

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA
FACULTAD DE INGENIERÍA.

Proyecto final.
Ingeniería Mecánica.

***Verificación de Máquinas-Herramientas
mediante un sensor de fibra óptica.***

*Diseño y construcción de un sensor de fibra óptica. Aplicaciones en un
torno paralelo.*

Autor: Mandri, Alejo Daniel.

**Tutores: Dr. Arenas, Gustavo F.
Ing. Echeverría, María D.
Ing. Moncada, Osvaldo J.**



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Verificación de Máquinas-Herramientas mediante un sensor de fibra óptica.

*Diseño y construcción de un sensor de fibra óptica. Aplicaciones en un
torno paralelo.*

TABLA DE CONTENIDOS.

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos generales.....	2
ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	3
El torno paralelo, verificaciones e instrumental.....	3
El aporte de las técnicas ópticas a la metrología.....	8
Sensores con fibra óptica.....	9
Sensor tipo “Y”.....	10
Productos en el mercado.....	12
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	14
Objetivos específicos.....	14
SOLUCIÓN PROPUESTA.....	15
Realización de ensayos con arreglos experimentales.....	15
Construcción del sensor.....	19
Mejoras de los circuitos para el armado definitivo.....	23
Búsqueda de valores óptimos de resistencia para el circuito receptor.....	24
Análisis de sensibilidad del instrumento.....	27
Curva característica para la interpretación de mediciones.....	28
Ajustes matemáticos.....	30
Metodología de trabajo para realizar mediciones.....	32
Propuestas para la adquisición de datos.....	33
Presupuesto para el armado del sensor definitivo.....	34
RESULTADOS.....	35
Comprobación de la respuesta del sensor.....	35
Mediciones preliminares.....	37

Fuentes de error en las mediciones.....	47
Verificación geométrica de un torno paralelo.....	50
Alineación del eje real de giro, con respecto al eje geométrico del husillo.....	50
Paralelismo entre el eje de giro del husillo y el desplazamiento longitudinal del carro porta-herramienta.....	52
Otras aplicaciones del sensor de fibra óptica.....	54
Medición de vibraciones.....	54
Empleo como tacómetro.....	57
Empleo como detector “SÍ / NO”.....	58
Medición de vibraciones de un torno paralelo.....	59
Especificaciones acerca del producto final obtenido.....	61
CONCLUSIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64
FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	65
APÉNDICES.	
I. Funcionamiento de la fibra óptica como guía de onda.	
II. Diferentes sensores por intensidad.	
III. Instrumentos de medición por láser OPTEX.	
IV. Planos de los dispositivos conectores de fibra óptica.	
V. Datos de componentes electrónicos.	
VI. Funcionamiento circuital.	
VII. Modalidades de muestreo.	
VIII. Otras mediciones.	
IX. Hoja de instrucciones.	

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

La precisión de las piezas mecanizadas depende principalmente de las características estructurales y funcionales de las máquinas-herramientas. Imperfecciones en el centrado o alineación del husillo, en la rectitud de la bancada o guía del carro portaherramientas, modo y magnitud de las vibraciones, etc., inciden sobre dos aspectos principales:

- Defectos dimensionales y geométricos o un pobre acabado superficial en las piezas mecanizadas, que afectan el costo de producción por aumento de la tasa de rechazos.
- Disminución de la vida útil de las máquinas y elevado costo de mantenimiento. [1]

Las normas IRAM 5294 (1971) y 5090 (1987) [2, 3], para la verificación de tornos paralelos, establecen valores límites admisibles para los diferentes tipos de defectos geométricos: nivelación y rectitud de las guías, oscilación radial y axial de husillo, etc. Además, detallan los métodos de medición que permiten determinar la magnitud de esos defectos. Los instrumentos de medición recomendados por la norma y los empleados en la industria y laboratorios de metrología son mayormente de tipo convencional, requieren el contacto pieza- instrumento, son de accionamiento mecánico, y la lectura se efectúa sobre escala graduada.

Los avances tecnológicos aplicados a la metrología mecánica dieron lugar a la aparición de instrumentos con accionamientos hidráulicos o neumáticos como opciones alternativas de los que se basan en transmisiones mecánicas clásicas. Si bien reducen el tiempo de medición o mejoran la precisión en las mediciones, estos instrumentos también requieren del contacto instrumento-pieza y tienen en general altos costos de inversión y de mantenimiento.

La introducción de la incidencia de luz en combinación con las técnicas ópticas y fotoeléctricas en los instrumentos de medición elimina el contacto instrumento-pieza. Así se reduce el desgaste de componentes, los defectos de funcionamiento y los costos de mantenimiento propios de los sistemas mecánicos, además de evitar las deformaciones por contacto, especialmente en materiales de baja rigidez. [4]

La fibra óptica es una guía de ondas ampliamente utilizada en redes de comunicación. También desde hace más de 30 años se la emplea en la construcción de sensores de diversos tipos, entre los cuales se encuentra un diseño que permite registrar desplazamientos y en modo comparativo determinar la posición relativa entre diferentes superficies [5]. Las variaciones de desplazamiento registradas se expresan en términos de diferencia de potencial eléctrico.

Las características más relevantes de esta técnica son las siguientes:

- Las superficies deben reflejar la luz.
- No requiere el contacto pieza-instrumento de medición.
- Su costo de inversión es relativamente bajo.

OBJETIVOS GENERALES

El presente trabajo abarca el diseño, construcción y puesta en marcha de un sensor de fibra óptica para aplicaciones de metrología en máquinas-herramientas.

Se plantea desarrollar una técnica de medición económica, confiable y práctica en cuanto al procesamiento de datos, que al mismo tiempo constituya un aporte para uso académico de la cátedra de Metrología Dimensional. Ello se complementa con una explicación del funcionamiento del sensor, y enumeración de las ventajas y limitaciones del método.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.

La precisión dimensional y de forma geométrica de las piezas mecanizadas, así como la calidad de su terminación superficial, dependen principalmente de la precisión constructiva, rigidez estructural y condiciones de funcionamiento de las máquinas-herramientas utilizadas en la fabricación.

Cuando en las condiciones de funcionamiento confluyen imperfecciones varias, acarrearán además una disminución de la vida útil de las máquinas y un aumento en los costos de mantenimiento. De allí la importancia de realizar controles periódicos sobre las máquinas-herramientas.

Han surgido por ello diferentes normas que proponen la realización de verificaciones que indican cómo deben llevarse a cabo y cuáles son los instrumentos de medición adecuados para cada una. Dichas normas, aun no teniendo carácter universal, cumplen un rol directriz para usuarios y fabricantes. Las mismas contemplan todo el espectro de máquinas-herramientas que se emplean para la generación de la mayor parte de las superficies que en el rubro de la metalmecánica se requieren.

Considerando que el Torno Paralelo, es una de las principales máquinas-herramientas por su versatilidad, uso universal, y adaptabilidad a la fabricación de piezas en lotes de variado número, es seleccionada en este proyecto como la máquina destinada a la aplicación del sensor que se propone desarrollar.

EL TORNO PARALELO.

Un torno paralelo es una máquina que permite la transformación de un sólido inicial, haciéndolo girar alrededor de un eje y arrancándole material periférico en forma de virutas, a fin de transformarlo en una pieza generalmente axial-simétrica de dimensiones y perfil bien definidos. El sólido a trabajar se fija sobre la parte giratoria (husillo) de la máquina por medio de un plato, mientras la herramienta de corte (generalmente de un solo filo) se fija sobre la torreta del carro portaherramientas, dotado de movimientos de traslación longitudinales y transversales [6].

A continuación se muestra un Torno Paralelo perteneciente al Taller de Máquinas-Herramientas de la Facultad de Ingeniería de la UNMDP (figura 2.1).

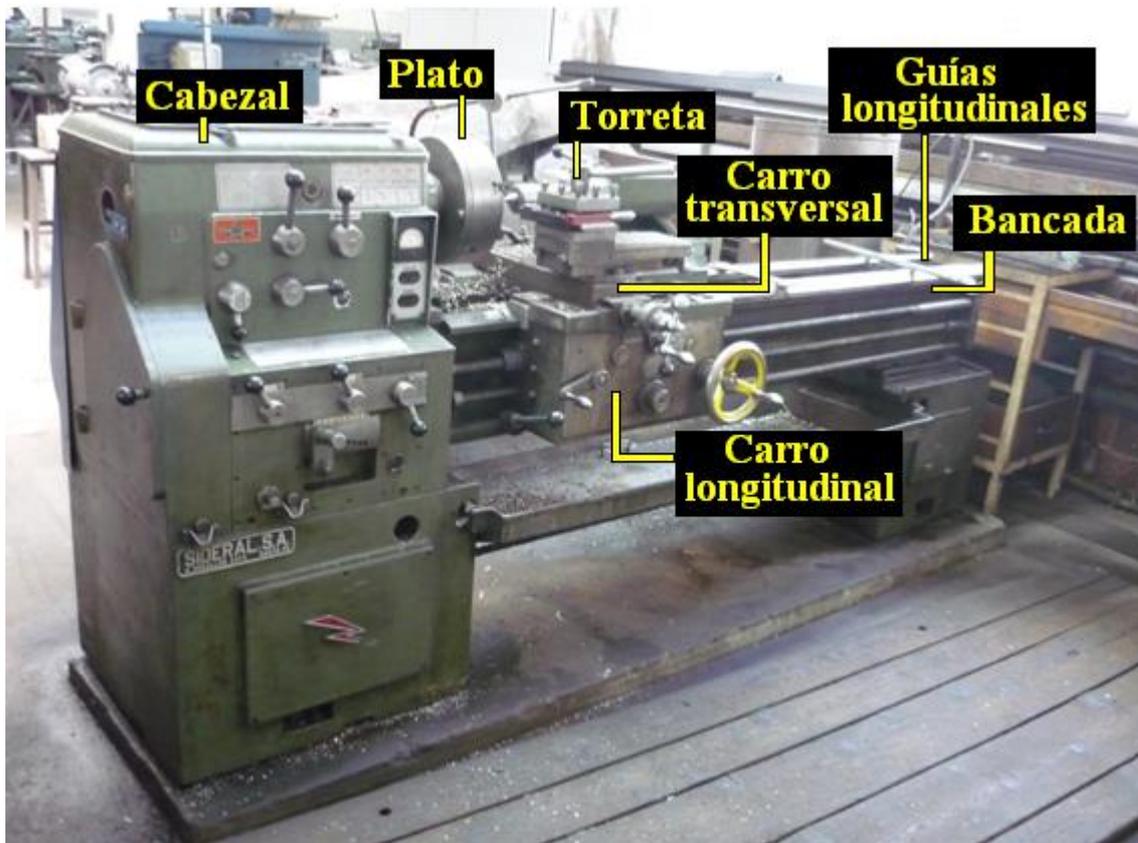


FIGURA 2.1. TORNO SIDERAL. Modelo: 230 ESPECIAL.

Dentro del cabezal está alojado el husillo (montado sobre rodamientos), que posee el movimiento de giro alrededor de su propio eje. El husillo termina fuera del cabezal en forma cónica (nariz o cono), que permite montar el plato que sujetará las piezas a mecanizar.

Imperfecciones que inciden directamente en la precisión de los trabajos:

-Desalineación del husillo: el eje de giro real no coincide perfectamente con el eje geométrico del husillo. Origina esfuerzos variables y vibraciones, repercute en la terminación superficial de la pieza mecanizada y limita la precisión de fabricación que puede alcanzarse con la máquina.

-Juego en el husillo: los sistemas de rodamientos, o conjuntos buje-cojinete que soportan al husillo, presentan juegos radiales y axiales, debidos a la naturaleza misma de estos sistemas y al desgaste que sufren. Pueden ser causantes de desalineación y excentricidad en el husillo y limitar el buen uso de la máquina, aun en los casos en que los esfuerzos de mecanizado no son demasiado importantes.

-Defectos de rectitud en las guías longitudinales y transversales de la bancada: aumentan debido al desgaste o a golpes durante el uso. Acarrean deficiencias dimensionales y de forma en las piezas, puesto que dichos defectos inciden en modo directo en la trayectoria de las herramientas de corte que generan las superficies.

-Ausencia de paralelismo entre las guías de la bancada y el eje de giro del husillo. Origina el defecto de forma de conicidad en las secciones que se intentan torneear cilíndricas.

-Huelgos entre carros de avance y guías: son propios de los sistemas de guiado, aumentan por efecto del desgaste, y suelen localizarse en las zonas de mayor empleo. Dificultan el trabajo y reducen la precisión alcanzable.

-Defectos en la contrapunta: existen varios tipos de defectos asociados a este elemento. Huelgos en el guiado, falta de paralelismo de las guías respecto del eje de giro, falta de rectitud de las guías, diferencias de alturas de acuerdo a la zona de trabajo.

