



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
ESPE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS PARA TURBOCOMPRESORES
ASISTIDO MEDIANTE UN PROGRAMA
COMPUTARIZADO.”**

JORGE DANILO LARA ANDRADE

LATACUNGA - ECUADOR

2006

ÍNDICE

PÁG.

INTRODUCCIÓN

I. GENERALIDADES DE TURBOCOMPRESORES

1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	TIPOS DE SOBREALIMENTACIÓN	3
1.2.1.	SOBREALIMENTACIÓN MECÁNICA	3
1.2.2.	TURBOALIMENTACIÓN POR GASES DE ESCAPE	4
1.3.	VENTAJAS DE LA TURBOALIMENTACIÓN POR GASES DE ESCAPE	5
1.4.	TURBOCOMPRESOR	6
1.4.1.	COMPRESOR	6
1.4.2.	TURBINA	8
1.5.	DESARROLLO Y ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR	11
1.5.1.	DESARROLLO	11
1.5.2.	ADAPTACIÓN	12

II. TIPOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

2.1.	INTRODUCCIÓN	14
2.2.	VIBRACIÓN DEBIDA A DESBALANCE	14
2.3.	VIBRACIÓN DEBIDA A FALTA DE ALINEAMIENTO	15
2.4.	VIBRACIÓN DEBIDA A EXCENTRICIDAD	16
2.4.1.	ELEMENTOS RODANTES DEFECTUOSOS	17
2.4.2.	FALLA DE RODAMIENTOS - OTRAS CAUSAS	17
2.5.	VIBRACIÓN DEBIDA A RODAMIENTOS DE CHUMACERA DEFECTUOSOS	18
2.5.1.	LUBRICACIÓN INADECUADA	22
2.6.	VIBRACIÓN DEBIDA A AFLOJAMIENTO MECÁNICO	23
2.7.	SENSORES DE VIBRACIÓN	23

2.7.1.	SENSOR DE PROXIMIDAD	24
2.7.2.	EL ACELERÓMETRO	24
2.8.	VIBRACIONES EN COMPRESORES CENTRÍFUGOS	27
2.9.	TIPOS DE DESBALANCEO	28
2.9.1.	DESBALANCEO ESTÁTICO	28
2.9.2.	DESBALANCEO DINÁMICO	29
III.	DISEÑO DE SISTEMAS DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	
3.1.	PRINCIPIOS BÁSICOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	31
3.2.	HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS	32
3.2.1.	SENSORES	32
3.3.	SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS	33
3.3.1.	SOFTWARE DE CONTROL	34
3.3.2.	SOFTWARE DE APLICACIÓN	34
3.4.	PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	35
3.4.1.	SEÑALES Y SISTEMAS	35
3.4.2.	MUESTREO	35
3.4.3.	CUANTIZACIÓN	36
3.5.	ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA	36
3.5.1.	DOMINIO DE LA FRECUENCIA Vs DOMINIO DEL TIEMPO	36
3.6.	DISPOSITIVOS E INTERFACES PARA ADQUISICIÓN DE DATOS	39
3.6.1.	EL PIC18F452	39
3.6.1.1.	CARACTERÍSTICA DE LA CPU	39
3.6.1.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PERIFÉRICOS	40
3.6.1.3.	CARACTERÍSTICAS ANALÓGICAS	40
3.6.1.4.	CONFIGURACIONES DEL OSCILADOR	41
3.6.1.5.	DIAGRAMA DE PINES	42
3.6.1.6.	ORGANIZACIÓN DE MEMORIA	42
3.6.1.7.	MEMORIA DE PROGRAMA	42
3.6.1.8.	MEMORIA DE DATOS	44
3.6.1.9.	MEMORIA EEPROM DE DATOS	45

3.6.1.10.	PUERTOS DE ENTRADA /SALIDA	45
3.6.1.11.	MÓDULOS ESPECIALES	49
3.6.1.12.	MÓDULOS DE CAPTURA / COMPARACIÓN / PWM (CCP)	51
3.6.2.	EL INTERFASE EIA-232	54
3.6.2.1.	TRANSMISIÓN SERIE / PARALELO	54
3.6.2.2.	TRANSMISIÓN SÍNCRONA / ASÍNCRONA	54
3.6.2.3.	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	57
3.6.2.4.	TIPOS DE DISPOSITIVOS: DTE Y DCE	59
3.6.2.5.	TENSIÓN EN LAS LÍNEAS	60
3.6.2.6.	NIVELES LÓGICOS	61
3.6.2.7.	MARGEN DE RUIDO	61
3.6.2.8.	ORDEN DE LOS BITS EN LA LÍNEA	62
3.6.2.9.	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	63
3.6.2.10.	LÍNEAS DE COMUNICACIÓN	63
3.6.1.11.	LÍNEAS DE CONTROL DE UN DTE	64
3.6.1.12.	LÍNEAS DE CONTROL DE UN DCE	65

IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

4.1.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	67
4.2.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER	67
4.3.	OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	68
4.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO	68
4.5.	METAS DEL PROYECTO	68
4.6.	INFORMACIÓN GENERAL	69
4.7.	GENERALIDADES DEL EQUIPO DE BALANCEO	70
4.8.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	71
4.8.1.	SENSOR DE VIBRACIÓN	72
4.8.2.	TARJETA ELECTRÓNICA	72
4.8.3.	LÁMPARA ESTROBOSCÓPICA	73
4.8.4.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	73
4.8.5.	CONTROL DE VELOCIDAD	74

4.9.	MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA	75
4.9.1.	LOS RESORTES DE SOPORTE	75
4.9.2.	LOS RESORTES DE ALINEACIÓN	76
4.9.3.	LOS PORTADORES DE LOS COJINETES	76
4.9.4.	LOS ELEVADORES	77
4.9.5.	LOS COJINETES	77
4.9.6.	CAUSAS EXTERNAS DE LECTURAS INESTABLES	78
4.10.	DISEÑO DEL HARDWARE Y FIRMWARE	78
4.10.1.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	79
4.10.2.	DISEÑO DE LA ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL	79
4.10.3.	DISEÑO DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN A/D Y TRANSMISIÓN SERIE	82
4.11.	PROGRAMACIÓN DEL PIC18F452	85
4.12.	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE HARDWARE	86
4.13.	DISEÑO DEL SOFTWARE	88
4.13.1.	LABVIEW	88
4.13.2.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	90
4.14.	DISEÑO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS	91
4.15.	DISEÑO DEL SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE DATOS	92
4.16.	PRUEBAS	93
4.16.1.	INSPECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE TURBOCOMPRESORES	94
4.16.2.	DESARMADO Y ARMADO DE UN TURBOCOMPRESOR	95
4.16.3.	BALANCEO ESTÁTICO DEL TURBOCOMPRESOR	96
4.16.4.	BALANCEO DINÁMICO DEL TURBOCOMPRESOR	97
	CONCLUSIONES	101
	RECOMENDACIONES	102
	BIBLIOGRAFÍA	103
	ANEXOS	104

ANEXO A: Circuito Impreso de la tarjeta de adquisición de datos

ANEXO B: Código fuente del PIC18F452

ANEXO C: Código fuente del software

ANEXO D: Guías

ANEXO E: Manual de usuario

ANEXO F: Hoja de recepción de turbocompresores

ANEXO G: Selección de componentes

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha estandarizado el uso de turbocompresores en los motores diesel modernos, su continuo y correcto funcionamiento permiten lograr un incremento tanto en potencia como eficiencia. Por esta razón, requieren de un adecuado mantenimiento que permita detectar fallas oportunamente y corregirlas causando el menor impacto posible. Hoy por hoy, uno de los mejores métodos que permite garantizar dicho mantenimiento se relaciona con los principios de la teoría de vibraciones, y el análisis de las mismas, aplicadas a la determinación de las características de operación de los turbocompresores y sus deficiencias.

Por tal motivo, se ha planteado como objetivo principal de este proyecto, diseñar y construir un banco de pruebas para turbocompresores asistido mediante un programa computarizado para realizar tareas de diagnóstico y mantenimiento de estos sistemas.

Para lograr este propósito, se ha adquirido un sensor de vibración (acelerómetro ADXL202E), el mismo que nos proporciona una señal de salida PWM, proporcional a la vibración recibida, para interpretar esta información se diseñó una tarjeta de adquisición de datos, utilizando el microcontrolador P1C18F452, que es un medio muy económico, eficiente y de fácil acceso en el mercado local, finalmente la comunicación a la PC se la realiza con la utilización del puerto serie vía RS-232.

Con la utilización del lenguaje de programación LabVIEW se elaboró el software de adquisición y procesamiento de datos, realizando una interfase en la que se puede observar las señales procesadas tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia y mirar la velocidad de giro del motor.

En el banco de pruebas se pueden realizar las pruebas de balanceo estático y dinámico lo que permite obtener un diagnóstico técnico acerca del estado del turbocompresor.

Se pone este trabajo en consideración a los alumnos de la carrera como fuente de consulta.

I. TURBO ALIMENTACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Las primeras aplicaciones del turbocompresor se limitaban a motores grandes, como los marinos. En la industria de motores para automóviles, la turboalimentación empezó aplicándose a motores de camiones. En 1938, se construyó el primer motor con turboalimentado para camiones a cargo de la sociedad "Swiss Machine Works Saurer".

El Chevrolet Corvair Monza y el Oldsmobile Jetfire fueron los dos primeros turismos dotados de turbocompresor, e hicieron su debut en el mercado estadounidense en 1962/63. A pesar del gigantesco gasto técnico, su escasa fiabilidad hizo que desaparecieran pronto del mercado.

Tras la primera crisis del petróleo en 1973, la turboalimentación fue más aceptada en aplicaciones diesel comerciales. Hasta entonces, los elevados costos de las inversiones en turboalimentación sólo se veían compensados por el ahorro en el costo del combustible, que era mínimo. El aumento en las restricciones de la normativa sobre emisiones a finales de los 80 derivó en un aumento del número de motores de camión dotados de turbocompresor hasta el punto que hoy día todos los motores de camión disponen de turbo compresión.

El descubrimiento en turboalimentación para turismos llegó en 1978 con la introducción del primer motor turbodiesel para turismos en el Mercedes-Benz 300 SD, seguido del VW Golf Turbodiesel en 1981. Gracias al turbocompresor, se podía incrementar la eficiencia del coche con motor diesel, manteniendo prácticamente la misma "manejabilidad" que un motor de gasolina y con una reducción significativa de las emisiones.

En la actualidad, la turboalimentación en motores de gasolina ya no se ve primordialmente desde la óptica de las prestaciones, sino que se contempla como una forma de reducir el consumo de combustible y, por tanto reducir la contaminación ambiental, gracias a la reducción en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Hoy día, la razón principal de aplicar la turboalimentación radica en el aprovechamiento de la energía de los gases de escape para reducir el consumo de combustible y las emisiones.

Para entender mejor la técnica de la turboalimentación, conviene familiarizarse con los principios de funcionamiento del motor de combustión interna. En la actualidad, la mayoría de los motores diesel de vehículos comerciales y turismos son motores de pistones de cuatro tiempos regulados por válvulas de admisión y escape. Un ciclo operativo se compone de cuatro tiempos durante dos vueltas completas del cigüeñal.

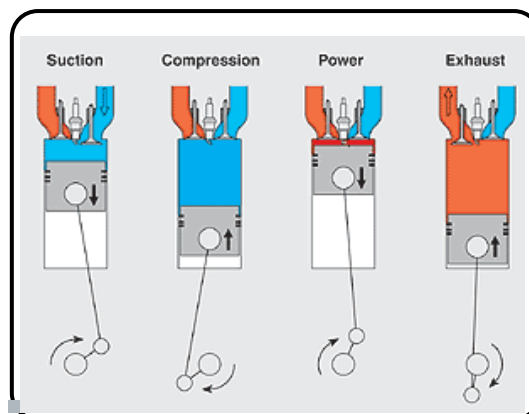


Figura 1.1.- Esquema de un motor de pistones de cuatro tiempos

- **Aspiración (carrera de intercambio de carga)**

Cuando el pistón desciende, pasa aire (motor diesel o motor de gasolina de inyección directa) o una mezcla de combustible y aire (motor de gasolina) por la válvula de admisión.

- **Compresión (carrera motriz)**

Se comprime el volumen del cilindro.

- **Expansión (carrera motriz)**

En el motor de gasolina, la mezcla de combustible y aire se enciende mediante una bujía, mientras que en el motor diesel el combustible se inyecta a gran presión y la mezcla se enciende de forma espontánea.

- **Escape (carrera de intercambio de carga)**

Los gases de escape se expulsan cuando asciende el pistón.

En motores turboalimentados, el aire de combustión ya está precomprimido antes de suministrarse al motor. El motor aspira el mismo volumen de aire, pero como está más comprimido, la masa de aire que entra en la cámara de combustión es mayor. En consecuencia, se quema más combustible, con lo que aumenta la potencia del motor a igual velocidad y cilindrada. Básicamente, cabe distinguir entre motores mecánicamente sobrealimentados y motores turboalimentados por gases de escape.

1.2. TIPOS DE SOBREALIMENTACIÓN

1.2.1. SOBREALIMENTACIÓN MECÁNICA

Con la sobrealimentación mecánica, el aire de combustión se comprime en un compresor accionado directamente por el motor. Sin embargo, el aumento de potencia no se materializa totalmente debido a las pérdidas parásitas propias del accionamiento del compresor. La potencia necesaria para accionar un turbocompresor mecánico es de hasta el 15% de la potencia del motor. Por tanto, el consumo de combustible es más elevado frente a un motor atmosférico con idéntica potencia.

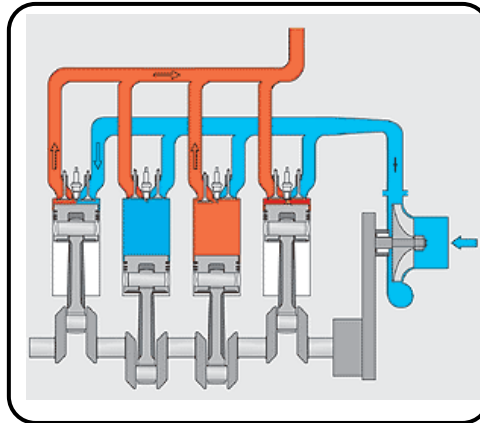


Figura 1.2.- Esquema de un motor de cuatro cilindros mecánicamente sobrealimentado

1.2.2. TURBOALIMENTACIÓN POR GASES DE ESCAPE

En la turboalimentación por gases de escape, parte de la energía de los gases de escape, que normalmente se perdería, se aprovecha para accionar una turbina. Sobre el mismo eje que la turbina se monta un compresor que aspira el aire de combustión, lo comprime y luego lo suministra al motor. No existe ningún acoplamiento mecánico al motor.

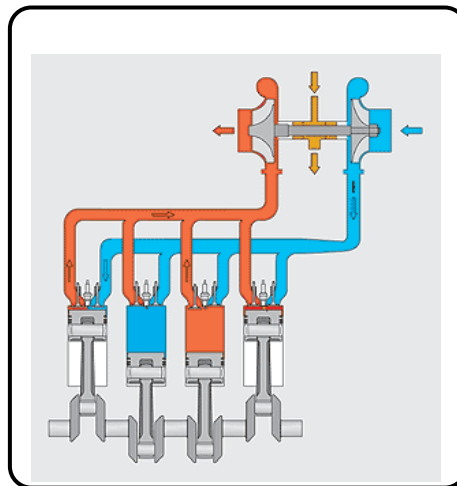


Figura 1.3.- Esquema de un motor de cuatro cilindros turboalimentado por gases de escape

1.3. VENTAJAS DE LA TURBOALIMENTACIÓN POR GASES DE ESCAPE

A diferencia de un motor atmosférico de idéntica potencia, el consumo de combustible de un motor turbo es inferior, en tanto que la energía de escape que normalmente se perdería contribuye al rendimiento del motor. Debido al menor desplazamiento volumétrico del motor turbo, las pérdidas térmicas y por fricción son inferiores.

- La relación potencia-peso, es decir kilovatio (potencia)/kilogramos (peso del motor), del motor turboalimentado por gases de escape es mucho mejor que la de un motor atmosférico.
- La instalación del motor turbo requiere menos espacio que la de un motor atmosférico de idéntica potencia.
- La característica par del motor turboalimentado es susceptible de mejora. Debido a la denominada “característica Maxidyne” (un aumento del par muy elevado a regímenes bajos del motor), se mantiene una potencia próxima a la plena potencia muy por debajo del régimen nominal del motor. Por tanto, para subir una cuesta se precisa menos cambios de marcha y la pérdida de velocidad es menor.
- El comportamiento de un motor turboalimentado a gran altitud mejora notablemente. Como existe menos presión atmosférica a grandes alturas, la pérdida de potencia de un motor atmosférico es considerable. Por el contrario, el rendimiento de la turbina mejora con las alturas dado que existe una mayor diferencia de presión entre la corriente de presión prácticamente constante en la entrada de la turbina y la presión ambiental más baja en la salida. La densidad baja del aire en la toma del compresor se iguala en gran parte. Así, apenas sufre pérdida de potencia alguna.
- Como su tamaño total es más reducido, la superficie exterior emisora de ruidos de un motor turbo es menor, por lo que este tipo de motor es menos ruidoso que un motor atmosférico de idéntica potencia. El propio turbocompresor actúa como un silenciador adicional.

1.4. TURBOCOMPRESOR

El turbocompresor se compone de:

- Compresor.
- Turbina.
- Sistema de regulación.
- Sistema de rodamientos

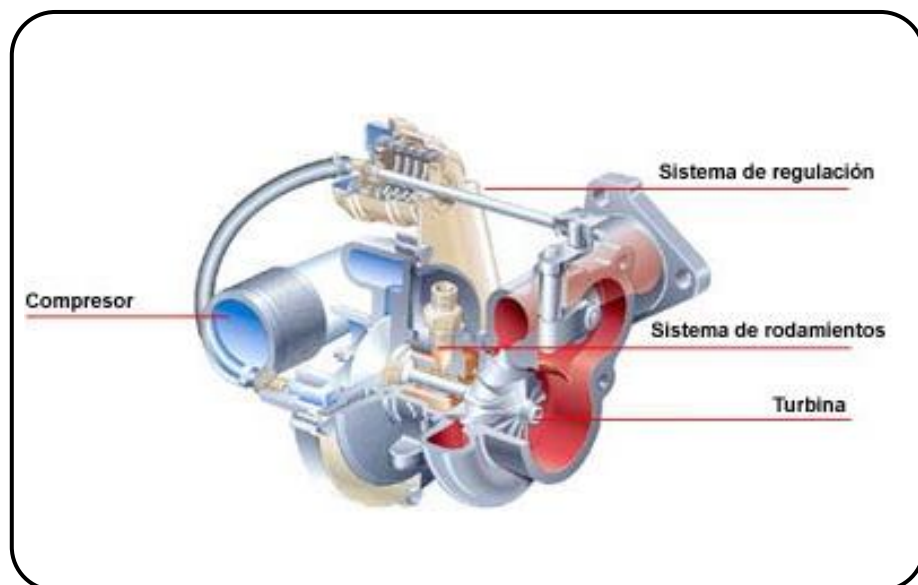


Figura 1.4.-Corte transversal de un turbocompresor

1.4.1. COMPRESOR

Los compresores de los turbocompresores suelen ser de tipo centrífugo, formados por tres componentes básicos: rueda del compresor, difusor y caja. Sirviéndose de la velocidad de rotación de la rueda, se introduce el aire axialmente, se acelera a gran velocidad y posteriormente se expulsa en dirección radial. El difusor frena el aire que fluye a gran velocidad, sin apenas pérdidas, para aumentar tanto la presión como la temperatura. El difusor se compone de la placa de apoyo del compresor y parte del alojamiento en espiral, que a su vez recoge el aire y lo frena aún más antes de que llegue a la salida del compresor.

El comportamiento operativo del compresor se define normalmente mediante planos que reflejan la relación existente entre la relación de presiones y el volumen o el caudal másico. La sección del plano relativa a los compresores centrífugos está delimitada por las líneas de sobrecarga y cierre y la velocidad máxima permitida del compresor.

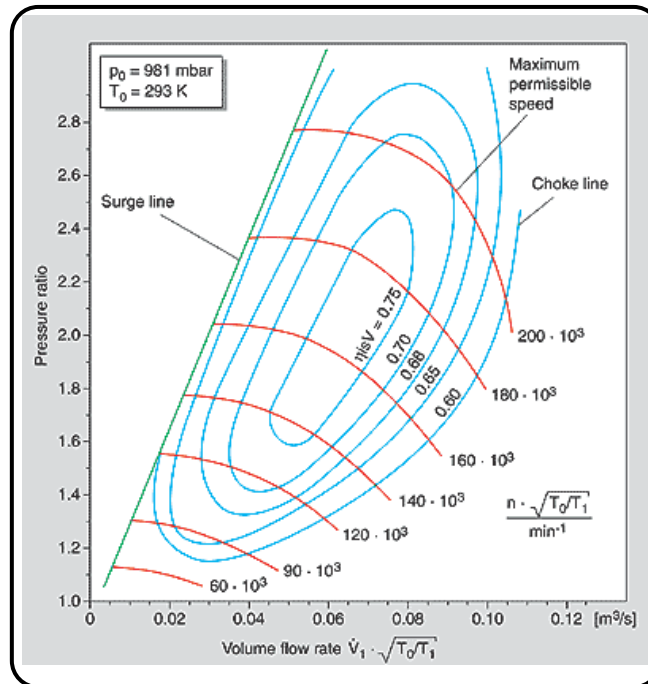


Figura 1.5.- Mapa de compresor de un turbocompresor para aplicaciones en turismos.

El ancho del mapa está delimitado a la izquierda por la línea de sobrecarga. Esto es básicamente la “pérdida” del flujo de aire en la entrada del compresor. Con un caudal demasiado pequeño y una relación de presiones demasiado alta, el flujo no puede seguir adhiriéndose a la cara de aspiración de las aspas, lo que provoca la interrupción del proceso de impulsión. La circulación de aire a través del compresor se invierte hasta que se alcance una relación de presiones estable con un caudal volumétrico positivo, se vuelve a generar presión y se repite el ciclo. Esta inestabilidad del flujo continúa con una frecuencia constante y el ruido resultante se conoce como “sobrecarga”.

1.4.2. TURBINA

La turbina del turbocompresor, formada por una rueda de turbina y una caja de turbina, convierte los gases de escape del motor en energía mecánica para acciona el compresor.

Los gases, que quedan restringidos por la zona de sección transversal del flujo de la turbina, experimentan una caída de presión y temperatura entre la toma y la salida. La turbina convierte esta caída de presión en energía cinética para accionar la rueda de la turbina.

Existen dos tipos principales de turbinas: de flujo axial y radial. En el tipo de flujo axial, el flujo a través de la rueda sólo se produce en la dirección axial. En las turbinas de flujo radial, la entrada de flujo de gases es centrípeta, es decir, en dirección radial de fuera hacia adentro, mientras que la salida se produce en dirección axial.

Con ruedas de hasta 160 mm aproximadamente de diámetro, sólo se utilizan turbinas de flujo radial. Esto equivale a una potencia de motor de unos 1000 kW por turbocompresor. A partir de 300 mm en adelante, sólo se emplean turbinas de flujo axial. Entre estos dos valores, ambas variantes son posible.

Como la turbina de flujo radial es el tipo más generalizado en aplicaciones de automoción, la siguiente descripción se limita al diseño y función de este tipo de turbina.

En la cámara espiral (voluta) de dichas turbinas radiales o centrípetas, la presión de los gases de escape se convierte en energía cinética y los gases de escape de la circunferencia de la rueda son dirigidos a velocidad constante a la rueda de la turbina. La conversión energética de energía cinética en potencia de eje se produce en la rueda de la turbina, que está diseñada de forma que para cuando los gases

lleguen a la salida de la rueda, la casi totalidad de la energía cinética ya esté transformada.

El rendimiento de la turbina aumenta a medida que aumenta la caída de presión entre la toma y la salida, es decir, cuando se retienen más gases en entrada de la turbina como resultado de un régimen más alto del motor, o en el caso de un aumento de temperatura de los gases de escape, debido a una mayor energía de estos.

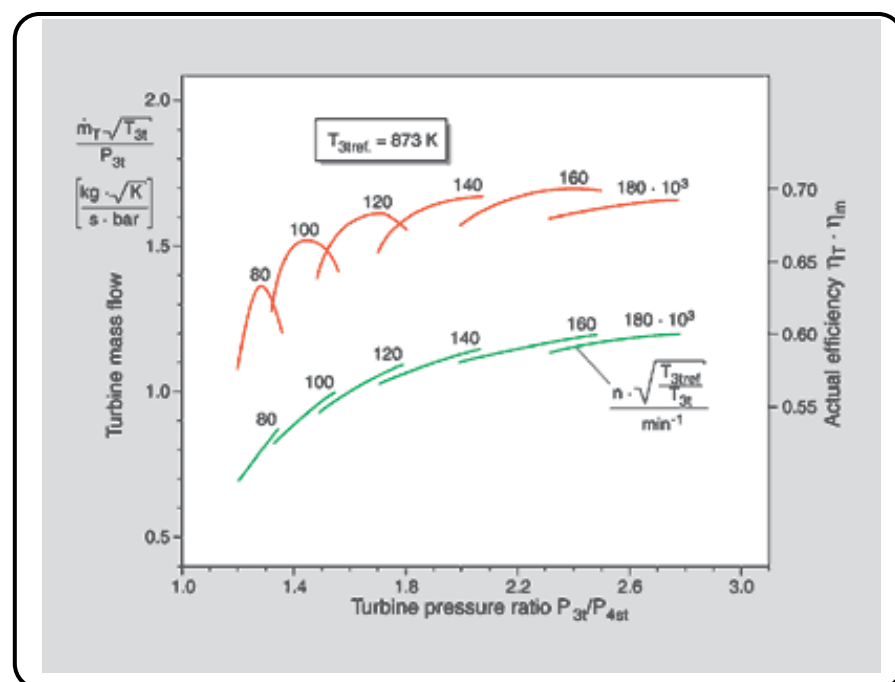


Figura 1.6.- Plano de turbina con turbocompresor

El funcionamiento característico de la turbina viene determinado por la sección transversal de flujo específica, la sección transversal de la garganta, en la zona de transición del canal de entrada a la cámara espiral (voluta). Al reducir la sección transversal de la garganta, se contienen más gases de escape en entrada de la turbina y aumenta el rendimiento de ésta como resultado del incremento en la relación de presiones. Por lo tanto, si se reduce la sección transversal de flujo, aumentan las presiones

de sobrealimentación. La zona de sección transversal de flujo de la turbina se puede modificar cambiando la carcasa de la turbina.

Además de la zona de la sección transversal de flujo de la carcasa de la turbina, la zona de salida en la toma de la rueda también afecta a la capacidad de flujo de masa de la turbina. El mecanizado del contorno de fundición de la rueda de una turbina permite ajustar la zona de sección transversal y, por ende la presión de sobrealimentación. Una ampliación del contorno incrementa la zona de sección transversal de flujo de la turbina.

Las turbinas de geometría variable cambian la sección transversal de flujo entre el canal de la envoluta y la toma de la rueda. La zona de salida a la rueda de la turbina cambia por acción de unos portaálabes variables o un anillo deslizante que recubre la parte de la sección transversal.

En la práctica, las características de funcionamiento de las turbinas con turbocompresor de gases de escape se describen mediante planos en los que se muestran los parámetros de flujo trazados como función de la relación de presiones en la turbina.

El plano de la turbina refleja las curvas de flujo de masa y el rendimiento de la turbina a distintas velocidades. Para simplificar el plano, las curvas de flujo de masa, así como el rendimiento, pueden representarse mediante una curva promedio.

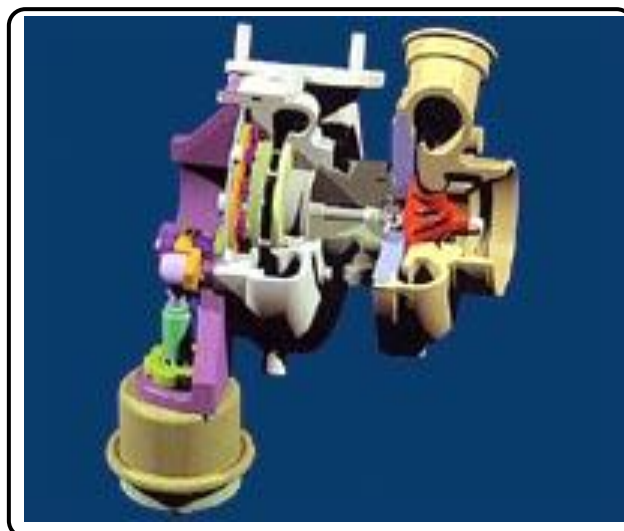
Para un rendimiento general elevado del turbocompresor, la coordinación de los diámetros del turbocompresor y de la rueda de la turbina es de vital importancia. La posición del punto de funcionamiento en el plano del compresor determina la velocidad del turbocompresor. El diámetro de la rueda de la turbina debe ser tal que permita maximizar el rendimiento de la turbina en este rango de funcionamiento.

1.5. DESARROLLO Y ADAPTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR

1.5.1. DESARROLLO

Como los turbocompresores tienen que satisfacer diversas exigencias relativas al alto y ancho de plano, características de eficacia, momento de inercia del rotor y condiciones de uso, se encuentran en continuo desarrollo nuevos tipos de turbinas y compresores destinados a distintas aplicaciones de motores. Además, las distintas legislaciones regionales relativas a emisiones conducen al desarrollo de soluciones técnicas diversas.

Son el compresor y las ruedas de la turbina los elementos que ejercen mayor influencia sobre las características de funcionamiento del turbocompresor. Dichas ruedas están diseñadas utilizando programas informáticos que permiten el cálculo tridimensional de los flujos de aire y gases de escape. La resistencia de las ruedas se optimiza de forma simultánea utilizando el método de elemento finito (FEM), calculándose la durabilidad en base a ciclos de conducción realistas.



**Figura 1.7.- Modelo de turbocompresor
con montaje mediante CAD**

Pese a los avances experimentados por la tecnología informática actual y los detallados programas de cálculo, es la realización de pruebas el procedimiento que tiene la última palabra en la decisión relativa a la calidad de los nuevos componentes aerodinámicos. El ajuste preciso y la verificación de resultados se realiza por tanto en bancos de pruebas de turbocompresores.

1.5.2. ADAPTACIÓN

Los componentes básicos del turbocompresor son la turbina y el compresor. Ambos elementos son máquinas turbo que, con la ayuda de la normativa legal de creación de modelos, pueden fabricarse en distintos tamaños con características parecidas. Así, mediante reducción y ampliación, se establece la gama de turbocompresores, permitiendo que el tamaño óptimo de bastidor del turbocompresor se encuentre disponible para distintos tamaños de motores. No obstante, la capacidad de efectuar transferencias a otros tamaños de bastidores se encuentra restringida ya que no se pueden establecer escalas dimensionales de todas las características. Además, las exigencias varían según el tamaño de cada motor, por lo que no siempre es posible utilizar las mismas geometrías de rueda o carcasa.

El principio de diseño modular y la similitud de modelos, no obstante, permite el desarrollo de turbocompresores que se adaptan a las medidas individuales de cada motor. Este proceso comienza con la selección del compresor adecuado en base a la curva característica de presión de admisión que se precise. Lo ideal debe ser que la curva de carga total sea tal que la eficacia del compresor se encuentre en su nivel máximo dentro del rango principal de funcionamiento del motor. La distancia hasta la línea de sobrecarga debe ser suficientemente grande.

