiento de herramientas para el cumplimiento de las necesidades académicas de la Universidad.
- Debido a que la máxima velocidad de lectura del microprocesador es de 2 milisegundos, a medida que el tiempo entre señal y señal se acerque a este límite se va generando un error, mientras más cerca mayor el error. Debido a

esto las velocidades de giro del eje más rápido deben respetar los límites establecidos, para poder obtener valores aceptables en los resultados.

- La herramienta desarrollada, a pesar de ser concebida como una aplicación práctica, puede ser empleada para apoyar la enseñanza de ciertos conceptos teóricos asociados al funcionamiento y características y un tren de engranajes y sus componentes

5.2 Recomendaciones

- Implementar los ensayos del banco de ensayo como complemento práctico de la cátedra de Elementos de Máquinas II, en el tema de Inercia de su contenido programático.
- Realizar los trámites necesarios para divulgar y poner a disposición de toda la Universidad el uso del banco de ensayo.
- Se recomienda definir el espacio físico mas adecuado para el banco de ensayo de acuerdo a las intenciones de uso por parte de la cátedra, a fin de lograr un verdadero provecho de este recurso.
- En la universidad de Carabobo existen un gran número de recursos (como este banco de ensayo), abandonados o subutilizados, se recomienda incentivar la recuperación de los mismos, a través de trabajos de grado o de ascenso, todo esto en busca de la optimización del uso de las herramientas que posee la institución.
- Se recomienda la realización de estudios posteriores para el desarrollo de ensayos de lubricación y de vibraciones de un tren de engranajes con este banco, ya que sería una gran inversión y de gran provecho académico de pre o post-grado.

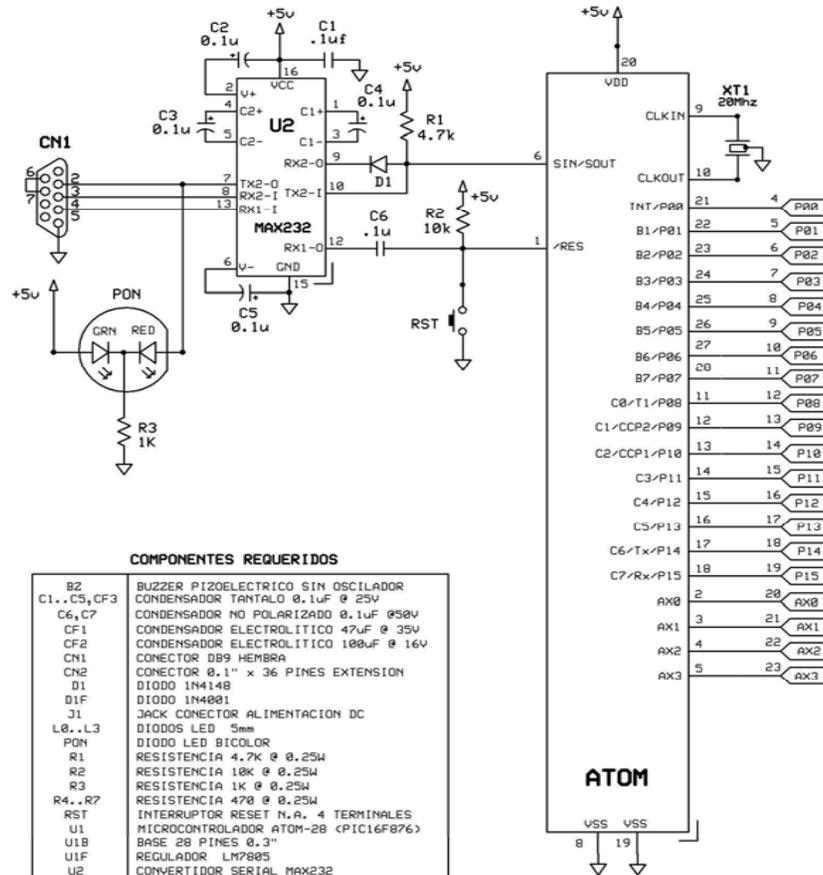
- Se recomienda la implementación de sensores inductivos y/o optoelectrónicos para evitar el efecto de rebote en las gráficas de velocidad angular vs tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke (1995). Fundamentos del Diseño Mecánico Engranajes y Engranajes Tomo 4 (2a ed.) MEXICO: Mc Graw Hill
- Mario Tamayo y Tamayo (2001). El Proceso de la Investigación Científica (4a ed.). MEXICO: Limusa Noriega Editores
- Robert L. Norton (2000). Diseño de Máquinaria (2ª Edición). MEXICO: Mc Graw Hill.
- **El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica, 4ta edición, FIDIAS G: ARIAS, editorial Episteme, C.A., 2004. Caracas- Venezuela**
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm>
- <http://www.todopic.com.ar/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/>
- <http://www.roso-control.com/>
- <http://www.elprisma.com/apuntes/>
- <http://www.gunt.com>