Señales causadas por imperfecciones que inciden directamente en la Vida útil de la máquina:

-Vibraciones.

-Ruidos anormales, de intensidad constante, o variable rítmicamente.

-Puntos duros en los avances de los carros (sean manuales o automáticos).

-Para mayor información y detalles, consultar la bibliografía especializada en el tema [7].

VERIFICACIONES E INSTRUMENTAL.

La norma IRAM 5090, *Verificación geométrica y ensayo práctico de un Torno Paralelo* (1987) indica una serie de ensayos que evalúan el estado de la máquina en cuanto a las imperfecciones que inciden directamente en la precisión de las piezas mecanizadas especificando las condiciones técnicas de examen. Durante la aplicación de esta norma debe tenerse en cuenta lo indicado en la norma IRAM 5294 (año 1971), *Código de ensayos de Máquinas-Herramientas*.

Para realizar estas verificaciones la norma indica el empleo de un mandril patrón de verificación (figura 2.2), que materializa al eje que se desea verificar con una dada precisión. Se observa que dicho patrón es una pieza de revolución con dos sectores principales, un extremo cónico macho para ser calzado dentro del cono hembra del husillo y otro cilíndrico que queda libre, sobre el cual se realiza la medición. La precisión dimensional del mandril patrón requerida es del orden de los $2,5\mu\text{m}$ ($0,0025\text{mm}$), considerando la variación del diámetro en toda su longitud. Para el patrón disponible, estos requerimientos fueron verificados en el *Laboratorio de Metrología de la Facultad de Ingeniería de la UNMDP* encontrándose que el mismo se encuentra dentro de las tolerancias especificadas. El extremo que calza dentro del husillo es de baja conicidad (Cono Morse 4, en el torno SIDERAL de la figura 2.1), con lo cual el patrón permanece en su posición por simple adherencia, al mismo tiempo que se garantiza la concentricidad entre esta pieza y el eje del husillo. Se recomienda que posea una zona roscada de paso fino (entre 1mm o 1,5mm)

destinada a recibir una tuerca, para facilitar su extracción del husillo en el cual ha sido montado.

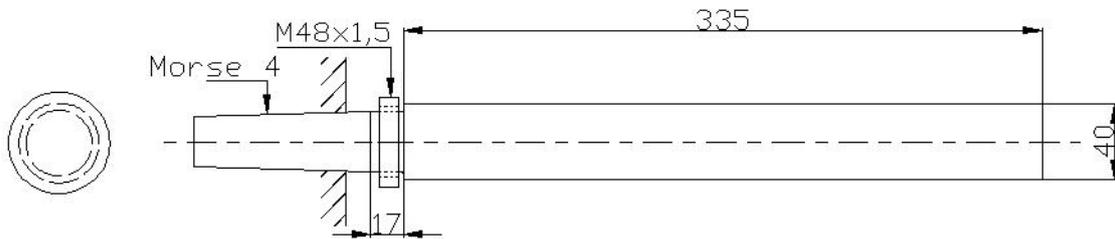


FIGURA 2.2. Patrón de verificación sugerido por la norma.

Como instrumento de medición se emplea un comparador a reloj (figura 2.3). Las mediciones por comparación son mediciones indirectas, en las que el resultado se obtiene como una discrepancia entre dos lecturas, la máxima y la mínima.



FIGURA 2.3. Comparador a reloj.

Seguidamente se explican sintéticamente, en carácter de ejemplos, dos de las verificaciones que constan en la Norma.

Ejemplo 1: **“Alineación del eje real de giro, con respecto al eje geométrico del husillo”.**

Se inserta el mandril de verificación en el cono del husillo quedando la parte cilíndrica libre para la verificación. Se mide el salto radial (denominado en la norma como *falso redondo de rotación*) al hacer girar el husillo en forma manual (ensayo estático) palpando el patrón con el comparador (figura 2.4a). Debe medirse palpando respectivamente las generatrices situadas en los planos vertical y horizontal pasantes por el eje. La prueba debe ser realizada en dos secciones del mandril, una a la salida del husillo y la otra a una distancia determinada no mayor a 300mm, como lo ilustra la figura 2.4.b. El resultado de la medición resulta ser la discrepancia entre la lectura máxima y la mínima. Si el eje de giro coincidiera exactamente con el eje geométrico del husillo, el comparador debiera indicar lecturas sin discrepancia, concluyendo que el salto radial es nulo. Además la norma recomienda repetir las mediciones extrayendo el patrón y colocándolo nuevamente en otra posición girada respecto del husillo, para luego promediar un resultado final por cada sección verificada.

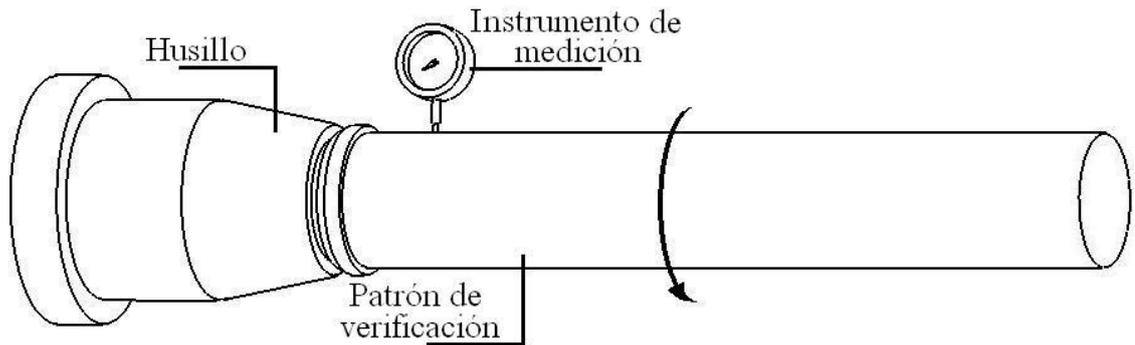


FIGURA 2.4.a. Comparador posicionado perpendicular a una generatriz del patrón.

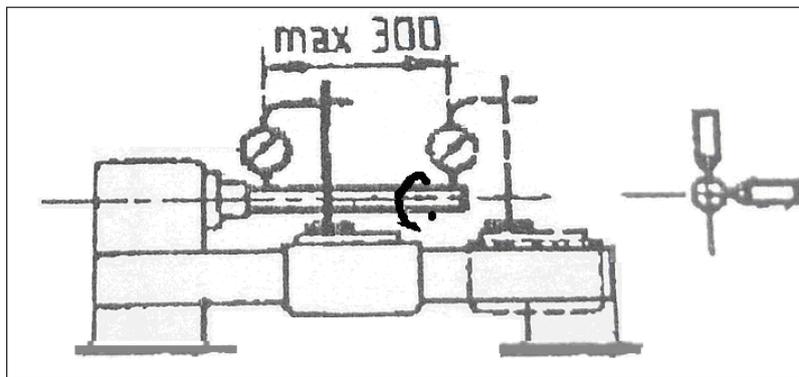


FIGURA 2.4.b. Esquema del torno siendo verificado. El mandril patrón dispuesto en el husillo y el comparador fijado sobre el carro portaherramientas.

El comparador a reloj es un instrumento de accionamiento mecánico, no permite realizar una toma continua de datos, ni obtenerlos automáticamente, es necesario tomar nota de los valores leídos. En otro aspecto, su utilización implica el contacto físico entre el palpador y el mandril patrón. El consecuente desgaste paulatino del patrón es un tema que adquiere cierta relevancia sólo en los casos que se emplee como elemento de control periódico para un parque de máquinas compuesto por muchas unidades.

Ejemplo 2: “Paralelismo entre el eje de giro del husillo y el desplazamiento longitudinal del carro porta-herramienta”.

Al igual que en la verificación anterior se inserta el mandril de verificación en el cono del husillo. La norma indica que se debe medir paralelismo en ambos planos, horizontal y vertical, a lo largo de un recorrido máximo de 300mm. Se procede desplazando el carro que lleva solidario al instrumento de medición, mientras se toma nota de la lectura observada (figura 2.5). Se deben efectuar los contactos sobre puntos de las generatrices vertical y horizontal.

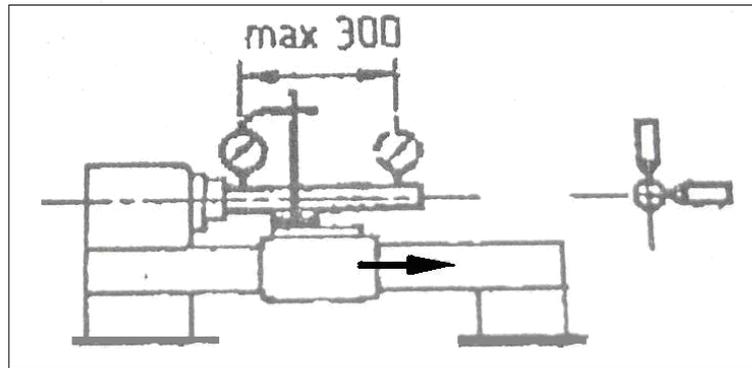


FIGURA 2.5. Esquema del torno siendo verificado. Medición de paralelismo, el carro portaherramientas se desplaza longitudinalmente.

A efectos de neutralizar la incidencia de posibles desalineaciones en el calce del patrón dentro del husillo, cada verificación ha de realizarse en dos posiciones del husillo rotadas 180° (figura 2.6). La media aritmética de las dos lecturas entrega la discrepancia de paralelismo en el plano considerado.

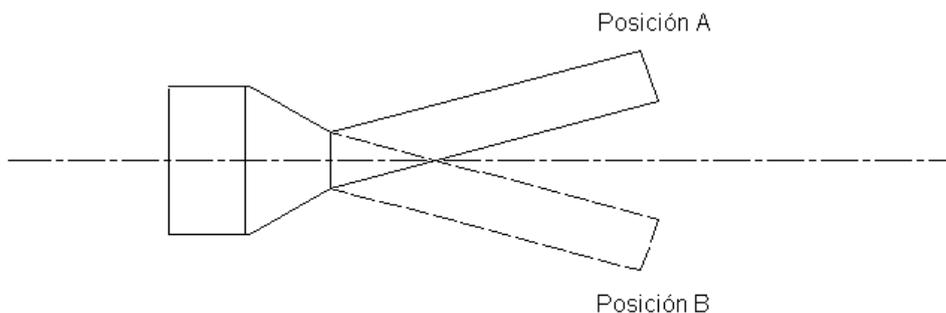


FIGURA 2.6. Rotación del husillo sin desmontar el patrón para tomar mediciones en un mismo plano que luego habrán de promediarse.

EL APORTE DE LAS TÉCNICAS ÓPTICAS A LA METROLOGÍA.

La utilización de las técnicas ópticas y fotoeléctricas permite aprovechar los fenómenos físicos que involucran a la luz para construir distintos tipos de sensores. La principal ventaja que poseen los instrumentos de medición construidos en base a estos fenómenos, es la eliminación del contacto instrumento-pieza. Esta particularidad hace que las verificaciones realizadas con un instrumento de esta clase sean no invasivas. De esta manera se minimiza el desgaste de componentes del instrumento, se reducen defectos de funcionamiento y costos de mantenimiento propios de los sistemas mecánicos, evitándose además los errores que ocasionan las deformaciones por contacto en materiales de baja rigidez.

En estos sensores es requerido el uso de la electrónica, pues en general los fenómenos de naturaleza física en los que interviene la luz, son traducidos a una señal de tensión. Esto permite el almacenamiento de datos para un posterior análisis. De este modo, se elimina el problema de observar en cada momento la lectura sobre una escala graduada y se hace posible la realización de verificaciones dinámicas

cuando se dispone de suficiente capacidad de muestreo, a través de una PC o un osciloscopio.

SENSORES CON FIBRA ÓPTICA.

Los sensores con fibra óptica utilizan luz para medir una perturbación externa y fibra óptica para transmitir esa luz.

La configuración general de un sensor de este tipo se muestra en la Fig. 2.7 y como puede observarse en el esquema, consta de una fuente de luz, un sistema de sensado y un detector óptico interconectados con fibra óptica.

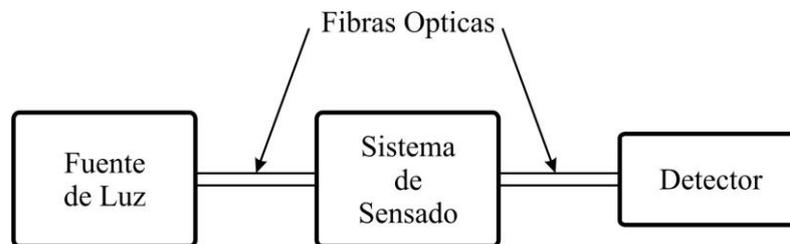


FIGURA 2.7. Esquema básico de un sensor de fibra óptica.