La adaptación termodinámica del turbocompresor se realiza mediante equilibrios de flujo de masa y energía. El aire que emite el

compresor y el combustible que se suministra al motor constituyen el caudal másico. En funcionamiento en régimen permanente, las salidas de potencia de la turbina y el compresor son idénticas (estado de rueda libre). El cálculo de adaptación es iterativo, basado en planos de turbina y compresor, así como en los datos más importantes del motor.

El cálculo de adaptación puede ser muy preciso al utilizar programas informáticos para efectuar la simulación calculada de motor y turbocompresor. Dichos programas incluyen equilibrios de masa, energía, material para todos los cilindros y todas las conducciones que se conecten. El turbocompresor entra en el cálculo en forma de planos. Además, dichos programas incluyen varias ecuaciones empíricas que describen interrelaciones que son de difícil expresión de forma analítica.

II. TIPOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

2.1. INTRODUCCIÓN

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración y reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

El interés principal para el Mantenimiento deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la Vibraciones detectadas en el elemento o máquina, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las Vibraciones Mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc

2.2. VIBRACIÓN DEBIDA A DESBALANCE

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos los datos arrojados por un estado de desbalance indican:

- La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x las rpm de la pieza desbalanceada.
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las máquinas con ejes horizontales).
- El análisis de fase indica lecturas de fase estables. La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°.

Nota: el desbalance de un rotor saliente a menudo tiene como resultado una gran amplitud de la vibración en sentido axial, al mismo tiempo que en sentido radial.

2.3. VIBRACIÓN DEBIDA A FALTA DE ALINEAMIENTO

En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

- La frecuencia de vibración es de 1x rpm; también 2x y 3x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento. La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial. El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.
- La falta de alineamiento, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Nota: Uno de los indicios más importantes de problemas debidos a falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineamiento en el acoplamiento son:

- Angular
- En paralelo
- Una combinación de ambos.

Una falta de alineamiento angular sujeta principalmente los ejes de las máquinas accionadora y accionada a vibración axial igual a la velocidad de rotación (rpm) del eje.

La falta de alineamiento en paralelo produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

2.4. VIBRACIÓN DEBIDA A EXCENRICIDAD

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa “ovalamiento”, sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalances, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro.

Una manera de diferenciar entre desbalance y excentricidad en este tipo de motor es medir la vibración con filtro afuera, mientras el motor esta funcionando bajo corriente. Luego, se desconecta el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración.

Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor sigue girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desbalance. Si en cambio la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo en que el motor es desconectado, el problema es seguramente de naturaleza eléctrica, y es muy posible que se deba a excentricidad del inducido.

La excentricidad en rodetes o rotores de ventiladores, sopladores, bombas y compresores puede también crear fuerzas vibratorias. En esos casos las fuerzas son el resultado de fuerzas aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan contra el rotor.

2.4.1. ELEMENTOS RODANTES DEFECTUOSOS

Defectos en las pistas, en las bolas o en los rodillos de rodamientos de elementos rodantes ocasionan vibración de alta frecuencia; y, lo que es más, la frecuencia no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá de la gravedad de la falla del rodamiento.

Nota: La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

2.4.2. FALLA DE RODAMIENTOS - OTRAS CAUSAS

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos; y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan vibración.

Causas comunes de fallas en los rodamientos de elementos rodantes:

- Carga excesiva
- Falta de alineamiento
- Defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento
- Montaje defectuoso
- Ajuste incorrecto
- Lubricación inadecuada o incorrecta
- Sellado deficiente
- Falsa brinelación (Deformación bajo carga)
- Corriente eléctrica

2.5. VIBRACIÓN DEBIDA A RODAMIENTOS DE CHUMACERA DEFECTUOSOS

Elevados niveles de vibración, ocasionados por rodamientos de chumacera defectuosos, son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causada por desgaste debido a una acción de barrido o por erosión química), aflojamientos mecánicos (metal blanco suelto en el alojamiento), o problemas de lubricación.

a)Holgura excesiva de los rodamientos

Un rodamiento de chumacera con holgura excesiva hace que un defecto de relativamente menor importancia, tal como un leve desbalance o una pequeña falta de alineamiento, u otra fuente de fuerzas vibratorias, se transformen como resultado de aflojamientos mecánicos o en golpes repetidos (machacado).

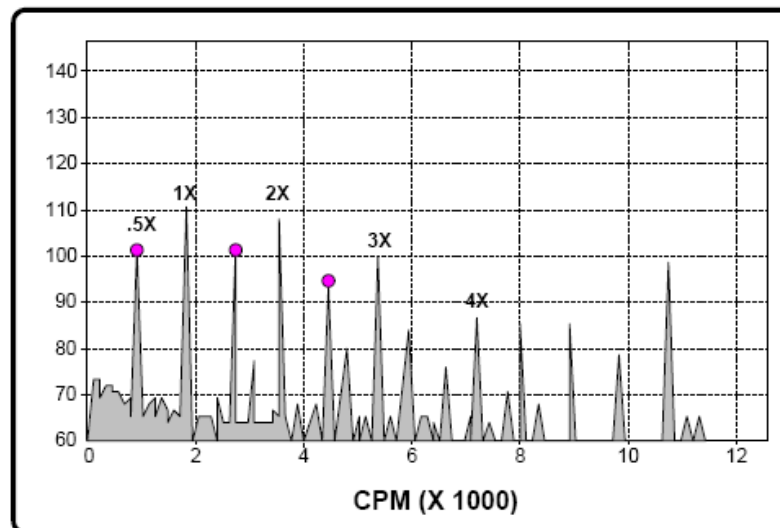


Figura 2.1.- Holgura mecánica del rodamiento

En tales casos el rodamiento en si no es lo que crea la vibración; pero la amplitud de la misma sería mucho menor si la holgura de los rodamientos fuera correcta. A menudo se puede detectar un rodamiento de chumacera desgastado por “barrido” efectuando una comparación de las amplitudes de vibración horizontal y vertical. Las máquinas que están montadas

firmemente sobre una estructura o cimentación rígida revelarán, en condiciones normales, una amplitud de vibración ligeramente más alta en sentido horizontal.

b) Torbellino de aceite

Este tipo de vibración ocurre solamente en máquinas equipadas con rodamientos de chumacera lubricados a presión, y que funcionan a velocidades relativamente altas - normalmente por encima de la segunda velocidad crítica del motor.

La vibración debida a torbellinos de aceite a menudo es muy pronunciada, pero se reconoce fácilmente por su frecuencia fuera de lo común. Dicha frecuencia es apenas menor de la mitad de la velocidad de rotación (en rpm) del eje, generalmente en el orden del 46 al 48% de las rpm del eje.

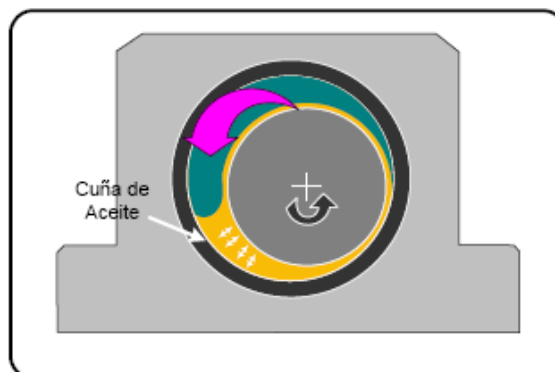


Figura 2.2.-Remolino de Aceite (OIL Whirl)

El problema de los torbellinos de aceite normalmente se atribuye a diseño incorrecto del rodamiento, desgaste excesivo del rodamiento, un aumento de la presión del lubricante o un cambio de la viscosidad del aceite.

Se pueden hacer correcciones temporales modificando la temperatura del aceite (viscosidad), introduciendo un leve desbalance o

una falta de alineamiento de manera de aumentar la carga sobre el eje, o rascando y/o ranurando los costados del rodamiento, para desbaratar la “cuña” de lubricante. Desde luego, una solución más duradera es reemplazar el rodamiento con uno que haya sido diseñado correctamente de acuerdo a las condiciones operativas de la máquina, o con uno que esté diseñado para reducir la posibilidad de formación de torbellinos de aceite.

Los rodamientos con ranuras axiales usan las ranuras para aumentar la resistencia a la formación de torbellinos de aceite en tres puntos espaciados uniformemente. Este tipo de configuración está limitado a las aplicaciones más pequeñas, tales como turbinas de gas livianas y turbo cargadores.

Los rodamientos de chumacera de lóbulos brindan estabilidad contra los torbellinos de aceite al proporcionar tres puntos de concentración de la película de aceite bajo presión, que sirven para centrar al eje.

Los rodamientos de riñón basculante son comúnmente utilizados para las máquinas industriales más grandes, que funcionan a velocidades más altas.

Hay dos causas comunes de vibración que pueden inducir un torbellino de aceite en un rodamiento de chumacera.

- **Vibración proveniente de maquinaria ubicada en las cercanías:**
Puede ser transmitida al rodamiento de chumacera a través de estructuras rígidas, tales como tuberías y cimentaciones. A este fenómeno se le conoce como *Torbellino Inducido por el Exterior*.
- **Vibración ocasionada por otros elementos de la máquina:**
Toda vez que se detecta la vibración característica del torbellino de aceite se deberá realizar una completa investigación de las vibraciones

en toda la instalación, incluyendo las fuentes de vibración circunvecina, la estructura de cimentación y las tuberías relacionadas. Se podrá así quizás descubrir una causa externa de los problemas de torbellino de aceite.

c) Torbellinos de Histéresis

Este tipo de vibración es similar a la vibración ocasionada por el torbellino de aceite, pero ocurre a frecuencias diferentes, cuando el rotor gira entre la primera y la segunda velocidad crítica.

Un rotor que funcione por encima de la velocidad crítica tiende a flexionarse, o arquearse, en sentido opuesto del punto pesado de desbalance. La amortiguación interna debida a histéresis, o sea la amortiguación de fricción normalmente limita la deflexión a niveles aceptables. Sin embargo, cuando acontece un torbellino por histéresis, las fuerzas amortiguadoras se encuentran en realidad en fase con la deflexión, y por lo tanto, acrecientan la deflexión del motor.

Cuando dicho rotor está funcionando por encima de la primera velocidad crítica pero por debajo de la segunda, el torbellino por histéresis ocurre a una frecuencia exactamente igual a la primera velocidad crítica del rotor.

Nota: La frecuencia de formación del torbellino de aceite es levemente menor de la mitad de la velocidad de rotación del rotor.

La vibración ocasionada por un torbellino por histéresis tendrá las mismas características que las ocasionadas por un torbellino de aceite cuando la máquina funcione a velocidades superiores a la segunda velocidad crítica del eje. Es decir, que una severa vibración se producirá a una frecuencia levemente menor que $0.5x$ las rpm del rotor.

El torbellino por histéresis es controlado normalmente por la acción de amortiguación provista por los rodamientos de chumacera en sí. Sin embargo, cuando la amortiguación estacionaria es baja en comparación con la amortiguación interna del rotor, es probable que se presenten problemas.

La solución usual para este problema es aumentar la amortiguación estacionaria de los rodamientos y de la estructura de soporte de los mismos, lo que puede lograrse instalando un rodamiento de riñón basculante o de algún rodamiento de diseño especial. En algunos casos el problema puede ser solucionado reduciendo la amortiguación dada por el rotor - sencillamente, cambiando un acoplamiento de engranajes con una versión sin fricción; por ejemplo, con un acoplamiento de disco flexible.

2.5.1. LUBRICACIÓN INADECUADA

Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar problemas de vibración en un rodamiento de chumacera.

En semejantes casos la lubricación inadecuada causa excesiva fricción entre el rodamiento estacionario y el eje rotante, y dicha fricción induce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama *“dry whip”*, o sea *látigo seco* y es muy parecida al pasar del dedo mojado sobre un cristal seco.

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco generalmente es muy alta y produce el sonido chillón característico de los rodamientos que están funcionando en seco. No es muy probable que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las rpm del eje, de manera que no es de esperarse ningún patrón significativo bajo la luz estroboscópica. En este respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción en mal estado.

Toda vez que se sospeche que un látigo seco sea la causa de la vibración se deberá inspeccionar el lubricante, el sistema de lubricación y la holgura del rodamiento.

2.6. VIBRACIÓN DEBIDA A AFLOJAMIENTO MECÁNICO

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeteo (machacado) resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es $2x$, y también múltiplos más elevados, de las rpm. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desbalance o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalance o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto a decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

Nota: Un aflojamiento mecánico excesivo es muy probable que sea la causa primaria de los problemas cuando la amplitud de la vibración $2x$ las rpm es más de la mitad de la amplitud a la velocidad de rotación, $1x$ las rpm.

2.7. SENSORES DE VIBRACIÓN

El transductor de vibraciones es un aparato que produce una señal eléctrica que es una réplica o análogo del movimiento vibratorio al cual está sujeto. Un buen transductor no debe agregar falsos componentes a la señal, y debe producir señales uniformes en todo el rango de frecuencias de interés.

2.7.1. SENSOR DE PROXIMIDAD

El Sensor de proximidad, también llamado “Sensor de Corriente de Remolino”, o “Transductor de Desplazamiento” es una unidad de montaje permanente, y necesita un amplificador que acondiciona la señal para generar un voltaje de salida proporcional a la distancia entre el transductor y la extremidad de la flecha. Su operación está basada en un principio magnético y por eso, es sensible a las anomalías magnéticas en la flecha.

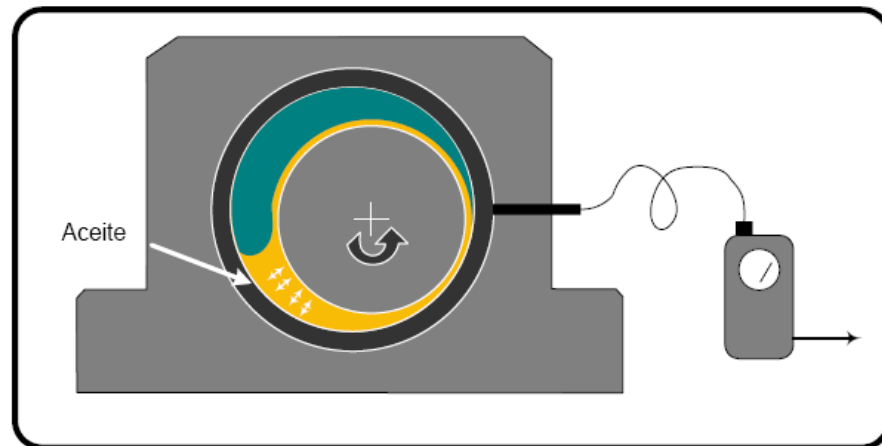


Figura 2.3.-Sensor de Proximidad

Esos transductores se usan mucho en pares, separados por una diferencia de orientación de 90 grados. La frecuencia de respuesta del transductor de desplazamiento va desde DC (0 Hz) hasta alrededor de 1000 Hz.

2.7.2. EL ACELERÓMETRO

Se puede considerar al acelerómetro piezoeléctrico como el transductor estándar para medición de vibración en máquinas. Se produce en varias configuraciones, pero la del tipo a compresión sirve para describir el principio de la operación.

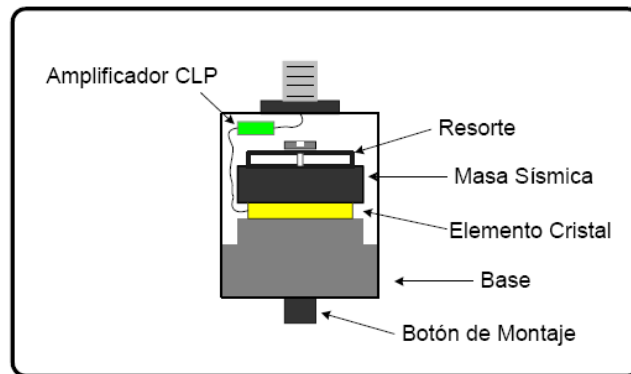


Figura 2.4. Acelerómetro Piezoeléctrico

La masa sísmica está sujeta a la base con un perno axial, que se apoya en un resorte circular. El elemento piezoeléctrico está ajustado entre la base y la masa. Cuando un material está sujeto a una fuerza, se genera una carga eléctrica entre sus superficies. Hay muchos materiales de este tipo. El cuarzo es el más utilizado. También hay materiales piezoeléctricos sintéticos que funcionan bien y en algunos casos son capaces de funcionar a temperaturas más altas que el cuarzo. Si se incrementa la temperatura de un material piezoeléctrico, se va a llegar al llamado “punto curie” o temperatura curie” donde se pierde la propiedad piezoeléctrica. Una vez que esto pasa, el transductor se estropea y no se puede reparar.

Cuando se mueve el acelerómetro en la dirección arriba/abajo, la fuerza que se requiere para mover la masa sísmica es soportada por el elemento activo. Según la segunda ley de Newton, esa fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. La fuerza sobre el cristal produce la señal de salida que es proporcional a la aceleración del transductor. Los acelerómetros son lineales en el sentido de la amplitud, lo que quiere decir que tienen un gran rango dinámico. Los niveles más bajos de aceleración que puede detectar son determinados únicamente por el ruido del sistema electrónico, y el límite más alto es la destrucción del elemento piezoeléctrico.

El acelerómetro piezoeléctrico es muy estable sobre largos períodos de tiempo. Mantendrá su calibración si no se maltrata. Un acelerómetro puede dañarse por exposición al calor excesivo y la caída en una superficie dura. Una pequeña cuarteadura en el cristal causará una reducción en la sensibilidad y también afectará de manera importante a la resonancia y a la respuesta de frecuencia. Es recomendable calibrar los acelerómetros una vez al año, si están en servicio con registradores de datos portátiles.

El rango de frecuencias del acelerómetro es muy ancho y se extiende desde aproximadamente 1 Hz hasta varias decenas de khz. La respuesta de alta frecuencia está limitada por la resonancia de la masa sísmica, junto con la elasticidad del piezo elemento. Esa resonancia produce un pico importante en la respuesta de la frecuencia natural del transductor, y eso se sitúa normalmente alrededor de 30 khz. para los acelerómetros que se usan normalmente. Una regla general es que un acelerómetro se puede usar alrededor de $1/3$ de su frecuencia natural. Los valores por encima de esta frecuencia se acentuarán debido a la respuesta resonante, pero se pueden usar si se toma en cuenta este efecto.

La mayoría de los acelerómetros que hoy en día se usan en la industria son del tipo "PCI", lo que quiere decir que tienen un preamplificador interno de circuito integrado. El acelerómetro PCI tendrá un límite de baja frecuencia, debido al preamplificador y este se sitúa generalmente a 1 Hz para la mayoría de las unidades disponibles comercialmente. Algunas unidades se han diseñado especialmente para operar desde 0.1 Hz si se necesita datos de muy baja frecuencia.

Cuando se conecta un acelerómetro PCI a la fuente de energía, el amplificador necesita unos segundos para estabilizarse. Durante este tiempo cualquier dato que la unidad recoja será contaminado por las lentas variaciones del voltaje. Por esa razón, los recopiladores de datos deben de tener un retraso integrado, para asegurar que la unidad está en

condición estable. Si el retraso es demasiado breve, la forma de onda de tiempo tendrá una rampa de voltaje en forma exponencial superpuesta sobre los datos y en el espectro se verá una característica creciente de muy baja frecuencia. Este se debe evitar, ya que compromete el rango dinámico de la medición.

Cuando se usa un acelerómetro PCI hay que tener cuidado de no exponerlo a niveles de aceleración donde el voltaje de salida alcanza varios voltios para evitar que se sobrecargue el preamplificador interno y se distorsione la señal.

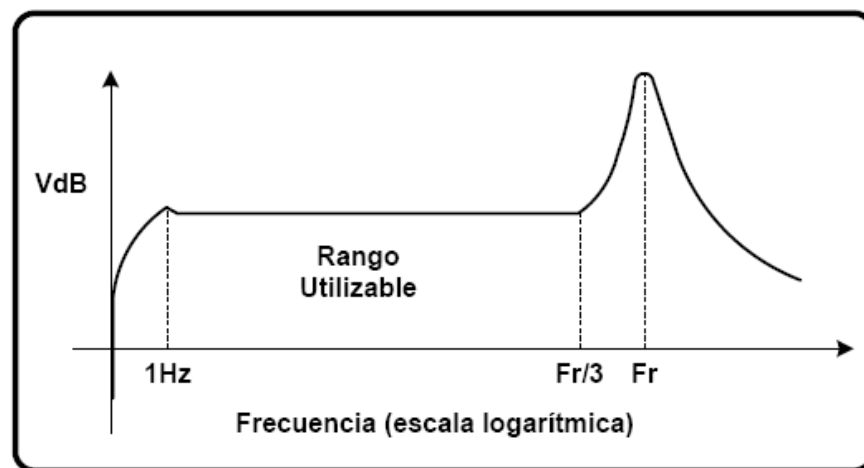


Figura 2.5.- Respuesta de Frecuencia del Acelerómetro

Cuando se coloca un acelerómetro es importante que la ruta de vibración desde la fuente hacia el acelerómetro sea la más corta posible, especialmente si se está midiendo la vibración en rodamientos con elementos rodantes.

2.8. VIBRACIONES EN COMPRESORES CENTRÍFUGOS

Los compresores centrífugos generan espectros similares a los ventiladores centrífugos en los que la frecuencia de paso de álabes es dominante. Los álabes dañados o con erosión causarán un incremento del paso de álabes y también producirán bandas laterales 1x alrededor de esta frecuencia. En compresores centrífugos la oscilación hidráulica es un problema

de dinámica de fluidos que por lo general causa una vibración a una frecuencia de menos de 1x. Muchas veces está causada por una presión de salida incorrecta.

En la figura 2.6 se muestra el espectro de vibración típico de un compresor centrífugo con 6 álabes.

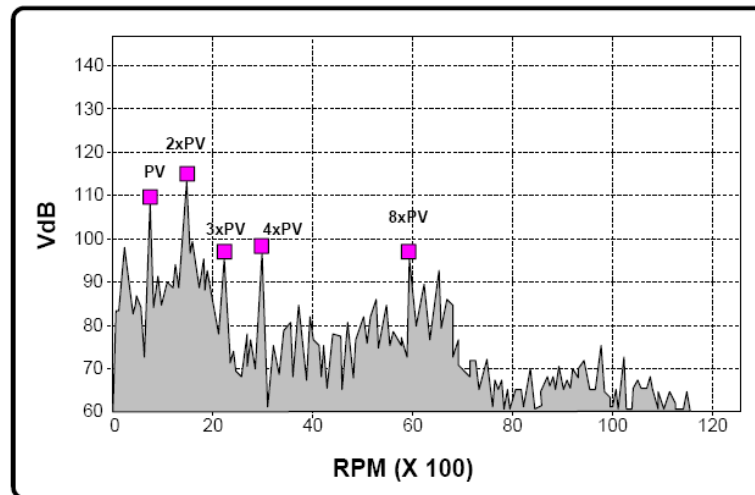


Figura 2.6. Armónicos del paso de álabes

2.9. TIPOS DE DESBALANCEO

2.9.1 DESBALANCEO ESTÁTICO

Existe desbalanceo estático cuando la masa que sobra está en el mismo plano (perpendicular al eje de rotación) que el centro de gravedad del rotor. Esto provoca que el eje principal de inercia del conjunto se desplace paralelamente al eje de rotación. Este desbalanceo se corrige con un contrapeso opuesto al peso sobrante. El desbalanceo estático se aprecia en piezas de diámetro mucho mayor que el largo (discos), como por ejemplo hélices, volantes etc. pero ocasionalmente en cilindros de diámetro comparable con el largo.

Si montamos una pieza muy desbalanceada sobre apoyos que ofrezcan muy poca resistencia a la rotación, el rotor se moverá por acción

de la gravedad y quedará con el peso sobrante hacia abajo.

2.9.2. DESBALANCEO DINÁMICO

Este es el caso más frecuente y general de desbalanceo y provoca que el eje principal de inercia de una pieza desbalanceada no sea paralelo al eje de rotación y no pase por el centro de gravedad de la pieza. En este caso solo se puede balancear colocando dos contrapesos en dos planos perpendiculares al eje de rotación y con posiciones angulares distintas.

Si montamos una pieza muy desbalanceada sobre apoyos que ofrezcan muy poca resistencia a la rotación, en el caso de que los pesos que provocan el desbalanceo estén en planos distintos y a 180° entre sí, el rotor no se moverá por acción de la gravedad y quedará detenido en cualquier posición

El desbalanceo estático y dinámico son definidos por la norma ISO 1925. Una máquina balanceadora nos indica la cantidad y la posición de los contrapesos que debemos agregar en cada plano de equilibrado, para evitar las vibraciones ocasionadas por desbalanceo.

En una pieza en rotación (rotor), cada punto de su masa está sometido a la acción de una fuerza radial que tiende a separar ese punto del eje de rotación.

Si la masa del rotor está uniformemente distribuida alrededor del eje, ese rotor estará “balanceado” y su rotación no generará vibraciones. Por el contrario si en algún lugar sobra algo de peso, este generará una fuerza centrífuga no equilibrada que debe ser soportada por los apoyos.

La siguiente fórmula se utiliza para calcular la fuerza no equilibrada:

$$F = r \cdot p \cdot n^2 \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Utilizando unidades prácticas podemos calcular la fuerza F en kilogramos que genera masa de p gramos que gira a r metros del eje de rotación y a n rpm. Debemos agregar la constante **893653** para el ajuste de unidades.

$$F = r \cdot p \cdot n^2 / 893653 \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Ejemplo: Un peso de 20 g girando a 30 cm del eje de rotación generará una fuerza giratoria de 6.7 Kg a 1000 rpm, 26.9 Kg a 2000 rpm, 107.4 Kg a 4000 rpm etc.

III. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Son muchas las aplicaciones donde se hace indispensable el tratamiento de señales que nos proporcionen información sobre fenómenos físicos. En general, este tratamiento es necesario hacerlo sobre grandes cantidades de información y con una elevada velocidad de procesamiento; un computador es el encargado de realizar estas tareas debido a su excelente velocidad de procesamiento sobre cantidades elevadas de información. Comúnmente se utilizan las tarjetas de adquisición de datos, que son las que proporcionan al computador la capacidad de adquirir y generar señales, ya sean analógicas o digitales. Sin embargo, estas no son las únicas funciones de las tarjetas de adquisición; entre otras, también disponen de contadores y temporizadores.

Cuando se desea obtener información sobre fenómenos físicos es necesario introducir un nuevo elemento en el sistema que nos suministre un parámetro eléctrico a partir de un parámetro físico, dicho elemento es el transductor. El transductor es el primer elemento que forma un sistema general de adquisición de señales. Generalmente, las señales eléctricas generadas por los transductores no son adecuadas o no son compatibles con las características de entrada de una tarjeta de adquisición de datos. En estos casos se hace necesario el uso de dispositivos de acondicionamiento de señal que realizan un pre-tratamiento de la misma. Entre otras, las funciones más usuales de los acondicionadores son; amplificación, filtrado, aislamiento eléctrico incluso linealización y multiplexado. La figura 3.1 muestra una configuración general de un sistema basado en la adquisición de datos.

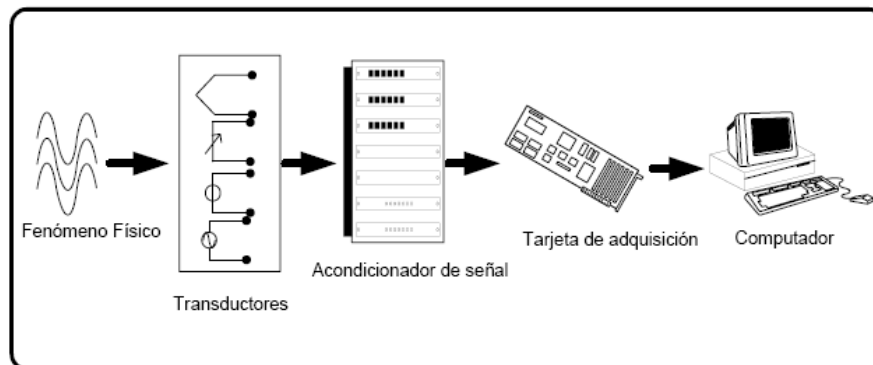


Figura 3.1 Sistema de adquisición de datos

3.2. HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El hardware de adquisición de datos puede ser interno, instalado directamente en una ranura de expansión dentro de la computadora o externo, conectado a la computadora a través de un cable de comunicación.

En el nivel más simple, el hardware de adquisición de datos se caracteriza por los *subsistemas* que posee. Un subsistema es un componente del hardware de adquisición de datos que ejecuta una tarea especializada. Los subsistemas comunes incluyen.

- Entrada analógica
- Salida analógica
- Entrada/salida digital
- Contador/temporizador

Los dispositivos de hardware que contienen múltiples subsistemas, se llaman *tarjetas multifunción*.

3.2.1. SENSORES

Un sensor convierte el fenómeno físico de interés en una señal que es ingresada al hardware de adquisición de datos. Hay dos tipos

principales de sensores basados en el tipo de salida que producen:

- sensores digitales
- sensores analógicos.

Los sensores digitales producen una señal de salida que es una representación digital de la señal de entrada y tiene valores discretos de magnitud medidos en tiempos discretos. Un sensor digital debe tener niveles lógicos de salida que sean compatibles con el receptor digital. Algunos niveles lógicos estándar son: lógica transistor-transistor (TTL) y lógica de emisor acoplado (ECL).

Los sensores analógicos producen una señal de salida que es directamente proporcional a la señal de entrada y es continua en magnitud y tiempo. La mayoría de variables físicas tales como temperatura, presión y aceleración son continuas por naturaleza y se miden fácilmente con un sensor analógico.

3.3. SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Independientemente del hardware utilizado, siempre es necesario enviar y recibir información hacia y desde el dispositivo de adquisición de datos. La información que se envía generalmente es de configuración, por ejemplo, la frecuencia de muestreo. La información que se recibe pueden ser datos, mensajes de estado o mensajes de error.

Hay dos tipos de software para adquisición de datos:

- Software de Control.
- Software de Aplicación

La relación entre el usuario, el software de control y el software de aplicación se muestra en la figura 3.2

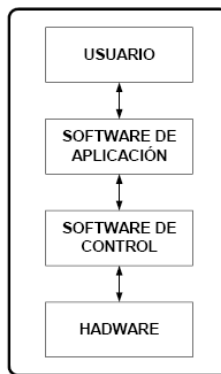


Figura 3.2 Relación entre el software de control y aplicación

3.3.1. SOFTWARE DE CONTROL

El software de control permite acceder y controlar las funciones del hardware de adquisición de datos. Entre otras cosas, un software de control básico permite:

- Enviar y recibir datos desde y hacia la tarjeta de adquisición de datos
- Controlar la frecuencia a la cual son adquiridos los datos
- Integrar el hardware con los recursos de la computadora tales como interrupciones del procesador, DMA y memoria
- Integrar el hardware de adquisición de datos con un hardware de acondicionamiento de señal.
- Acceder a subsistemas múltiples
- Acceder a múltiples tarjetas de adquisición de datos

3.3.2. SOFTWARE DE APLICACIÓN

El software de aplicación proporciona una conveniente interfase entre el usuario y el software de control. El software de aplicación permite:

- Reportar información relevante, por ejemplo, el número de muestras adquiridas
- Generar eventos
- Manejar los datos almacenados en la memoria de la computadora

- Acondicionar las señales adquiridas
- Graficar los datos adquiridos

3.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

3.4.1. SEÑALES Y SISTEMAS

Una señal es una descripción de como un parámetro varía con respecto a otro, por ejemplo, el cambio de voltaje en el tiempo en un circuito electrónico o la variación de brillo de una imagen con la distancia. Un **sistema** es cualquier proceso que produce una *señal de salida* en respuesta a una señal de entrada.