ANEXOS

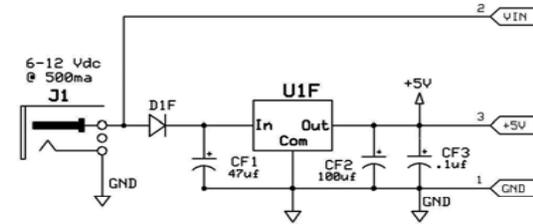
Anexo 1: Diagrama electrónico del PIC



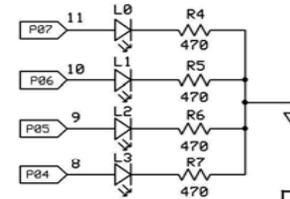
COMPONENTES REQUERIDOS

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| BZ | BUZZER PIZOELECTRICO SIN OSCILADOR |
| C1..,C5,CF3 | CONDENSADOR TANTALO 0.1uF @ 25V |
| C6,C7 | CONDENSADOR NO POLARIZADO 0.1uF @50V |
| CF1 | CONDENSADOR ELECTROLITICO 47uF @ 35V |
| CF2 | CONDENSADOR ELECTROLITICO 100uF @ 16V |
| CN1 | CONECTOR DB9 HEMBRA |
| CN2 | CONECTOR 0.1" x 36 PINES EXTENSION |
| D1 | DIODO 1N4148 |
| D1F | DIODO 1N4001 |
| J1 | JACK CONECTOR ALIMENTACION DC |
| L0..,L3 | DIODOS LED 5mm |
| P0N | DIODO LED BICOLOR |
| R1 | RESISTENCIA 4.7K @ 0.25W |
| R2 | RESISTENCIA 10K @ 0.25W |
| R3 | RESISTENCIA 1K @ 0.25W |
| R4..,R7 | RESISTENCIA 470 @ 0.25W |
| RST | INTERRUPTOR RESET N.A. 4 TERMINALES |
| U1 | MICROCONTROLADOR ATOM-28 (PIC16F876) |
| U1B | BASE 28 PINES 0.3" |
| U1F | REGULADOR LM7805 |
| U2 | CONVERTIDOR SERIAL MAX232 |
| U2B | BASE 16 PINES 0.3" |
| XT1 | RESONADOR CON CONDENSADORES 20 MHz |

FUENTE DE PODER



LED's INDICADORES



BUZZER

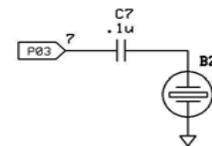
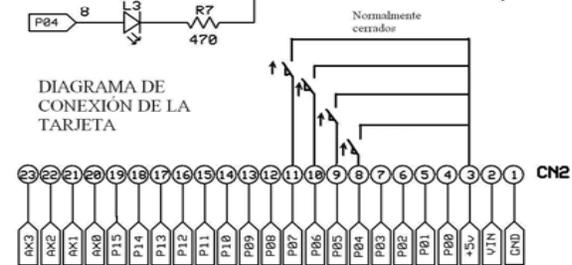


DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LA TARJETA



www.rosco-control.com

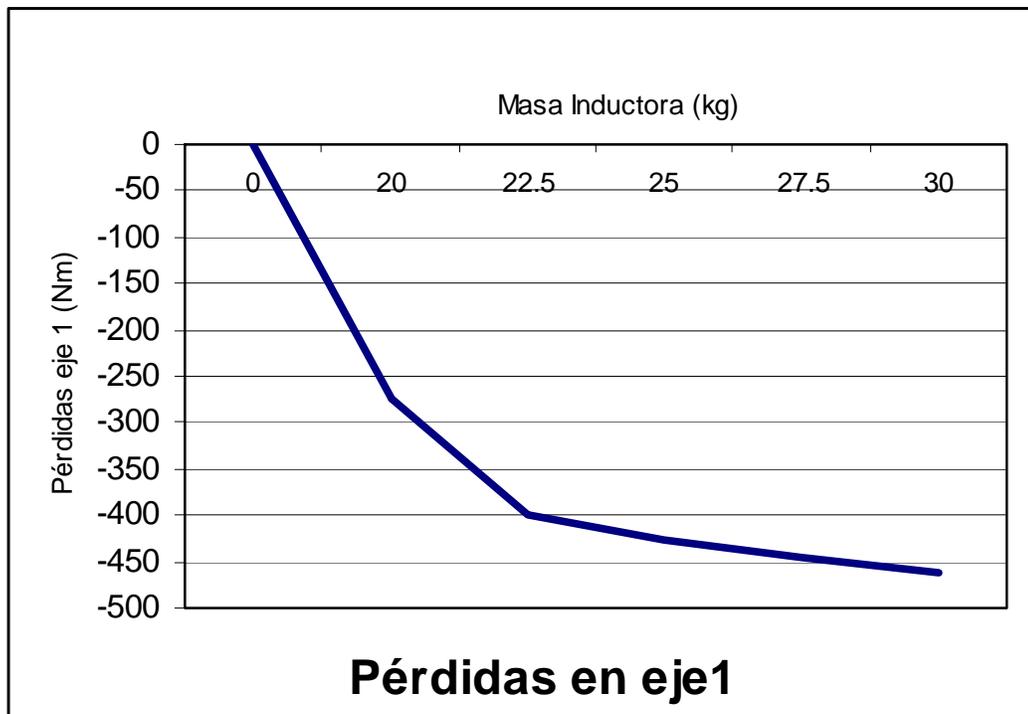
ATOM Microcontroller Development kit

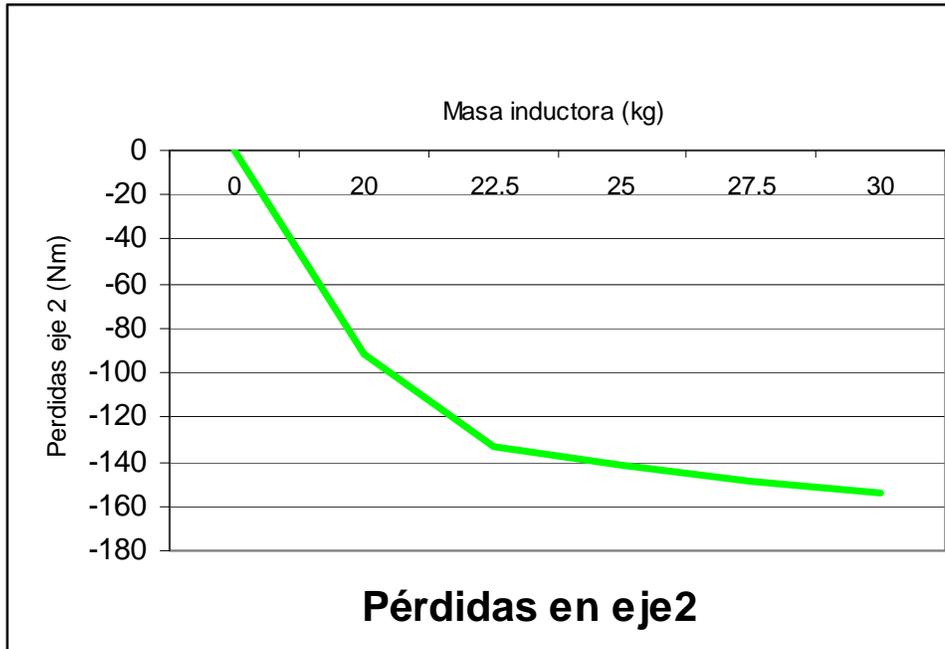
| | | | | |
|---|-------------------------------|------------------|-------------|-----------|
| Draw: Jose R. Modificado Por: E. Charvella, A. Bitter | Date: M/D/Y 30 / 01 / 2008 | Model: PCBA28 | Pag. 1/1 | Rev. 2 |
|---|-------------------------------|------------------|-------------|-----------|

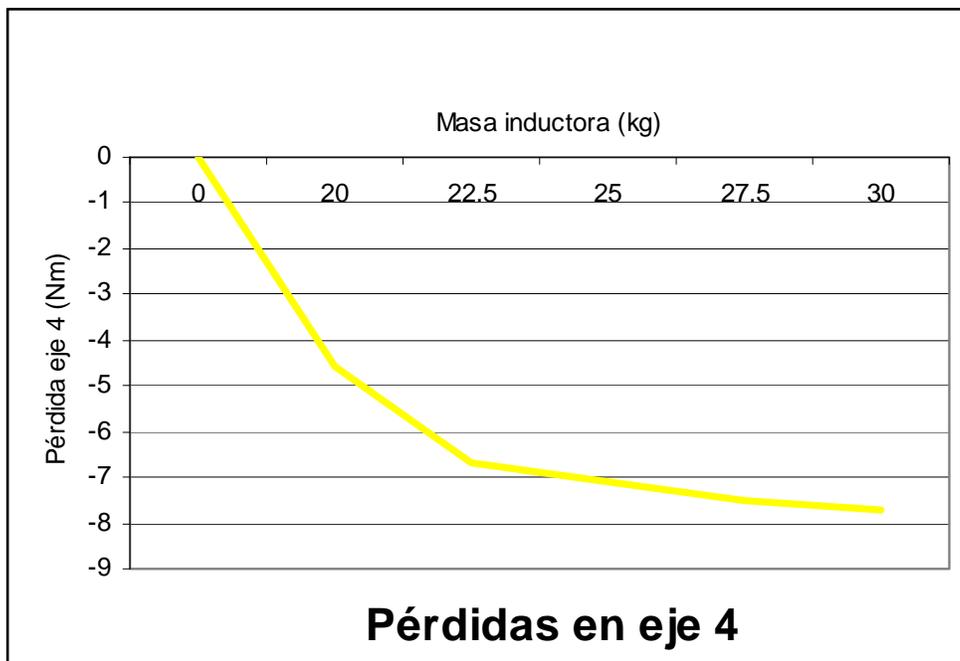
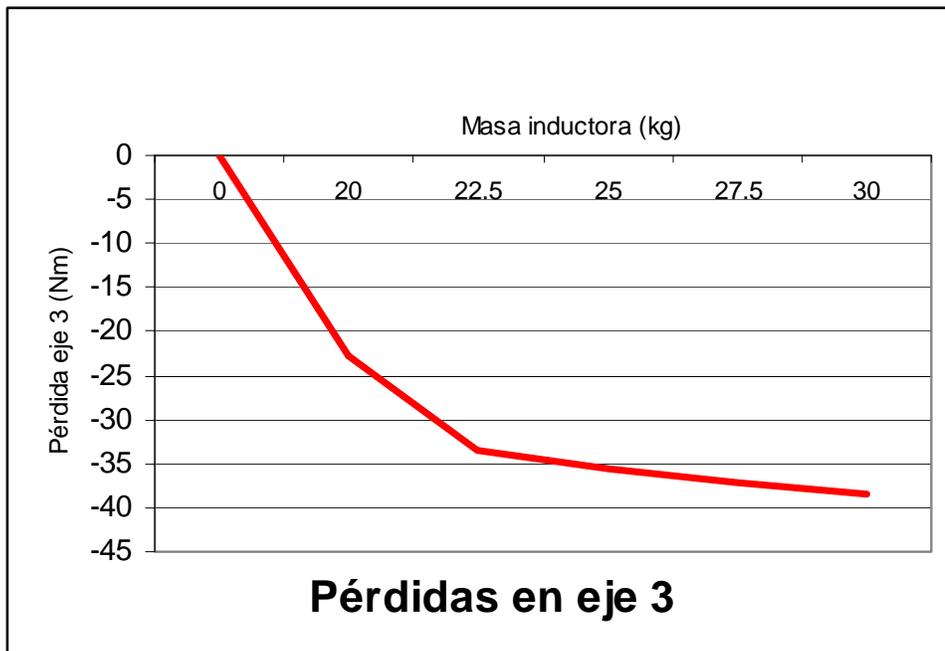
Anexo 2 :