En función de cómo se realice la medición de la perturbación externa se clasifican usualmente en dos grandes clases: extrínsecos e intrínsecos [8].

Sensores extrínsecos:

Comprenden aquellas aplicaciones en las que la fibra actúa solamente como guía de onda llevando luz hasta una “caja negra”, que modula el haz en respuesta al parámetro que se pretende medir. Esta información puede estar codificada en intensidad, fase, frecuencia, estado de polarización, contenido espectral, etc.

Sensores intrínsecos:

También llamados “*all-fiber sensors*”, utilizan la fibra óptica como guía de onda hasta el lugar donde la magnitud de interés se quiere medir, pero a diferencia del caso anterior, la perturbación externa actúa directamente sobre la fibra. La luz permanece dentro de la fibra en todo momento.

El **Apéndice I** explica el funcionamiento de la fibra óptica como guía de onda.

SENSOR TIPO “Y”.

En algunos casos, el tipo de sensor más simple de construir es aquel basado en la modulación de intensidad (es decir que responde al cambio de intensidad de la luz). Los sensores por intensidad resultan relativamente sencillos, requieren unos pocos elementos y componentes electrónicos. [8]

Existen distintas configuraciones o arreglos conocidos para construir ese tipo de sensores (ver Apéndice II). Uno de ellos es el arreglo tipo “Y” que se describe a continuación, el cual se encuadra dentro de los sensores extrínsecos.

Dos tramos de fibra óptica independientes el uno del otro, son dispuestos como se indica en la figura 2.8. Vinculados rígidamente en sus extremos para garantizar posición relativa constante entre ellos, y próximos a una superficie de medición. Debido a la disposición en la que se encuentran las dos fibras, que se asemeja a una letra “Y”, se lo denomina usualmente sensor tipo Y. El primer tramo de fibra conduce la luz desde el circuito emisor hasta proyectarla sobre la superficie de medición. Parte de la luz reflejada es acoplada por el segundo tramo de fibra y guiada hasta el sensor, constituido por un fotodiodo y un circuito de acondicionamiento de la señal.

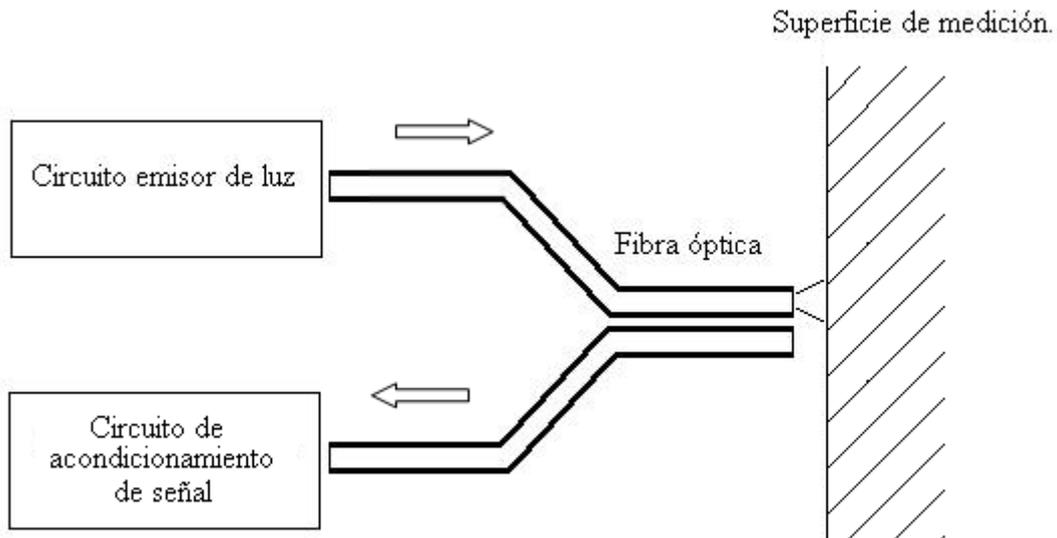


FIGURA 2.8. Esquema de funcionamiento del sensor tipo Y.

La cantidad de luz acoplada por el último tramo de fibra óptica es dependiente de la geometría empleada en la construcción de la punta sensora, de las dimensiones de las fibras ópticas empleadas, de las condiciones del medio (índice de refracción), de la distancia entre el arreglo y la superficie a ser medida, y de la reflectividad de la misma. Sin embargo, para un cierto sensor ya construido, y asumiendo que las condiciones del medio no varían durante la medición, la cantidad de luz acoplada se asocia directamente con la distancia de separación entre el sensor y la superficie, pudiéndose utilizar eficientemente como distanciómetro.

El comportamiento de estos sensores es ampliamente conocido [9], y presenta una respuesta como la que se muestra a continuación, figura 2.9.

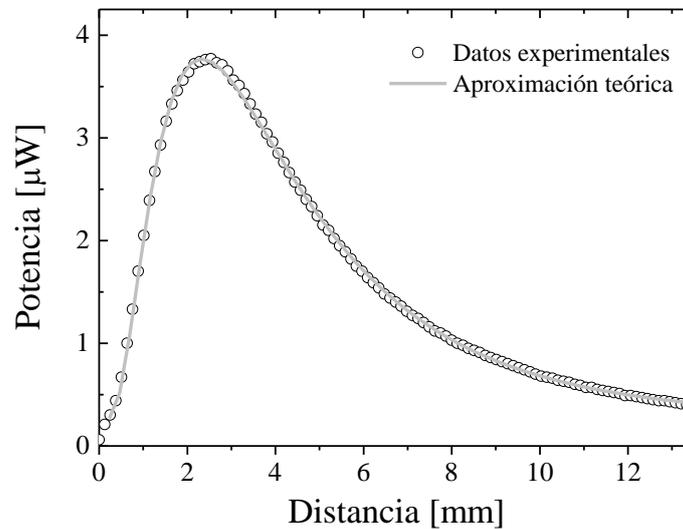


FIGURA 2.9. Respuesta del sensor en función a la distancia a la superficie de medición.

En esta curva experimental típica, se observan diferentes singularidades. Cuando la distancia a la superficie de medición es nula, no hay acople de luz por reflexión, lo cual se traduce en potencia de salida nula. A medida que la distancia de separación aumenta, comienza a aumentar también la cantidad de luz registrada hasta encontrar un punto óptimo en el cual este acople se maximiza. En esta condición se encuentra el punto de pendiente nula, que debe ser evitado por la ambigüedad que conlleva (una variación de señal no indica el sentido del desplazamiento) si se pretende realizar mediciones aprovechando el comportamiento lineal. En el primer tramo de la curva la pendiente es positiva, prácticamente lineal y de gran sensibilidad. Para distancias mayores, la cantidad de luz acoplada hacia el sensor comienza a disminuir debido a que la distancia recorrida es mayor y la densidad óptica acoplada va en decremento. En consecuencia se observa una pendiente negativa de mayor rango de trabajo, pero de menor sensibilidad y solo lineal por tramos.

Estos aspectos caracterizan cualitativamente la respuesta de un sensor **Y**, sin embargo las características constructivas de cada diseño en particular y las condiciones ambientales en las que trabaje, darán lugar a una particular curva de respuesta. Parámetros geométricos como diámetros de las fibras, separación o inclinación entre ellas, así como la forma de la superficie de medición, definen la distancia de separación para la cual se produce el óptimo acople de luz. En conjunto con ellos intervienen la reflectividad de la superficie, el índice de refracción del medio y la configuración empleada en el circuito de medición, determinando el valor máximo de la señal.

Con esta respuesta el sensor **Y** puede trabajar como instrumento de medición lineal, cumpliendo la función del comparador a reloj, pero incorporando las características propias de un sistema de medición óptico.

PRODUCTOS EN EL MERCADO.

Actualmente es posible encontrar en el mercado distintos productos diseñados para medir distancias, o desplazamientos en forma no invasiva, mediante el uso de diversas técnicas ópticas. Cada producto, según la aplicación para la cual fue diseñado, cuenta con la capacidad de medir con una determinada precisión a una distancia nominal determinada y dentro de un cierto rango.

Los sensores comerciales que podrían emplearse en el tipo de verificaciones que aquí desean ponerse en práctica, no trabajan por intensidad. Son sensores que operan con un haz láser que incide en la superficie a medir. El haz que se refleja, es captado por un arreglo lineal de fotodiodos, pudiéndose así determinar la distancia de separación con el módulo sensor.

En ciertas ocasiones, este tipo de sensores resulta más confiable que los sensores por intensidad pues los valores de salida no dependen de las características de reflexión de la superficie sobre la cual se mide. Sin embargo se trata siempre de sensores con una complejidad y costo superiores.

En la mayoría de los casos se trata de instrumentos diseñados para trabajar dentro de un proceso productivo, como herramienta de control del proceso, o bien empleados en control de calidad. Es así que suelen estar dotados de algunas funciones adicionales enfocadas a estas aplicaciones.

En Argentina es posible encontrar por pedido productos OPTEX (Japón), que presenta una amplia gama de instrumentos en sus catálogos (en el Apéndice III se muestran algunos de ellos).



De acuerdo a los requerimientos de la aplicación planteada, se obtuvo un presupuesto del instrumento más básico que cubre tales necesidades, cuya hoja de producto se adjunta [10].

Se trata del modelo CD33-30PV.

Resolución: 0,004mm.

Distancia nominal de medición 30mm.

Rango de medición: 30+/- 4mm.

Señal de salida: 0 – 10 Volts.

Productos:

1x CD33-30PV _____ US\$ 620.00 (c/u+IVA 10.5%)

CAPÍTULO III. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Se buscará desarrollar un equipo versátil, de aceptable confiabilidad y costo reducido, que permita realizar las diversas verificaciones en las máquinas-herramientas, introduciendo las ventajas del método elegido.

Los objetivos específicos comprenden:

- Diseño, construcción y puesta en marcha de un sensor de fibra óptica.

- Realización de distintas mediciones, algunas de ellas según Normas IRAM 5090 (Torno paralelo. Verificación geométrica y ensayo práctico), con el fin de poner a punto el funcionamiento del sensor y entrar en mayor conocimiento de sus cualidades.

- Establecer una metodología para efectuar las mediciones y elaborar hojas de instrucciones de uso, para que usuarios inexpertos puedan llevar adelante mediciones con este método sin incurrir en errores de procedimiento ni de interpretación.

- Proporcionar lineamientos para efectuar una práctica de laboratorio con fines académicos, que muestre a los alumnos el empleo de las técnicas ópticas en las verificaciones de máquinas-herramientas y piezas mecánicas como aporte a la cátedra de Metrología Dimensional.

- Proveer la información necesaria para que el Taller de Máquinas-Herramientas de la Facultad, pueda incorporar el uso de un sistema de adquisición de datos (placa de adquisición compatible con una PC, Data Loggers, etc.), que permita realizar mediciones dinámicas en forma independiente.

CAPÍTULO IV. SOLUCIÓN PROPUESTA.

REALIZACIÓN DE ENSAYOS CON ARREGLOS EXPERIMENTALES.

Se diseñó un primer esquema básico de sensor tipo "Y" (Figura 4.1), que permitiera observar el comportamiento real de este tipo de arreglos.