Los sistemas continuos tienen entradas y salidas continuas, por ejemplo los circuitos electrónicos analógicos. Los sistemas discretos tienen entradas y salidas discretas, por ejemplo, los programas de computadora que manipulan los valores almacenados en la memoria.

3.4.2. MUESTREO

El muestreo toma un valor instantáneo de la señal del sensor en tiempos discretos. Para la mayoría de aplicaciones el intervalo entre muestras se mantiene constante (por ejemplo, una muestra cada milisegundo). Generalmente, el muestreo es realizado por un circuito de muestreo y retención (SIH). Un circuito S/H consiste en un amplificador de señal seguido de un interruptor electrónico conectado a un capacitor, la operación de este circuito sigue estos pasos:

1. En un instante de tiempo determinado, el interruptor conecta el amplificador y el capacitor a la entrada.
2. El capacitor se carga con el voltaje de entrada
3. La carga se retiene hasta que el conversor A/D convierte la señal.
4. Para canales múltiples conectados (multiplexados) a un convertidor

- AID, se repiten los pasos anteriores para cada canal de entrada
5. El proceso completo se repite para la siguiente muestra.

3.4.3. CUANTIZACIÓN

La señal analógica muestreada debe ser convertida de un valor de voltaje a un número binario que pueda ser leído por la computadora. La conversión de una amplitud de precisión infinita a un número binario se denomina cuantización. Durante la cuantización, el convertidor AID usa un número finito de valores uniformemente espaciados para representar a la señal analógica. El número de valores diferentes está determinado por el número de bits usados en la conversión. La figura 3.3 muestra una señal de 1 Hz cuantizada por un convertidor AID de 3 bits.

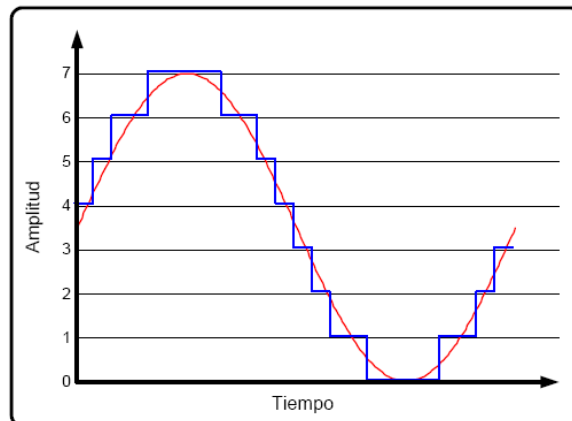


Figura 3.3. Cuantización de una señal con un conversor AID de 3 bits

3.5. ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

3.5.1. DOMINIO DE LA FRECUENCIA Vs. DOMINIO DEL TIEMPO

La forma tradicional de observar una señal es de hacerla en el dominio del tiempo, en el cual se observan registros de la variación de algún parámetro en función del tiempo. Hace aproximadamente un siglo Jean Baptiste Fourier demostró que cualquier forma de onda se puede generar mediante la suma de infinitas ondas senoidales de diferentes

frecuencias. Este procedimiento permite hacer una representación alternativa a la del dominio del tiempo: el dominio de la frecuencia. El hecho de utilizar una forma de representación o la otra depende de los fines que se persigan en el análisis; si se pretende detectar variaciones en la señal de muy pequeña amplitud, es decir, pequeños cambios que puedan aparecer superpuestos a la señal de comportamiento normal, es muy posible que el dominio del tiempo no permita diferenciarlos. Por el contrario un análisis de la señal en el dominio de la frecuencia permite separar las nuevas componentes de pequeña amplitud de aquellas de gran amplitud siempre presentes en la señal. Por este motivo, el análisis espectral o análisis en el dominio de la frecuencia es una de las técnicas más empleadas en el diagnóstico de máquinas, circuitos eléctricos, etc., cuando se pretende obtener una buena resolución para la identificación de anomalías que no alteran en forma considerable las variables en el dominio del tiempo.

En la figura 3.4 se ve que algunos eventos que se traslapan y que son confusos en el dominio de tiempo están separados en sus componentes individuales en el dominio de la frecuencia. La forma de onda de vibración contiene una gran cantidad de información que no es aparente. Parte de la información está en las componentes de nivel muy bajo, la magnitud de los que puede ser menos ancho que la línea de la gráfica, de la forma de onda. Pero estos componentes de bajo nivel pueden ser importantes, si son una indicación de un problema que está creciendo, como por ejemplo una falla en un rodamiento. La esencia del mantenimiento predictivo es la detección temprana de faltas incipientes. Por eso hay que ser sensible a valores muy pequeños de señales de vibración. Se ha argumentado que la razón para el uso generalizado del análisis de frecuencia es la gran disponibilidad del analizador FFT.

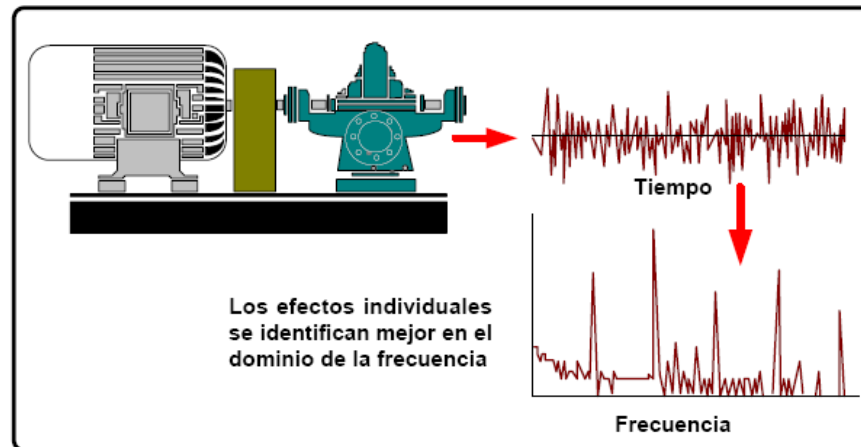


Figura 3.4. Tiempo Vs Frecuencia

Por otra parte, hay circunstancias, donde la forma de onda nos proporciona más información que el espectro, por ejemplo:

- *Impactos Vs Ruido Aleatorio.*- Los impactos pueden ser causados en el caso de rodamientos con elementos rodantes, donde las bolas encuentren una grieta o una pequeña astilla en un anillo de rodamiento. Si hay una gran cantidad de ruido externo, el espectro no tendrá un pico bien definido en la frecuencia del tono del rodamiento, lo que proporciona una mala apreciación del problema.
- *Truncado o aplastado de la señal*- En muchos casos de holgura, como en el caso del soporte principal de un rodamiento que se eleva ligeramente durante una parte de la rotación, y después hace contacto con la base durante el resto del ciclo, la forma de onda será aplastada por un lado. Esto resultará en armónicos en el espectro, pero otros tipos de distorsión de la forma de onda también producirán armónicos. La forma de onda proporciona una identificación rápida de este tipo de holgura, donde el movimiento está limitado en una dirección.
- *Eventos de baja frecuencia.*- En algunos casos, la señal de vibración podrá tener una discontinuidad de vez en cuando. Cuando se transforma en el dominio de la frecuencia, su frecuencia será tan baja que no se

podrá ver claramente en el espectro. Un ejemplo de eso es una caja de engranes de baja velocidad, que tiene un diente roto, o cuarteado en el engrane grande.

- *Pulsos.*- Los Pulsos que ocurren muchas veces en firmas de motores eléctricos y en firmas de vibración general de grupos de máquinas similares, que giran casi a la misma velocidad, se ven difícilmente en el dominio de la frecuencia, porque se necesita un espectro de alta resolución para resolver las dos frecuencias. Si se sospecha la existencia de pulsos, se debe realizar y examinar una larga grabación de la señal de tiempo. Los pulsos aparecerán inmediatamente, si están presentes.

3.6. DISPOSITIVOS E INTERFASES PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

3.6.1. EL PIC18F452

3.6.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CPU

- Memoria de programa lineal con capacidad de 32 kbytes.
- Memoria de datos lineal
 - Memoria disponible para el usuario: 1.5 Kbytes.
 - Registros de función específica (SFRs): 128 bytes.
- Frecuencia del oscilador:
 - 0 - 40 MHz (operación normal)
 - 4 MHz - 10 MHz (con PLL activo)
- Instrucciones de 16 bits de longitud, 8 bits en el bus de datos.
- Niveles de prioridad para interrupciones.
- 18 fuentes de interrupción.
 - 3 interrupciones externas.
 - 1 interrupción por cambio en las líneas RB7:RB4.
 - 4 interrupciones por desbordamiento de temporizadores.
 - 1 interrupción por fin de conversión *ND*

- 1 interrupción por fin de escritura en la EEPROM de datos.
- 2 interrupciones por evento CCP.
- 1 interrupción por módulo MSSP.
- 1 interrupción por colisión de bus I²C ó SPI.
- 1 interrupción por módulo PSP (Puerto Esclavo Paralelo).
- 2 interrupciones por módulo USART (transmisión y recepción)
- 1 interrupción por detección de bajo voltaje.
- Hardware multiplicador 8x8 bits en un solo ciclo de instrucción.

3.6.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PERIFÉRICOS

- Líneas de entrada/salida de alta corriente: 25mA por cada línea.
- Tres líneas para interrupción externa.
- Módulo Timer0: contador/temporizador de 8 bits/16 bits.
- Módulo Timer1: contador/temporizador de 16 bits.
- Módulo Timer2: contador/temporizador de 8 bits.
- Módulo Timer3: contador/temporizador de 16 bits.
- Dos módulos de Captura/Comparación/PWM (CCP)
- Puerto Serial Sincrónico Maestro (MSSP), soporta dos modos de operación: SPI de 3 hilos e I²C.
- Módulo USART, soporta: RS-485 y RS-232.
- Puerto Esclavo Paralelo (PSP).

3.6.1.3. CARACTERÍSTICAS ANALÓGICAS

- Conversor analógico a digital (*ND*) de 10 bits:
 - Alta velocidad de muestreo.
 - Conversión disponible en modo de bajo consumo (SLEEP).
 - Linealidad \leq ILSb

- Detección Programable de Bajo Voltaje (PLVD), con soporte de interrupción.
- Reset por Bajo Voltaje programable (BOR).

3.6.1.4. CONFIGURACIONES DEL OSCILADOR

El PIC 18F452 puede operar en ocho diferentes modos de oscilador:

1. LP Cristal de baja potencia.
2. XT Cristal Oscilador/Resonador.
3. HS Cristal Oscilador/Resonador de alta velocidad.
4. HS + PLL Cristal Oscilador/Resonador de alta velocidad con PLL habilitado.
5. RS Resistor/Capacitor externo.
6. RCIO Resistor/Capacitor interno con pin de entrada/salida habilitado.
7. FC Reloj externo.
8. ECIO Reloj externo con pin de entrada/salida habilitado.

3.6.1.5. DIAGRAMA DE PINES.

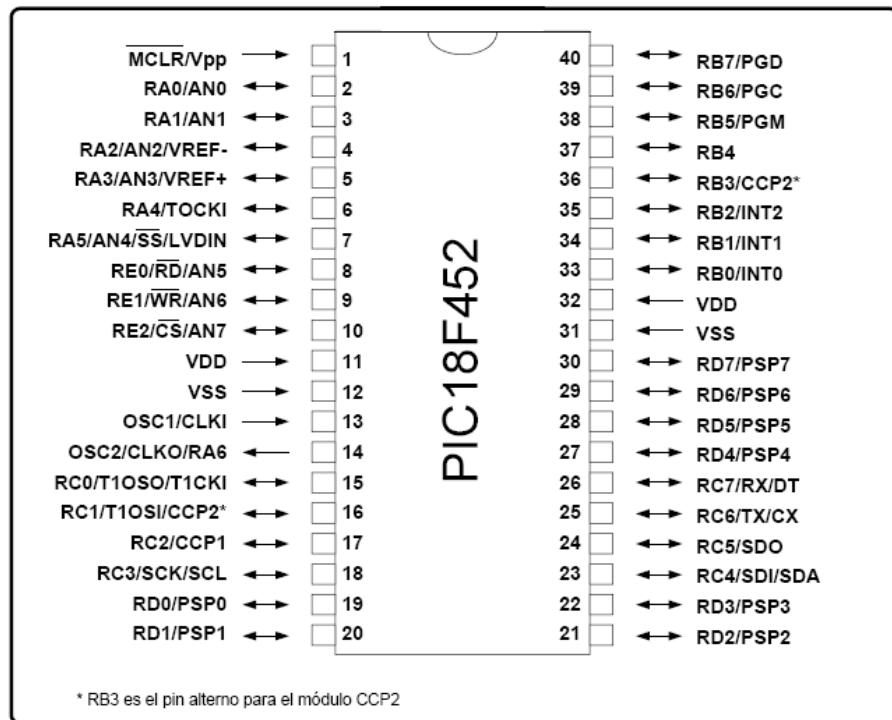


Figura 3.5. Diagrama de pines

3.6.1.6. ORGANIZACIÓN DE MEMORIA

En el PIC18F452 existen tres bloques de memoria:

- Memoria de Programa
- Memoria de Datos
- EEPROM de Datos

La memoria de Datos y de Programa utilizan buses separados (Arquitectura Harvard) que permiten acceder simultáneamente a cada bloque.

3.6.1.7. MEMORIA DE PROGRAMA

El contador de programa de 21 bits es capaz de direccionar 2

Mbyte de memoria de programa, sin embargo el PIC18F452 tiene 32 kbytes de memoria FLASH de programa.

El vector de RESET está en la dirección 0000h y los vectores de interrupción están en las direcciones 0008h y 0018h. La *pila de dirección de retorno* permite una combinación de hasta 31 llamadas a subrutinas e interrupciones. El PC (Contador de Programa) es cargado en la pila cuando se ejecuta una instrucción CALL o RCALL, o cuando se produce una interrupción. El valor del PC se restablece con una instrucción RETURN, RETLW o RETFIE.

La figura 3.6 muestra el Mapa de Memoria de Programa y la Pila de Retorno.

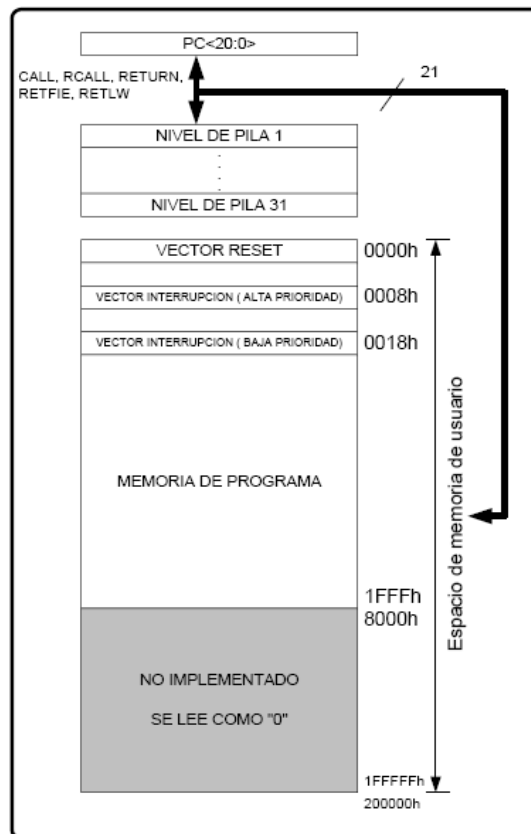


Figura 3.6. Mapa de memoria de programa del PIC18F452

3.6.1.8. MEMORIA DE DATOS

La memoria de datos está implementada como RAM estática. Cada registro tiene una dirección de 12 bits que permite hasta 4096 bytes de memoria de datos.

La memoria de datos se divide en 16 bancos que contienen 256 bytes cada uno. Los 4 bits menos significativos del registro BSR se utilizan para seleccionar el banco, los 4 bits más significativos no están implementados.

La memoria de datos contiene Registros de Función Especial (SFR) y Registros de Propósito General (GPR). Los SFRs se utilizan para el control del procesador y de las funciones periféricas, mientras que los GPRs se utilizan para almacenar datos y realizar operaciones en el programa de aplicación del usuario. Los SFRs se ubican en el banco 15 en las localidades F80h - FFFh.

Se puede acceder a cualquier localidad de la memoria de datos mediante direccionamiento directo o indirecto. El direccionamiento directo requiere del registro BSR. El direccionamiento indirecto requiere del registro FSRn y su correspondiente operando indirecto INDFn. Cada FSR contiene una dirección de 12 bits que se utiliza para acceder a cualquier localidad en la memoria de datos sin utilizar los bancos.

Para asegurar el acceso, en un solo ciclo de máquina, a los registros más comunes (SFRs y determinados GPRs) sin importar el valor del registro BSR, se ha implementado un Banco de Acceso conformado por un segmento del Banco 0 y un segmento del Banco 15.

3.6.1.9. MEMORIA EEPROM DE DATOS

La EEPROM de datos es de lectura y escritura durante la operación normal del microcontrolador. Esta memoria no está implementada directamente en el espacio de los registros, por esta razón se accede con direccionamiento indirecto utilizando Registros de Función Específica (SFRs).

Hay cuatro registros utilizados para leer y escribir la memoria de programa y la EEPROM de datos:

- EECON1
- EECON2
- EEDATA
- EEADR

El registro EEDATA contiene el dato de 8 bits y EEADR contiene la dirección de la EEPROM a la que se quiere acceder. El PIC18F452 tiene 256 bytes de memoria EEPROM con un rango de direcciones desde 00h hasta FFh.

3.6.1.10. PUERTOS DE ENTRADA/SALIDA

El PIC18F452 tiene cinco puertos de entrada/salida. Algunas líneas de los puertos están multiplexadas con una función alterna de los periféricos del dispositivo. Cuando un periférico está habilitado no puede usarse esa línea para propósito general.

Cada puerto tiene tres registros para su operación. Estos registros son:

TRIS: registro de dirección de datos

PORT: registro que lee los niveles de los pines del dispositivo

LAT: registro de salida.

a) EL PUERTO A

El registro PORTA es un puerto bidireccional de 7 bits de longitud. TRISA es el registro de dirección de datos. Al fijar en “1” un bit del registro TRISA el pin correspondiente de PORTA se configura como entrada (el driver de salida se pone en estado de alta impedancia), al fijar en “0” un bit del registro TRISA el pin correspondiente de PORTA se configura como salida. El registro LATA se utiliza para leer y escribir los valores de salida del registro PORTA.

El pin RA4 está multiplexado con la entrada de reloj del módulo Timer0, por eso se denomina como RA4/TOCKI. Este pin es una entrada Schmitt Trigger y una salida a drenador abierto. Todos los pines RA tienen niveles de entrada TTL y drivers de salida CMOS, además están multiplexados con las entradas analógicas y las entradas de referencia VREF+ y VREF- del módulo ADC.

Tabla III.1. Funciones del Puerto A

Nombre	Bit#	Buffer	Función
RA0/AN0	bit0	TTL	Pin de entrada/salida ó entrada analógica
RA1/AN1	bit1	TTL	Pin de entrada/salida ó entrada analógica
RA2/AN2/VREF-	bit2	TTL	Pin de entrada/salida, entrada analógica ó entrada de VREF-
RA3/AN3/VREF+	bit3	TTL	Pin de entrada/salida, entrada analógica ó entrada de VREF+
RA4/TOCKI	bit4	ST	Pin de entrada/salida ó entrada de reloj externo para el Timer0, salida a drenador abierto.
$\overline{\text{RA5/SS}}$ /AN4/LVDIN	bit5	TTL	Pin de entrada/salida, entrada para selección de esclavo para el puerto serial síncrono, entrada analógica ó entrada para detección de bajo voltaje
OSC2/CLKO/RA6	bit6	TTL	OSC2 o entrada de reloj ó pin de entrada/salida

TTL = entrada TTL, ST = entrada Schmitt Trigger

b) EL PUERTO B

El registro PORTB es un puerto bidireccional de 8 bits de longitud. Los registros TRISB y LATB tienen las mismas funciones que los registros TRISA y LATA del puerto A, respectivamente.

Todos los pines del Puerto B tienen una ligera polarización (pull-up) que puede ser activada fijando en “0” el bit RBPU (INTCON<7>). Los pull-up se desactivan automáticamente si el pin se configura como salida.

Cuatro pines del Puerto B, RB7:RB4, tienen la característica de interrupción por cambio. Los valores de los pines RB7:RB4 son comparados con el valor anterior almacenado en la última lectura al puerto, cualquier diferencia genera la Interrupción por Cambio en el Puerto B y fijan el bit bandera RBIF (INTCON<7>). Sólo los pines configurados como entradas pueden provocar esta interrupción.

Tabla III.2. Funciones del Puerto B

Nombre	Bit#	Buffer	Funciones
RB0/INT0	bit0	TTL/ST	Pin de entrada/salida ó entrada de Interrupción Externa 0, pull-up programable
RB1/INT1	bit1	TTL/ST	Pin de entrada/salida ó entrada de Interrupción Externa 1, pull-up programable
RB2/INT2	bit2	TTL/ST	Pin de entrada/salida ó entrada de Interrupción Externa 2, pull-up programable
RB3/CCP2	bit3	TTL/ST	Pin de entrada/salida, entrada Captura2, salida Comparación2 ó salida PWM, pull-up programable
RB4	bit4	TTL	Pin de entrada/salida (con interrupción por cambio), pull-up programable
RB5/PGM	bit5	TTL/ST	Pin de entrada/salida (con interrupción por cambio), pull-up programable, habilitación de programación ICSP de bajo voltaje
RB6/PGC	bit6	TTL/ST	Pin de entrada/salida (con interrupción por cambio), pull-up programable, reloj de programación serie.
RB7/PGD	bit7	TTL/ST	Pin de entrada/salida (con interrupción por cambio), pull-up programable, línea de datos de programación serie.

TTL = entrada TTL, ST = entrada Schmitt Trigger

c) EL PUERTO C

El registro PORTC es un puerto bidireccional de 8 bits de longitud, TRISC y LATBC tienen las mismas funciones que los registros correspondientes de los puertos A y B.

El puerto C está multiplexado con varias funciones periféricas y

tiene entradas Schmitt Trigger. Cuando se habilitan las funciones periféricas se debe tener cuidado en la definición de los bits del registro TRISC para cada pin del puerto C. Algunos periféricos anulan los bits del TRISC para configurar los pines como entradas o salidas, según corresponda.

Tabla III.3. Funciones del Puerto C

Nombre	Bit#	Buffer	Funciones
RC0/T1OSO/T1CKI	bit0	ST	Pin de entrada/salida, salida de oscilador Timer1, entrada de reloj Timer1.
RC1/T1OSI/CCP2	bit1	ST	Pin de entrada/salida, entrada de oscilador Timer1, entrada Captura1, salida Comparación1 ó salida PWM1.
RC2/CCP1	bit2	ST	Pin de entrada/salida ó entrada de Interrupción Externa 2, pull-up programable
RC3/SCK/SCL	bit3	ST	Pin de entrada/salida, reloj sincrónico para los modos I ² C y SPI.
RC4/SDI/SDA	bit4	ST	Pin de entrada/salida, entrada de datos modo SPI, E/S de datos modo I ² C.
RC5/SDO	bit5	ST	Pin de entrada/salida, salida de datos del puerto serial sincrónico.
RC6/TX/CK	bit6	ST	Pin de entrada/salida, salida de datos transmisión asincrónica, reloj de transmisión sincrónica.
RC7/RX/DT	bit7	ST	Pin de entrada/salida, entrada de datos transmisión asincrónica, datos de transmisión sincrónica.

ST = entrada Schmitt Trigger

d) EL PUERTO D

El registro PORTD es un puerto bidireccional de 8 bits de longitud. Puede ser configurado como un puerto de microprocesador de 8 bits de longitud (Puerto Esclavo Paralelo) fijando en “1” el bit de control PSPMODE (TRISE<4>).

Tabla III.4. Funciones del Puerto D

Nombre	Bit#	Buffer	Funciones
RD0/PSP0	bit0	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit0 del Puerto Esclavo Paralelo
RD1/PSP1	bit1	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit1 del Puerto Esclavo Paralelo
RD2/PSP2	bit2	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit2 del Puerto Esclavo Paralelo
RD3/PSP3	bit3	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit3 del Puerto Esclavo Paralelo
RD4/PSP4	bit4	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit4 del Puerto Esclavo Paralelo
RD5/PSP5	bit5	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit5 del Puerto Esclavo Paralelo
RD6/PSP6	bit6	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit6 del Puerto Esclavo Paralelo
RD7/PSP7	bit7	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó bit7 del Puerto Esclavo Paralelo

TTL = entrada TTL, ST = entrada Schmitt Trigger

e) EL PUERTO E

El registro PORTE es un puerto bidireccional de 3 bits de longitud. Los pines del puerto E están multiplexados con entradas analógicas del conversor A/D.

Tabla III.5. Funciones del Puerto E

Nombre	Bit#	Buffer	Funciones
RE0/ \overline{RD} /AN5	bit0	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó control de lectura en el Puerto Esclavo Paralelo.
RE1/ \overline{WR} /AN6	bit1	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó control de escritura en el Puerto Esclavo Paralelo.
RE2/ \overline{CS} /AN7	bit2	ST/TTL	Pin de entrada/salida ó selección de dispositivo en el Puerto Esclavo Paralelo.

TTL = entrada TTL, ST = entrada Schmitt Trigger

3.6.1.11. MÓDULOS ESPECIALES

a) MÓDULO TIMER1

El módulo contador/temporizador Timer1, tiene las siguientes funciones:

- Contador/temporizador de 16 bits (dos registros de 8 bits; TMR1H y TMR1L)
- Registros de lectura y escritura
- Reloj interno ó externo seleccionable
- Interrupción por desbordamiento de FFFFh a 0000h
- RESET desde el módulo CCP por disparo de evento especial.

Tabla III.6. Registro de control del TIMER1

T1CON: REGISTRO DE CONTROL DEL TIMER1							
RD16	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON
bit 7						bit 0	
bit 7	RD16: Bit de habilitación del modo de Lectura/Escritura de 16 bits						
bit 6	No implementado: Se lee como "0"						
bit 5-4	T1CKPS1:T1CKPS0: Bits de selección de pre escala del reloj de entrada						
bit 3	T1OSCEN: Bit de habilitación de oscilador						
bit 2	T1SYNC: Bit de selección de sincronización del reloj interno						
bit 1	TMR1CS: Bit de selección de la fuente de reloj						
bit 0	TMR1ON: Bit de activación del Timer1						

b) MÓDULO TIMER3

El módulo contador/temporizador Timer3 es similar al Timer1 y utiliza los registros TMR3H, TMR3L y T3CON:

Tabla III.7. Registro de control del TIMER3

T3CON: REGISTRO DE CONTROL DEL TIMER3							
RD16	T3CCP2	T3CKPS1	T3CKPS0	T3CCP0	T3SYNC	TMR3CS	TMR3ON
bit 7						bit 0	
bit 7	RD16: Bit de habilitación del modo de Lectura/Escritura de 16 bits						
bit 6-3	T3CCP2:T3CCP1: Bits de habilitación del Timer3 y Timer1 para los módulos CCPx.						
bit 5-4	T3CKPS1:T3CKPS0: Bits de selección de pre escala del reloj de entrada						
bit 2	T3SYNC: Bit de selección de sincronización del reloj interno						
bit 1	TMR3CS: Bit de selección de la fuente de reloj						
bit 0	TMR3ON: Bit de activación del Timer3						

3.6.1.12. MÓDULOS DE CAPTURA/COMPARACIÓN/PWM (CCP)

Cada módulo CCP contiene un registro de 16 bits el cual opera como registro de captura de 16 bits, registro de comparación de 16 bits o como registro maestro/Esclavo de ciclo activo PWM.

La operación del CCP1 es idéntica a la del CCP2 con excepción del disparo por evento especial.

Tabla III.8. Registros CCP1CON/CCP2CON

REGISTROS CCP1CON/CCP2CON								
—	—	DCxB1	DCxB0	CCPxM3	CCPxM2	CCPxM1	CCPxM0	
bit 7								bit 0
bit 7-6 No implementado: Se lee como "0".								
bit 5-4 DCxB1:DCxB0: bit 1 y bit 0 del ciclo activo PWM.								
bit 3-0 CCPxM3:CCPxM0: Bits de selección de modo.								

a) MODO CAPTURA

En este modo 105 registros CCPR1H:CCPR1L capturan el valor de 16 bits de los registros TMR1 o TMR3 cuando ocurre un evento en el pin RC2/CCP1, dichos eventos pueden producirse:

- Cada flanco descendente
- Cada flanco ascendente
- Cada 4 flancos ascendentes
- Cada 16 flancos ascendentes

El evento se selecciona con los bits de control CCP1M3:CCP1M0 (CCP1CON<3:0>). Cuando se realiza una captura el bit CCP1IF (PIR1<2>) se fija en "1".

En el modo captura el pin RC2/CCP1 debe estar configurado como entrada, fijando en "1" el bit TRISC<2>.

Los temporizadores utilizados con el módulo de captura (Timer y/o Timer3) deben funcionar en modo Temporizador o en modo de Contador Sincrónico. En el modo de contador Asíncrono la operación de captura no funciona. El temporizador que va a ser utilizado por cada módulo CCP se selecciona en el registro T3CON.

b) MÓDULO DE TRANSMISIÓN /RECEPCIÓN SINCRÓNICA /ASINCRÓNICA (USART)

El USART es uno de los dos módulos de entrada/salida serial que tiene el PIC18F452. El USART se puede configurar como un sistema full-duplex asíncrono para comunicarse con dispositivos periféricos, por ejemplo una PC, o como un sistema half-duplex sincrónico para comunicarse con dispositivos como conversores A/D o D/A, EEPROMs seriales, etc.

El módulo USART puede funcionar en los siguientes modos:

- Asíncrono (full-duplex)
- Sincrónico-Maestro (half-duplex)
- Sincrónico-Esclavo (half-duplex)

Tabla III.9. Registro de control y estado de transmisión

TXSTA: REGISTRO DE CONTROL Y ESTADO DE TRANSMISIÓN							
CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D
bit 7							bit 0
bit 7	CSRC: Bit de selección de la fuente de reloj Clock Source Select bit.						
bit 6	TX9: Bit de habilitación de transmisión de 9 bits.						
bit 5	TXEN: Bit de habilitación de transmisión.						
bit 4	SYNC: Bit de selección de modo USART.						
bit 3	No implementado: Se lee como "0".						
bit 2	BRGH: Bit de selección de velocidad de transmisión.						
bit 1	TRMT: Bit de estado del registro de desplazamiento de transmisión.						
bit 0	TX9D: Noveno bit del dato transmitido, puede usarse como bit de paridad.						

Tabla III.10. Registro de control y estado de recepción

RCSTA: REGISTRO DE CONTROL Y ESTADO DE RECEPCIÓN							
SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
bit 7							bit 0
bit 7	SPEN: Bit de habilitación del puerto serial						
bit 6	RX9: Bit de habilitación de recepción de 9 bits.						
bit 5	SREN: Bit de habilitación de recepción única.						
bit 4	CREN: Bit de habilitación de recepción continua.						
bit 3	ADDEN: Bit de habilitación de detección de dirección.						
bit 2	FERR: Bit de error de Framing.						
bit 1	OERR: Bit de error de Overrun.						
bit 0	RX9D: Noveno bit del datos recibido.						

La velocidad de transmisión (baud rate), para el modo síncrono y asíncrono se controla por medio del *generador de baud rate* (BRG). La velocidad de transmisión depende del valor del registro SPBRG que controla el período de un temporizador de 8 bits. En el modo asíncrono la velocidad también depende del bit BRGH (TXSTA<2>), en el modo síncrono este bit se ignora. En la tabla 3.11 se muestran las fórmulas para calcular la velocidad de transmisión.