Comportamiento del torque ejercido por la fuerza resultante de las pérdidas en cada eje

| M1 (kg) | T _{roce-1} (N*m) | T _{roce-2} (N*m) | T _{roce3} (N*m) | T _{roce-4} (N*m) |
|---------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | -274,3 | -91,43 | -22,86 | -4,57 |
| 22.5 | -400,3 | -133,4 | -33,36 | -6,7 |
| 25 | -426 | -142 | -35,51 | -7,1 |
| 27.5 | -446,8 | -148,9 | -37,23 | -7,5 |
| 30 | -462 | -154,2 | -38,56 | -7,7 |





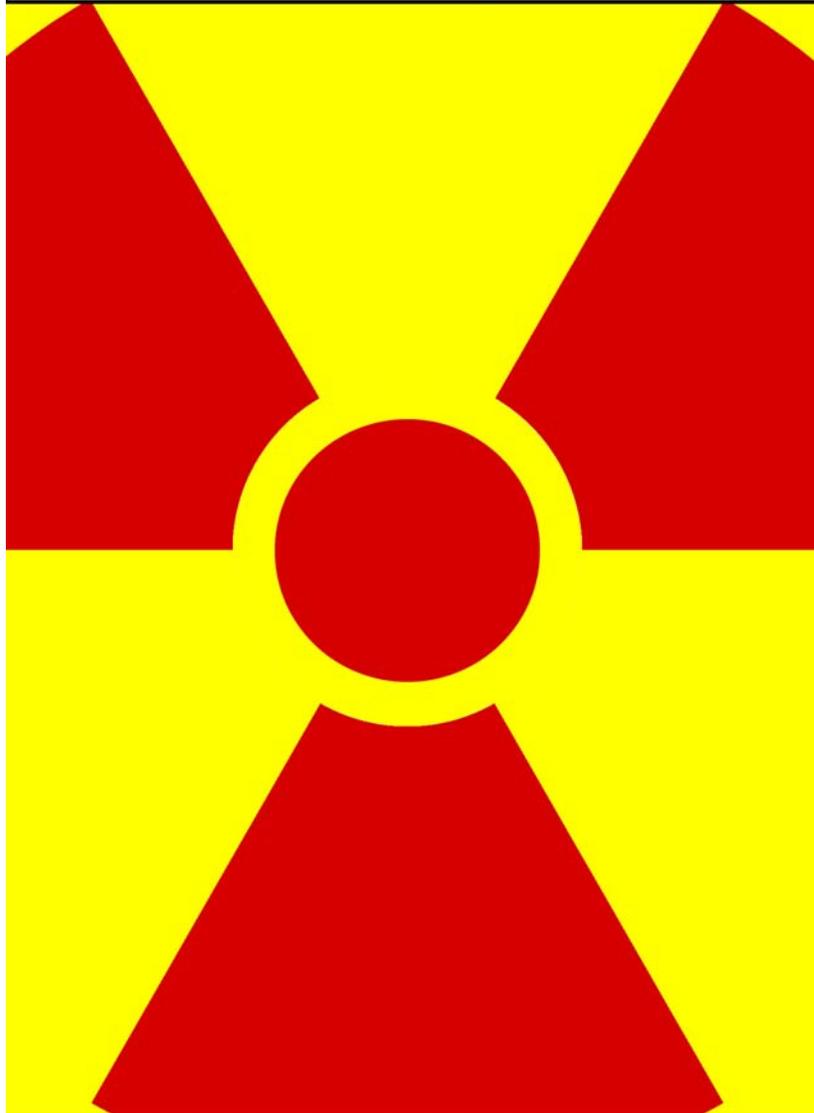


Anexo 4: Versión electrónica del manual Basic ATOM Syntax Manual (ver versión electrónica 200 páginas)