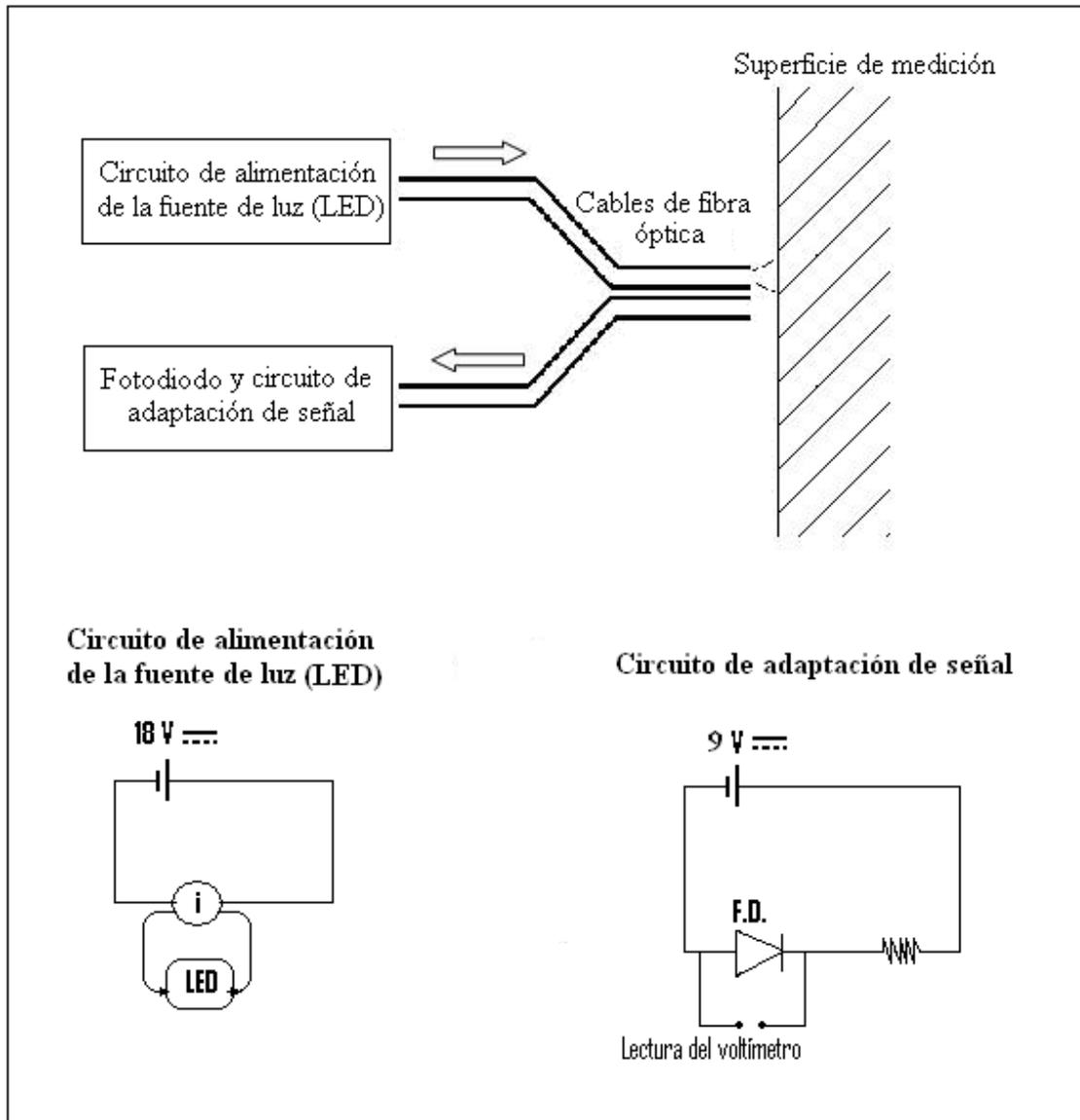


FIGURA 4.1. Diseño elemental del sensor "Y", con sus correspondientes circuitos.

El *circuito de alimentación de la fuente de luz*, pone en funcionamiento a dicha fuente, es por eso que también se hace referencia al mismo como *circuito emisor de luz* o simplemente *circuito emisor*. El circuito de adaptación de señal es el encargado de recibir la luz de retorno y traducirla a una señal de tensión apropiada, a este circuito se lo puede denominar también como *circuito receptor* o *circuito detector*.

Los elementos utilizados fueron los siguientes:

- Fibra óptica plástica (POF), con núcleo de polimetil metacrilato y cobertura de un polímero fluorado, de 1mm de diámetro (bobina de 10mts seccionada en dos tramos de 5mts).
- Fuente de Tensión continua de 18Volts, 1Ampere.
- LED de alta potencia 3W ($\lambda = 650 \text{ nm}$, que corresponde al color rojo).
- Fuente de Corriente continua ajustable para el LED.
- Batería de 9Volts.
- Fotodiodo comercial.
- Resistencia de 100KOhm.
- Voltímetro digital.

Detalles de procedimiento:

Es necesario pulir correctamente las superficies de los extremos libres de la fibra óptica para optimizar la conducción de luz de un extremo al otro (pues se mejora la interfase fibra-aire y aire-fibra). Para el pulido puede utilizarse un Kit comercial de lijas de diferentes tamaños de grano, de uso corriente para esta aplicación.

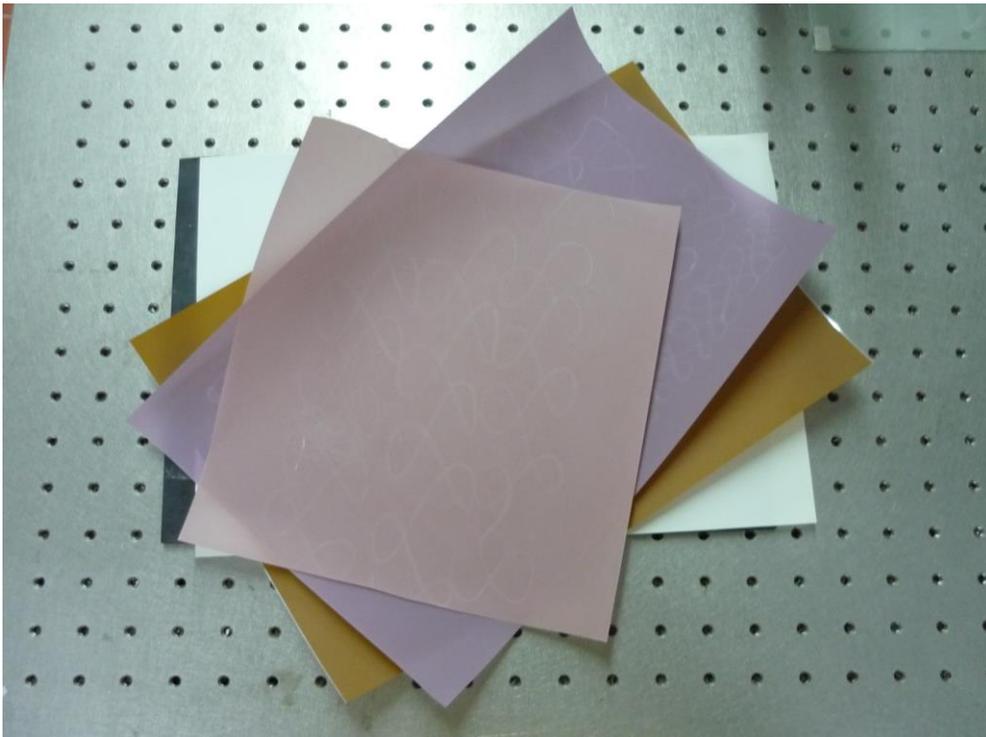


FIGURA 4.2. Kit de lijas para el pulido de fibras ópticas.

Refinando la superficie de las caras, se busca aprovechar eficazmente el cono de aceptación de la fibra (figura 4.3.), también conocido como “apertura numérica” que mejora tanto la emisión como el acoplamiento de luz (ver Apéndice I).

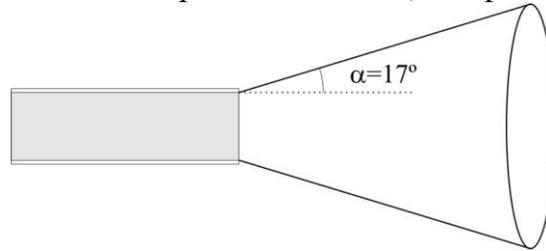


FIGURA 4.3. Detalle de la apertura numérica de una fibra óptica de plástico como la empleada. La emisión y el acoplamiento de luz están comprendidos dentro de un cono de apertura. En las fibras de plástico el valor del ángulo del cono puede variar entre 17° y 40° , mientras que en las convencionales fibras de Silicio oscila entre 4° y 8° .

Se colocaron los extremos de las fibras solidarios a una base fija, ubicados perpendicularmente a una superficie de medición. Se montó esta superficie sobre un carrito desplazable mediante una cabeza micrométrica (figura 4.4), de forma tal de poder efectuar pequeños desplazamientos controlados.

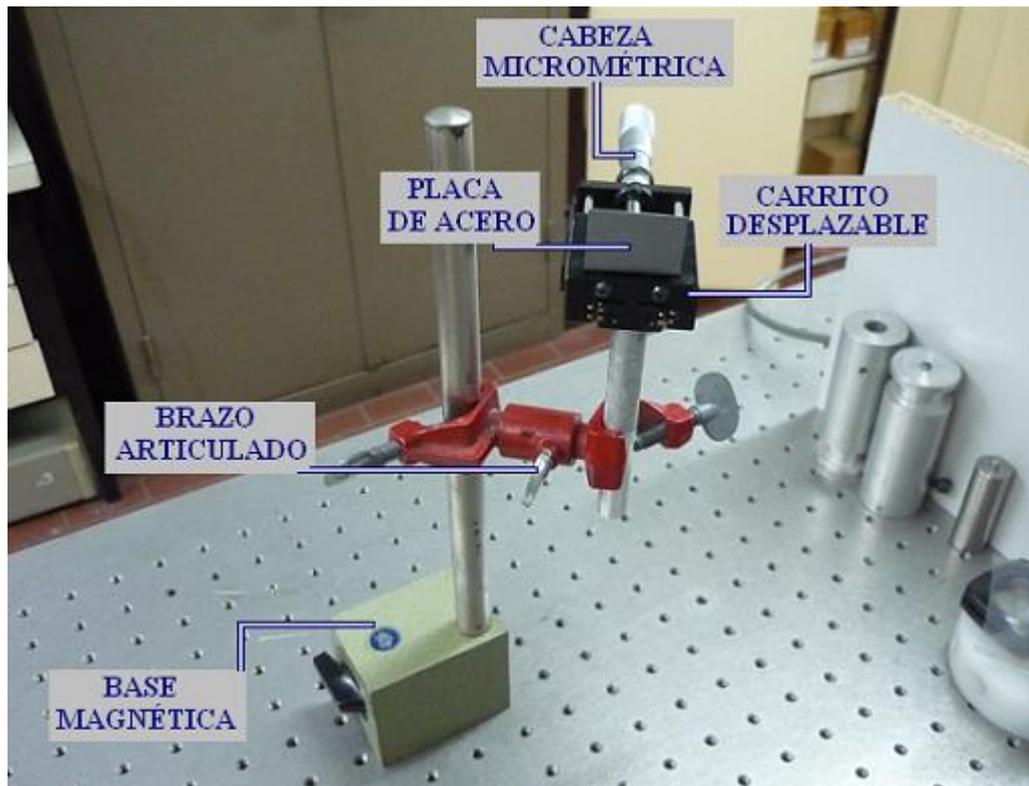


FIGURA 4.4. Una pequeña placa de acero montada sobre el carrito desplazable, sujeta a una base magnética mediante un brazo múltiplemente articulado.

Con el arreglo básico antes mostrado se tomaron los primeros valores experimentales, que se grafican a continuación en la Fig. 4.5:

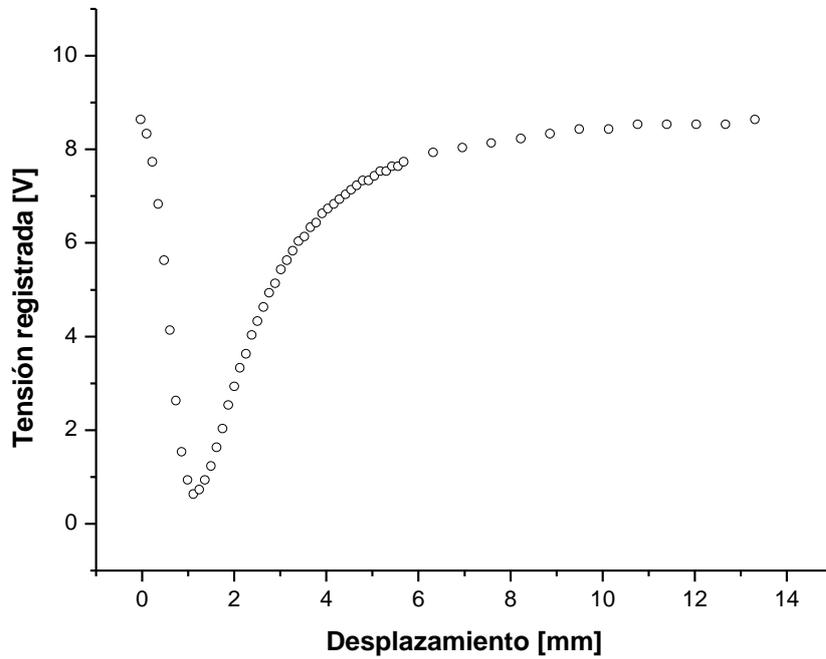


FIGURA 4.5. Primera curva experimental, relevada con una configuración no definitiva.

Esta curva muestra los valores absolutos de tensión registrados con el voltímetro (de acuerdo a lo indicado en la figura 4.1), en función de la distancia relativa entre los extremos libres de la fibra y la superficie de acero.