Tabla III.11. Fórmulas para calcular la velocidad de transmisión

MODO	BRGH = 0 (baja velocidad)	BRGH = 1 (alta velocidad)
Asincrónico	$\text{Baud Rate} = \frac{F_{osc}}{64(X+1)}$	$\text{Baud Rate} = \frac{F_{osc}}{16(X+1)}$
Sincrónico	$\text{Baud Rate} = \frac{F_{osc}}{4(X+1)}$	No aplicable

X es el valor del registro SPBRG y debe estar entre 0 y 255

3.6.2. EL INTERFASE EIA-232

3.6.2.1. TRANSMISIÓN SERIE/PARALELO

Conceptualmente una transmisión paralelo consiste en utilizar simultáneamente varios circuitos de transmisión serie. Dejando al margen problemas específicos de una transmisión en paralelo, como puede ser el efecto crosstalk o interferencia inducida de símbolos, la transmisión paralelo es el recurso lógico cuando un solo circuito no proporciona un ancho de banda suficiente. Si en un diseño, un problema de transmisión puede resolverse (a coste similar) con una transmisión serie, esta opción es en principio deseable frente a una paralelo. Piénsese que en una transmisión con múltiples circuitos la probabilidad de fallo de línea y la necesidad de mantenimiento es proporcional al número de líneas utilizadas.

3.6.2.2. TRANSMISIÓN SÍNCRONA/ASÍNCRONA

Independientemente de si la transmisión es serie o paralelo, ésta puede ser síncrona o asíncrona. Entre dos equipos, emisor y receptor, existe un problema básico en la identificación de los distintos símbolos (bits en este caso) que se transmiten por una línea de transmisión. Supongamos dos computadores A y B, y una

línea de transmisión por la que se comunican. Supongamos que A envía datos a B 50 bits a una velocidad de 1000 bits/segundo. Esto quiere decir que cada bit estará en la línea de transmisión una milésima de segundo. La máquina B necesita conocer este dato y necesita un reloj, o base de tiempos, que le permita medir con precisión esa milésima de segundo para saber cuando está en la línea el segundo bit, el tercer bit, etc.

La forma en que el equipo receptor decide si un bit es 0" o 1" es muestreando la línea de transmisión durante el intervalo del bit, preferiblemente a mitad del intervalo. Es evidente que si el reloj utilizado por el receptor no mide el tiempo con precisión y la secuencia de bits es lo suficientemente larga, entonces cometerá un error en el muestreo de la línea e identificará una secuencia de bits incorrecta. Si, por ejemplo, el reloj receptor se atrasa y cuando indica al sistema que ha pasado 1 mseg. en realidad ha pasado 1,1 mseg. (un error del 10%) entonces se producirá un primer error de muestreo en el 60 a 70 bits transmitido (se asume que el primer bit lo muestreó correctamente en el centro del intervalo del bits). Ver figura 3.7.

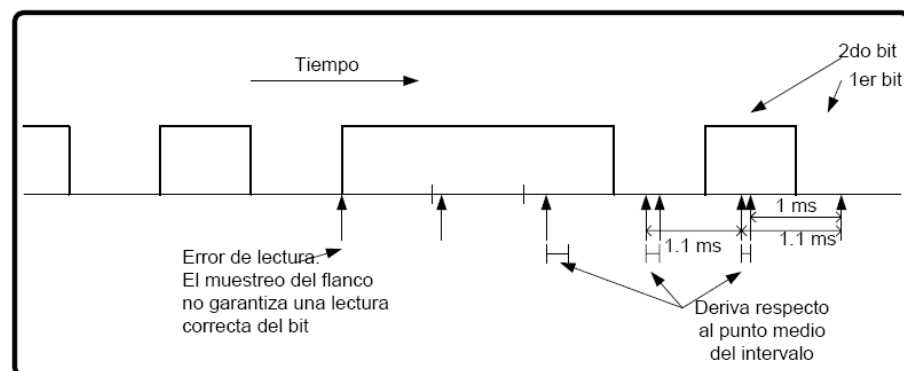


Figura 3.7. Error de muestreo

La figura 3.7 muestra claramente cuál es el problema. Debe quedar claro que aunque el planteamiento del ejemplo hace culpable al reloj del receptor, en una situación real encontraremos que, de usar dos relojes, es imposible garantizar que ambos midan el tiempo

exactamente igual. Y aunque el error entre ambos sea mucho menor, nótese que si la secuencia de bits es lo suficientemente larga, el error de muestreo terminará por ocurrir.

La transmisión síncrona (emisor y receptor comparten el mismo reloj) permite que el receptor pueda interpretar(muestrear) sin error de sincronismo una secuencia (bloque) arbitrariamente larga de bits. La transmisión asíncrona, a diferencia de la síncrona, esta orientada a la transmisión de caracteres (bloque mínimo de tan sólo siete u ocho bits).

En la transmisión síncrona, existen dos métodos para que ambos computadores usen un único reloj.

1. Si se utiliza el reloj de una de las dos máquinas (o un reloj tercero) se puede transmitir la señal de reloj por una línea auxiliar a la otra máquina. La figura 3.8., muestra como a partir de la señal de reloj el muestreo es siempre exacto.

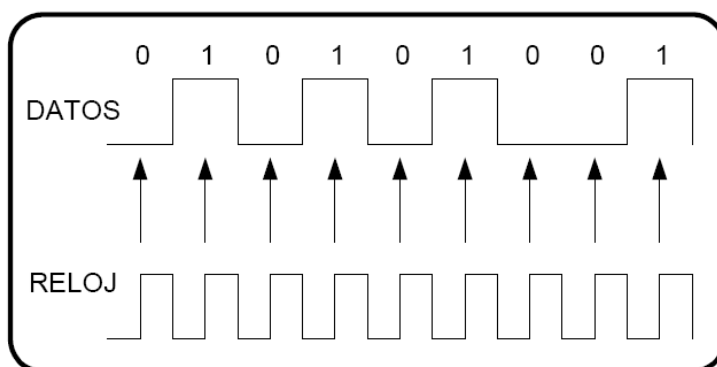


Figura 3.8. Señal de reloj

2. El emisor puede utilizar una codificación para los datos de las denominadas “auto-reloj”, como por ejemplo el código Manchester (utilizado por ejemplo en redes locales Ethernet).

En la transmisión asíncrona, existe un método para sincronizar

al principio de cada carácter, este es el siguiente:

Cuando el emisor no transmite, en el periodo entre caracteres, la línea se mantiene a “1” lógico. Cuando decide transmitir un carácter, primero transmite un “0” que se denomina bit de START y sirve para que el receptor sincronice (empieza a contar tiempos desde ese momento). El instante de sincronismo es el flanco de bajada de la señal (ver figura 3.9.). Tras el bit de START se transmiten los bits de datos y después es obligatorio al menos un bit de STOP a “1” lógico. La secuencia se repite tantas veces como caracteres se transmitan. Obsérvese que este mecanismo de sincronización con el bit de START impide que la deriva de muestreo por diferencias entre los relojes continúe en el siguiente carácter. Se asume que la deriva de muestreo no debe ser tan grande que provoque un error de muestreo en los bits de cada carácter.

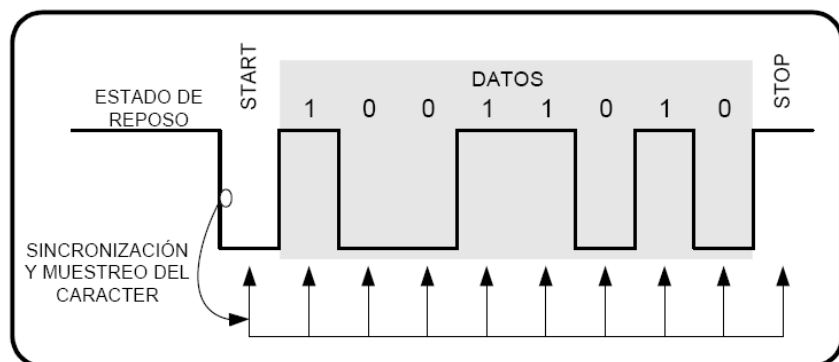


Figura 3.9. Transmisión de datos

3.6.2.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

La norma de conexión RS-232-C establece que los conectores a utilizar deben ser del tipo SUB-D 25 también denominado DB-25. Estos conectores tienen forma de “D”, de ahí su nombre, y disponen de 25 terminales de conexión. Sin embargo, habitualmente se usan 8 conectores como máximo, siendo lo más normal utilizar 5 ó 3. Los conectores están distribuidos en dos filas paralelas, una con las 13

primeras patillas y la otra con las 12 últimas. La numeración es consecutiva y al llegar al final de una fila continúa al principio de la siguiente.

La norma recomienda que en los dispositivos terminales de datos -DTE- se dispongan conectores macho y en los dispositivos de comunicaciones de datos -DCE- recomienda utilizar conectores hembra. De todas formas, no debe uno fiarse de si el conector es macho o hembra para identificar el dispositivo, ya que son muchos los fabricantes que hacen caso omiso de esta recomendación.

Otro problema que tenemos con los conectores, es que aunque la norma define como conector standard el SUB-D 25, algunos ordenadores personales del tipo IBM-AT usan como salida serie el conector SUB-D 9 (o DB-9), de forma análoga al anterior pero con 9 patillas, 5 en una fila y 4 en otra. Esta sustitución es posible porque en una conexión serie asíncrona nunca se usan más de 9 líneas y los puertos serie de un PC solo pueden realizar transmisiones asíncronas (nunca síncronas a no ser que se adquiriera una tarjeta de comunicación serie síncrona) y por lo tanto el resto de las líneas de conector SUB-D-25 no se utilizan. Esto suele causar molestias a los usuarios de este tipo de ordenadores, ya que han de modificar los conectores de sus periféricos, o comprar adaptadores de 9 a 25 pines.

Tabla III.12. Distribución de pines de los conectores DB-9 y DB-25

DB-9	DB-25	Nombre	Descripción
1	8	DCD	Detección portadora
2	3	RX	Recepción de datos
3	2	TX	Emisión de datos
4	20	DTR	Terminal preparada
5	7	GND	Masa Común
6	6	DSR	Datos preparados
7	4	RTS	Preguntar para enviar
8	5	CTS	Borrar para enviar
9	22	RI	Timbre

3.6.2.4. TIPOS DE DISPOSITIVOS: DTE Y DCE

La conexión serie RS-232-C define dos únicos tipos de dispositivos, Data Terminal Equipment o DTE y Data Communication Equipment o DCE y esta distinción determina que patillas del conector son entradas, y cuales son salidas. Es equivalente al género del equipo. Las entradas y salidas son lo primero a determinar cuando se va a diseñar un cable de comunicaciones, ya que lo lógico es conectar las salidas de un dispositivo con las entradas del otro.

Para determinar el género de un dispositivo basta con encenderlo y medir las tensiones entre las patillas 2-7 y 3-7. Una de las dos ha de ser negativa y en un rango de -8 a -15, mientras que la otra será prácticamente 0. Una vez medidas estas tensiones tenemos dos posibilidades que nos determinarán inequívocamente el tipo del equipo. Si V2-7 es negativa y V3-7 es cero entonces el equipo es DTE, pero si V2-7 es cero y V3-7 es negativa entonces el equipo es DCE. Si no es ninguno de los dos casos anteriores, entonces la conexión no es RS.232-C.

La razón es que los equipos DTE transmiten por la patilla 2 y la norma exige que la patilla de transmisión ha de estar negativa cuando no se transmite por ella. Por su parte, los equipos DCE transmiten por la patilla 3 y entonces ésta es la patilla que han de tener negativa.

Una definición más general de éstos dispositivos la tenemos al traducir su nombre. Un dispositivo Data Terminal Equipment (DTE) es un equipo terminal de datos, es decir, es el equipo defina destinatario de los datos. Por ejemplo, una impresora es un DTE, ya que le llegan los datos y ella no los transmite a otro dispositivo. Un DCE es un Data Communication Equipment, o sea un equipo de

comunicaciones de datos, al que le llegan los datos, pero no son para él, sino que los transmite a otro dispositivo. Su misión es la de puente entre los equipos DTE. Un ejemplo de equipo DCE es el módem. Sin embargo, esta última regla no debe usarse nunca, ya que como hemos dicho anteriormente a los fabricantes pueden saltarse estas normas. El único medio infalible para determinar el tipo de un equipo, es medir las tensiones V2-7 y V3-7. Desde el punto de vista del usuario, el hecho de que un equipo sea DTE o DCE sólo afecta a la hora de hacer el cable. Mientras que en una conexión DTE-DCE se pueden conectar directamente las líneas, ya que las salidas de un DTE se corresponden con las entradas de un DCE, cuando lo que hay que conectar son equipos del mismo género (DTE-DTE o DCE-DCE) se debe hacer un cruce en las líneas.

3.6.2.5. TENSIÓN EN LAS LÍNEAS

La conexión serie RS-232-C utiliza líneas de entradas y salida para realizar la comunicación y no existen líneas bidireccionales.

Las líneas que son entradas tienen una tensión prácticamente cero frente la patilla de tierra, aunque no todas las líneas que tengan tensión cero son entradas, ya que las líneas no utilizadas (sin conectar) también tienen tensión cero. Las líneas de salida pueden ser de dos tipos, bien de transmisión o bien de control de la comunicación. Ambas se caracterizan por tener tensión diferente de cero.

La línea de transmisión está normalmente a tensión negativa, cuando no transmite. Las líneas de control pueden estar tanto a tensión negativa como positiva.

Una característica muy tranquilizadora de la conexión serie RS-232-C, es que poseen protección contra cortocircuito.

3.6.2.6. NIVELES LÓGICOS

La señal es bipolar con lógica invertida, utilizando los siguientes valores:

1 lógico = -3 a -15 voltios

0 lógico = + 3 a +15 voltios

La ausencia de señal (0 voltios) queda diferenciada del 0 y lógicos.

Así pues, la norma de conexión RS-232-C es bastante tolerante frente a variaciones de voltaje y ello es debido a la elección del rango de tensiones de -15 a +15 voltios, en vez del habitual de +5 a 0 voltios, que habría dado menos margen de tolerancia.

Las señales de control son líneas auxiliares que utiliza la conexión RS-232-C para controlar la comunicación. Por ejemplo, si un dispositivo no está preparado para recibir, puede poner una línea a un determinado valor, de modo que el otro dispositivo lo detecte y espere hasta que la línea se ponga en estado de permitir la recepción.

El valor lógico que corresponde a una línea habilitada es el "0" o lo que es lo mismo +15 V., es decir, que si queremos indicar que nos pueden mandar datos pondríamos en la línea correspondiente el valor "0". Por el contrario si se quiere deshabilitar una línea, hay que ponerla a "1" o lo que es lo mismo a -15v.

3.6.2.7. MARGEN DE RUIDO

Se conoce como margen de ruido a la amplitud máxima de la perturbación que puede producirse en la salida de una señal sin que afecte en la entrada del siguiente circuito. Para medir este parámetro se toma el caso más desfavorable.

En la conexión serie RS-232-C, el caso más desfavorable se daría cuando la salida está emitiendo con el valor más crítico, que es 5 voltios (un “0”). Como la entrada lee un “0” hasta 3 voltios, entonces el margen de ruido para esta conexión es de 2 voltios. Esto quiere decir que es inmune a ruidos de 2 voltios, e incluso mayores en los casos más normales de utilización. Esta característica es extremadamente valiosa cuando los cables han de pasar cerca de dispositivos que generan interferencias eléctricas: líneas de alta tensión, motores eléctricos, alumbrado fluorescente etc.

Además, el margen de ruido también da un margen de seguridad frente a caídas de voltaje por la resistencia óhmica del cable, aunque éstas en general no suelen ser significativas.

3.6.2.8. ORDEN DE LOS BITS EN LA LÍNEA

El orden de transmisión de los bits por la línea es el siguiente: se comienza con el bit de inicio (start) que siempre es un “0”, luego se transmite el bit menos significativo (el que está más a la derecha) y así sucesivamente hasta llegar al bit más significativo (el que está más a la izquierda). Después va el bit de paridad en el caso de que se utilice, y por último los bits de parada (stop), que pueden ser 1, 1.5 ó 2. El valor 1.5 indica que la línea toma el valor “1” durante un período y medio de un bit de tiempo. En la figura 3.6 se presenta la transmisión de la letra ‘w’ cuyo código ASCII es 87 y en binario “01010111”. Se utiliza paridad par y un bit de stop.

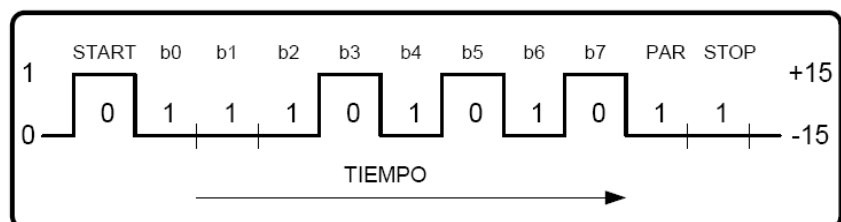


Figura 4.10. Transmisión de un carácter

3.6.2.9. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

La conexión serie RS-232-C utiliza conectores DB-25, que tienen disponibles 25 patillas de conexión, sin embargo, para la comunicación serie asíncrona solo define 9, dejando el resto libres para el uso particular de aplicaciones específicas o para aquellas capaces de realizar comunicaciones síncronas. Las 9 patillas fundamentales son suficientes para la mayoría de los casos, e incluso a veces basta con usar 3 ó 5.

Según el dispositivo sea DTE o DCE éstas líneas son entradas o salidas. Definiremos a continuación estas líneas e indicaremos su nombre normalizado.

La línea 7 (GRN) es la masa digital y siempre ha de conectarse. La línea 1 es la toma a tierra del dispositivo y está conectada a la carcasa. En el caso que ambos equipos estén conectados a tierra no se debe conectar esta patilla al apantallamiento del cable, sino que se debe dejar sin conectar, ya que en vez de proteger al cable de ruido podrían provocar falsas señales.

Las líneas que son salidas en un DTE son la TXD, la RTS y la DTR. En un DCE son la RXD, la CTS, la DSR, la DCD y la RI. A continuación vamos a describir las funciones que la norma RS-232-C recomienda asignar a cada patilla, pero no debemos olvidar que los criterios de los fabricantes muchas veces no coinciden con los de la norma.

3.6.2.10. LÍNEAS DE COMUNICACIÓN

La línea TXD es la que utiliza un dispositivo DTE para transmitir los datos; es por tanto salida en un DTE. Si el equipo es DCE, es por donde recibe los datos y es entrada para él.

La línea RXD es la que utiliza un dispositivo DTE para recibir los datos. Si el equipo es DCE es por donde transmite los datos. La línea GRN es la masa digital y siempre tiene que estar conectada. Con estas tres líneas funcionaría una conexión serie básica y en la actualidad la tendencia es a usar las menos líneas posibles. Las conexiones a tres hilos son pues bastante comunes.

3.6.2.11. LÍNEAS DE CONTROL DE UN DTE

Las líneas de control son líneas accesorias de la comunicación, cuya misión es indicar al otro equipo el estado del equipo que está transmitiendo. Un dispositivo DTE dispone de dos de estas líneas, la 20 (DTR) y la 4 (RTS), que para él son salidas.

La línea 20, llamada DTR (Data Terminal Ready), que significa dispositivo terminal de datos preparado, es una línea que el DTE suele poner a "0" (+15 V.) cuando está en funcionamiento y a "1" (-15 V.) cuando no está en condiciones de funcionamiento.

La línea 4, llamada RTS (Request To Send), tiene la misión de conmutar un módem semiduplex (DCE) entre los estados de transmisión y recepción. Activando la línea RTS a +15 V. ("0") el ordenador indica al módem que va a enviarle datos y que desea que se prepare para recibirlos y enviarlos luego a la línea telefónica. El módem tarda un pequeño lapso de tiempo en prepararse para recibir los datos del ordenador. Cuando está preparado activará la línea CTS, Clear to Send. Cuando el ordenador desea recibir datos desactiva a -15 V. ("1") la línea RTS, el módem tarda un cierto tiempo en cambiar al otro estado, cuando lo consigue desactiva la línea CTS. En las conexiones full-duplex no es necesario realizar este tipo de conmutaciones. Por ello se deja permanentemente activada la línea 5.

3.6.2.12. LÍNEAS DE CONTROL DE UN DCE

Son las líneas que utiliza un dispositivo DCE para regular la transmisión, es decir, son las que indican en que momento se puede transmitir y como se está desarrollando la transmisión. Para él son señales de salida y son las siguientes. la línea 6 (DSR), la línea 5 (CTS), la 8 (DCD) y la línea 22 (RI).

La línea 6, llamada DSR (Data Set Ready), que significa dispositivo de datos listo, la utiliza un equipo DCE para indicar que está en correcto funcionamiento. Para ello pondría +15 V. en esta línea ("0"). Por ejemplo, esta línea la podría usar un módem para indicar al ordenador que ha realizado un conjunto de operaciones: en primer lugar que se ha conectado a una línea telefónica, esto es, que ha descolgado; posteriormente ha realizado las funciones necesarias para completar la llamada, por ejemplo en el caso origen, que ha marcado un número; por último que ha comenzado la transmisión de un tono respuesta. Todas estas operaciones las realiza el módem tras haber recibido la orden por la activación de la línea DTR del ordenador.

La línea 5, llamada CTS (Clear To Send), que significa despejado para enviar, la usa un equipo DCE para indicar que está en condiciones para que le envíen datos desde el DTE, tras la petición por la línea RTS de este. Si por alguna causa el DCE estuviese ocupado pondría esta línea a "1" (-15 V.) para que el DTE detuviese el flujo de datos hasta que esta línea se pusiese a "0" (+15 V.) de nuevo.

La línea 8, llamada DCD (Data Carrier Detect), que significa detección de portadora de datos, la usan los equipos DCE para indicar que se está recibiendo la señal portadora de otro DCE. Por ejemplo, un módem que está tratando de comunicar con otro a través

de la línea de teléfono pondría esta línea a "0" (+15 V.) cuando recibe la portadora del otro y la mantiene a "0" mientras ésta no desaparezca. En módems semi-duplex la señal DCD solo se activa en el módem que en cada momento actúa como receptor.

La línea 22, llamada RI (Ring Indicator), que significa indicador de llamada, la utilizan los equipos DCE para indicar que están recibiendo una llamada. Por ejemplo, un módem pondría esta línea a "0" (+15 V.) cuando suena el timbre del teléfono al que está conectado.

IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

4.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La misión de la Escuela Politécnica del Ejercito es formar profesionales teórico prácticos de excelencia, conducción y liderazgo, que impulsen el desarrollo del país.

La Carrera de Ingeniería Automotriz, forma profesionales para la construcción, repotenciación y mantenimiento de sistemas automotrices.

El tema de Tesis responde al deseo de realizar una investigación en Mantenimiento de turbocompresores, así como una correcta instalación y utilización de componentes semiconductores, circuitos integrados y microcontroladores que son aplicados en circuitos del automóvil.

En nuestro país en esta última década, los vehículos diesel que han ingresado al mercado nacional incorporan turbocompresores, lo que permite aumentar su rendimiento en las diferentes condiciones de funcionamiento en que estos se encuentren.

4.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER.

El tema propuesto, se orienta a obtener profesionales capacitados para solucionar problemas competentes en la reparación y mantenimiento de turbocompresores.

La estandarización del uso de turbocompresores en los vehículos diesel ha creado la necesidad de contar con técnicos automotrices en el área de mantenimiento de turbocompresores.

La realización de este proyecto es muy importante ya que el desarrollo de

este tema permitirá a los futuros ingenieros obtener experiencias que luego pondremos en práctica en nuestro desarrollo profesional en la reparación, construcción, adaptación y optimización de los sistemas del vehículo diesel.

Hoy en día el servicio y mantenimiento a los sistemas turbocompresores en nuestro país sólo lo realizan talleres diesel especializados, monopolizando el servicio.

4.3. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO.

“DISEÑAR Y CONSTRUIR UN BANCO DE PRUEBAS PARA TURBOCOMPRESORES ASISTIDO MEDIANTE UN PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA REALIZAR TAREAS DE DIAGNOSTICO Y MANTENIMIENTO DE ESTOS SISTEMAS”

4.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

1. Diseñar y construir un banco de pruebas para turbocompresores a bajo costo, mediante, la correcta selección de elementos eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.
2. Ahorrar costos de mantenimiento en estos sistemas.
3. Diagnosticar en forma técnica el estado de los elementos de un turbocompresor y vincular de manera real con los problemas que se presenten en la práctica.
4. Obtener los parámetros de operación del turbocompresor aplicados .en los motores de combustión interna.
5. Satisfacer las necesidades de propietarios de vehículos del centro del país sobre el uso y operación de este tipo de equipos de mantenimiento vehicular.

4.5. METAS DEL PROYECTO

1. Diseñar y Construir un proyecto de aplicación tecnológica en el plazo

de 1 año.

2. Promover la aplicación de este equipo en talleres para reducir en un 40% aproximadamente el costo de mantenimiento de los sistemas turbo o sobrealimentados.
3. Actualizar los conocimientos básicos y prácticos de los sistemas turboalimentados a propietarios y operadores de talleres automotrices en esta nueva técnica que en la actualidad proyecta la ingeniería automotriz, mediante, la elaboración de un manual de operación para tecnificar las labores de diagnóstico, reparación y mantenimiento de dichos sistemas.
4. Implementar en el Laboratorio de Motores Diesel un banco de pruebas de este tipo, permitiendo la prestación de un servicio a la ciudadanía de calidad de diagnóstico y balanceo de turbocompresores.
5. Realizar un documento que permita tecnificar las labores de diagnóstico, reparación y mantenimiento en los talleres especializados.
6. Capacitar a los Docentes y Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército sobre el uso y operación del banco para turbocompresores, así como a los técnicos, mecánicos, especialistas, propietarios de taller y demás personas que estén interesados en el uso de esta herramienta logrando actualizar sus conocimientos básicos y prácticos sobre el mantenimiento de Turbocompresores, en la zona central del país a partir del año 2.007.

4.6. INFORMACIÓN GENERAL

El módulo de pruebas construido tiene la finalidad de facilitar al estudiante el proceso de aprendizaje en cuanto a al mantenimiento, manipulación, y específicamente al balanceo y equilibrado del eje rotor del turbocompresor. Al realizar las prácticas y hacer cada una de las comprobaciones y verificaciones, el alumno estará en capacidad de comprender y tendrá el suficiente conocimiento para prever en donde se pueden suscitar daños internos del mecanismo giratorio y sus elementos, determinando también su vida útil, y su funcionamiento.

Se ha construido la máquina herramienta de manera que esté lo más cercano posible a las máquinas reales, mejorando y optimizando la misma, de esta manera se familiariza al estudiante con los componentes, incluso con los aparatos de medición reales, y su operación en el campo automotriz.

4.7. GENERALIDADES DEL EQUIPO DE BALANCEO

La parte mecánica de la máquina está constituida, por una robusta bancada, sobre la cual se deslizan dos caballetes o pedestales de apoyo, vinculados mediante láminas flexibles, con los puentes elásticos oscilantes, estos puentes están constituidas por un soporte guía, una corredera vertical y un par de rodamientos, en los cuales se aloja la pieza a equilibrar.

El desplazamiento de los pedestales, permite el montaje de piezas de distintas longitudes, mientras que la regulación vertical de la corredera, posibilita el correcto centrado de ejes de diferente diámetro.

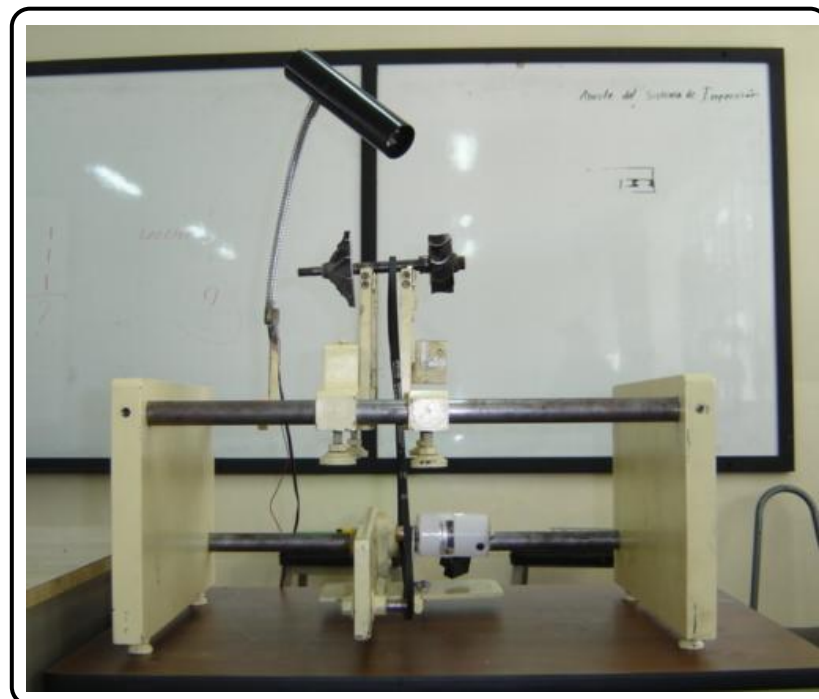


Figura 4.1.- Esquema de la máquina

El movimiento de rotación necesaria, es suministrado por un motor y a través de una correa sin costura, y un sistema transmisor de movimiento, cuya

misión es proporcionar a la correa una tensión elástica adecuada a fin de evitar resbalamiento, y en una dirección tal, que no introduzca vibraciones.

En este tipo de banco, el sistema elástico está diseñado de tal modo que su frecuencia natural resulte siempre menor que la frecuencia angular de rotación de la pieza. Es por ella que las vibraciones no se ven afectadas por el montaje elástico, que actúa de sobre manera como un soporte vertical, sin alterar el movimiento oscilatorio que tiene lugar, sobre el plano horizontal axial del cuerpo rotatorio. Se logra así la sensibilidad, y estabilidad necesaria para que la medición proporcione lecturas confiables y repetitivas de desequilibrio.

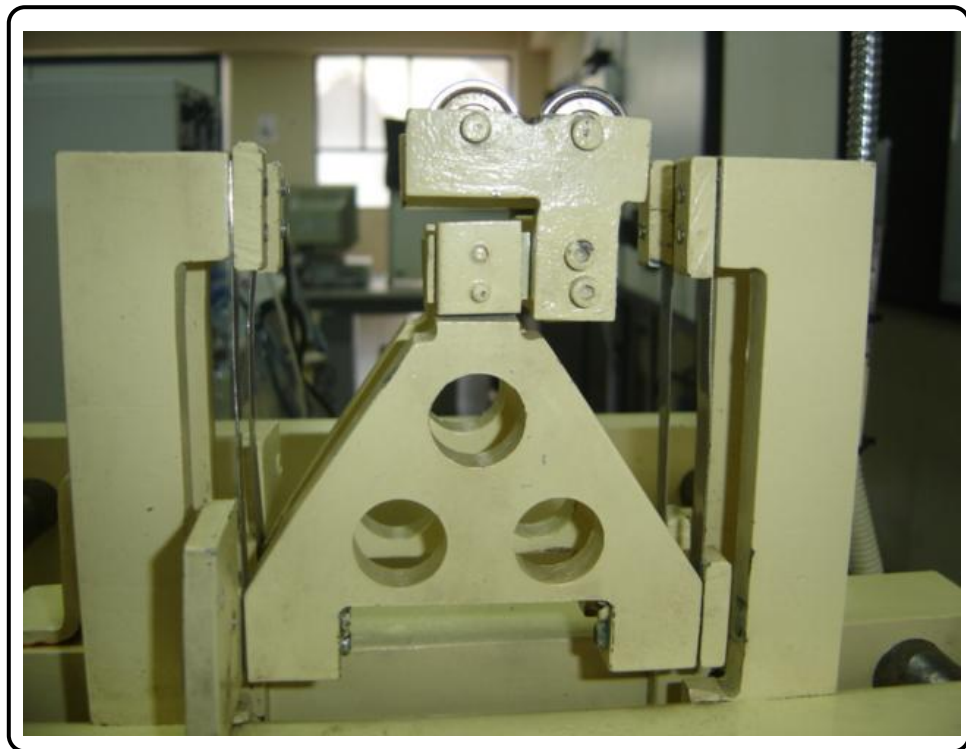


Figura 4.2 Esquema de la máquina

4.8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

No se hace difícil demostrar que todo cuerpo giratorio puede ser equilibrado, agregando a quitando una determinada cantidad de material sobre dos planos perpendiculares a eje de rotación, arbitrariamente elegidos. Para la práctica el método de equilibrado debe ser lo más cómodo posible. Por ello se eligen dos planos, según convenga a la estructura de la pieza a equilibrar.