BASIC MICRO
TECHNOLOGY AT WORK

BasicATOM Syntax Manual



Unleash The Power Of The Basic Atom

Version 3.0.0.0

Anexo 5: Versión electrónica del manual de ensamblado y primeros pasos del PIC PCB-A28 (ver versión electrónica 57 páginas)

PCB-A28

Kit de Desarrollo para Microcontroladores PIC

**Manual de Ensamblado
y Primeros Pasos**

Anexo 6: Equipo similar al estudiado en este trabajo disponible para la venta

Página 1/1
09/2002

gunt
HAMELFG

GL 210

APARATO PARA ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ENGRANES



- Inspección a la dinámica de rotación de engranajes de ruedas cilíndricas de 1, 2 y 3 niveles
- Sensores inductivos del régimen de revoluciones
- Registrador de línea continua para diagramas de tiempo del régimen de revoluciones para la determinación de la aceleración angular

Descripción

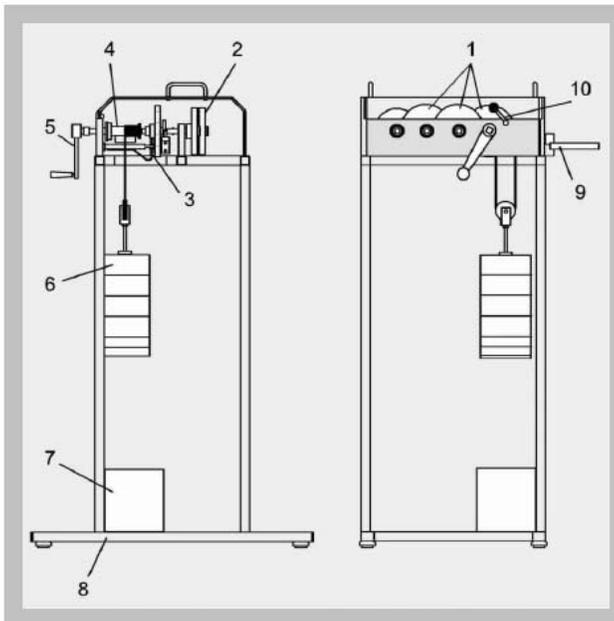
Este equipo se compone de un engranaje de ruedas cilíndricas de 3 niveles con 4 árboles. Pero también son realizables así engranajes mononivel y de 2 niveles. Cada árbol puede dotarse adicionalmente con una masa centrífuga para aumentar la inercia giratoria. El engranaje se impulsa a través de un tambor de cable y de un juego de pesos variable, que se aprieta con una manivela extraíble. El retroceso se impide con un trinquete de retenida, una marcha libre de rodillo de apriete impide un enrollado no deseado del cable portante. El peso es recogido por un carcaj con una pieza intermedia amortiguadora de golpes. Un freno de mano permite un frenado suave. La cubierta protectora transparente impide tocar por descuido las piezas giratorias. En los 4 árboles se encuentran sensores inductivos para medir el régimen de revoluciones. Un registrador de línea continua sirve para el registro de diagramas de tiempo del régimen de revoluciones de los que puede leerse la aceleración angular.

Ensayos

- Determinación de la aceleración angular en el engranaje
- Momento de inercia de masas del engranaje
- Determinación de la fricción
- Grado de eficacia del engranaje

GL 210

APARATO PARA ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ENGRANES



1 ruedas dentadas motrices, 2 masa centrífuga, 3 generador tacométrico inductivo, 4 tambor de cable, 5 manivela de mano, 6 juego de pesas, 7 carcaj, 8 bastidor de tubo de acero, 9 freno con palanca de mano, 10 cerrojo

Especificación

- [1] Equipo de pie de laboratorio para la inspección del comportamiento dinámico de engranajes de ruedas cilíndricas de 1, 2 y 3 niveles
- [2] Relación de transmisión por nivel $i = 4:1$
- [3] Relación de transmisión total $i = 64:1$
- [4] Peso del accionamiento 5...50kg
- [5] Altura de caída máx. 0.65m
- [6] Apriete a mano con manivela
- [7] Todos los árboles alojados en bolas
- [8] Sensores inductivos de revoluc. en los piñones
- [9] Registrador de línea continua para diagramas de tiempo del régimen de revoluciones, avance de papel 7200mm/h
- [10] Caperuza protectora de plástico transparente

Datos técnicos

- Número de árboles: 4
- Relación de transmisión por nivel: $i = 4:1$
- Relación de transmisión total: $i = 64:1$
- Anchura de ruedas dentadas: 16mm, módulo 2
- Peso del accionamiento: 5...50kg
- Altura de caída: máx. 0.65m
- Amplitud de rotulación: 100mm
- Avance de papel: 7200mm/h
- Gama de revoluciones: 0...2000rpm
- Sensores del régimen de revoluciones inductivo