Graficando la variación de Tensión, en función de la distancia a la superficie, se obtiene una curva cuyo comportamiento concuerda con el esperado según la bibliografía [8]:

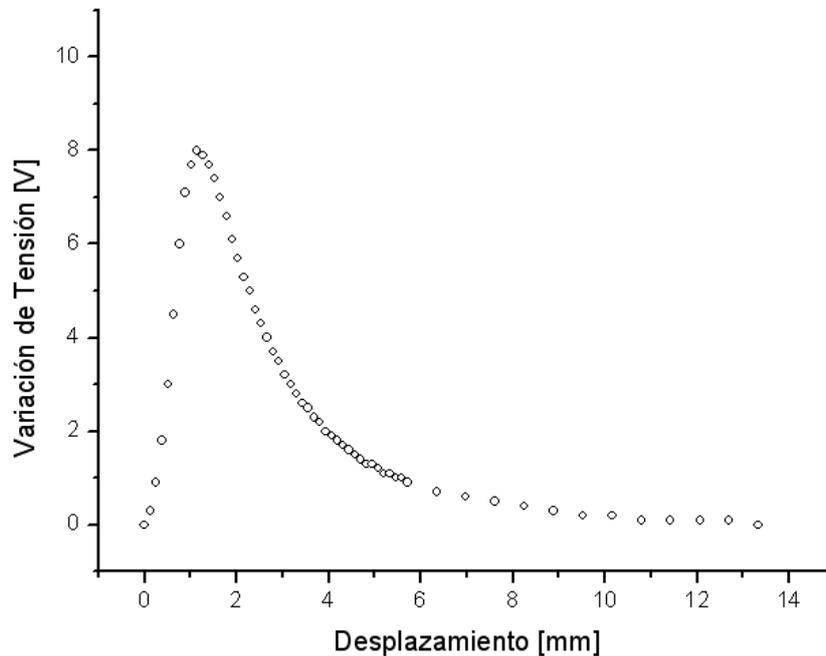


FIGURA 4.6. Curva de respuesta característica del primer arreglo no definitivo.

Con este modo de presentar los resultados, es posible asociar en el eje de ordenadas, los valores de *Variación de tensión* con la cantidad de luz acoplada por el sensor, verificándose experimentalmente la factibilidad de construir un sensor que opere bajo los principios antes descritos.

CONSTRUCCIÓN DEL SENSOR.

Se diseñaron y construyeron dispositivos para el sensor, apuntando a optimizar su funcionamiento y a mantener invariables las propiedades intrínsecas del mismo. Los planos pueden observarse en el Apéndice IV.

Los parámetros geométricos del sensor son:

- Diámetro de las fibras ópticas.
- Ángulo de captación de las fibras.
- Separación de las fibras.
- Terminación superficial de la fibra.
- Posición de la fibra con respecto a la fuente.
- Posición de la fibra con respecto al fotodiodo.

Punta de medición.

Se enhebraron los dos extremos de fibra dentro un pequeño tubo de aluminio, y se rellenó el interior del tubo con resina Epoxy específica para su utilización con fibras ópticas de manera que no degrade sus propiedades. De esta manera quedan las fibras solidarias al tubo, bien protegidas y asegurada la posición relativa invariable entre ellas. Luego se realizó el pulido del extremo de la superficie que contiene a las fibras y se protegieron los cables de fibra con una cubierta termocontraíble en toda su extensión (figuras 4.7, a y b). La longitud final de los cables enhebrados en esta cubierta protectora es de 5mts, especialmente pensado para obtener mayor maniobrabilidad en el área de trabajo permitiendo transportar la señal hasta el ordenador más próximo, siendo inmune a condiciones ambientales severas a lo largo de toda su extensión (humedad, electromagnetismo u otras).

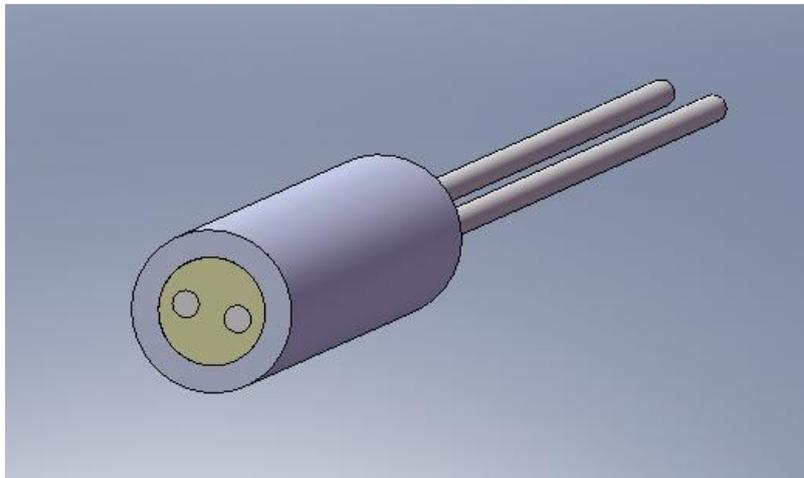


FIGURA 4.7.a. Esquema de los cables de fibra óptica contenidos dentro del tubo de aluminio.

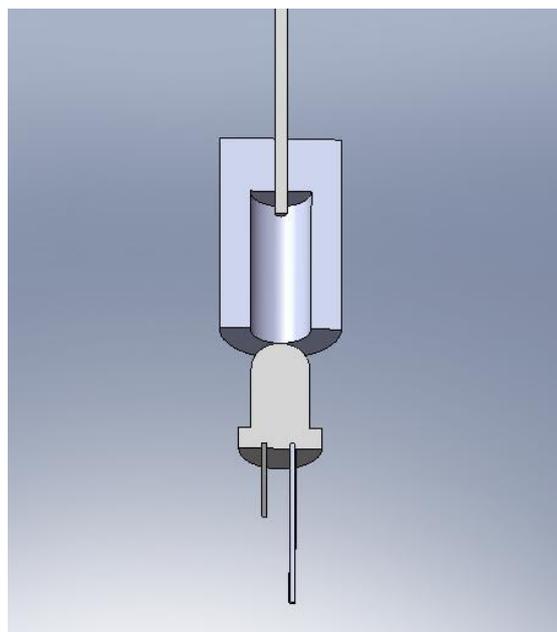
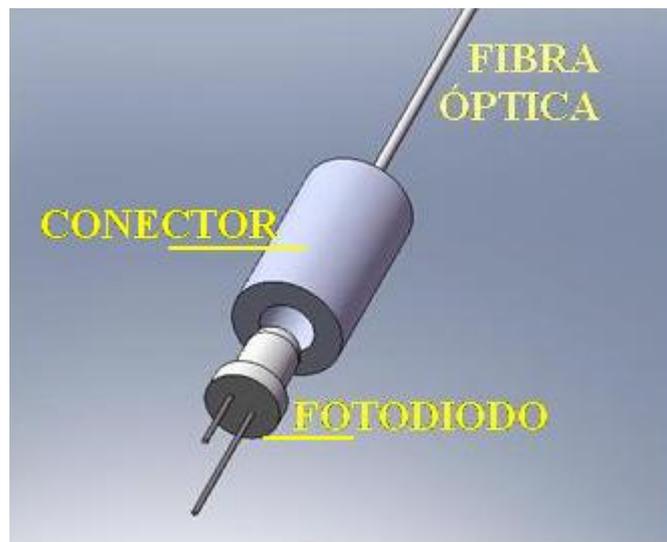


FIGURA 4.7.b. Construcción definitiva de la punta de medición.

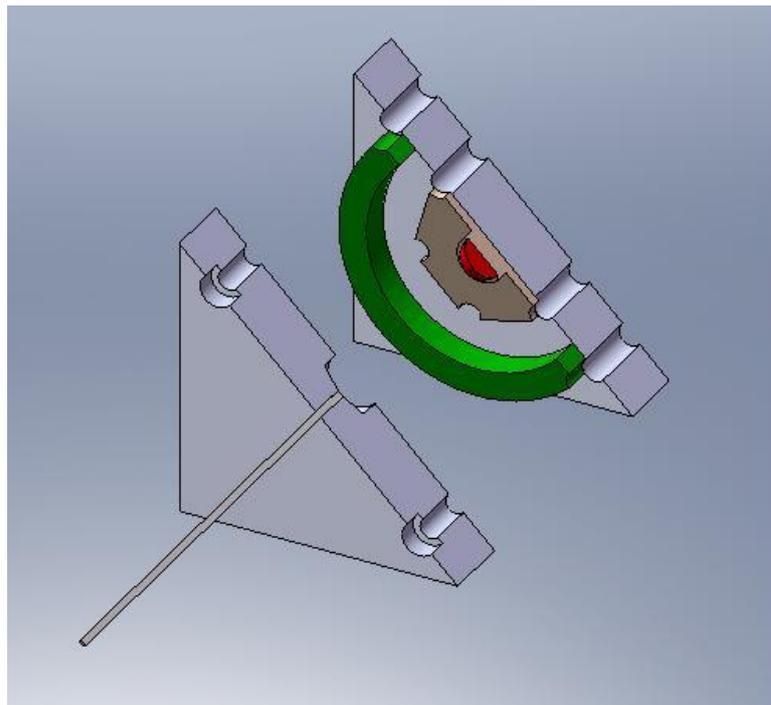
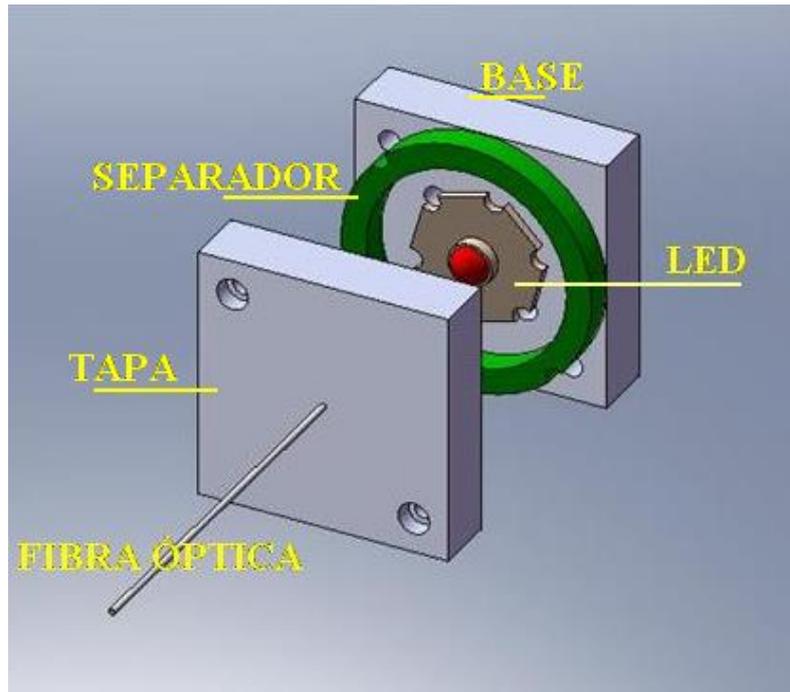
Posicionado de las fibras dentro de los circuitos.

Debido a que este sensor opera midiendo la intensidad del haz de luz colectada, es de vital importancia asegurar que no haya variaciones espurias de luz que no provengan del parámetro a sensar. Por lo tanto es necesario mantener fija la posición de los extremos de las fibras que están asociadas a la fuente de luz y al fotosensor. En el circuito de alimentación de la fuente de luz (figura 4.1), se busca maximizar el acoplamiento de luz proveniente de la fuente, y en el circuito receptor (el de adaptación de señal) se busca que la totalidad de la luz acoplada llegue de regreso al fotodiodo.

Se construyeron las piezas mostradas a continuación en las figuras 4.8 y 4.9.



FIGURAS 4.8. Vista esquemática que muestra el conector diseñado para acoplar al fotodiodo la luz captada.



FIGURAS 4.9. Montaje de LED de alta potencia en el zócalo de sujeción de la fibra que alimenta al extremo sensor.

El conector (figuras 4.8) para el circuito receptor es un cilindro de aluminio ahuecado, con dos diámetros y longitudes internas diferentes, de modo que por un extremo se ajusta el fotodiodo y por el otro se ajusta la fibra óptica que queda situada muy próxima al detector. Con este conector queda anulada la posibilidad de que luz proveniente del exterior (no transportada por la fibra de retorno) pueda entrar a este circuito receptor. Al mismo tiempo, la luz que llega a través de esta fibra es totalmente colectada por el detector.

El conector de las figuras 4.9, para el circuito emisor (circuito de alimentación de la fuente de luz), tiene dos piezas fundamentales, también de aluminio. Una de ellas (la base) lleva atornillado el LED, y la otra (la tapa) tiene el huelgo para introducir la fibra óptica, centrado con la posición del LED en la base. En la tapa se talló una cavidad cónica para encauzar la luz proveniente de la fuente hacia la fibra y aprovechar así la luminosidad al máximo.