El equipo electrónico de medición es el encargado de procesar las señales obtenidas del sensor.

El sistema de medición del banco, permite obtener las características de las vibraciones producidas por la pieza en rotación, y determinar así, la cantidad de la masa correctiva sobre cada uno de los planos de corrección ya mencionados.

El sistema de medición se basa en tres procesos básicos: detección, procesamiento e indicación final.

4.8.1. SENSOR DE VIBRACIÓN

El banco posee un sensor, el mismo que es de suma importancia para poder realizar el control respectivo de la máquina.

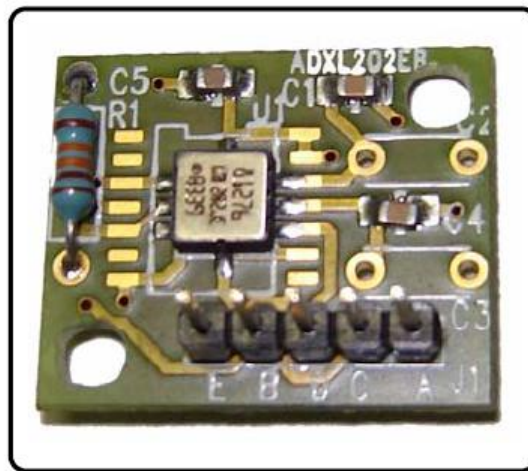


Figura 4.4.- Sensor

4.8.2. TARJETA ELECTRÓNICA

Este es el cerebro de la máquina ya que en él se realizan los cálculos y análisis respectivos para que la máquina pueda operar de la mejor manera, según sus parámetros y condiciones requeridas

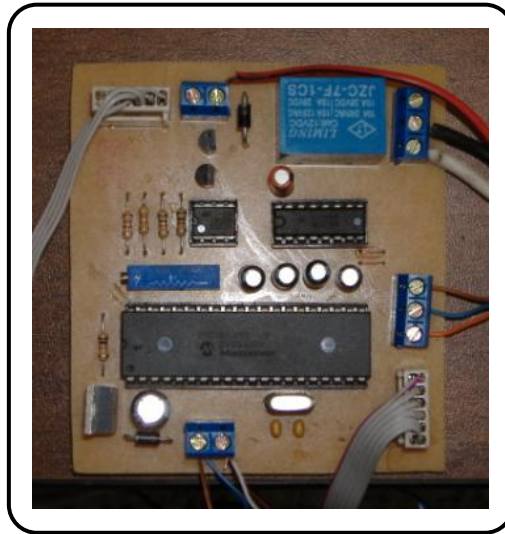


Figura 4.5.- Tarjeta electrónica

4.8.3. LÁMPARA ESTROBOSCÓPICA

Este actuador obedece a la tarjeta electrónica, su función es indicar el ángulo de desbalanceo.



Figura 4.6. – Lámpara Estroboscópica

4.8.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

La tracción de la pieza se realiza mediante una correa plana a velocidad constante. Las indicaciones de ángulo y velocidad son proporcionadas por la tarjeta electrónica y el control de velocidad respectivamente.

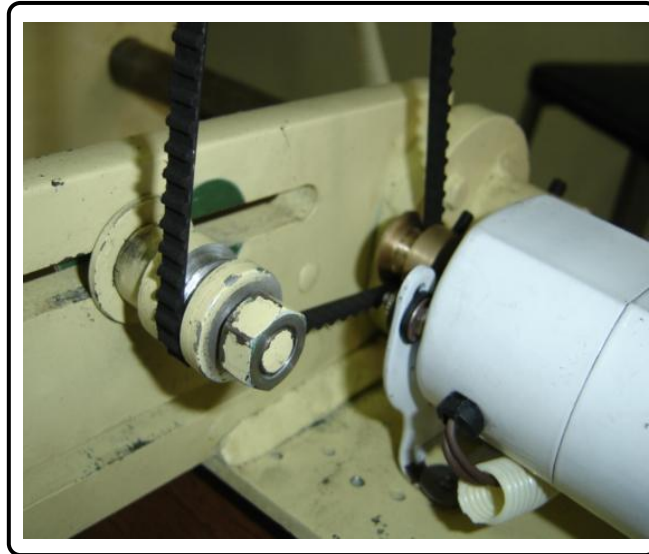


Figura 4.7. – Sistema de transmisión de movimiento

4.8.5. CONTROL DE VELOCIDAD

La velocidad del motor se regula mediante la ayuda de un dimmer y su magnitud se puede visualizar en la pantalla del computador.



Figura 4.8- Control de velocidad

4.9. MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

El mantenimiento apropiado, los ajustes, y los alineamientos de las estructuras de trabajo y apoyo, deben ser conocidos completamente para poder dar los pasos correctos de mantenimiento. La estructura de apoyo consta de 4 resortes de apoyo, las columnas de apoyo para los cojinetes y elevadores, los 2 resortes de alineación, los 2 soportes de las cojinetes y los 4 cojinetes de bolas.

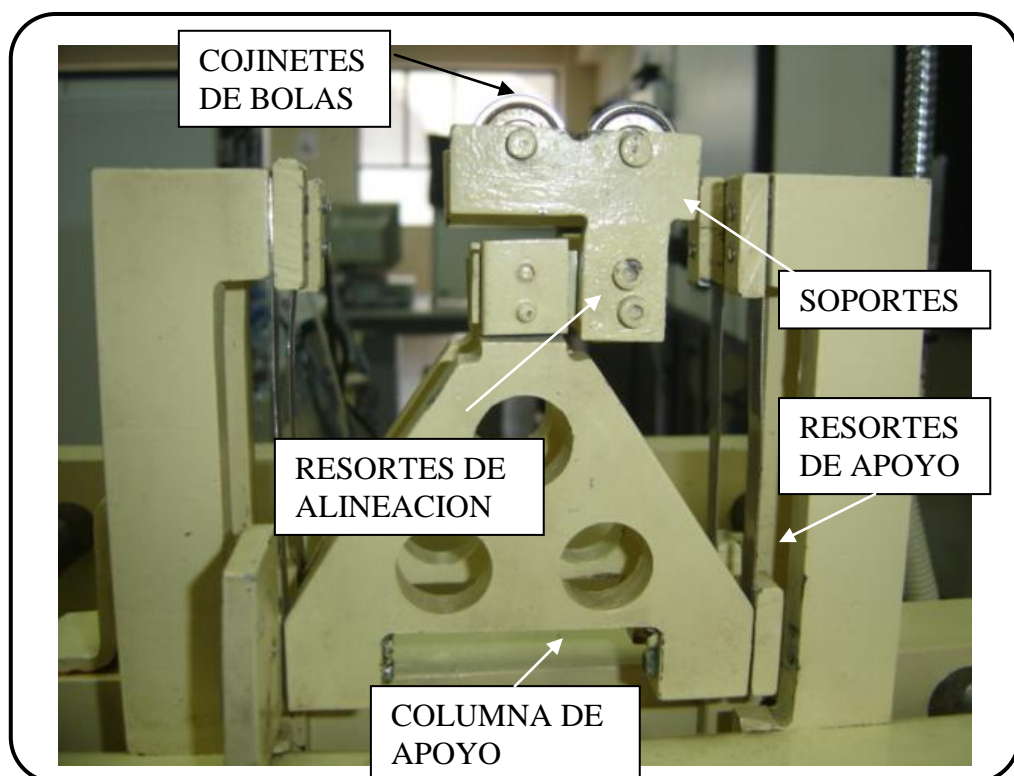


Figura 4.9. – Estructura de apoyo

4.9.1. LOS RESORTES DE SOPORTE

Estos 4 resortes son planos, y van suspendidas de las columnas de apoyo. Deberán estar siempre planos sin ninguna clase de defectos, incluyendo dobleces y pandeaduras. Cuando estos resortes se dañan o están fuera de alineación, causan que las lecturas y el funcionamiento de la luz estroboscópica sea inestable. Esto también puede causar que la

pieza ‘camine” lateralmente en una dirección a otra cuando este girando sobre los cojinetes. Si estos resortes tienen dobleces a defectos de cualquier clase, podrán causar un error en la localización del punto de desbalance.

4.9.2. LOS RESORTES DE ALINEACIÓN

Los resortes de alineación son dos y pueden compensar en algo la desalineación de los cojinetes y de los asientos portadores de dichos cojinetes. En piezas de poco peso, esto no podrá ser posible.

La función más importante de estos resortes es la de permitir el movimiento de pivote causado por el desbalance de la pieza. Estos resortes siempre deben estar perfectamente horizontales y paralelos entre sí.

Los resultados que obtendremos al usar resortes mal alineados, con dobladuras y otros defectos, son los mismos indicados anteriormente para los resortes de soporte.

Para facilitar el ajuste de estos resortes, ponga las dos estructuras de trabajo lo más juntas posible, pero sin que una llegue a tocar la otra, y tenga mucho cuidado al hacer los ajustes necesarios.

4.9.3. LOS PORTADORES DE LOS COJINETES

Los portadores de los cojinetes deberán siempre estar horizontales y paralelos entre sí para que las cojinetes puedan estar perfectamente alineados. La desalineación se puede detectar moviendo los dos portadores lo más junto que sea posible, pero sin que uno llegue a tocar el otro. Un ajuste incorrecto de los portadores ocasionará que la pieza “camine” de un lado a otro. También se podrá detectar este problema algunas veces si giramos la pieza sin ninguna lubricación en las

superficies donde descansa. Usted podrá escuchar muy claramente como la flecha patina a resbala sobre los cojinetes.

4.9.4. LOS ELEVADORES

Los elevadores se usan para ajustar la altura de los cojinetes de tal manera que puedan hacer un contacto completo a todo lo ancho de la superficie con la flecha o con el mandril. Si un cojinete se encuentra más alto que el otro, la flecha correrá sobre el borde de los cojinetes. Este efecto lo podremos hacer visible si aplicamos una capa delgada y pareja de lubricante a la flecha y la dejamos correr en la máquina. Si el ajuste fue hecho incorrectamente, el resultado será normalmente una lectura muy inestable en el indicador cuando los niveles de balance sean bajos. También obtendremos una pobre separación de los planos. Para crear un empuje que mantenga la pieza correctamente colocada sobre los cojinetes, suba o baje uno de los lados de la máquina en lugar de ajustar los elevadores.

4.9.5. LOS COJINETES

Los cojinetes en mal estado causarán una lectura inestable en la pantalla y harán que la luz estroboscópica funcione erróneamente y de una manera que nos hará muy difícil obtener una lectura angular estable en niveles bajos de desbalance. (Se dice que una pieza tiene un nivel bajo de desbalance, cuando esta pieza necesita correcciones muy pequeños para alcanzar el balance).

Algunas veces se podrá detectar el mal estado de uno a varios de los cojinetes, haciendo uso de un desarmador o destornillador para escuchar el sonido proveniente de los cojinetes al pasar por éste. Ponga la hoja del destornillador sobre el cojinete, el mango junto a su oído y escuche el sonido. Se pueden encontrar fácilmente cojinetes de repuesto en las tiendas del ramo. Los cojinetes comerciales pueden ser apropiados si no

se tienen a mano cojinetes de la clase 5 ó 7. Use un cojinete blindado en lugar de uno sellado.

4.9.6. CAUSAS EXTERNAS DE LECTURAS INESTABLES

La inestabilidad en la cantidad y localización de las indicaciones de desbalance, pueden ser causadas algunas veces por restricciones (trabas, rozamientos, etc.) en la estructura de soporte.

Si se sospecha que existe un problema, pero no sabemos su origen, quite el sensor de vibración de la platina de montaje y mueva la estructura de trabajo. La estructura deberá vibrar con facilidad y esa vibración deberá disminuir gradualmente con la distancia del movimiento. Si se detiene en dos o tres ciclos, algo debe estar rozando. Si la vibración no disminuye considerablemente y ambos resortes comienzan a vibrar revise los resortes de soporte y los de alineación, y vea si estos tienen dobladuras o algún otro defecto.

4.10. DISEÑO DEL HARDWARE Y FIRMWARE

Aquí se describe el procedimiento de diseño de la tarjeta de adquisición de datos. En esta aplicación el hardware y el *firmware*, al igual que en todas las aplicaciones que involucran microcontroladores, se desarrollan en forma simultánea. Esta consideración es necesaria para aprovechar eficientemente el microcontrolador sobre la base de los recursos disponibles, limitaciones y sobretodo de las consideraciones de diseño.

Se ha escogido el microcontrolador PIC18F452 como elemento principal de esta tarjeta, la alta velocidad de procesamiento y los recursos de hardware lo hacen idóneo para esta aplicación, además el software de desarrollo de aplicaciones (MPLAB IDE) y la documentación se pueden descargar de forma gratuita.

4.10.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La tarjeta que se va a construir debe satisfacer las siguientes necesidades:

Adquirir simultáneamente las señales de ambos ejes de los dos acelerómetros utilizados, a una velocidad de muestreo de por lo menos 1000 muestras por segundo con una resolución mínima de 10 bits.

La transmisión de los datos adquiridos hacia la PC deberá hacerse por medio del puerto serial (RS-232) y a una velocidad lo suficientemente alta que permita observar cambios rápidos en las variables de interés.

Debe poseer un módulo para medición de velocidad de fácil instalación, sin embargo no debe afectar al funcionamiento del resto del sistema y su utilización será opcional.

4.10.2. DISEÑO DE LA ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

El módulo ADXL202EB es una tarjeta de evaluación y aplicación para el acelerómetro ADXL202 que contiene los elementos mínimos para el funcionamiento del sensor. Solamente es necesario agregar tres elementos adicionales para ajustar ciertos parámetros de operación. La figura 4.10 muestra el diagrama esquemático y el aspecto físico de este módulo; la tabla IV.1 indica la función de cada elemento.

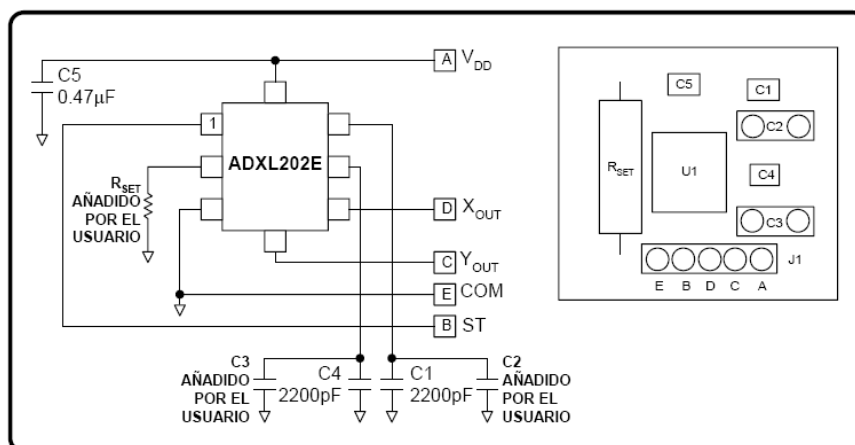


Figura 4.10. Diagrama esquemático y disposición física del módulo ADXL202EB

Tabla IV.1. Lista y funciones de los elementos del módulo ADXL202EB

Referencia	Valor	Función
C1	2200 pF/25 V	X _{FILT} . Fijan el valor del ancho de banda analógico del eje X.
C2	Añadido por el usuario	
C3	Añadido por el usuario	Y _{FILT} . Fijan el valor del ancho de banda analógico del eje Y.
C4	2200 pF/25 V	
C5	0.47 μF	Filtro de la fuente de poder
J1	Conector	Todas las conexiones de poder y de señal se realizan a través de este conector.
R1	Añadido por el usuario	R _{SET} . Sets the PWM period (T ₂).
U1	ADXL202	Acelerómetro de dos ejes ±2 g.

Un aspecto a considerar es que los valores de aceleración medidos por el acelerómetro ADXL202 no se expresan como niveles de voltaje o corriente, sino que están moduladas en ancho de pulso (PWM), es decir, el ciclo activo de la señal es proporcional al valor medido. Esta característica debe tomarse muy en cuenta en el diseño del convertor A/D.

Los parámetros más importantes de la señal PWM generada por el sensor se detallan en la figura 4.11.

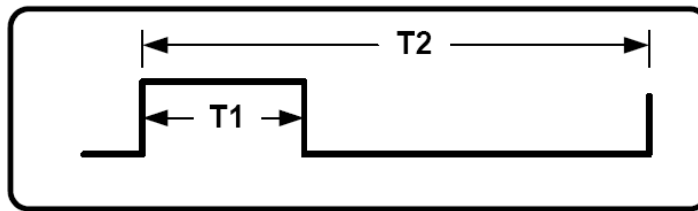


Figura 4.11. Señal PWM típica del acelerómetro ADXL202EB

Las ecuaciones 4.1 a 4.3 describen el comportamiento de esta señal, cabe indicar que el valor de la aceleración calculado está dado en g's.

Nota: 1 g = aceleración de la gravedad = 9.8 m/s²

$$A(g) = \frac{1}{12.5\%} \times \left(\frac{T1}{T2} - 0.5 \right) \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$0g = 50\% \text{ de ciclo activo} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$T2(s) = \frac{R_{SET}(\Omega)}{125M\Omega} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

El ancho de banda se ajusta por medio de los capacitores C1 y C2 (X_{FILT} y Y_{FILT}). La tabla IV.2 muestra estos valores, el ancho de banda y el nivel de ruido. Para lograr un mayor ancho de banda puede prescindirse de estos capacitores.

Tabla IV.2. Valores de X_{FILT} y Y_{FILT} para distintos valores de ancho de banda

X _{FILT} , Y _{FILT} (μF)	Ancho de Banda (Hz)	Ruido RMS (mg)
0.01	500	12.7
0.047	100	7
0.1	50	4.2
0.47	10	2.3

Aplicando la ecuación (4.4) se determinó un valor de RSET de 113 ~ con el que se obtiene un período PWM de aproximadamente 0.9 ms. El ancho de de banda posible debe ser el mayor posible, por esta razón no se utilizan los capacitores C1 y C2. En la figura 4.12 se muestra la fotografía del módulo ADXL202EB ensamblado y listo para funcionar

según los requerimientos de diseño.

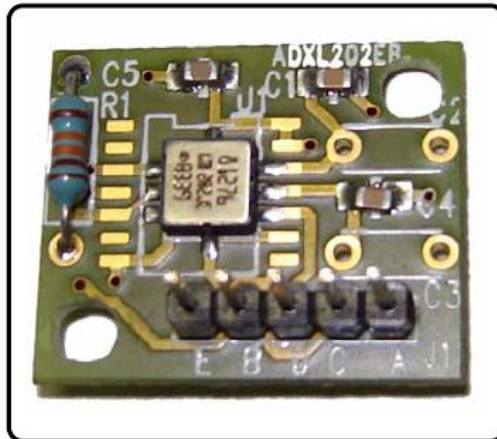


Figura 4.12. Fotografía del módulo ADXL202EB listo para ser utilizado

4.10.3 DISEÑO DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN A/D Y TRANSMISIÓN SERIE

Como ya se explicó en el apartado anterior, el acelerómetro provee una señal PWM; por esta razón no será posible utilizar el convertor A/D disponible en el PIC18F452, ya que este módulo trabaja con niveles de voltaje. Para realizar esta conversión se ha utilizado dos interrupciones: una interrupción externa y una interrupción por módulo CCP (en modo captura), para cada eje del acelerómetro.

El proceso de conversión se detalla a continuación.

- Se detecta el flanco positivo de la señal PWM, proveniente del acelerómetro, por medio de una interrupción externa (INT1 para el eje X e INT2 para el eje Y).
- En la RSI (rutina de servicio de interrupción) de interrupción externa correspondiente se inicializan los contadores que contendrán, al final de la conversión, el valor equivalente al ancho del pulso.
- El flanco descendente se detecta por medio de la interrupción por módulo CCP en modo captura (CCP1 para el eje X y CCP2 para el eje 1).

- En la RSI del módulo CCP correspondiente se obtiene el valor del contador de ancho de pulso y se almacena los valores en una tabla de datos.
- Este proceso se repite hasta que la tabla de datos se llena, entonces se inicia la transmisión de datos hacia la PC.

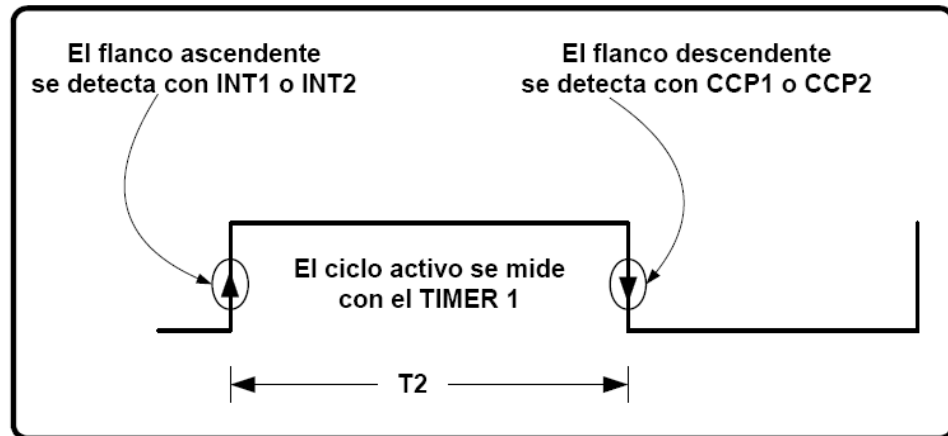


Figura 4.13. Proceso de conversión utilizando interrupciones.

Para garantizar una rápida respuesta a estos eventos, las interrupciones INT1, INT2, CCP1 y CCP2 se configuran con alta prioridad.

La transmisión y recepción de datos también se controlan con interrupciones. El proceso es el siguiente:

- Se envía un byte de datos desde la PC al microcontrolador. Este evento genera una interrupción.
- En la RSI de recepción USART se inicializan los punteros de datos de la tabla y se inicia el proceso de adquisición ya descrito.
- Cuando la adquisición de datos termina se inicia la transmisión, también se ejecuta a través de una interrupción que se produce cada vez que el microcontrolador envía un byte. La transmisión finaliza cuando se han enviado todos los datos de la tabla.

Las interrupciones de transmisión y recepción se configuran con baja

prioridad ya que el microcontrolador tiene un hardware especializado que manipula este proceso de forma eficiente. La velocidad de transmisión es de 38400 bps y se ha determinado experimentalmente. Para lograr esta alta velocidad, la frecuencia de operación del PIC18F452 es de 40 MHz que se logra con un oscilador de 10 MHz y un circuito interno que multiplica esta frecuencia por 4 (PLL x4).

A fin de lograr la mayor velocidad de transferencia, los datos se transmiten en formato binario y se ha incluido un campo para detección de errores (CRC). La trama de datos que transmite el microcontrolador es la siguiente:

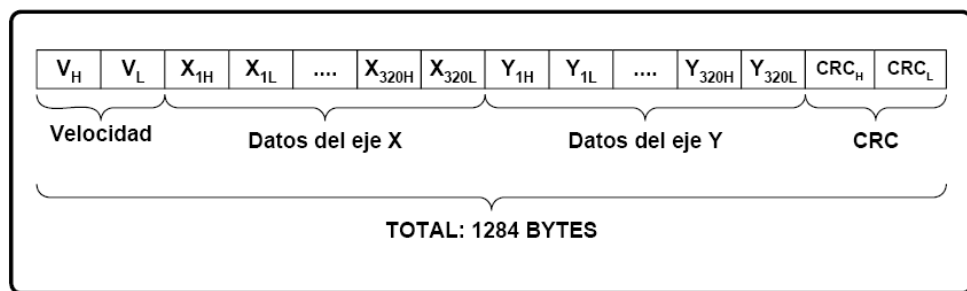


Figura 4.14. Trama de datos transmitidos por el microcontrolador.

El PIC18F452 opera con niveles de voltaje TTL para transmisión y recepción, por esta razón se utiliza el circuito integrado MAX232 que convierte los niveles TTL en niveles de RS-232, este dispositivo tiene una bomba de carga interna que genera voltajes de -10V y +10V a partir de un voltaje de operación de 5V. En la figura 4.15 se ilustra el diagrama de pines y el circuito típico de aplicación del MAX232.

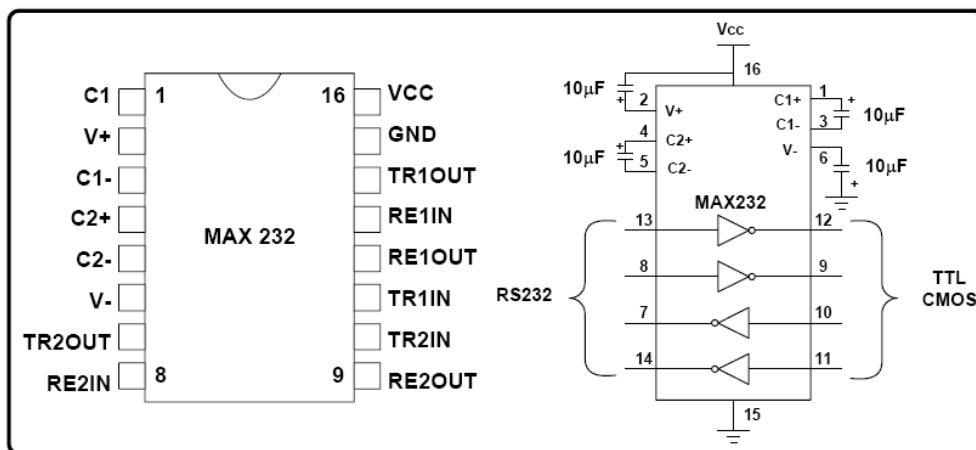


Figura 4.15. Diagrama de pines y circuito de aplicación del CI MAX232.

4.11. PROGRAMACIÓN DEL PIC18F452

Para la programación del microcontrolador se empleó el software de desarrollo MPLAB IDE 7.2. Esta fue la herramienta fundamental para el desarrollo del proyecto ya que en ella se pueden simular situaciones y eventos muy cercanos al comportamiento real del dispositivo, de esta forma resultó relativamente sencillo localizar y depurar los problemas que se presentaron. En la figura 4.16. se muestra el programa en proceso de simulación.

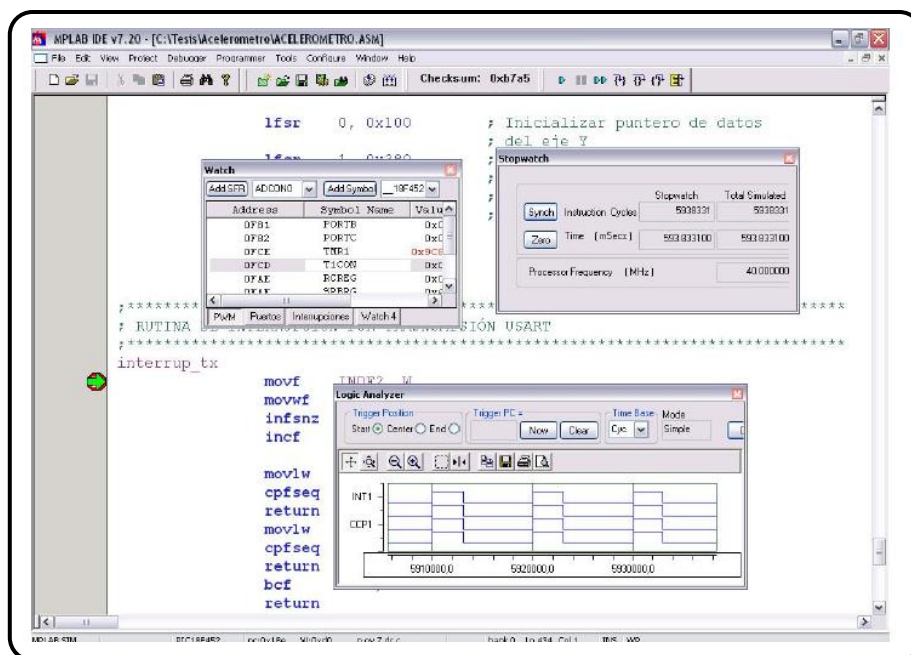


Figura 4.16. Ventana del programa MPLAB IDE durante el proceso de simulación

A continuación se detallan los registros más importantes y sus configuraciones iniciales. El programa completo, en lenguaje ensamblador, se detalla en la sección de Anexos.

4.12. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE HARDWARE

Las pruebas de funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos se realizaron utilizando un software básico de comunicación (implementado en LabVIEW). Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y se pueden apreciar en la figura 4.17

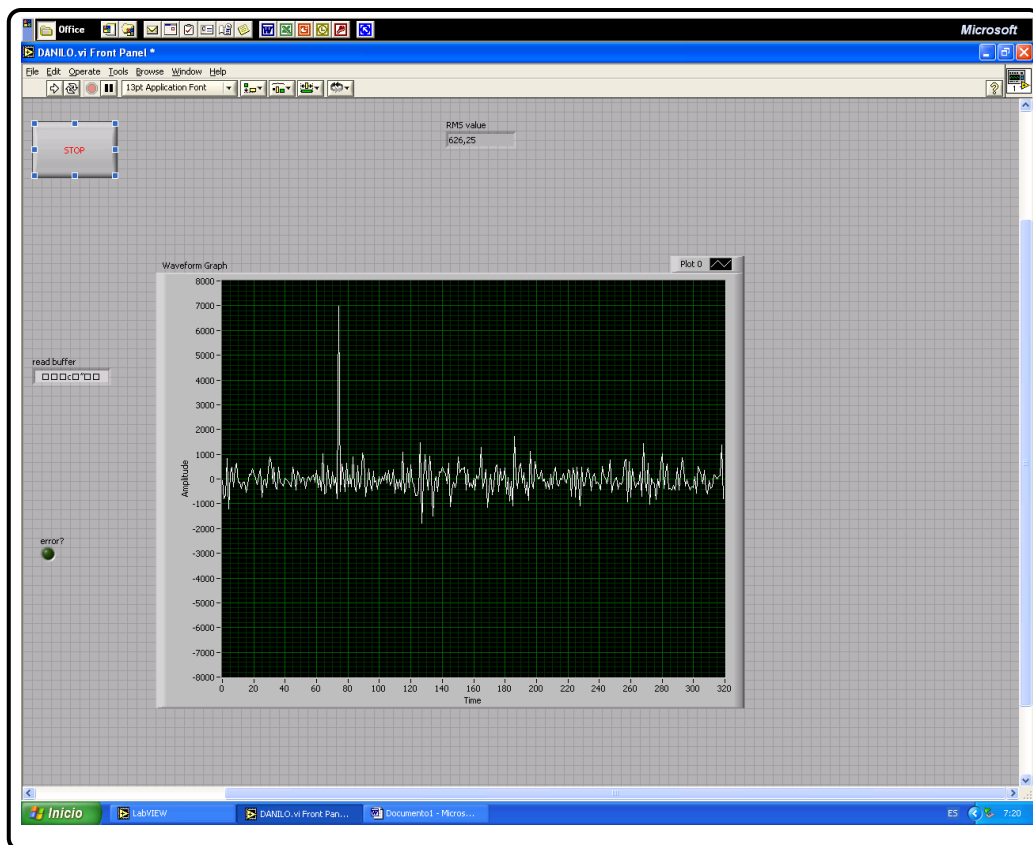


Figura 4.17. Programa para realizar pruebas de hardware.