Dimensiones y pesos

- L x An x Al: 970 x 590 x 1550 mm
- Peso: aprox. 150 kg

Conexiones

- Registrador de línea continua mecánico: 230V, ~50Hz

Volumen de suministro

- 1 aparato analizador de engranajes completo,
- 1 instrucciones de ensayo

Nº de artículo

030.21000 GL 210 Aparato para Análisis de Sistemas de Engranajes

APÉNDICE

1.- Código de programación “ Captación de datos en visual Basic”:

De la forma : línea de Código ` explicación:

```
Public RsTempSerial As ADODB.Recordset 'tabla temporal en memoria
Dim RsDatos As ADODB.Recordset 'inicia record set datos
Dim Seg ' segundos
Dim Pulso ' pulso al hacer contacto
Dim Anterior_A 'variable antes de contacto final
Dim Anterior_B
Dim Anterior_C
Dim Anterior_D
Dim Posterior_A 'variable despues de contacto final
Dim Posterior_B
Dim Posterior_C
Dim Posterior_D
Dim BanderaV1 'utilizada para saber si se pulsó con secuencia 01
Dim BanderaV2
Dim BanderaV3
Dim BanderaV4
Dim TmpValorV1 'valor temporal para calculo de tiempos en biela 1
Dim TmpValorV2
Dim TmpValorV3
Dim TmpValorV4
Dim ValorVueltaV1 'indica numero de vuelta en biela 1
Dim ValorVueltaV2
Dim ValorVueltaV3
Dim ValorVueltaV4

Dim ValorVueltaV1Div 'variable valor en division biela 1
Dim ValorVueltaV2Div
Dim ValorVueltaV3Div
Dim ValorVueltaV4Div

Dim C_a
Dim C_b
```

Dim C_c
Dim C_d

Dim PasoA 'bandera determina si pasó o no biela 1
Dim PasoB
Dim PasoC
Dim PasoD

Dim Cuenta As Integer
Dim VueltaS As Integer

Dim arrData() As Single 'crea un arreglo para los graficos
Dim arrDataV1() As Single 'arreglo para los graficos biela 1
Dim arrDataV2() As Single
Dim arrDataV3() As Single
Dim arrDataV4() As Single
Dim ConexionMaestra As String 'ruta de conexion a la base de datos

Dim PaR As Integer
Private Sub Command4_Click()
AcercaDe.Show 1 'muestra formulario modal
End Sub
Private Sub Command5_Click()
Dim RetVal 'variable de comando
RetVal = Shell("C:\Archivos de programa\Microsoft Office\OFFICE11\excel.exe
c:\sistema\capturaserial.xls", 1) 'Ejecuta excel con archivo predeterminado
End Sub

Private Sub Form_Load()
PaR = 1 'inicializa a par en 1
Dim MyVal As Long 'variable de valores
Dim ErrMsg As String
Dim TryStr As String
ConexionMaestra = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=" & App.Path
& "\data.mdb" & ";Persist Security Info=False"
Set RsDatos = New ADODB.Recordset 'crea un nuevo objeto recordset
PasoA = 0 'bandera para identificar paso o no de variables
MSComm1.DTREnable = False 'valores de conexion al puerto
MSComm1.Settings = "57600,m,8,2" 'valores de conexion al puerto
MSComm1.CommPort = 1 'valores de conexion al puerto
MSComm1.RThreshold = 1 'valores de conexion al puerto
TryStr = "Comm port " & MSComm1.CommPort

```

If MSComm1.PortOpen <> False Then ' si el puerto esta abierto lo cierra
    MSComm1.PortOpen = False
End If
'-----Recorset RsTempSerial (TEMPORAL)
Set RsTempSerial = New ADODB.Recordset
RsTempSerial.Fields.Append "Biela", adVarChar, 7, adFldIsNullable
RsTempSerial.Fields.Append "Tiempo", adVarChar, 12, adFldIsNullable
RsTempSerial.Fields.Append "Vuelta", adVarChar, 8, adFldIsNullable
RsTempSerial.Fields.Append "Ax", adVarChar, 10, adFldIsNullable
RsTempSerial.Open 'abre el recordset en memoria
Set DataGrid1.DataSource = RsTempSerial ' asigna el recordset a la tabla

End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
End 'abandona el sistema de captura
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
    capturas = MSComm1.Input 'la variable contiene el valor de captura del pin
(0000) o (1111) sucesivamente...
    Text1.Text = capturas 'muestra en pantalla el valor de captura en ese momento
    C_a = Mid(capturas, 1, 1) 'almacena en una variable la primera posicion de la
cadena (1000)
    C_b = Mid(capturas, 2, 1) 'almacena en una variable la segunda posicion de la
cadena (0100)
    C_c = Mid(capturas, 3, 1) 'almacena en una variable la tercera posicion de la
cadena (0010)
    C_d = Mid(capturas, 4, 1) 'almacena en una variable la cuarta posicion de la
cadena (0001)

If C_a = 0 Then 'si hizo contacto el pin 4 "PasoA" vale 0
PasoA = 0
End If

If C_b = 0 Then 'si hizo contacto el pin 5 "PasoB" vale 0
PasoB = 0
End If

If C_c = 0 Then 'si hizo contacto el pin 6 "PasoC" vale 0
PasoC = 0
End If