Un separador interno fabricado en polipropileno, permite ajustar la tapa con la base sin someter al LED a ningún esfuerzo. La construcción en aluminio favorece la disipación de calor del conjunto.

MEJORAS DE LOS CIRCUITOS PARA EL ARMADO DEFINITIVO.

En la figura 4.10 se observa el diseño definitivo del circuito con algunas variaciones respecto del circuito elemental utilizado en las primeras pruebas.

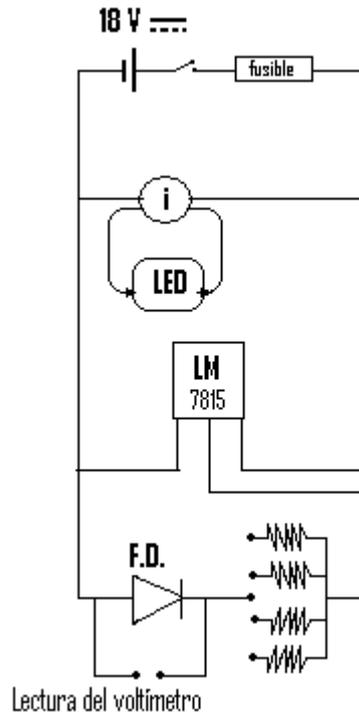


FIGURA 4.10. Diseño final de los circuitos.

En primer lugar, el circuito detector de luz ya no es alimentado con una batería independiente, sino que toma la tensión de la misma fuente de 18V que alimenta al circuito emisor. Se utiliza además un regulador de tensión LM 7815, que proporciona tensión de salida de 15V constante. De esta manera el circuito detector es alimentado con una tensión estable en el tiempo (para más detalles acerca de los componentes electrónicos, remitirse al Apéndice V).

El circuito emisor no necesita de un dispositivo estabilizador de tensión, ya que el LED es alimentado por una fuente de corriente regulable que garantiza estabilidad en el tiempo.

Se incorpora un fusible como protección a todos los componentes y una llave interruptora de encendido y apagado.

También se incorporan cuatro resistencias seleccionables por el operador por motivos que serán expuestos a continuación.

BÚSQUEDA DE VALORES ÓPTIMOS DE RESISTENCIA PARA EL CIRCUITO RECEPTOR.

Como se muestra en la figura 4.1., el circuito medidor o receptor de luz, trabaja con una tensión continua constante que genera una circulación de corriente y dos caídas de tensión. Una de ellas en el diodo foto-sensible y la otra en la resistencia conectada en serie. Se probó la respuesta del sensor variando los valores de resistencias.

Se observó que la sensibilidad del sensor aumenta a medida que se aumenta el valor de resistencia. Es decir que a iguales desplazamientos de la punta de medición, se obtienen mayores variaciones en la señal de salida cuando aumentan los valores de resistencia. **La resistencia define la ganancia del instrumento.**

El empleo de ganancias bajas implica entonces, tener poca sensibilidad para efectuar la medición, podría ocurrir que desplazamientos pequeños no registraran cambios en la señal de salida.

Al mismo tiempo se observó una limitación en el uso de ganancias muy elevadas. La diferencia de potencial en los terminales del foto-detector es máxima cuando no hay acople de luz, cuando la distancia de la punta del sensor a la superficie de medición es nula. A medida que el sensor se aleja de la superficie, el descenso de la tensión de salida es vertiginoso cuando se emplean valores altos de ganancia, a punto tal que a cierta distancia la señal se aproxima al valor cero. En esta situación, al continuar con el alejamiento la cantidad de luz acoplada va en aumento pero la señal se mantiene saturada (invariable), dando lugar a una zona ciega dentro de la cual no se registra variación de señal para ningún desplazamiento comprendido en dicha zona. Un ejemplo se muestra en la curva de la figura 4.11.

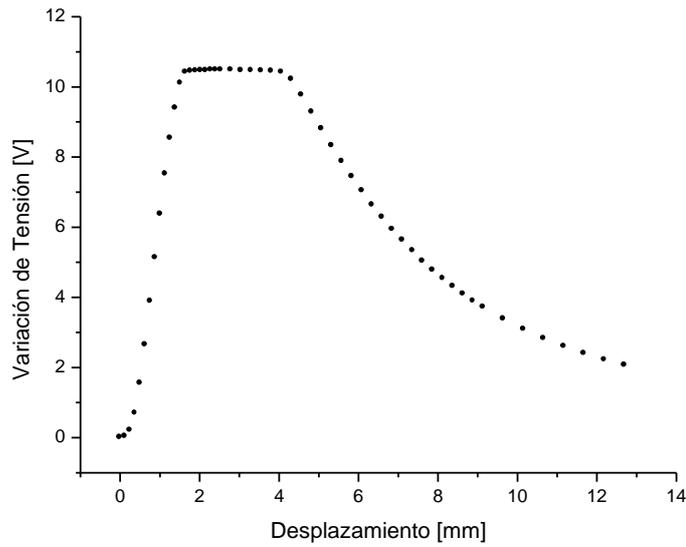


FIGURA 4.11. Curva relevada con un valor relativamente alto de ganancia, se observa la zona ciega debida al efecto de saturación en el diodo foto-sensible.

No obstante, las curvas que presentan zonas con saturación pueden ser aptas para medir con mayor sensibilidad, siempre que se trabaje con desplazamientos comprendidos fuera de la zona de saturación.

Se encuentra entonces que según la aplicación de la cual se trate, un valor de ganancia puede resultar más o menos conveniente que otro.

Se resolvió entonces, construir el circuito con un selector de ganancias que permita al usuario trabajar con la curva que considere más apropiada. La posibilidad de selección consta de cuatro diferentes valores de resistencia: 100KOhm, 470KOhm, 1MOhm, y 10MOhm. En la figura 4.12 se muestran superpuestas las cuatro curvas características del sensor en su versión definitiva.

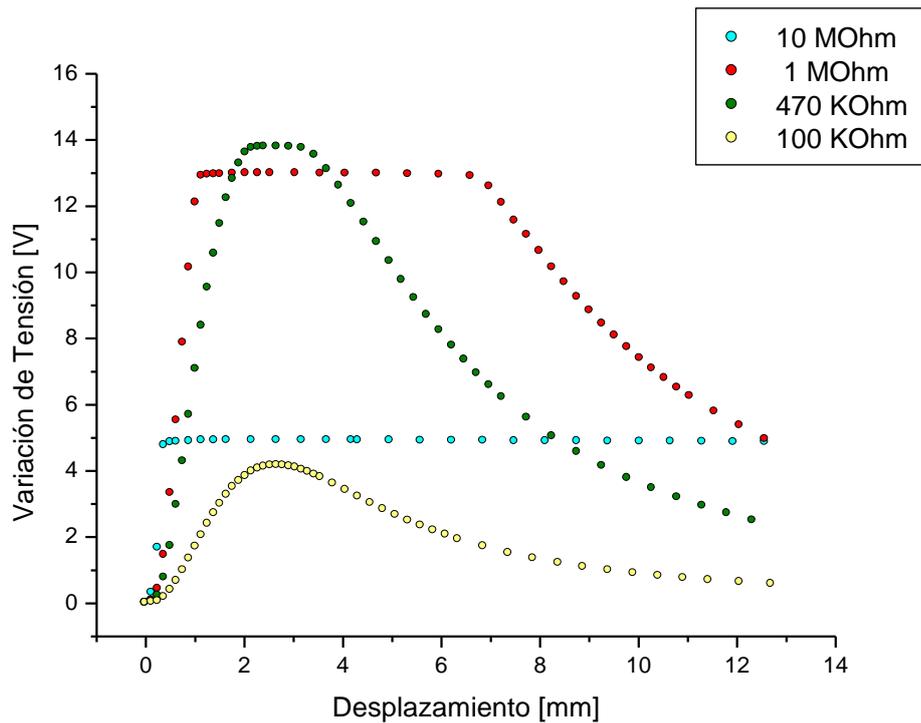


FIGURA 4.12. Curvas características del sensor, relevadas frente a una superficie de medición de acero opaco, con la configuración definitiva.

Las diferencias en el comportamiento del sensor (sensibilidad, rangos de trabajo) gobernadas por el valor de resistencia utilizado, corresponden a diferentes puntos de trabajo del fotodiodo. En el Apéndice VI es explicado el funcionamiento circuital, allí se observa cómo para diferentes valores de resistencia se obtienen diferentes comportamientos.

Una vez construidos todos los dispositivos y definidos los valores de resistencia a emplear, se procede al armado definitivo, incorporando los circuitos y los dispositivos de posicionado y sujeción de las fibras dentro de un gabinete plástico al cual se le agregan la tecla de encendido/apagado, el porta-fusible, entrada de alimentación, y ficha para la señal de salida.

La construcción definitiva se muestra a continuación en la figura 4.13.



FIGURA 4.13. Construcción definitiva del sensor.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL INSTRUMENTO.

En referencia a la figura 4.12, se observa que cada curva dentro de esa gama, tiene su ventaja y su desventaja. A medida que la sensibilidad de medición aumenta, se reduce el intervalo posible de medición.

Intervalos de medición: son los intervalos en el eje de desplazamientos dentro de los cuales a una señal de voltaje le corresponde un único valor de distancia. Cada curva ofrece dos intervalos de medición, el primero desde la distancia cero hasta el pico, y el segundo desde la distancia del valor pico en adelante.

Sensibilidad: depende directamente de la pendiente de la curva dentro de un rango de medición. Como se puede apreciar, dentro de un intervalo de medición la pendiente de la curva es variable, y por lo tanto también lo es la sensibilidad del instrumento.

En la tabla 4.1 se muestran los diferentes valores de sensibilidad de cada curva de la Figura 4.12, para el primer rango de trabajo. Estos valores de sensibilidad son estimativos a modo de realizar la comparación entre las diferentes curvas, pues como ya se indicó no es posible encontrar un único valor de sensibilidad dentro de un rango de trabajo completo.

Ganancia	Rango de trabajo [mm]	Sensibilidad [V/mm]
100 KOhm	0-2,5	1,80
470 KOhm	0-2,0	7,65
1 MOhm	0-1,2	11,57
10 MOhm	0-0,4	11,63

Tabla 4.1. Comparación de rangos y sensibilidades con el empleo de diferentes ganancias.

Se observa que con los dos primeros valores de ganancia, se obtienen rangos de trabajo similares. La curva de 100KOhm no llega a la saturación, por lo tanto es posible visualizar el valor pico de variación de señal. Este valor aparece cuando el acople de luz es máximo, es por eso que siempre se encuentra ubicado a la misma distancia de 2,5mm para todas las curvas.

Siendo que en la curva de 470KOhm, apenas se manifiesta una pequeña zona de saturación, el primer rango de trabajo abarca casi la totalidad de los 2,5mm mencionados.

Se hace hincapié una vez más, en que estas curvas son propias del instrumento trabajando frente a una superficie de medición determinada (en este caso acero opaco).

CURVA CARACTERÍSTICA PARA LA INTERPRETACIÓN DE MEDICIONES.

Conociendo la curva característica del sensor trabajando frente a una superficie dada, es posible durante una medición, inferir la distancia a la superficie (en milímetros) por medio de la lectura de la señal de salida de tensión (en Volts).

Hasta el momento se ha caracterizado al sensor a través de las curvas de *variación de tensión* en función de la *distancia a la superficie*.

Pero para poder interpretar una señal de tensión como un valor de desplazamiento, lo más apropiado resulta obtener una expresión funcional del tipo ***Distancia en función de Tensión de salida***.

Una vez que se obtiene esta expresión funcional, mediante el reemplazo de la variable independiente de dicha función por el valor particular de tensión de salida, se obtiene como resultado el valor de distancia que corresponde a esa tensión.

La curva característica del sensor puede reproducirse de la manera que se muestra en la figura 4.14.