En la figura 4.18 se puede apreciar el circuito completo de la tarjeta de adquisición de datos.

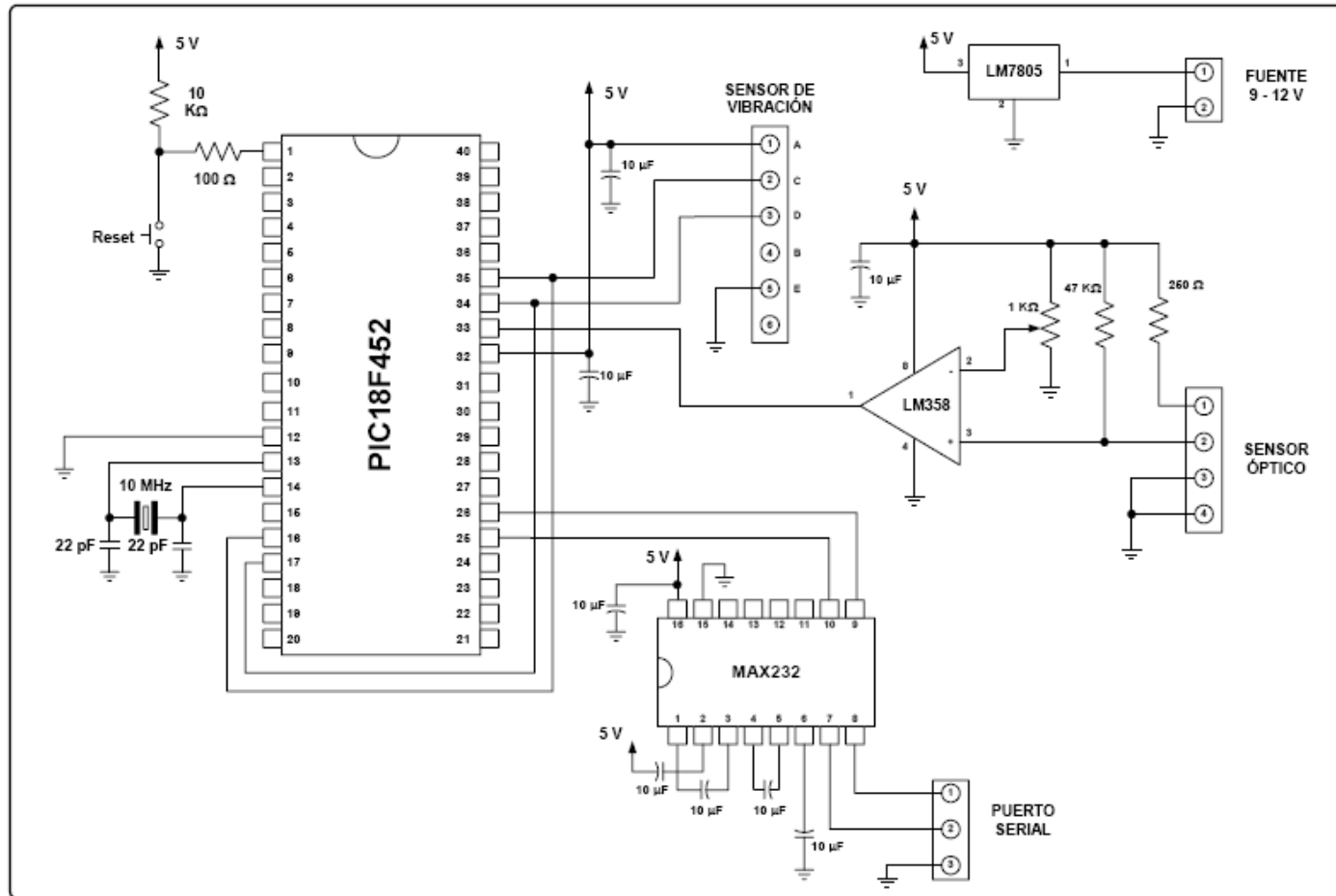


Figura 4.18. Circuito completo de la tarjeta de adquisición de datos

4.13 DISEÑO DEL SOFTWARE

El diseño del software de adquisición y procesamiento de datos se ha realizado completamente utilizando el lenguaje de programación gráfica LabVIEW. Se ha escogido este programa debido a su gran facilidad para el manejo de los recursos de la PC (especialmente el puerto serial RS-232) y a su excelente interfase gráfica. Estas características permitieron que el desarrollo del software se cumpla en un tiempo relativamente corto.

4.13.1 LABVIEW

LabVIEW es una herramienta gráfica de test, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux .

Los programas hechos con LabVIEW se llaman VI (*Virtual Instrument*), lo que da una idea de uno de sus principales usos: el control de instrumentos.

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos
- Control de instrumentos
- Automatización industrial o PAC (Controlador de Automatización Programable)
- Diseño de control: prototipaje rápido y hardware-en-el-bucle (HIL)

Su principal característica es la facilidad de uso, personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales.

También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (páginas de código) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación.

Presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones:
 - Puerto serie
 - Puerto paralelo
 - GPIB
 - PXI
 - VXI
 - TCP/IP, UDP, DataSocket
 - IrDA
 - Bluetooth
 - USB
 - OPC...
- Capacidad de interactuar con otras aplicaciones:
 - dll
 - ActiveX
 - Matlab
 - Simulink...
- Herramientas para el procesado digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento.
- Tiempo Real estrictamente hablando.
- Programación de FPGAs.
- Sincronización.

Labview es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan.

Un programa se divide en *Panel Frontal* y *Diagrama de bloques*. El *Panel Frontal* es el interfaz con el usuario, en él se definen los *controles* e *indicadores* que se muestran en pantalla. El *Diagrama de Bloques* es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan iconos que realizan una determinada función y se interconectan.

La Figura 4.19 muestra un *Diagrama de Bloques* de un programa en el que se genera un array de 100 elementos aleatorios, a continuación se hace la FFT de este array y se muestra en una gráfica:

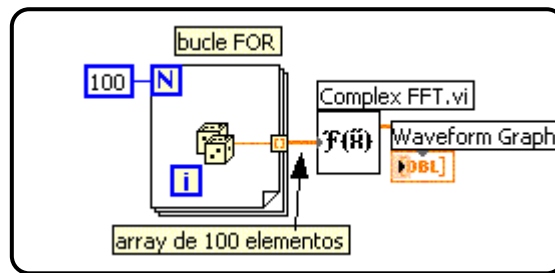


Figura 4.19. Diagrama de bloque en Labview

4.13.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El software de adquisición, procesamiento y análisis de datos debe cumplir con las siguientes consideraciones de diseño.

- Debe ser completamente compatible con la tarjeta de adquisición de datos. Esto implica que será capaz de detectar errores y posibles interrupciones en la transmisión.
- La interfase gráfica del usuario debe ser amigable, es decir, la visualización de parámetros se hará de la forma más clara posible y tendrá funciones de fácil acceso.
- Los procesos de transmisión/recepción y procesamiento de datos debe ejecutarse en forma eficiente para evitar pérdidas de datos.
- El sistema de diagnóstico proveerá de la información necesaria en

caso de detectarse una falla, sin embargo es el usuario quién deberá corroborar la veracidad de esta información.

- Debe tener la capacidad de manejar archivos: abrir o guardar reportes, realizar análisis históricos, etc.

4.14. DISEÑO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Como se explicó el apartado 4.10.3 (Diseño de la etapa de conversión A/D y transmisión serie), el microcontrolador inicia la conversión cuando recibe un byte de datos (sin importar su valor) desde la PC. Por lo tanto el primer paso consiste en enviar este byte a través del puerto serie. A continuación se reciben 1284 bytes de datos y se los separa de forma adecuada.

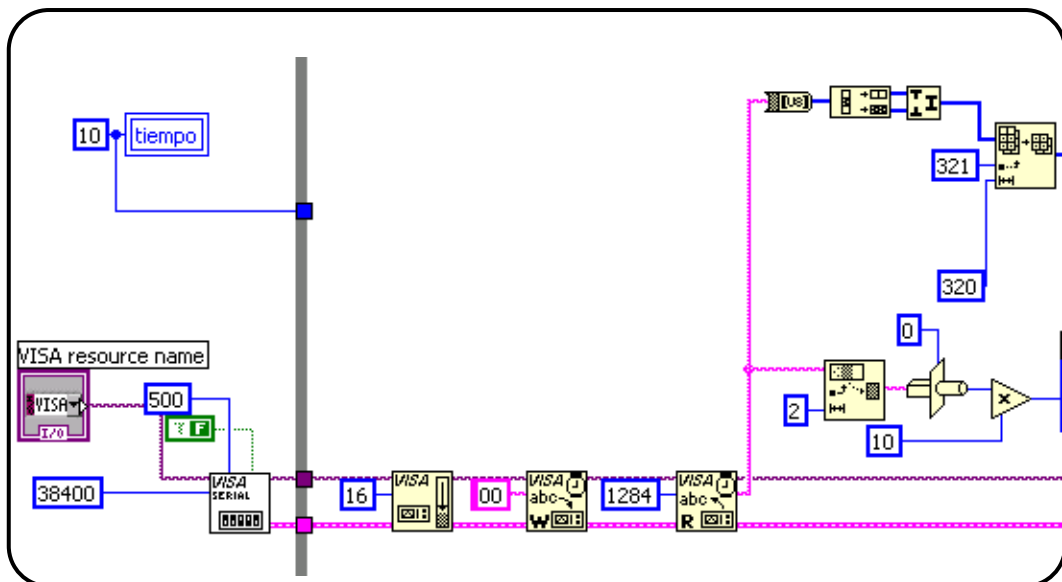


Figura 4.20. Software de adquisición de datos.

En la figura 4.20 se presenta el software simplificado de adquisición de datos dividido en 6 etapas que se describen a continuación.

- 1) **Configuración del puerto de comunicación.**- En esta etapa se abre el puerto de comunicación (COM1, COM2, etc.), se selecciona la velocidad y se configura el formato de los datos, en este caso: 38400 bps, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin bit de paridad y datos binarios.

2) **Inicio de conversión.**- Se envía un byte de datos por el puerto hacia el microcontrolador para iniciar el proceso de conversión y transmisión de datos.

3) **Recepción de datos.**- Se reciben 1284 bytes de datos que contienen los campos: velocidad, datos de los ejes y CRC.

4) **Conversión de tipo de dato.**- Los datos recibidos son de tipo *string* (cadena de caracteres) pero para su posterior procesamiento deben estar en un formato numérico (byte). Esta etapa se encarga de esta conversión.

5) **Separación de datos.**- Una vez que los datos fueron recibidos y convertidos se separan en función del tipo de información que contienen. A continuación los datos son acondicionados y procesados.

4.15. DISEÑO DEL SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos consiste principalmente en aplicar la FFT a los datos de aceleración para obtener los espectros de frecuencia, que son la herramienta fundamental para el análisis de vibración.

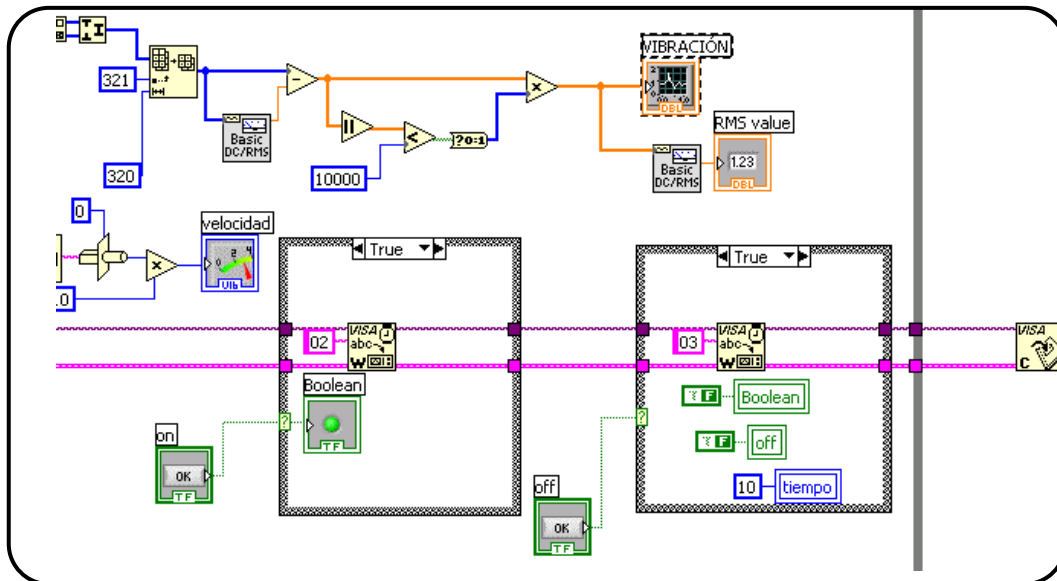


Figura 4.21. Software de procesamiento de datos

A continuación se explica el funcionamiento del software de procesamiento de datos de la figura 4.21.

1. **Acondicionamiento de señal.**- Previo al procesamiento, los datos de aceleración (ejes) deben ser acondicionados a fin de obtener una medida real en m/s^2 . El acondicionamiento se realiza empleando la ecuación (4.1).
2. **Separación de ejes.**- La señal acondicionada está compuesta por 640 muestras, cada una contiene 320 puntos que deben ser separados para su procesamiento individual.
3. **Eliminación del valor medio.**- La componente continua no aporta ninguna información en el análisis de vibración y es conveniente eliminarlo.

4.16. PRUEBAS

En el banco se pueden realizar las siguientes pruebas:

- Inspección de los componentes del banco de turbocompresores
- Balanceo estático del turbocompresor
- Balanceo dinámico del turbocompresor

- Desarmado y armado de un turbocompresor

4.16.1. INSPECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE TURBOCOMPRESORES:

Se debe realizar un análisis e inspección de los elementos descritos en la tabla IV.3

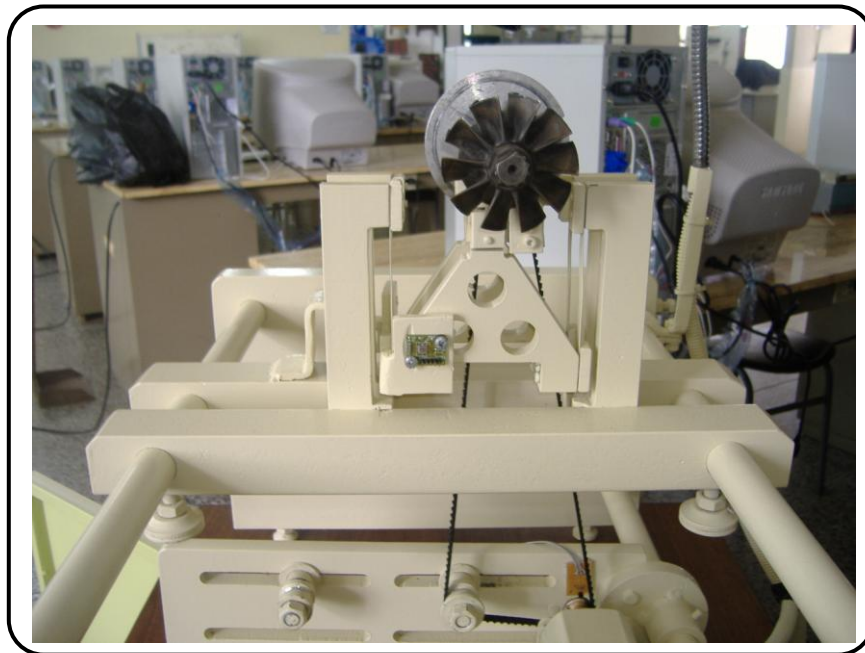


Figura 4.22. Inspección de los componentes del banco

Tabla IV.3. Análisis de resultados

Estado de inspección	Bueno	Malo
Resortes planos	x	
Resortes de alineación	x	
Alineamiento de cojinetes	x	
Cojinetes	x	
Banda de tracción	x	
Inspección visual general	x	

4.16.2. DESARMADO Y ARMADO DE UN TURBOCOMPRESOR:

El proceso de armado y desarmado de un turbocompresor permite obtener un mayor conocimiento los componentes del mismo así como un diagnóstico de su estado.



Figura 4.23. Desarmado de un turbocompresor



Figura 4.24. Inspección visual de los componentes del turbocompresor

Tabla IV.4. Verificaciones

No. Alabes del compresor	12
No. Alabes turbina	12
Diámetro del compresor	75mm
Diámetro de la turbina	74mm
Diámetro del colector de admisión	N/E
Diámetro del colector de escape	61mm

Tabla IV.5. Datos de identificación

Marca	3K
Motor	MERCEDES
Número OEM	074145701A
Número de serie	EH50435690436
Numero BW	K14-7018

4.16.3. BALANCEO ESTÁTICO DEL TURBOCOMPRESOR:

El balanceo estático del turbocompresor consiste en analizar si existe algún tipo de deformación tanto en el eje como en el rodete del compresor. Para ello hay que contar con la ayuda de un reloj palpador con base magnética.

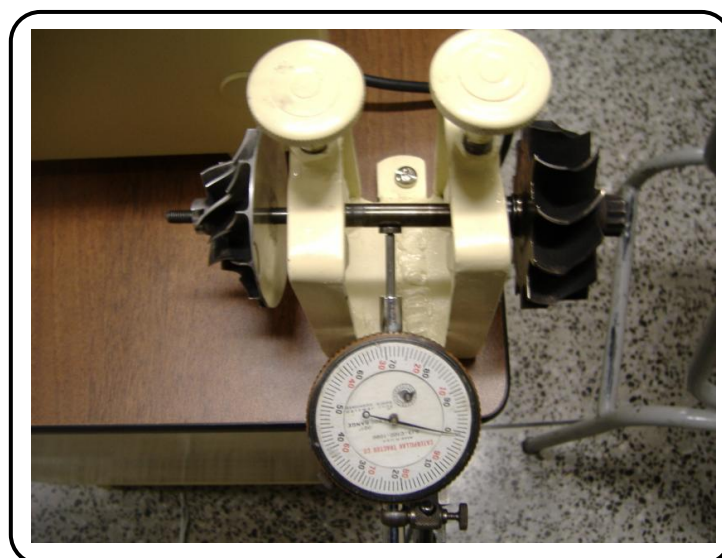


Figura 4.23. Medición de giro concéntrico



Figura 4.23. Medición del alabeo

Tabla IV.6. Resultados

Valores de medición	(mm.)
Giro concéntrico	0
Alabeo compresor	0
Alabeo turbina	0

De los valores medidos se puede concluir que no existe desbalanceo estático.

4.16.4. BALANCEO DINÁMICO DEL TURBOCOMPRESOR:

Según las pruebas realizadas con dos turbocompresores, se tomó como parámetro general que debe existir un valor RMS máximo de amplitud de onda de 2 kHz, además en la onda generada no debe existir picos excesivamente altos en comparación a la media de los picos de la onda ya que esto indicaría un desbalanceo de la turbina y el compresor.

La falta de regularidad de la onda en un turbocompresor en buen estado se debe a la presencia de pequeñas partículas de polvo o carbonilla adheridos en la superficie de la turbina o compresor.

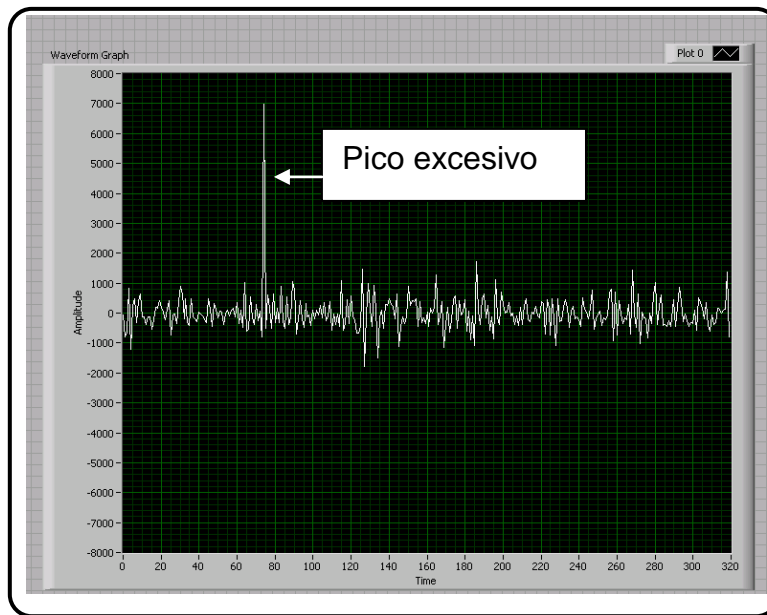


Figura 4.24. Onda con un pico excesivo

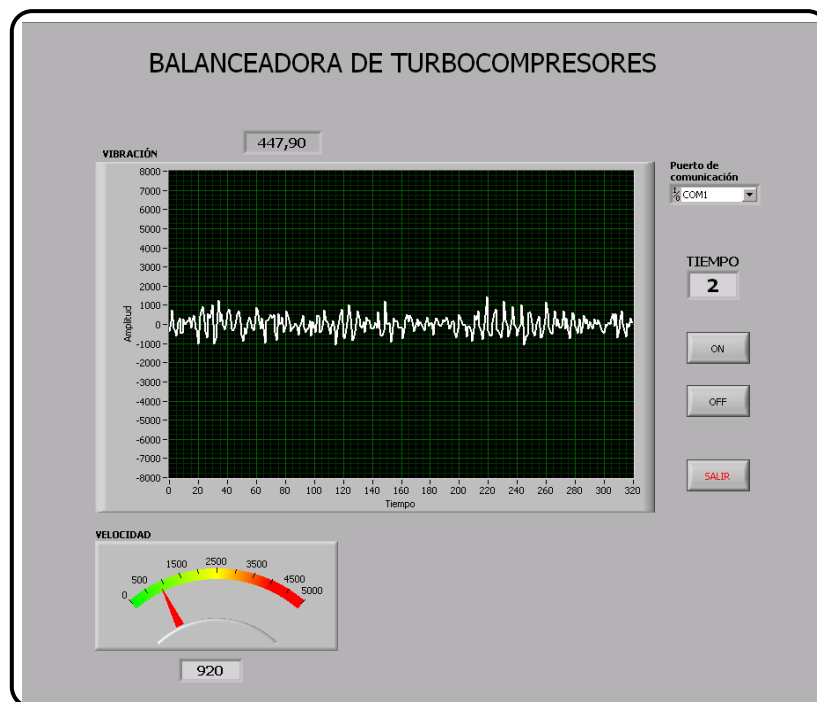


Figura 4.25. Onda de vibración generada por el turbocompresor a baja velocidad

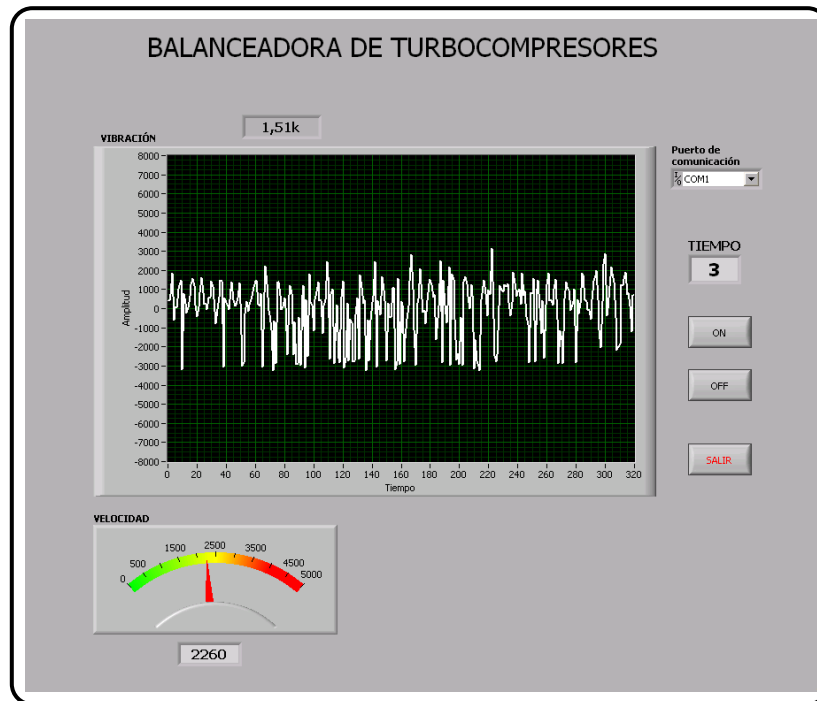


Figura 4.25. Onda de vibración generada por el turbocompresor a media velocidad.

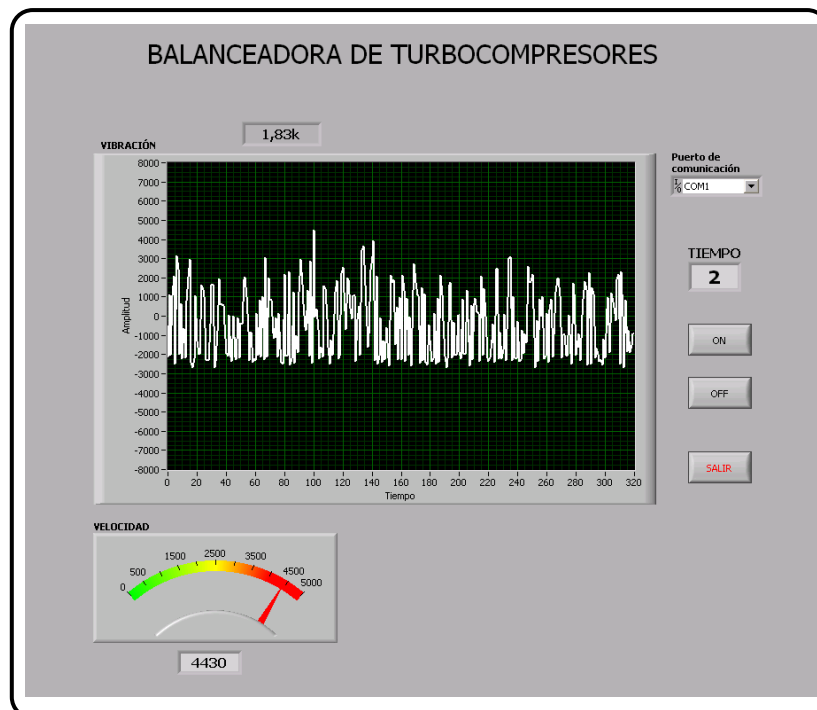


Figura 4.25. Onda de vibración generada por el turbocompresor a alta velocidad

Tabla IV.7. Resultados

Revoluciones	Valor RMS	Picos excesivos
920	447,9Hz	no
2260	1.51KHz	no
4430	1.83KHz	no

En base a las ondas obtenidas y sus características podemos deducir que tanto la turbina como el compresor se encuentran en buen estado y no presentan desbalanceo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Concluido el presente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

- Se diseñó y construyó un banco de pruebas para turbocompresores a bajo costo, mediante, la correcta selección de elementos eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.
- La construcción de este banco de pruebas permite ahorrar costos de mantenimiento en turbocompresores.
- Se construyó un programa sobre el uso del banco de pruebas que permite capacitar al personal interesado en el manejo del equipo.
- Con el análisis de vibraciones es posible diagnosticar en forma técnica el estado de los elementos de un turbocompresor y puede ser de gran importancia si se complementa con un adecuado programa de mantenimiento.
- Es necesario el uso de un documento que permita tecnificar las labores de diagnóstico, reparación y mantenimiento en los talleres especializados.
- Se ha construido un hardware para adquisición de datos eficiente y de bajo costo, empleando el microcontrolador PIC18F452 y el sensor de aceleración ADXL202EB que son elementos de fácil adquisición en el mercado local.
- El software de adquisición y procesamiento de datos se elaboró utilizando el lenguaje de programación LabVIEW. Esta herramienta cumplió satisfactoriamente con todos los requerimientos del proyecto gracias al potente manejo de los recursos del computador y a la excelente interfase gráfica.
- En la turboalimentación por gases de escape, parte de la energía de los gases de escape, que normalmente se perdería, se aprovecha para accionar una turbina.
- El compresor y las ruedas de la turbina los elementos que ejercen mayor influencia sobre las características de funcionamiento del turbocompresor.
- La relación potencia-peso del motor turboalimentado por gases de escape es mucho mejor que la de un motor atmosférico.

RECOMENDACIONES

- Cuando un circuito electrónico opera junto a motores eléctricos está expuesto a altos niveles de ruido, para reducir este problema es recomendable colocar capacitores en el circuito integrado.
- Para cada adquisición de datos de vibración., es muy importante situar el elemento sensor en la misma dirección y en un solo punto del banco de esta manera se obtienen datos más uniformes sobretodo en espectros históricos.
- Cada vez que se realice la recopilación de datos para un análisis histórico, es importante que el compresor y la turbina operen en las mismas condiciones de velocidad.
- En los turbocompresores que trabajen bajo condiciones severas es recomendable realizar un control vibracional periódico, de ésta manera se puede detectar y corregir oportunamente posibles fallas.
- Al adquirir un nuevo turbocompresor es recomendable tomar el patrón de vibración, que será de mucha utilidad para realizar un diagnóstico de fallas durante su vida útil.
- Los errores de comunicación son muy comunes cuando se transmite a altas velocidades y se opera en ambientes ruidosos, por esta razón es necesario disponer de un método de detección de errores.
- Antes de realizar las pruebas en el banco hay que revisar el estado de los resortes para evitar la toma de lecturas erróneas.
- El equipo debe guardarse en un lugar libre de humedad ya que ésta puede deteriorar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos del mismo.
- El sensor de vibración es muy sensible por lo que se debe procurar que no existan fuentes de vibración alrededor del equipo ya que ésta se haría presente en el análisis de vibración y generaría un falso espectro.
- Antes de realizar el análisis de vibración hay que asegurarse que el control de velocidad se encuentre completamente a hacia la izquierda para posteriormente ajustar la velocidad de operación.
- En lo posible evitar el contacto con los dispositivos electrónicos debido a que son muy sensibles a descargas de corriente estática.