```

```

If C_d = 0 Then 'si hizo contacto el pin 7 "PasoD" vale 0
PasoD = 0
End If

```

```

'--- 1 -----
  If (C_a = 1) And PasoA = 0 Then 'si C_a vale 1 y PasoA=0 significa que se hizo
  contacto efectivo
    PasoA = 1 'igual a 1 PasoA
    If BanderaV1 = 1 Then 'si BanderaV1 es 1 ya hay datos en el recordset y se
    agregan valores capturados
      RsTempSerial.AddNew 'nuevo espacio en memoria
      RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 1" 'coloca el texto "biela 1" en la
      columna "biela"
      RsTempSerial.Fields("Tiempo") = LblMseg.Caption 'coloca el tiempo de
      captacion en la columna "Tiempo"
      RsTempSerial.Find "biela = 'biela 1'", 1, adSearchBackward 'busca la
      coincidencia con texto "biela 1" en la columna y se detiene en esa posición
      TmpValorV1 = RsTempSerial.Fields("Tiempo") 'almacena en la variable el
      numero de la busqueda anterior
      RsTempSerial.MoveLast 'se mueve a la ultima posicion del recordset
      ValorVueltaV1 = Format(CDec(RsTempSerial.Fields("Tiempo")) -
      CDec(TmpValorV1), "###0.00") 'resta el valor anterior con el valor de la posicion
      actual y almacena en la variable
      RsTempSerial.Fields("Vuelta") = IIf(ValorVueltaV1 = 0, 1, ValorVueltaV1)
      'asigna al campo "Vuelta" 1 o el valor dependiendo del tiempo de captura
      RsTempSerial.Fields("Ax") = Format((15000 / IIf(ValorVueltaV1 = 0, 1,
      ValorVueltaV1)), "###0.00") 'hace el calculo de "Ax" y lo asigna en la tabla
      Else 'de lo contrario se inicializa la captura en cero
      RsTempSerial.AddNew 'nuevo registro
      RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 1" 'asigna valor al campo
      RsTempSerial.Fields("Tiempo") = 0 'asigna valor al campo
      RsTempSerial.Fields("Vuelta") = 0 'asigna valor al campo
      RsTempSerial.Fields("Ax") = 0 'asigna valor al campo
      BanderaV1 = 1 'asigna valor al campo
    End If

  End If

```

```

'--- 2 -----
  If (C_b = 1) And PasoB = 0 Then
    PasoB = 1

```

```

If BanderaV2 = 1 Then
    RsTempSerial.AddNew
    RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 2"
    RsTempSerial.Fields("Tiempo") = LblMseg.Caption
    RsTempSerial.Find "biela = 'biela 2'", 1, adSearchBackward
    TmpValorV2 = RsTempSerial.Fields("Tiempo")
    RsTempSerial.MoveLast
    ValorVueltaV2 = Format(CDec(RsTempSerial.Fields("Tiempo"))) -
CDec(TmpValorV2), "###0.00")
    RsTempSerial.Fields("Vuelta") = IIf(ValorVueltaV2 = 0, 1, ValorVueltaV2)
    RsTempSerial.Fields("Ax") = Format((30000 / IIf(ValorVueltaV2 = 0, 1,
ValorVueltaV2)), "###0.00")
    Else
    RsTempSerial.AddNew
    RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 2"
    RsTempSerial.Fields("Tiempo") = 0
    RsTempSerial.Fields("Vuelta") = 0
    RsTempSerial.Fields("Ax") = 0
    BanderaV2 = 1
    End If
End If
'--- 3 -----
If (C_c = 1) And PasoC = 0 Then
    PasoC = 1
    If BanderaV3 = 1 Then
        RsTempSerial.AddNew
        RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 3"
        RsTempSerial.Fields("Tiempo") = LblMseg.Caption
        RsTempSerial.Find "biela = 'biela 3'", 1, adSearchBackward
        TmpValorV3 = RsTempSerial.Fields("Tiempo")
        RsTempSerial.MoveLast
        ValorVueltaV3 = Format(CDec(RsTempSerial.Fields("Tiempo"))) -
CDec(TmpValorV3), "###0.00")
        RsTempSerial.Fields("Vuelta") = IIf(ValorVueltaV3 = 0, 1, ValorVueltaV3)
        RsTempSerial.Fields("Ax") = Format((60000 / IIf(ValorVueltaV3 = 0, 1,
ValorVueltaV3)), "###0.00")
    Else
        RsTempSerial.AddNew
        RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 3"
        RsTempSerial.Fields("Tiempo") = 0
        RsTempSerial.Fields("Vuelta") = 0
        RsTempSerial.Fields("Ax") = 0
        BanderaV3 = 1
    End If
End If