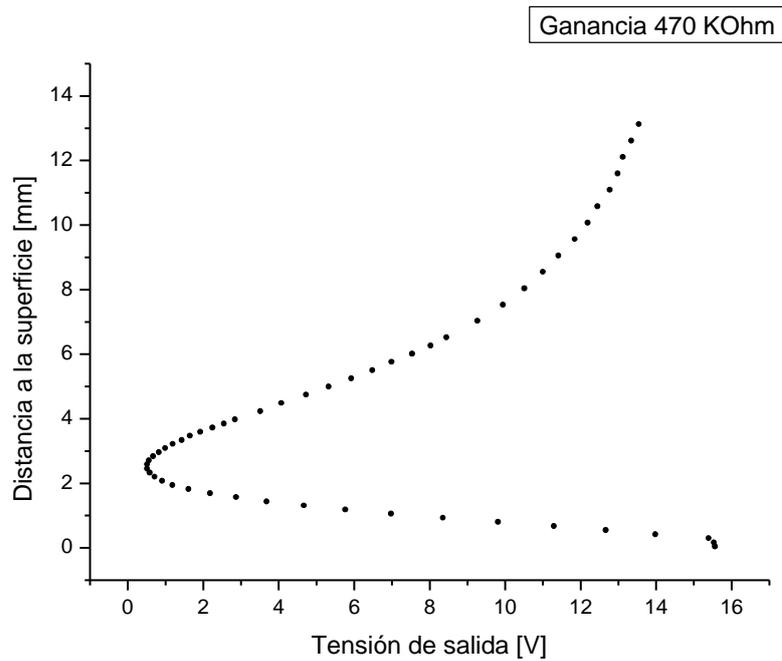


FIGURA 4.14. Curva característica del sensor que permite encontrar la expresión funcional requerida. Relevada con diferente tensión de alimentación del circuito detector (18V).

Para hallar la expresión funcional, es necesario trabajar dentro de alguno de los dos rangos de la curva, ya sea en el primer tramo desde la distancia cero hasta el pico, o bien en el segundo desde la distancia del valor pico en adelante. De lo contrario no sería posible que la curva cumpliera con la condición de *Función*, “a cada valor de las abscisas le corresponde un único valor de ordenadas”.

En la figura 4.15 aparece representado el primer tramo de la curva anterior.

Ajuste Polinómico.

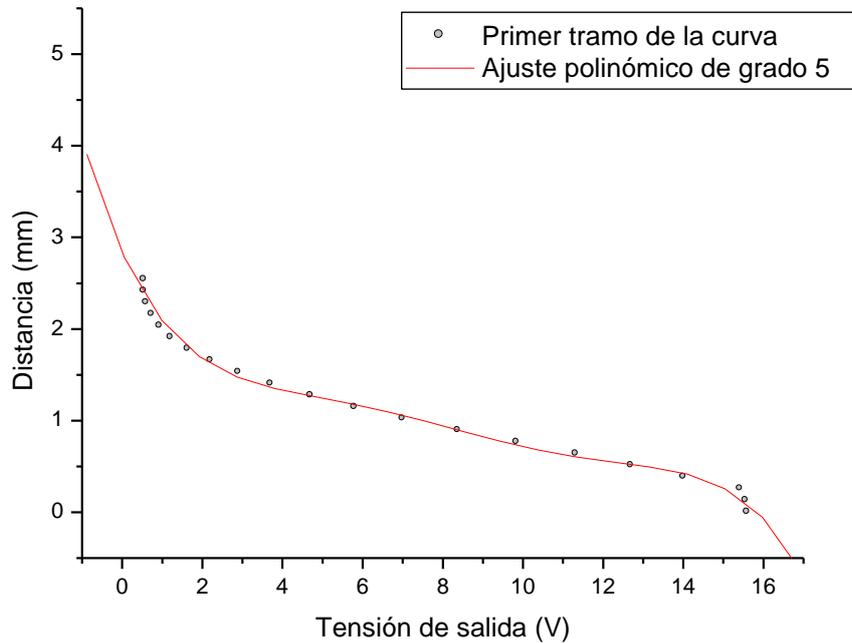


FIGURA 4.15. Primer tramo de una curva característica, ajustada por aproximación polinómica mediante herramientas de un software de cálculo.

Utilizando herramientas de cálculo, es posible realizar diferentes aproximaciones funcionales que ajusten a la curva relevada experimentalmente. En este caso se utilizó una **aproximación polinómica** de quinto grado.

El software arroja los valores de los coeficientes y el valor de r^2 , que es una medida de la calidad de la aproximación hecha.

$$\text{Distancia [mm]} = 2,83419 - 0,96468 * [\text{V}] + 0,25228 * [\text{V}]^2 - 0,03394 * [\text{V}]^3 + 0,00212 * [\text{V}]^4 - (4,95039\text{E-}5) * [\text{V}]^5$$

$$r^2 = 0,99339$$

El valor r^2 es un coeficiente de correlación muestral cuyo valor puede variar entre 0 y 1, tendiendo hacia 1 en las aproximaciones de buena calidad.

Las aproximaciones polinómicas pueden resultar las más apropiadas para ajustar a lo largo de toda la curva, pero cuando el sensor se encuentre trabajando, midiendo pequeños desplazamientos del orden del milímetro se vuelve más sencillo y más exacto aplicar una **aproximación lineal** en la porción de la curva en que se esté trabajando.

En la figura 4.16 se representa una porción del primer tramo de la curva, allí es aproximado linealmente.

Aproximación lineal.

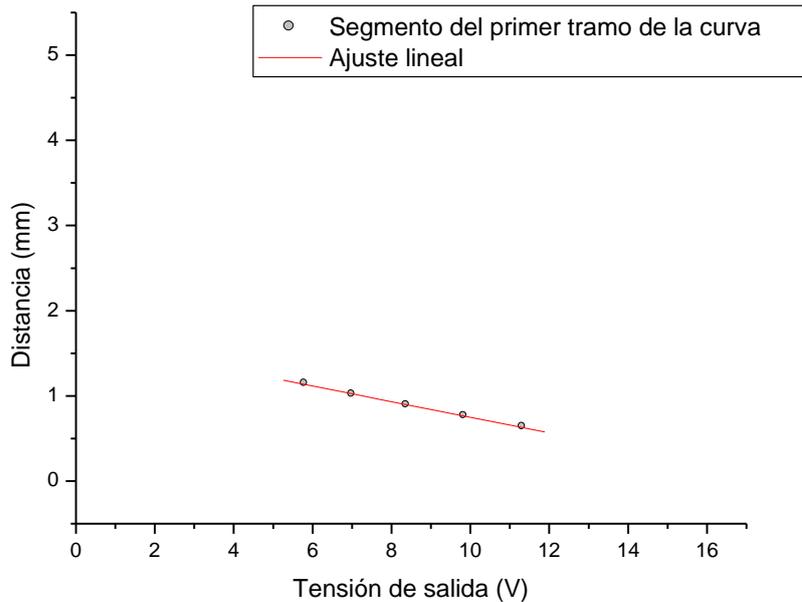


FIGURA 4.16. Segmento del primer tramo de la curva característica, ajustada por aproximación lineal según el método de cuadrados mínimos a través de un software.

Nuevamente el software arroja los valores de los coeficientes y en este caso el valor de **r**.

$$\text{Distancia [mm]} = 1,66344 - 0,09135 * [\text{V}]$$

$$r = -0,99917$$

Se considera que la aproximación es muy buena dado el valor de **r**.

METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA REALIZAR MEDICIONES.

Se propone el siguiente procedimiento para emplear exitosamente el sensor y realizar distintas mediciones en máquinas reales, además de entrar en mayor conocimiento de sus cualidades:

-Con la máquina detenida, ajustar la punta del sensor en el carrito desplazable y posicionarlo de manera que el conjunto quede ubicado perpendicularmente a la superficie de medición. Para esto puede utilizarse un brazo articulado con base magnética como se mostró en la figura 4.4, o algún otro dispositivo apropiado.

-Efectuar una calibración, relevando la curva característica del sensor frente a la nueva superficie en cuestión. Comenzando con distancia nula entre el sensor y la superficie se realizan desplazamientos controlados de alejamiento, en cada posición se debe registrar el valor de la señal de salida. Esta señal se visualiza conectando a la salida un voltímetro, un osciloscopio o una PC con capacidad de adquisición de datos. Es aconsejable realizar esta calibración en una zona de la pieza cuya reflectividad sea representativa del resto de la superficie (no sobre puntos oscuros, zonas deterioradas, golpeadas u otras).

-Lo más conveniente es realizar la gráfica de la curva característica, *distancia* en función de *tensión de salida*. Luego escoger una zona de trabajo lineal dentro de esta curva, para obtener la expresión funcional que ajusta en dicha zona. Puede hacerse mediante algún software de cálculo o manualmente por el *método de ajuste por cuadrados mínimos*.

-Posicionar la punta del sensor con el carrito desplazable en la zona media del intervalo de medición lineal escogido. Para realizar esta operación se recomienda guiarse por la lectura de señal de salida.

-Poner en funcionamiento la máquina-herramienta y adquirir la señal de salida, ya sea con un osciloscopio o con una PC.

-En caso de que se trate de un ensayo estático, la señal podrá observarse con un voltímetro debiendo registrarse manualmente los valores leídos.

Nota: los pasos correspondientes al relevamiento de la curva de calibración y al cálculo de la expresión funcional, se deberán realizar cada vez que se trabaje frente a nuevas superficies, cuando se emplee diferente valor de ganancia, o cuando por alguna razón, no se esté seguro que el sensor se comportará de la misma manera frente a una superficie ya caracterizada.

PROPUESTAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

Para el desarrollo de este proyecto se dispuso de un osciloscopio TEKTRONIX, modelo TDS 220 (figura 4.17), perteneciente al Laboratorio de Física Láser de la Facultad. Este osciloscopio tiene la posibilidad de almacenar algunos registros para luego ser descargados a una PC. Es así que se pudo obtener registro de la señal en función del tiempo.



FIGURA 4.17.

A efectos de liberar al sensor de la dependencia de un osciloscopio, se plantea a continuación una solución alternativa que deberá ser futuro tema de trabajo a abordar por personas competentes en el área.

Se propone el uso de una placa adquisidora de datos en una PC. Estas placas necesitan operar bajo alguna rutina previamente programada, posibilitando la toma de datos con grandes frecuencias (del orden de los KHz), suficientes para llevar adelante cualquier medición sobre máquinas-herramientas.

La intención es que el usuario pueda seleccionar entre distintas modalidades de adquisición antes de realizar el ensayo, empleando variados valores de frecuencia y de tiempos totales de muestreo, de acuerdo con las exigencias de la medición que se desee realizar.

En el Apéndice VII se detallan las sugerencias para juegos de valores de frecuencias y duraciones de muestreo. Las diferentes modalidades de muestreo pretenden cubrir toda la gama de velocidades dentro de las que una máquina-herramienta puede trabajar.

PRESUPUESTO PARA EL ARMADO DEL SENSOR DEFINITIVO.

- Fibra óptica (POF), 1mm de diámetro (10mts).....	US\$ 10,00
- Fuente de Tensión continua de 18Volts, 1Ampere.....	US\$ 10,00
- LED de alta potencia 3W (color rojo).....	US\$ 6,00
- Fuente de Corriente continua ajustable para el LED.....	US\$ 12,50
- Componentes electrónicos.....	US\$ 5,00
Fotodiodo comercial.	
Resistencia de 100KOhm.	
Resistencia de 470KOhm.	
Resistencia de 1MOhm.	
Resistencia de 10MOhm.	
LM 7815.	
Fusible 250mA c/porta-fusible.	
- Armado del Panel.....	US\$ 15,00
Llave selectora cuatro posiciones.	
Placa experimental de circuitos 5x5cm.	
Ficha de salida para cable coaxil.	
Panel plástico.	
Tecla ON/OFF.	
Cable “Spaghetti” p/cubierta de fibra óptica (5mts).	

Total.....US\$ 58,50

CAPÍTULO V. RESULTADOS.

COMPROBACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SENSOR.

Se realizó una verificación del comportamiento del sensor trabajando con desplazamientos pequeños, empleando una cabeza micrométrica que permite efectuar desplazamientos con un paso de 2 micrones. Los elementos fueron dispuestos según lo muestra la figura 5.1. La punta de medición se mantuvo fija a un bloque en V a través de una brida, y un bloque patrón se empleó como superficie reflectante. Al bloque patrón se le imprimieron desplazamientos de 2 micrones, empujado por la cabeza micrométrica, también sujeta por una brida al bloque en V.