BIBLIOGRAFÍA

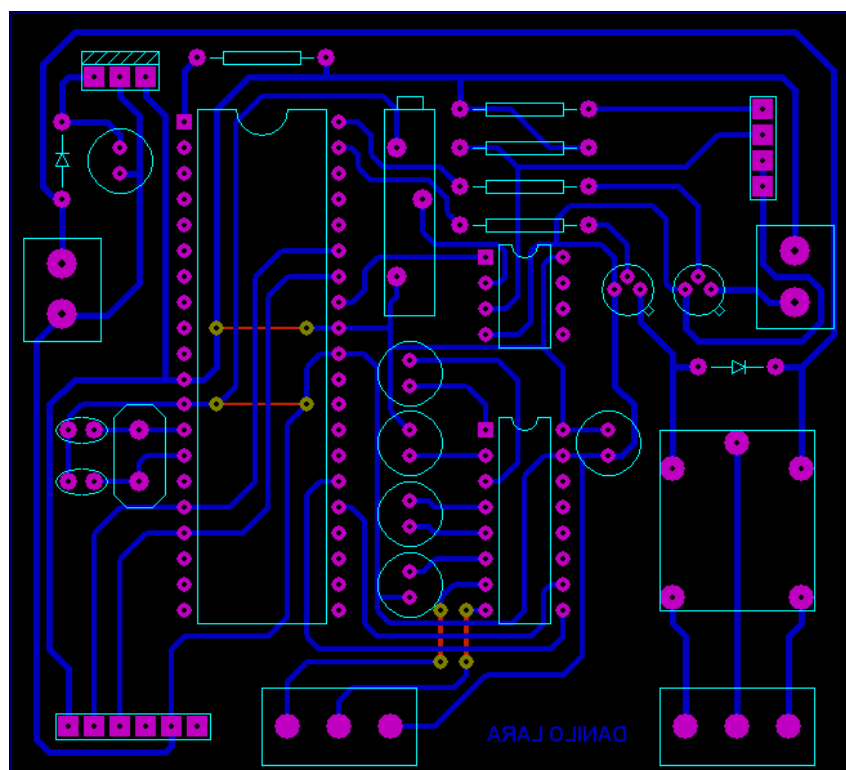
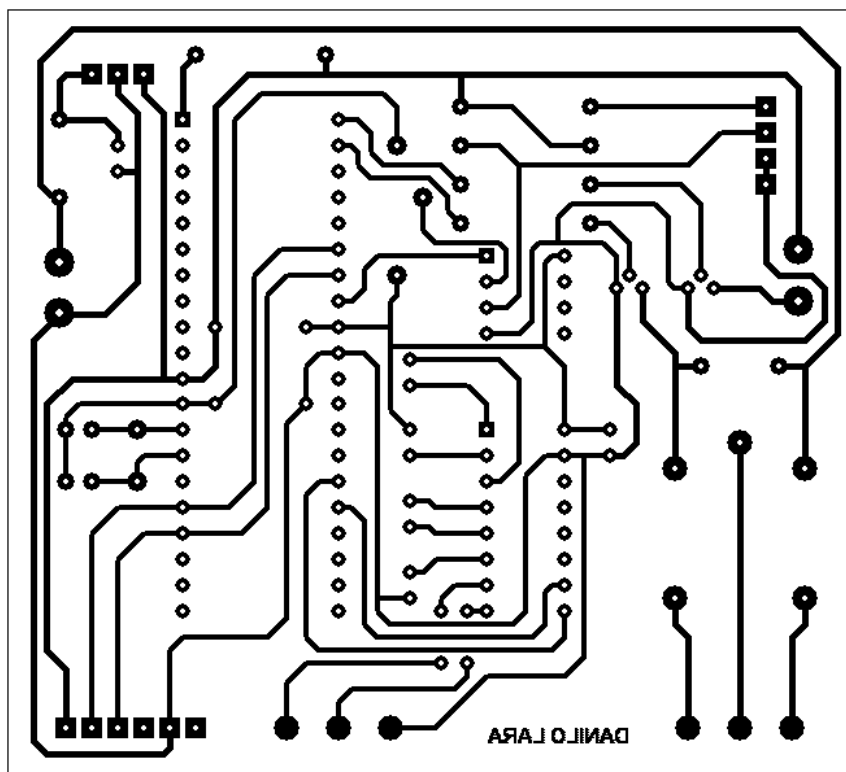
- JOSÉ MANUAL ALONSO, Tecnologías avanzadas del automóvil, ED Paraninfo, quinta Edición, España, 1997, 362 páginas
- FRANK J THIESSEN, Manual de mecánica diesel, Ed. Prentice Hall, México, 1998, 1432 páginas.
- GTZ ,Tecnología del automóvil, ED. Reverte SA, segunda Edición, España, 1980,192 páginas.
- HUGH MACINNES, Manual de turbocargadores, Ed. Prentice Hall, México, 1994, 175 páginas.
- Manual del automóvil, Ed. Cultural S.A., 2^{da} Edición, España, 2001, 255 páginas.
- MIGUEL DE CASTRO VICENTE, Motor diesel, ED. CEAC, segunda Edición, España,1990, 346 páginas.
- ROBERT C. ROSALER, JAMES O. RICE, Manual de mantenimiento industrial, ED. Mc Graw Hill, México ,1987,243 páginas.
- “INTERNET” [www equitob.com](http://www.equitob.com).
- “INTERNET” [www detroitdiesel.com](http://www.detroitdiesel.com).
- “INTERNET” [www. heinsbalancing.com](http://www.heinsbalancing.com)
- “INTERNET” [www. redtecnicautomotriz.com](http://www.redtecnicautomotriz.com).
- “INTERNET” [www Turbodiesel.com](http://www.Turbodiesel.com).

ANEXOS

ANEXO “A”

CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Circuito impreso de la tarjeta de adquisición de datos:



ANEXO “B”

FIRMWARE DEL PIC18F452

```

*****
;
; This file is a basic template for assembly code for a PIC18F452. Copy *
; this file into your project directory and modify or add to it as needed. *
;
;
; The PIC18FXXX architecture allows two interrupt configurations. This *
; template code is written for priority interrupt levels and the IPEN bit *
; in the RCON register must be set to enable priority levels. If IPEN is *
; left in its default zero state, only the interrupt vector at 0x008 will *
; be used and the WREG_TEMP, BSR_TEMP and STATUS_TEMP variables will not *
; be needed.
;
;
; Refer to the MPASM User's Guide for additional information on the *
; features of the assembler.
;
;
; Refer to the PIC18FXX2 Data Sheet for additional information on the *
; architecture and instruction set.
;
;
*****
;
;
; Filename:
; Date:12 de enero 2006
; File Version:
;
; Author: Jorge Danilo Lara Andrade
; Company: Espel
;
;
*****
;
;
; Files required: P18F452.INC
;
;
*****
;
; LIST P=18F452 ;directive to define processor
; #include <P18F452.INC>;processor specific variable definitions
;
;
*****
;
; Configuration bits
; The __CONFIG directive defines configuration data within the .ASM file.
; The labels following the directive are defined in the P18F452.INC file.
; The PIC18FXX2 Data Sheet explains the functions of the configuration bits.
;
;
; __CONFIG __CONFIG1H, _OSCS_OFF_1H & _HSPLL_OSC_1H
; __CONFIG __CONFIG2L, _BOR_OFF_2L & _PWRT_ON_2L
; __CONFIG __CONFIG2H, _WDT_OFF_2H
; __CONFIG __CONFIG3H, _CCP2MX_ON_3H
; __CONFIG __CONFIG4L, _STVR_OFF_4L & _LVP_OFF_4L & _DEBUG_OFF_4L
; __CONFIG __CONFIG5L, _CP0_OFF_5L & _CP1_OFF_5L & _CP2_OFF_5L &
; __CP3_OFF_5L
; __CONFIG __CONFIG5H, _CPB_OFF_5H & _CPD_OFF_5H
; __CONFIG __CONFIG6L, _WRT0_OFF_6L & _WRT1_OFF_6L & _WRT2_OFF_6L &
; __WRT3_OFF_6L
; __CONFIG __CONFIG6H, _WRTC_OFF_6H & _WRTB_OFF_6H & _WRTD_OFF_6H
; __CONFIG __CONFIG7L, _EBTR0_OFF_7L & _EBTR1_OFF_7L & _EBTR2_OFF_7L &
; __EBTR3_OFF_7L
; __CONFIG __CONFIG7H, _EBTRB_OFF_7H
;
;
*****
;
; Variable definitions
; These variables are only needed if low priority interrupts are used.

```

; More variables may be needed to store other special function registers used
; in the interrupt routines.

```
CBLOCK 0x080
WREG_TEMP ;variable used for context saving
STATUS_TEMP ;variable used for context saving
BSR_TEMP ;variable used for context saving
ENDC
```

```
CBLOCK 0x000
EXAMPLE ;example of a variable in access RAM
Inicio_TX
Cont_10ms
VueltasL, VueltasH
Reg_Cont
CCPR1H_1, CCPR1L_1
CCPR2H_1, CCPR2L_1
```

```
CRCH, CRCL, CRCB
Cont_Bits_CRC
DATO
```

```
ENDC
```

```
VelocidadH EQU 0xFC
VelocidadL EQU 0xFD
```

```
Timer3=0xC34B ; Valor de Inicialización del Timer3
```

```
*****
;
;EEPROM data
; Data to be programmed into the Data EEPROM is defined here
```

```
ORG 0xf00000
DE "Test Data",0,1,2,3,4,5
```

```
*****
;
;Reset vector
; This code will start executing when a reset occurs.
```

```
ORG 0x0000
goto Main ;go to start of main code
```

```
*****
;
;High priority interrupt vector
; This code will start executing when a high priority interrupt occurs or
; when any interrupt occurs if interrupt priorities are not enabled.
```

```
ORG 0x0008
bra HighInt ;go to high priority interrupt routine
```

```
*****
;
;Low priority interrupt vector and routine
; This code will start executing when a low priority interrupt occurs.
```

; This code can be removed if low priority interrupts are not used.

```
ORG 0x0018

movff STATUS,STATUS_TEMP    ;save STATUS register
movff WREG,WREG_TEMP        ;save working register
movff BSR,BSR_TEMP          ;save BSR register

;    *** low priority interrupt code goes here ***
    btfss PIE2, TMR3IE
    bra $+6
    btfsc PIR2, TMR3IF
    rcall interrup_t3

    btfss PIE1, RCIE
    bra $+6
    btfsc PIR1, RCIF
    rcall interrup_rc

    btfss PIE1, TXIE
    bra $+6
    btfsc PIR1, TXIF
    rcall interrup_tx

    movff BSR_TEMP,BSR        ;restore BSR register
    movff WREG_TEMP,WREG      ;restore working register
    movff STATUS_TEMP,STATUS  ;restore STATUS register
    retfie
```

```
.*****
;
;High priority interrupt routine
; The high priority interrupt code is placed here to avoid conflicting with
; the low priority interrupt vector.
```

HighInt:

```
;    *** high priority interrupt code goes here ***
    btfss INTCON, INT0IE
    bra $+6
    btfsc INTCON, INT0IF
    rcall INTERRUP_INT0 ; Ir a rutina de interrupción
                        ; externa 0

    btfss INTCON3, INT1IE
    bra $+6
    btfsc INTCON3, INT1IF
    rcall INTERRUP_INT1 ; Ir a rutina de interrupción
                        ; externa 1

    btfss INTCON3, INT2IE
    bra $+6
    btfsc INTCON3, INT2IF
    rcall INTERRUP_INT2 ; Ir a rutina de interrupción
                        ; externa 2

    btfss PIE1, CCP1IE
    bra $+6
    btfsc PIR1, CCP1IF
    rcall INTERRUP_CCP1 ; Ir a rutina de interrupción
```

; por módulo CCP1

```
btfss PIE2, CCP2IE
bra $+6
btfsc PIR2, CCP2IF
rcall INTERRUP_CCP2 ; Ir a rutina de interrupción
; por módulo CCP2
```

retfie FAST

```
.*****
;
; Start of main program
; The main program code is placed here.
```

Main:

```
; *** main code goes here ***
```

```
.*****
;
; INICIALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE PUERTOS
.*****
```

```
clrf LATA
clrf LATB
clrf LATC
clrf LATD
clrf LATE
movlwb'01111111'
movwf TRISB
movlwb'10111111'
movwf TRISC
```

```
.*****
;
; CONFIGURACIÓN DE PUERTO SERIAL
.*****
```

```
movlw.64 ; Configuración del BRG para
movwf SPBRG ; 38400

movlwb'00100100' ; Configuración del módulo
movwf TXSTA ; de transmisión serie

movlwb'10010000' ; Habilitar puerto serie,
movwf RCSTA ; recepción continua
```

```
.*****
;
; CONFIGURACIÓN DEL TIMER1 y TIMER3
.*****
```

```
movlwb'00000001'
movwf T1CON

movlwb'00100001'
movwf T3CON

movlwHIGH Timer3
movwf TMR3H
movlwLOW Timer3
```

```

movwf    TMR3L

;*****
; CONFIGURACIÓN DE LOS MODULOS CCP1 Y CCP2
;*****
movlwb'00000100'
movwf    CCP1CON
movwf    CCP2CON

;*****
; CONFIGURACIÓN DE INTERRUPTACIONES
;*****
movlwb'00110000' ; Configurar flancos de
movwf    INTCON2      ; interrupción externa

movlwb'11000000' ; Configurar niveles de prioridad
movwf    INTCON3      ; de interrupciones externas

movlwb'00000100' ; Configurar nivel de prioridad
movwf    IPR1         ; de interrupción CCP1

movlwb'00000001' ; Configurar nivel de prioridad
movwf    IPR2         ; de interrupción CCP2

bsf     PIE1, RCIE ; Habilitar interrupción por recepción
        ; USART

bsf     PIE2, TMR3IE ; Habilitar interrupción por recepción
        ; por Timer3

bsf     RCON, IPEN ; Habilitar niveles de prioridad
        ; de interrupciones

movlwb'11010000' ; Habilitación General de Interrupciones,
movwf    INTCON      ; Interrupción por Timer0 e
        ; Interrupciones de periféricos

bra     $

;     *** main code goes here ***

;*****
;*****
; RUTINA DE INTERRUPTACIÓN EXTERNA 0
;*****
INTERRUP_INT0
    infsnz VueltasL, f
    incf  VueltasH, f

fin_int0
    bcf  INTCON, INT0IF
    return

;*****
; RUTINA DE INTERRUPTACIÓN EXTERNA 1
;*****

```

```

INTERRUP_INT1
    bcf  PIR1, CCP1IF
    bsf  PIE1, CCP1IE
    bcf  INTCON3, INT1IF
    movff TMR1L, CCPR1L_1
    movff TMR1H, CCPR1H_1

    return

;*****
;
; RUTINA DE INTERRUPTIÓN POR MÓDULO CCP1
;*****
INTERRUP_CCP1
    movf  CCPR1L_1, W
    subwf CCPR1L, f
    movf  CCPR1H_1, W
    subwfb CCPR1H, f

    movff CCPR1H, INDF0 ; Almacenar el byte menos significativo
    infsnz FSR0L, f ; Incrementar puntero
    incf  FSR0H, f ; de datos

    movff CCPR1L, INDF0 ; Almacenar el byte menos significativo

    infsnz FSR0L, f ; Incrementar puntero
    incf  FSR0H, f ; de datos

    movlw0x03 ; Verificar si se han
    cpfseq FSR0H ; adquirido 160 muestras
    bra  FIN_CCP1
    movlw0x7E
    cpfseq FSR0L
    bra  FIN_CCP1

    incf  Inicio_TX, f
    bcf  INTCON3, INT1IE ; Deshabilitar interrupción
    bcf  PIE1, CCP1IE ; externa 1

    movlw0x02
    cpfseq Inicio_TX ; Iniciar Transmisión de datos
    bra  FIN_CCP1

    bsf  PIE1, TXIE ; Habilitar interrupción
    ; por transmisión USART
    rcall Calcular_CRC

FIN_CCP1
    bcf  PIR1, CCP1IF
    return

;*****
;
; RUTINA DE INTERRUPTIÓN EXTERNA 2
;*****
INTERRUP_INT2
    bcf  PIR2, CCP2IF
    bsf  PIE2, CCP2IE
    bcf  INTCON3, INT2IF

```



```

movff TMR1L, CCPR2L_1
movff TMR1H, CCPR2H_1

return

;*****
;
; RUTINA DE INTERRUPCIÓN POR MÓDULO CCP2
;*****
INTERRUP_CCP2
    movf  CCPR2L_1, W
    subwf CCPR2L, f
    movf  CCPR2H_1, W
    subwfb CCPR2H, f

    movff CCPR2H, INDF1
    infsnz FSR1L, f
    incf  FSR1H, f
    movff CCPR2L, INDF1
    infsnz FSR1L, f
    incf  FSR1H, f
    movlw0x05
    cpfseq  FSR1H
    bra   FIN_CCP2
    movlw0xFE
    cpfseq  FSR1L
    bra   FIN_CCP2
    incf  Inicio_TX, f

    bcf  INTCON3, INT2IE
    bcf  PIE2, CCP2IE

    movlw0x02
    cpfseq  Inicio_TX
    bra   FIN_CCP2

    rcall  Calcular_CRC
    bsf  PIE1, TXIE ; Habilitar interrupción
                    ; por transmisión USART

FIN_CCP2
    bcf  PIR2, CCP2IF
    return

;*****
;
; RUTINA DE INTERRUPCIÓN POR TIMER0
;*****
interrup_t3
    nop
    nop
    movlwHIGH Timer3
    movwf  TMR3H
    movlwLOW Timer3
    movwf  TMR3L
    decfsz Cont_10ms, f
    bra   fin_t3
    movff VueltasL, VelocidadL
    movff VueltasH, VelocidadH

```

```

        clrf    VueltasL
        clrf    VueltasH

        movlw.50
        movwf   Cont_10ms

fin_t3
        bcf    PIR2, TMR3IF
        return
;*****
;
; RUTINA DE INTERRUPCIÓN POR RECEPCIÓN USART
;*****
interrup_rc
        movf   RCREG, W
        movwf  DATO

        movlw0x00
        cpfseq DATO
        bra   $+4
        bra   Transmitir

        movlw0x01
        cpfseq DATO
        bra   $+4
        bra   Retransmitir

        movlw0x02
        cpfseq DATO
        bra   $+4
        bra   Encender_Motor

        movlw0x03
        cpfseq DATO
        bra   $+4
        bra   Apagar_Motor

        return

Transmitir
        bcf    INTCON3, INT1IF
        bcf    INTCON3, INT2IF
        bsf    INTCON3, INT1IE
        bsf    INTCON3, INT2IE

        clrf   Inicio_TX

        lfsr  0, 0x0FE    ; Inicializar puntero de datos
                        ; del eje Y
        lfsr  1, 0x37E    ; Inicializar puntero de datos
                        ; del eje X
        lfsr  2, 0x0FC    ; Inicializar puntero de datos
                        ; de transmisión

        return

Retransmitir
        bsf    PIE1, TXIE ; Habilitar interrupción

```

```

; por transmisión USART

    lfsr    2, 0x0FC    ; Inicializar puntero de datos
                    ; de transmisión
    return

Encender_Motor
    bsf    LATB, 7
    return

Apagar_Motor
    bcf    LATB, 7
    return

;*****
; RUTINA DE INTERRUPCIÓN POR TRANSMISIÓN USART
;*****
interrup_tx
    movf   INDF2, W
    movwf  TXREG
    infsnz FSR2L, f
    incf   FSR2H, f

    movlw 0x06
    cpfseq FSR2H
    return
    movlw 0x00
    cpfseq FSR2L
    return
    bcf   PIE1, TXIE
    return

;*****
; RUTINA DE CÁLCULO DEL CRC (Cyclic Redundancy Check)
;*****
Calcular_CRC
    lfsr    0, 0x0FE
    clrf   CRCH
    clrf   CRCL

Nuevo_Dato
    movf   INDF0, W
    rcall  Generar_CRC
    infsnz FSR0L, f
    incf   FSR0H, f

    movlw 0xFE
    cpfseq FSR0L
    bra   Nuevo_Dato
    movlw 0x05
    cpfseq FSR0H
    bra   Nuevo_Dato

    movlw 0x00
    rcall  Generar_CRC
    movlw 0x00
    rcall  Generar_CRC

```

```
movff CRCH, INDF0
infsnz FSR0L, f
incf FSR0H, f
movff CRCL, INDF0
```

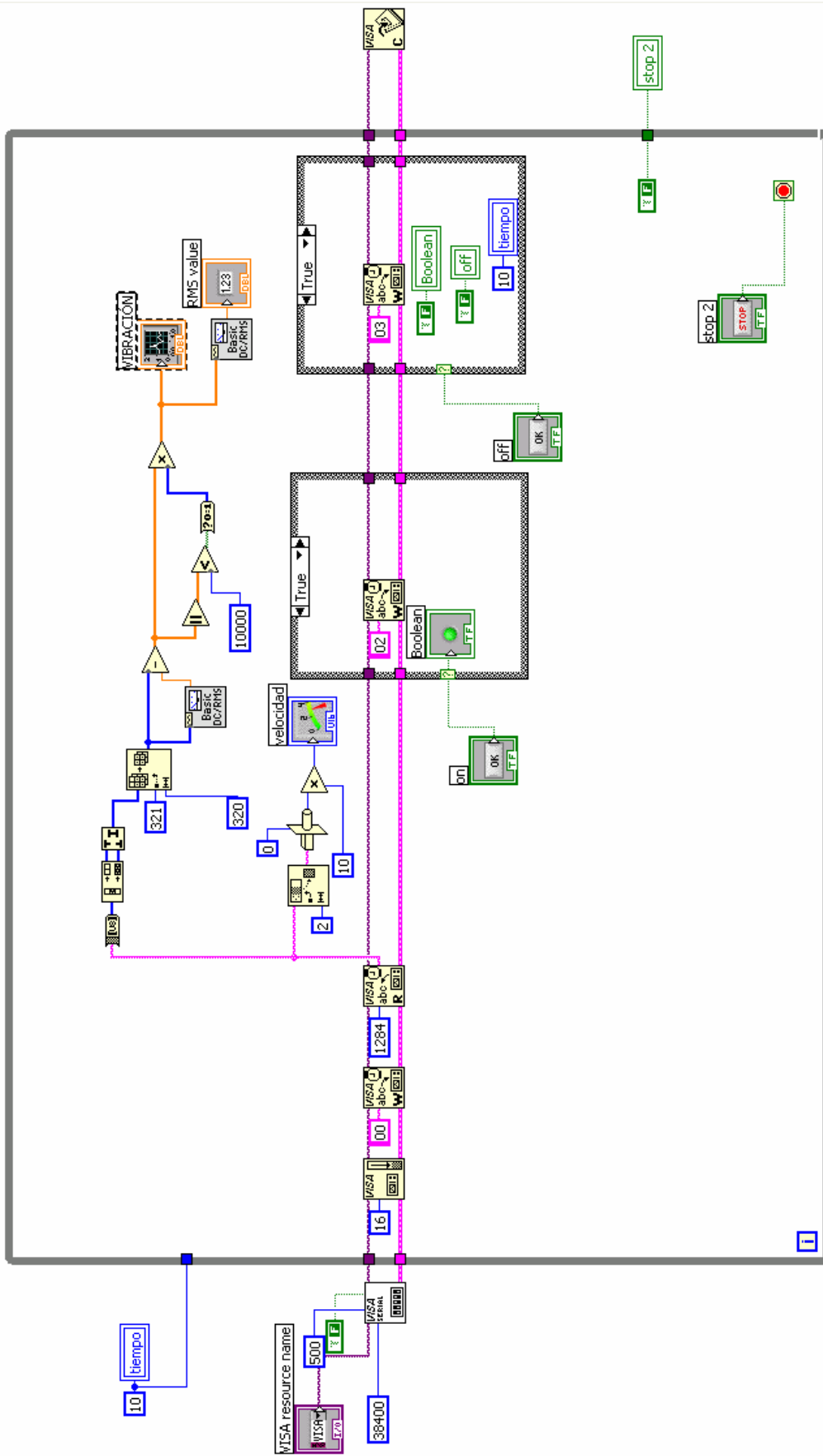
```
return
```

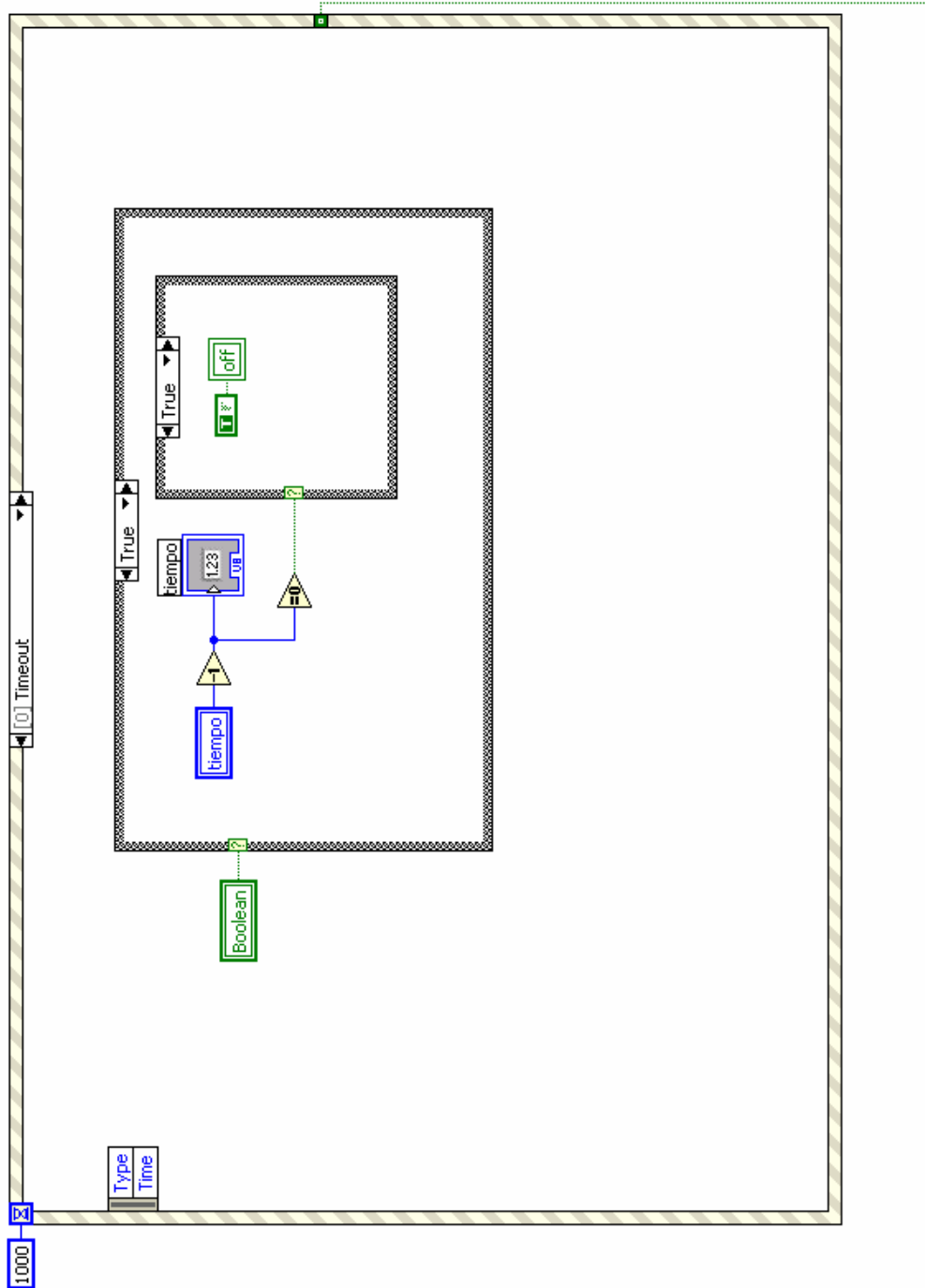
```
Generar_CRC
    movwf   CRCB       ; Inicializar Buffer de CRC
    movlw0x08        ; Inicializar Contador de bits
    movwf   Cont_Bits_CRC
Nuevo_bit
    rcf    CRCB, f
    rcf    CRCL, f
    rcf    CRCH, f
    btfss CRCH, 7
    bra   Dec_cont
    movlb'10000000'
    xorwf CRCH, f
    movlb'00000101'
    xorwf CRCL, f
Dec_cont
    decfsz Cont_Bits_CRC, f
    bra   Nuevo_bit
return
```

```
.*****
;
;End of program
    END
```

ANEXO “C”

CÓDIGO DE FUENTE DEL SOFTWARE





ANEXO “D”

GUÍAS DE LABORATORIO

PRACTICAS EN TURBOCOMPRESORES

En el banco de prácticas para turbocompresores se realizarán las siguientes pruebas para de esta manera determinar el estado de los diferentes componentes del mismo y son :

- Reconocimiento del banco de pruebas para turbocompresores
- Armado y desarmado de un turbocompresor
- Balanceo estático del eje de un turbocompresor
- Balanceo dinámico del eje de un turbocompresor

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ – ESPE LATACUNGA									
PRACTICA N°1									
					Armado y desarmado de un turbocompresor				

1.-OBJETIVOS:

- Conocer las partes que constituyen el turbocompresor
- Comprender el funcionamiento del sistema

2.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS:

- Juego de llaves
- pinzas
- Micrómetro
- Regla graduada
- Calibrador pie de Rey
- Gasolina
- Brocha

3.- DESARROLLO

a) DESARMADO

- Desmontaje de la caja central del turbo.
- Limpieza exterior del turbo
- Observación y ubicación de sus partes
- Fijar el turbo, en el tornillo de banco en posición vertical, con el compresor en la parte superior.
- Marcar la posición de las carcasas con respecto a la caja central, con una punta de trazar.

- f) Desmontar la carcasa del compresor del cuerpo central
- g) Desmontar los tornillos de fijación de carcasa de la turbina
- h) Retirar el conjunto de la turbina de la caja central, dejar directriz en la carcasa para que no se caiga
- i) Extraer la corona directriz de la carcasa de la turbina.
- j) Retirar del tornillo de banco la carcasa de la turbina
- k) Verificación de las piezas componentes del turbo
- l) Limpiar escrupulosamente las piezas componentes del turbo ordenadamente.
- m) Comprobar si la carcasa del compresor presenta grietas, roces, estado de las roscas, verificar si la entrada de aire no se encuentra deteriorada.
- n) Comprobar si la carcasa de la turbina no se encuentra defectuosa, las mismas observaciones que el compresor.
- o) Observar la caja central si los alojamientos de los cojinetes radiales presentan desgaste, observar en la caja los anillos elásticos.
- p) Comprobar si en los cojinetes radiales se aprecian desgaste en sus superficies, tanto interiores como exteriores.
- q) Comprobar que los alabes de la turbina que no tengan fisuras, se encuentren doblados o rotos, observar que las zonas de contacto con el eje se encuentren en perfecto estado.
- r) Comprobar que el contorno de rodete del compresor no presente roces, dobleces o roturas.

b) ARMADO

- s) Limpiar esmeradamente las piezas del turbo.
- t) Untar con aceite limpio las piezas del turbo, especialmente los cojinetes radiales y el eje de la turbina, dejándolos en un lugar limpio y seco.
- u) Repetir el proceso de desarmado a la inversa.
- v) Fijar la carcasa del compresor por medio de tornillos, y arandelas apretándolas alternativamente hasta con un par de 1,5 m- kg

4. TABLA DE DATOS

TABLA DE MEDICIONES

No. Alabes del impulsor	
No. Alabes turbina	
Diámetro del impulsor	
Diámetro de la turbina	
Diámetro del colector de admisión	
Diámetro del colector de escape	

TABLA DE DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Marca	
Motor	
Número OEM	
Número de serie	
Numero BW	

5. CUESTIONARIO

- 1.- ¿Enumere las partes principales del turbo?
- 2.- ¿Explique el funcionamiento del turbo-compresor?
- 3.- ¿Entre qué rango de velocidades trabaja un turbo?
4. - ¿Cuál es la relación A/R, explique a qué rango y vehículos se aplican?
- 5.- ¿Enumere tres características de un compresor?
6. - ¿Enumere tres características de una turbina?
- 7.- ¿Explique un sistema de lubricación de un turbo compresor?
- 8.- ¿Qué tipo de impulsor dispone el turbocompresor?
- 9.- ¿Qué tipo de difusor dispone el turbocompresor?
- 10.- ¿Cuál es la función del difusor, en el turbo-compresor?

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.-BIBLIOGRAFÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ – ESPE LATACUNGA									
PRACTICA N°2									
					Reconocimiento del banco de pruebas para turbocompresores				

1. OBJETIVOS:

- Identificar las partes que constituyen la máquina.
- Conocer el funcionamiento.
- Revisar ajustes y alineamientos de las estructuras de trabajo y apoyo.