```

```

End If
End If

'--- 4 -----
If (C_d = 1) And PasoD = 0 Then
    PasoD = 1
    If BanderaV4 = 1 Then
        RsTempSerial.AddNew
        RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 4"
        RsTempSerial.Fields("Tiempo") = LblMseg.Caption
        RsTempSerial.Find "biela = 'biela 4'", 1, adSearchBackward
        TmpValorV4 = RsTempSerial.Fields("Tiempo")
        RsTempSerial.MoveLast
        ValorVueltaV4 = Format(CDec(RsTempSerial.Fields("Tiempo")) -
CDec(TmpValorV4), "###0.00")
        RsTempSerial.Fields("Vuelta") = IIf(ValorVueltaV4 = 0, 1, ValorVueltaV4)
        RsTempSerial.Fields("Ax") = Format((60000 / IIf(ValorVueltaV4 = 0, 1,
ValorVueltaV4)), "###0.00")
    Else
        RsTempSerial.AddNew
        RsTempSerial.Fields("biela") = "biela 4"
        RsTempSerial.Fields("Tiempo") = 0
        RsTempSerial.Fields("Vuelta") = 0
        RsTempSerial.Fields("Ax") = 0
        BanderaV4 = 1
    End If
End If

End Sub

Private Sub Command1_Click()
strSQL = "delete * from datos" 'sentencia SQL para iniciar recordset
If RsDatos.State = adStateOpen Then RsDatos.Close 'si el recordset esta abierto lo cierra
RsDatos.Open strSQL, ConexionMaestra, adOpenStatic, adLockOptimistic 'abre el recordset con la conexion indicada

strSQL = "select * from datos" 'sentencia SQL para iniciar recordset
If RsDatos.State = adStateOpen Then RsDatos.Close 'si el recordset esta abierto lo cierra
RsDatos.Open strSQL, ConexionMaestra, adOpenStatic, adLockOptimistic 'abre el recordset con la conexion indicada

```

```

Dim MyObj As Object 'decrara variable que hace referencia al objeto
Set MyObj = Command1 'Asigna una referencia al objeto anterior.
If MSComm1.PortOpen Then 'si el puerto esta abierto
    Para = 1
    MyObj.Caption = "Iniciar captura" 'imprime "Iniciar captura" en el boton
    MSComm1.PortOpen = False ' cierra el puerto
    Command3.Enabled = True 'habilita el boton
    If RsTempSerial.RecordCount <> 0 Then 'si el recordset esta vacio
        RsTempSerial.MoveFirst 'se mueve al primer campo
        For j = 1 To RsTempSerial.RecordCount 'realiza cantidad de veces como campos
            tenga la tabla
                RsDatos.AddNew 'nuevo registro
                RsDatos.Fields("biela") = RsTempSerial.Fields("biela") 'asigna la variable
                temporal en la base de datos fisica
                RsDatos.Fields("tiempo") = RsTempSerial.Fields("Tiempo") 'asigna la variable
                temporal en la base de datos fisica
                RsDatos.Fields("vuelta") = Format(RsTempSerial.Fields("Vuelta"), "###0.00")
                'asigna la variable temporal en la base de datos fisica
                RsDatos.Fields("Ax") = Format(RsTempSerial.Fields("Ax"), "###0.00") 'asigna
                la variable temporal en la base de datos fisica
                RsTempSerial.MoveNext 'se mueve al proximo registro
            Next j
            RsDatos.Update 'actualiza la tabla
        End If
    Else 'si el puerto esta cerrado
        MyObj.Caption = "Cerrar" 'imprime en el boton "Cerrar"
        BanderaV1 = 0 'inicializa variable ne 0 para biela 1
        BanderaV2 = 0 'inicializa variable ne 0 para biela 2
        BanderaV3 = 0 'inicializa variable ne 0 para biela 3
        BanderaV4 = 0 'inicializa variable ne 0 para biela 4
        LblMseg.Caption = 0 'muestra 0 en la etiqueta
        MSComm1.PortOpen = True 'si el puerto esta abierto
        Para = 0
        Command3.Enabled = False 'deshabilita el boton
        If RsTempSerial.RecordCount <> 0 Then 'si el recordset esta lleno
            RsTempSerial.MoveFirst 'se mueve al primer registro
            For del = 1 To RsTempSerial.RecordCount 'buble desde 1 hasta cantidad de
            registros en la tabla
                RsTempSerial.Delete 'elimina el registro
                RsTempSerial.MoveNext 'para al proximo registro
            Next del
        End If
    TimedCode (10) 'sub rutina de reloj con precision en milisegundos

```

```
End If
End Sub
Private Sub Command2_Click()
End
End Sub
```

2. Código de PIC ATOM

Línea **‘Explicación**

```
pause 4 '
```

```
MyPin_A VAR IN4 'Se declaran las variable
```

```
MyPin_B VAR IN5
```

```
MyPin_C VAR IN6
```

```
MyPin_D VAR IN7
```

```
INPUT MyPin_A 'Se inicializan como variables de entrada
```

```
INPUT MyPin_B
```

```
INPUT MyPin_C  
INPUT MyPin_D
```

```
MAIN:
```

```
  SEROUT S_OUT, I57600, [DEC MyPin_A,DEC MyPin_B,DEC MyPin_C,DEC  
MyPin_D] 'envia salida al hardware puerto serial
```

```
  PAUSE 10
```

```
  GOTO MAIN:
```