2. EQUIPO Y MATERIALES:

- Banda plana.
- Conmutador de dos posiciones
- Juego de hexágonos

3. DESARROLLO

- Se deberá revisar y comprobar que los resortes planos estén sin ninguna clase de defectos, incluyendo dobleces y pandeaduras; cuando estos resortes están fuera de alineación causan que las lecturas y el funcionamiento de la luz estroboscópica sea inestable
- Revisar que los resortes de alineación siempre estén perfectamente horizontales y paralelos entre sí, los resultados que obtendremos al usar resortes mal alineados son los mismos indicados anteriormente.

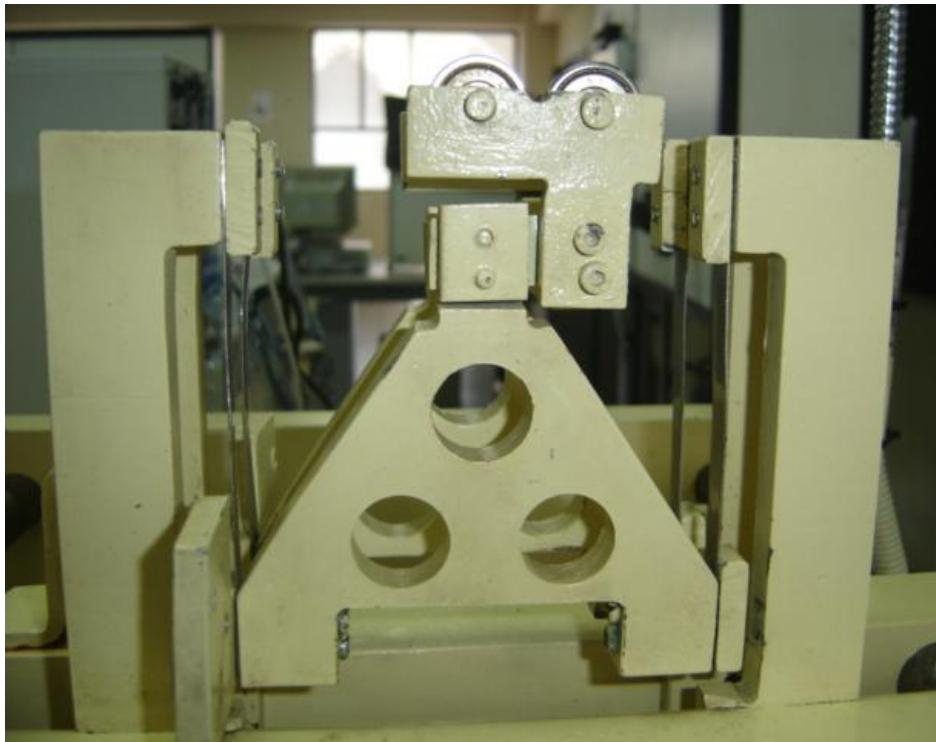


Fig. 1

- c) Revisar el alineamiento de los cojinetes, mediante la calibración de los elevadores que se usan para ajustar la altura de los cojinetes.
- d) Revisar el estado de los cojinetes, estos deben girar libremente, una posible falla causará una lectura inestable en el indicador, y la luz estroboscópica funcionará de manera errónea.
- e) Visualmente inspeccionar el estado de la banda de tracción, verificar elasticidad, rajaduras, etc.
- f) Realizar una inspección visual comprobando, el correcto estado de todos los componentes

4. TABLA DE RESULTADOS

Estado de inspección	Bueno	Malo
Resortes planos		
Resortes de alineación		
Alineamiento de cojinetes		
Cojinetes		
Banda de tracción		
Inspección visual general		

5. CUESTIONARIO

- 1.- ¿Enumere las partes principales de la máquina?
- 2.- ¿Por qué es necesario verificar los resortes?
3. ¿Qué efecto causa desalineación en los resortes?
4. - ¿De qué material pueden ser utilizados los resortes planos?
5. - ¿Qué tipo de cojinetes pueden ser usados para esta máquina?
6. - ¿Qué diferencia existe entre un tipo de cojinete blindado y un sellado?
- 7.- ¿Cómo identificaría el mal estado de un cojinete?
- 8.- ¿Qué causas externas pueden ocasionar una lectura errónea?
- 9.- ¿Cuál es la función más importante de los resortes de alineamiento?
- 10.- ¿Qué es una banda de tracción o transmisión y cuál es su utilización en esta máquina?

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.- BIBLIOGRAFÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ – ESPE LATACUNGA									
PRACTICA N°3									
					Balanceo estático del eje de un turbocompresor				

1.-OBJETIVOS:

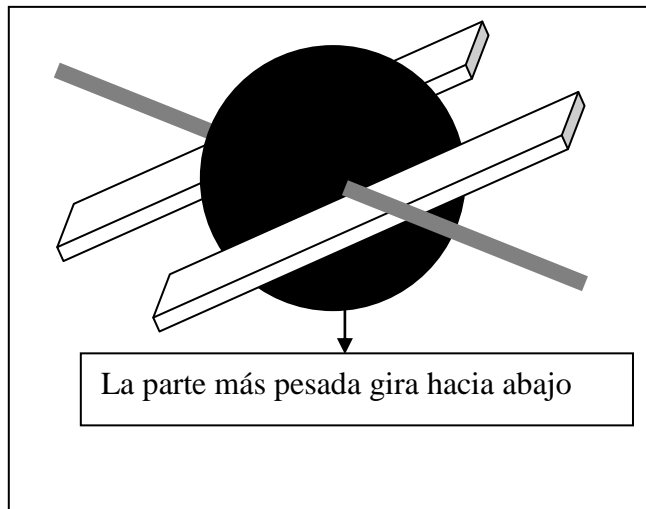
- Determinar el desbalanceo del eje con el banco de pruebas.
- Determinar el giro concéntrico del eje.
- Determinar el alabeo del compresor-turbina.

2.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS:

- Juego de llaves
- Reloj palpador
- Micrómetro.
- Herramienta de apoyo y rectificación de torceduras.

3. - DESARROLLO:

- a. El balanceo estático comprende la verificación del eje rotor, y su excentricidad, mediante el uso de una pequeña máquina comprendida de dos apoyos y un reloj palpador. Se debe medir las tolerancias mínimas y máximas de acuerdo al tipo de eje.



- b. - Verificar la desalineación del rotor con la ayuda de un reloj palpador en la herramienta de corrección de balanceo estático, tolerancias máximas y mínimas, el salto máximo en la aguja del reloj palpador debe ser 0.01 mm, aunque el dato puede variar según el tipo de turbocompresor por lo que se debe disponer del dato del fabricante.

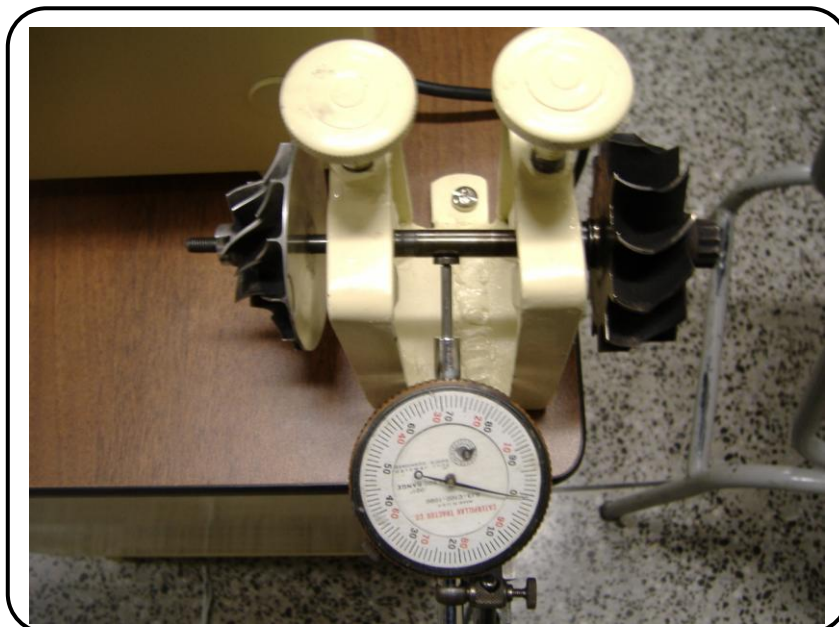


Figura.2

- c. Luego de obtener medidas, comprobar las medidas del giro concéntrico del eje de la turbina
- d. De la misma forma se debe verificar el alabeo de los rodetes, se puede

medir con comodidad cuando el eje se encuentra desmontado, solamente podrá considerarse perfecta si la aguja no se mueve tras una vuelta del eje de la turbina o del compresor.

- e. Mediante esta herramienta podemos conseguir una mínima corrección del eje, aplicando fuerza en el otro extremo donde el eje tiene una medida errónea.
- f. Luego de aplicar la fuerza en el eje procedemos a realizar los mismos pasos anteriores de medición hasta que las medidas se encuentren entre un rango normal de funcionamiento.

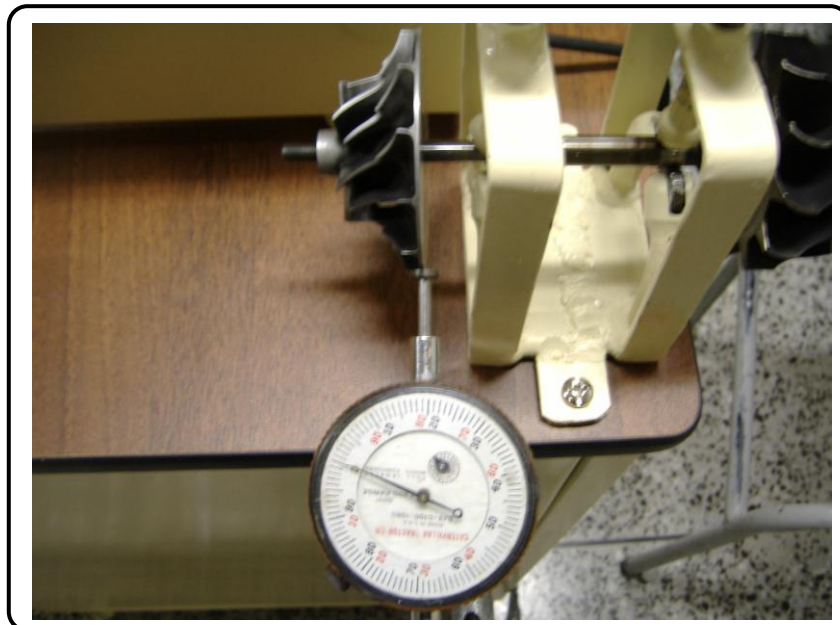


Figura. 3

4. TABLA DE RESULTADOS

Valores de medición	(mm.)
Giro concéntrico	
Alabeo compresor	
Alabeo turbina	

5. CUESTIONARIO

- 1) ¿Qué proceso previo se debería realizar antes de proceder a la medición?
- 2) ¿Qué procedimientos de limpieza conoce y puede aportar para la limpieza del eje del turbocompresor?
- 3) ¿Qué consecuencias puede ocasionar el desbalanceo del eje en el turbocompresor?
- 4) ¿Qué métodos de medición puede utilizar?
- 5) ¿Qué significa salto de la aguja del reloj comparador?
- 6) ¿Por qué cree usted que el alabeo debe ser cero?
- 7) ¿Cómo afecta el desbalanceo en el movimiento de inercia?
- 8) ¿Enumere los pasos que se deben seguir para balancear un eje de manera estática?
- 9) ¿Qué condiciones podrían ocasionar una torcedura del eje?
- 10) ¿Determine la excentricidad y conicidad del eje?

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.- BIBLIOGRAFÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ – ESPE LATACUNGA									
PRACTICA N°4									
					Balanceo dinámico del eje de un turbocompresor				

1.- OBJETIVO:

- Aprender el modo de operación de la máquina.
- Familiarizarse con el manejo de máquinas de balanceo dinámico.
- Determinar el desbalanceo del eje roto.
- Rectificar el desbalance del eje rotor.
- Verificar el correcto balanceo del eje rotor.

2.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS:

- 2 llaves 17mm
- Juego de hexágonos

3.- DESARROLLO:

- Antes de proceder a realizar el balanceo del eje, debemos previamente haber calibrado los componentes de la maquina, y haber realizado la limpieza profunda de turbina-compresor y eje.
- Verificar las conexiones a los sensores, la alimentación del banco de pruebas y su conexión al puerto serial.
- Montar sobre los cojinetes la pieza a balancear, ubicando la correa de

transmisión como se muestra en la siguiente figura.



Figura 1

- d) Seleccione el icono de acceso al programa de control del banco de pruebas.



Figura 2

- e) Encender el interruptor principal del banco de pruebas, presionando el botón .(ON/OFF)
- f) Después de 5 segundos se visualizara en la pantalla principal de análisis.
- g) Regule el control de velocidad a una posición intermedia.
- h) Pulse el botón ON y verifique que el motor encienda, de lo contrario pulse OFF y vuelva a intentar.
- i) Una vez encendido el motor éste permanecerá encendido por 10 segundos
- j) Registre en la tabla de datos el valor RMS de la onda, velocidad del motor, así como la presencia de picos pronunciados en la onda.
- k) Repita los pasos anteriores a distintas velocidades.
- l) Presione SALIR para cerrar la aplicación.
- m) Apague el interruptor principal del banco (posición OFF)

4. TABLA DE RESULTADOS

Revoluciones	Valor RMS	Picos excesivos

5. CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la velocidad que puede alcanzar un turbocompresor?
2. ¿Los motores sobrealimentados están sometidos a mayores cargas térmicas. Si o no y por qué?
3. ¿Para los motores sobre alimentados actuales cuales son las relaciones de compresión?
4. ¿Enumere 4 causas que ocasionan una mala lubricación de los elementos del turbocompresor?
5. ¿Realice un esquema de las diversas formas en que se puede acoplar un turbocompresor?
6. ¿Explique el comportamiento del eje turbina al aumentarla velocidad de giro?

6.- CONCLUSIONES

7.- BIBLIOGRAFÍA

ANEXO “E”

MANUAL DEL USUARIO

MANUAL DE USUARIO

1. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

- 1) Inserte el CD de instalación en la unidad de CD-ROM y copie la carpeta PROGRAMA al disco duro.
- 2) Abra la carpeta disco duro y cree un icono de acceso directo al archivo TESIS.



- 3) Abra la carpeta INSTALLER del CD de instalación y ejecute el archivo SETUP y ejecute la instalación del software.



2. SOFTWARE DE RECONOCIMIENTO Y MANEJO DEL BANCO DE PRUEBAS

Para ejecutar el software abra el acceso directo creado en la instalación. El software se describe a continuación:

- Pantalla de presentación:



Figura 1. Pantalla de presentación

- Pantalla principal:

En esta pantalla contamos con las siguientes menús de opciones:

- Reconocimiento del banco de pruebas para turbocompresores.
- Armado y desarmado de un turbocompresor.
- Balanceo estático del turbocompresor
- Balanceo dinámico del turbocompresor

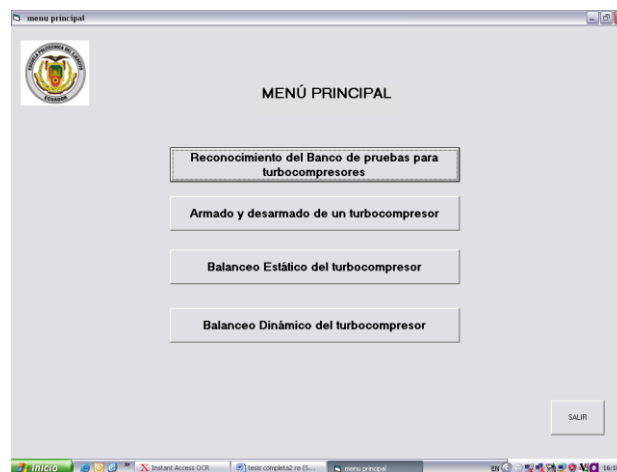


Figura 2. Pantalla del menú principal

- **Reconocimiento del banco de pruebas para turbocompresores:**

En esta pantalla contamos con las siguientes opciones:

- Bancada.
- Sistema de transmisión de movimiento.
- Pedestales de apoyo
- Control de velocidad e interruptor
- Sistema eléctrico y electrónico
- Gabinete

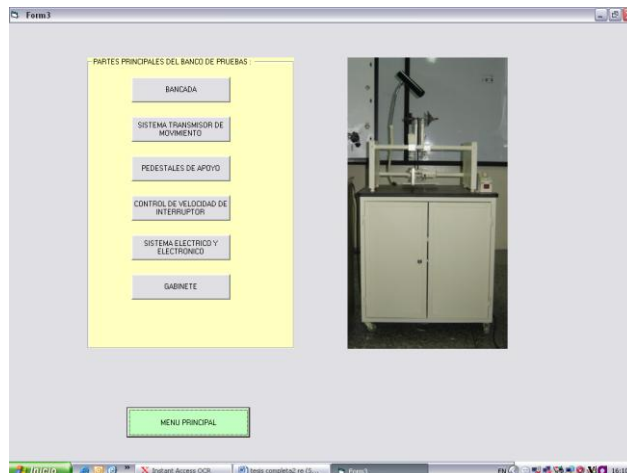


Figura 3. Menú de la opción de Reconocimiento del banco de pruebas para turbocompresores.



Figura 4. Pantalla de descripción de la bancada



Figura 5. Pantalla de descripción del sistema

de transmisión de movimiento



Figura 6. Pantalla de descripción de los pedestales de apoyo



Figura 7. Pantalla de descripción del control de velocidad



Figura 8. Pantalla de descripción del sistema

eléctrico y electrónico



Figura 9. Pantalla de descripción del gabinete

- **Armado y desarmado de un turbocompresor:**

En las pantallas de este menú se detallan los pasos a seguir para el armado y desarmado del turbocompresor.

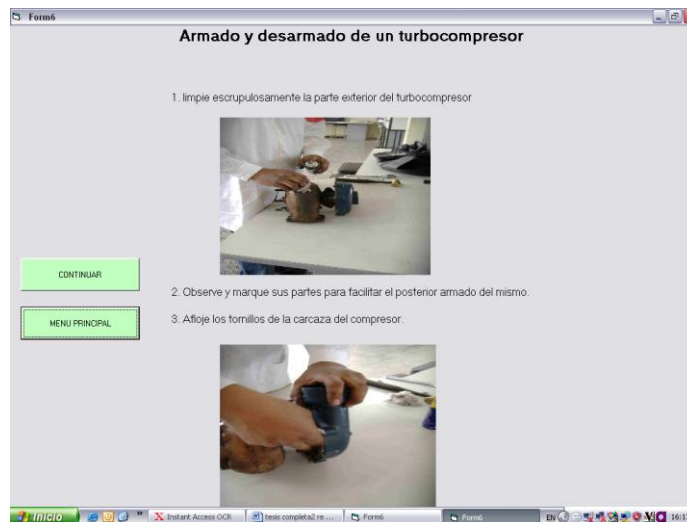


Figura 10.



Figura 11.



Figura 12.



Figura 13.

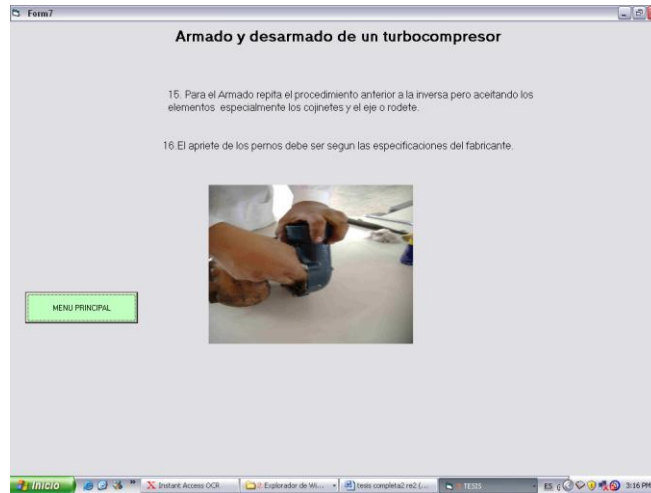


Figura 14.

- **Balanceo estático del turbocompresor:**

En las pantallas de este menú se detallan los pasos a seguir para el balanceo estático del turbocompresor.



Figura 15.



Figura 16.



Figura 17.



Figura 18.

- **Balanceo estático del turbocompresor:**

En la pantalla de este menú se detallan los pasos a seguir para el balanceo dinámico del turbocompresor. La opción **PROGRAMA DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES** permite desplegar el software de aplicación.

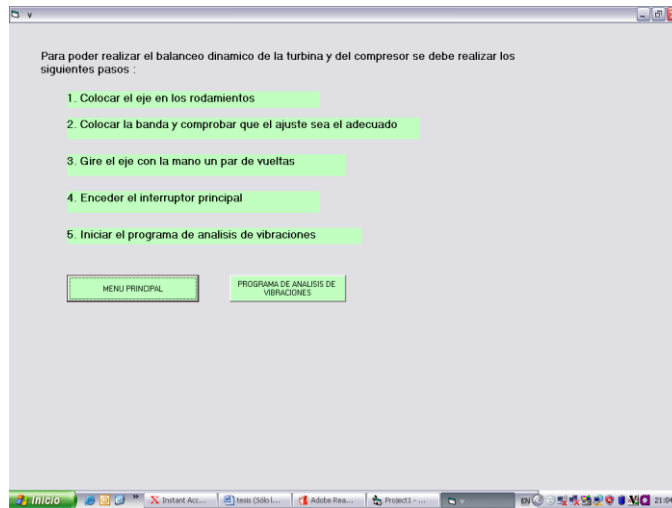


Figura 19. Pantalla de descripción de los pasos para realizar el balanceo dinámico

3. SOFTWARE DE APLICACIÓN

Antes de hacer uso del software de manejo del banco para turbocompresores es necesario realizar las conexiones de hardware y los pasos se describen a continuación:

- a) Asegúrese que el conector esté en la posición correcta, coincidiendo el Terminal “a” del acelerómetro con el cable rojo del conector en la tarjeta de adquisición de datos.
- b) Conectar el puerto serial en la tarjeta y en la PC. Algunas PCs tienen varios puertos seriales en este caso se debe conocer la identificación de cada puerto (COM1, COM2, etc.).
- c) Ejecute software de aplicación y en la ventana de configuración del puerto seleccione el puerto de comunicación adecuado.

d) Encienda el interruptor principal del banco.

La interfase con el usuario se describe a continuación.

1) PANTALLA DE PRESENTACIÓN

Muestra la información general del proyecto y busca los recursos disponibles e inicializa el sistema.

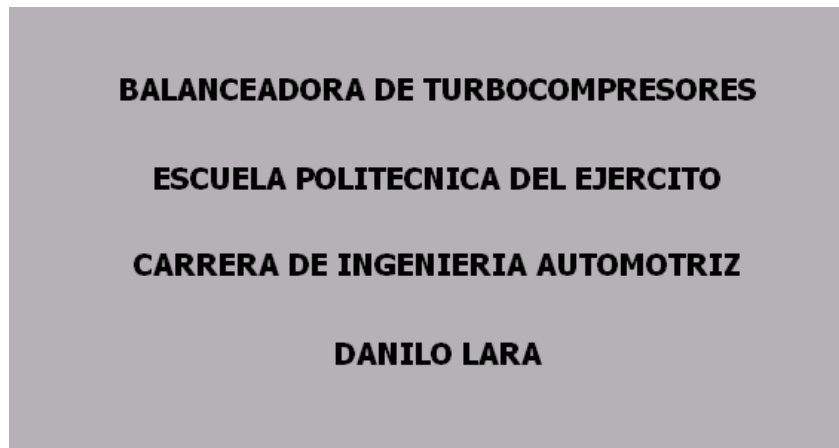


Figura 20. Pantalla de presentación del software de aplicación

2) PANTALLA PRINCIPAL DE ANÁLISIS

Esta pantalla permite observar la onda de vibración y sus elementos se describen a continuación:

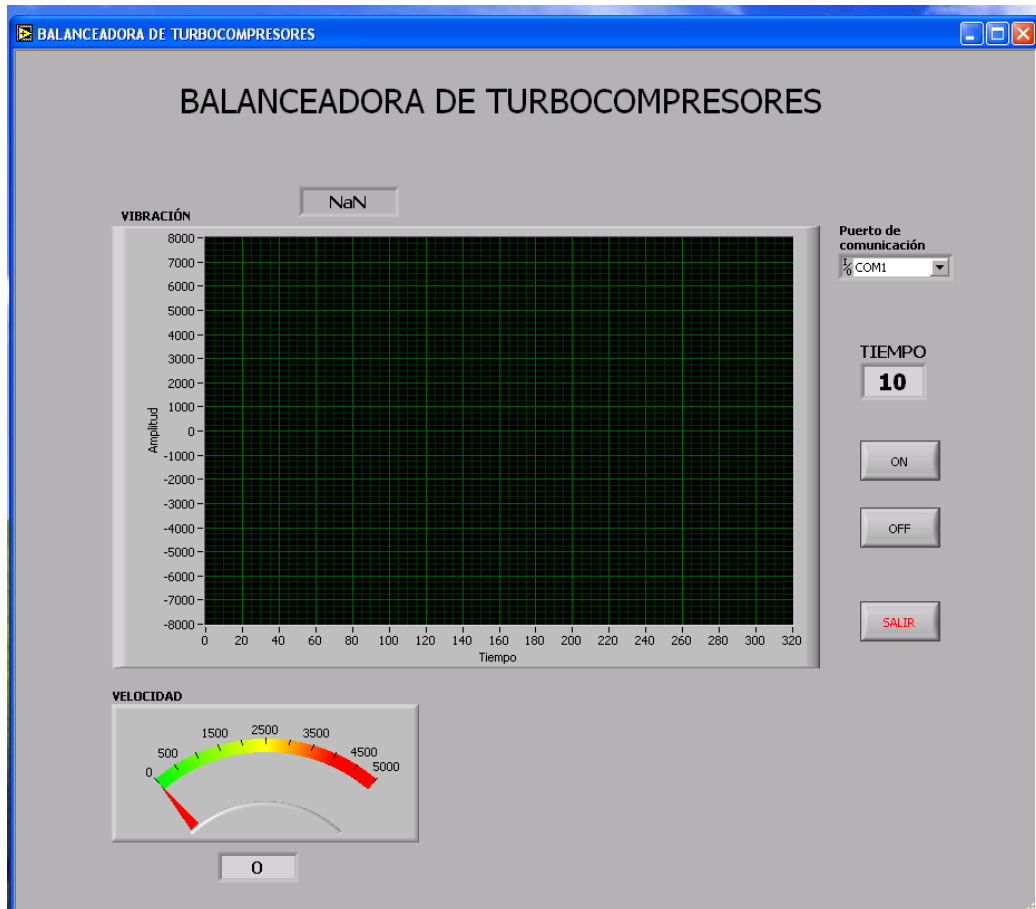
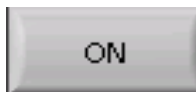


Figura 21. Pantalla principal de análisis de vibración

CONTROLES



Permite seleccionar el puerto de comunicación.



Enciende el motor del banco y genera la onda de vibración.



Detiene el motor y la generación de la onda de vibración.



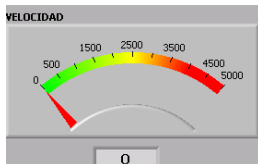
Cierra la aplicación.



Es un contador que permite visualizar el tiempo en que permanece encendido el motor que por defecto es de 10 segundos.



En este cuadro se visualizara un valor RMS de la onda.



En este cuadro se mostrará la velocidad del motor.

4. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

PROBLEMA	POSIBLE SOLUCIÓN
1) Aparece todo el tiempo el mensaje <i>ERROR DE COMUNICACIÓN.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar el nivel de voltaje de la fuente de alimentación. Debe ser de 5 y 12 voltios respectivamente. • Revisar el cable y los conectores del acelerómetro. • Revisar el cable de comunicación. Su longitud no debe exceder los 2m. • Comprobar, en la ventana de configuración que el puerto seleccionado es el correcto. • Es posible que otra aplicación esté utilizando el puerto de comunicación. Cierre esta aplicación y presione el botón ON.
2) La pantalla principal no aparece completa	<ul style="list-style-type: none"> • Este programa ha sido diseñado para operar con una resolución de video de 1024x768 píxeles. Configurar el monitor para esta resolución

ANEXO “F”

HOJA DE RECEPCIÓN DE TURBOCOMPRESORES

BALANCEADORA DE TURBOCOMPRESORES

Cliente: _____
 R.U.C. ó C.I. N° _____ Ciudad: _____
 Dirección: _____
 Teléfono: _____



DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

MARCA:	
NÚMERO OEM :	
NÚMERO DE SERIE :	
NÚMERO BW:	

RESULTADOS	UNIDADES
NO. ALABES DEL COMPRESOR	
NO. ALABES TURBINA	
DIÁMETRO DEL COMPRESOR	
DIÁMETRO DE LA TURBINA	
DIÁMETRO DEL COLECTOR DE ADMISIÓN	
DIÁMETRO DEL COLECTOR DE ESCAPE	
GIRO CONCÉNTRICO	
ALABEO COMPRESOR	
ALABEO TURBINA	
VELOCIDAD DE PRUEBA:	
VALOR RMS DE VIBRACIÓN:	

DIAGNOSTICO: _____

RECOMENDACIONES: _____

BALANCEADORA DE TURBOCOMPRESORES

Cliente: Manolo Vargas

R.U.C. ó C.I. N° 052467585- 9 Ciudad : Latacunga

Dirección: Avenida Cotopaxi N° 543

Teléfono: 032645923



DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

MARCA: 3K

NÚMERO OEM : K27-422

NÚMERO DE SERIE : 84 380 0616

NÚMERO BW: 5 327 970 6011



RESULTADOS	UNIDADES
NO. ALABES DEL COMPRESOR	12
NO. ALABES TURBINA	12
DIÁMETRO DEL COMPRESOR	75mm
DIÁMETRO DE LA TURBINA	74mm
DIÁMETRO DEL COLECTOR DE ADMISIÓN	N/E
DIÁMETRO DEL COLECTOR DE ESCAPE	61mm
GIRO CONCÉNTRICO	0mm
ALABEO COMPRESOR	0mm
ALABEO TURBINA	0mm
VELOCIDAD DE PRUEBA:	2260 rpm
VALOR RMS DE VIBRACIÓN:	1.51KHz

DIAGNOSTICO: Tanto la turbina como el compresor se encuentran en buenas condiciones, se observo acumulación excesiva de carbonilla en la turbina y la presencia de partículas extrañas en el compresor. _____

RECOMENDACIONES: Realizar un chequeo general al motor para eliminar la presencia de carbonilla, así mismo el reemplazo del filtro de aire periódicamente para evitar la presencia de partículas en el rodete del compresor. _____

ANEXO “G”

SELECCIÓN DE COMPONENTES

El banco de pruebas para turbocompresores dispone de componentes eléctricos y electrónicos que se muestran en la tabla siguiente:

Cantidad	Componente	Valor
1	PIC	18F452
1	MAX232	
1	Sensor de vibración	ADXL202EB
1	Comparador	LM 358
1	Oscilador	10 MHz
1	Regulador	LM 7805
6	Condensadores	10 μ F
2	Condensadores	22 pF
5	Resistencias	100 Ω
4	Resistencias	10 k Ω
1	Sensor óptico de proximidad	
1	Relé	12V-10 ^a
2	Transistor	2409
1	Motor	120V-110W
4	Conectores	6 pines
1	Lámpara estroboscópica	
1	Fuente de poder	5V-12V
1	Regleta	
1	Interruptor	