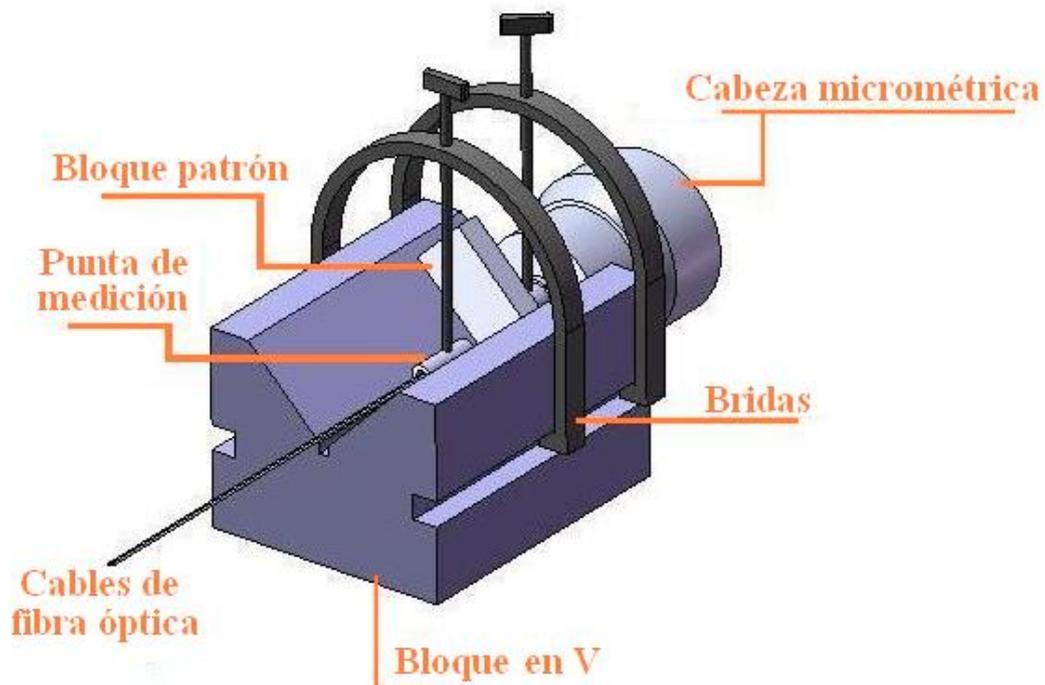


FIGURA 5.1. Disposición de los elementos utilizados para comprobar la respuesta del sensor frente a pequeños desplazamientos.

Se relevó la gráfica de la figura 5.2. Aun en desplazamientos de este orden, se observa la respuesta lineal y queda asentado que el sensor es capaz de cuantificar variaciones tales cuando trabaja frente a una misma superficie de medición.

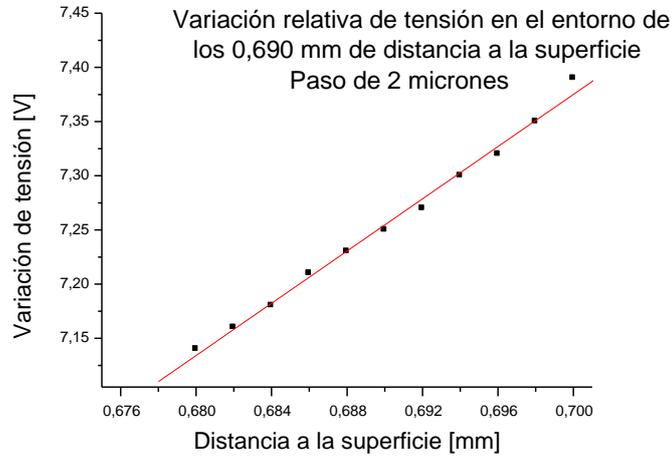


FIGURA 5.2. Respuesta del sensor frente a desplazamientos de 2 micrones en una zona media del primer rango de trabajo.

Con la misma configuración se relevó la curva completa de calibración del sensor obteniéndose como resultado la gráfica de la figura 5.3. Estas mediciones fueron realizadas con un valor de ganancia de 470KOhm y en ambos casos los valores de sensibilidad calculados por aproximación lineal coincidieron en 0,082mm/V.

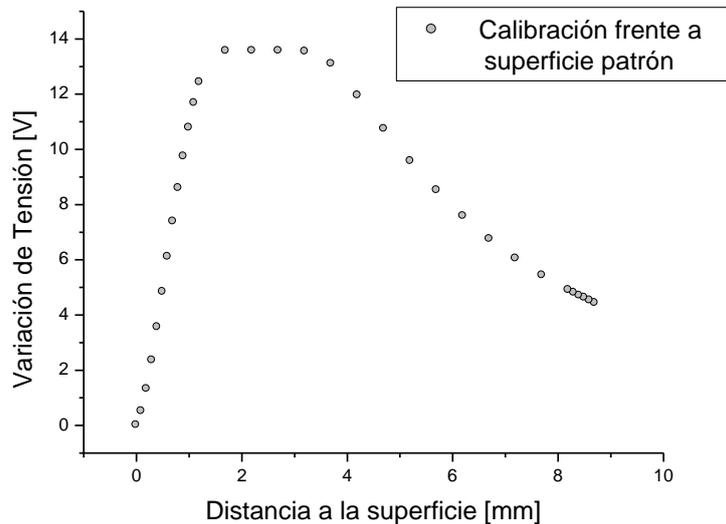


FIGURA 5.3. Curva de calibración completa, abarca todo el rango de desplazamientos.

MEDICIONES PRELIMINARES.

Se realizaron diversas mediciones a efectos de ahondar conocimiento acerca del funcionamiento del sensor. Se utilizó un torno Gauchito modelo T-960 perteneciente al laboratorio de Física Láser.

Salto radial:

Se dispusieron los elementos como se muestra en la figura 5.4 y se realizó la medición sobre un cilindro de aluminio previamente torneado.

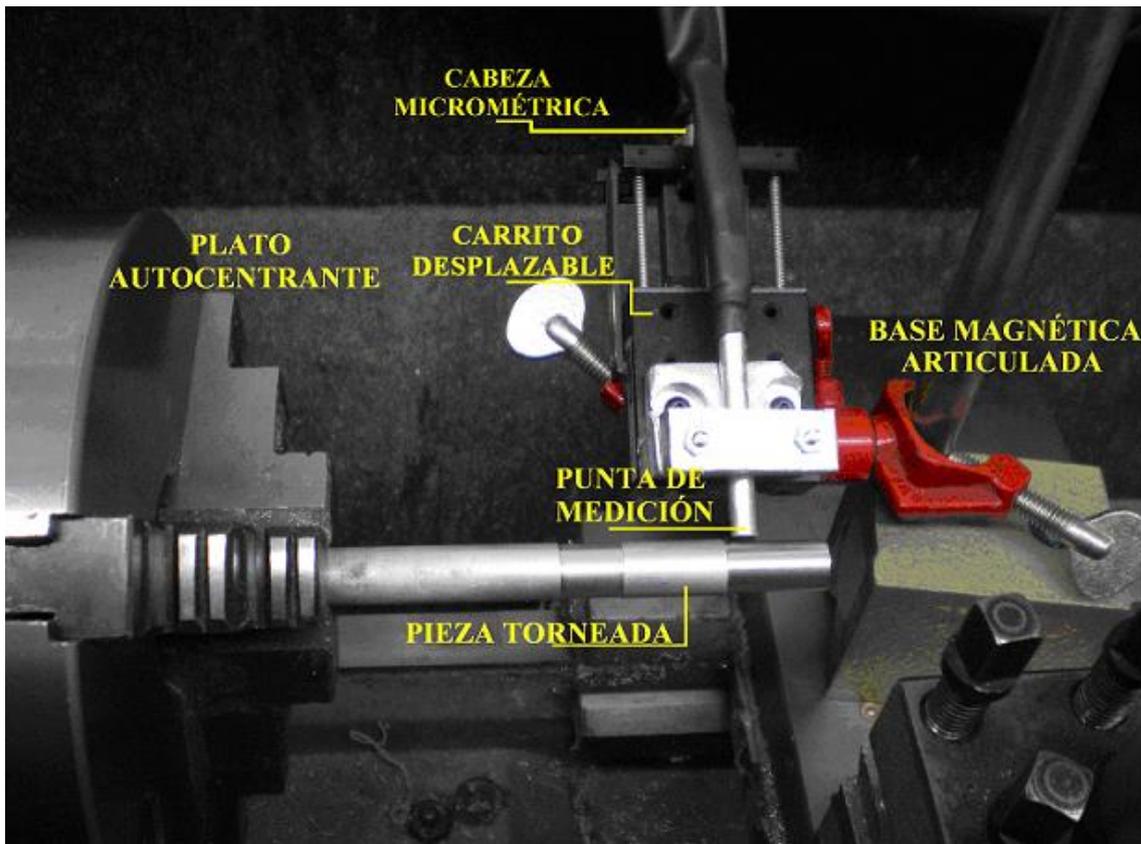


FIGURA 5.4. Configuración utilizada para la primera experiencia, en la que se midió salto radial.

La punta del sensor es ubicada perpendicularmente a la superficie de medición, montada sobre el carrito desplazable mediante la cabeza micrométrica, que a su vez está sujeta mediante un brazo articulado a una base magnética. La base magnética es colocada solidaria al carro portaherramientas del torno. En estas condiciones de trabajo se realizó la curva de calibración, previa a las mediciones de salto radial (figura 5.5).

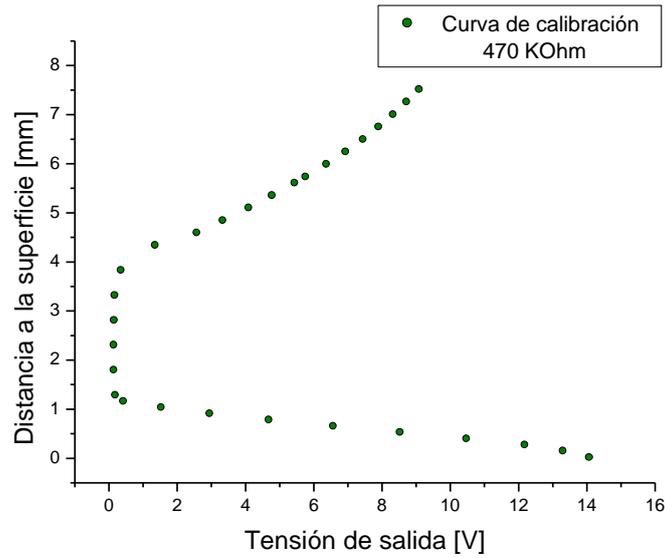


FIGURA 5.5. Curva de calibración frente a superficie de aluminio de buena terminación.

Un cilindro de Aluminio fue torneado a 12,6mm de diámetro. Se obtuvo muy buena terminación. Sin quitar la pieza del plato de tres mordazas después del mecanizado, se llevó adelante la medición. Este ensayo sólo toma en consideración los errores de los rodamientos del husillo, aquí la pieza no materializa el eje geométrico del husillo.

La medición fue realizada dos veces, en diferentes posiciones del sensor. Ambas en la primera zona de trabajo de la curva característica, pero una medición fue hecha en el entorno de los 10V y la otra en el entorno de los 4,75V. Estos dos valores de tensión corresponden a diferentes distancias de separación entre el sensor y la superficie, por ello la sensibilidad del instrumento es levemente diferente en cada caso. Ver figura 5.6.

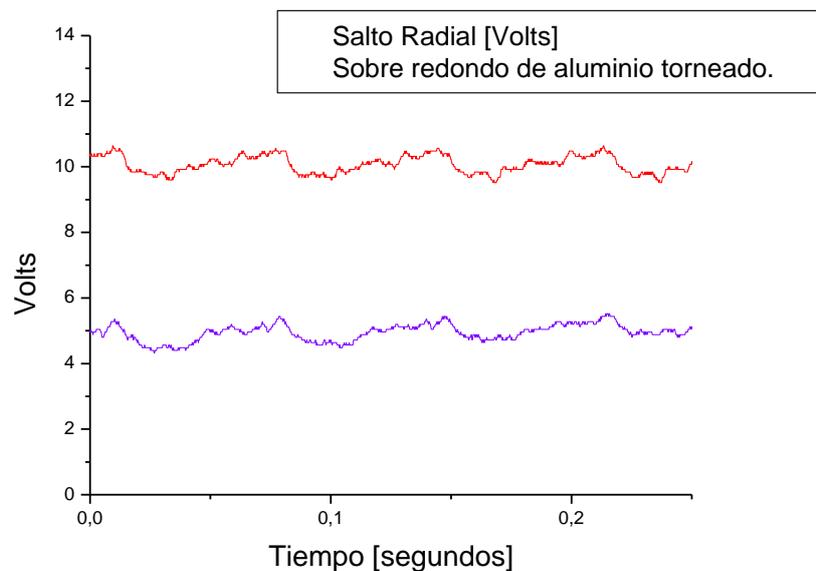


FIGURA 5.6. Registros de tensión en función del tiempo, producto de las mediciones de salto radial hechas sobre un cilindro de aluminio.

Los registros muestran una señal periódica a lo largo del tiempo. Este período corresponde a una revolución del husillo de la máquina. Dado que se trabajó en la primera zona de la curva característica del sensor (antes del pico, Capítulo IV), los aumentos de señal se interpretan como acercamientos de la superficie de la pieza hacia el sensor.

Cada uno de los registros debe ser traducido a valores de desplazamiento (en milímetros) valiéndose de la curva de calibración, a fin de poder cuantificar el salto radial.

A continuación se muestra la tabla 5.1 con los valores de diferencia entre máximos y mínimos de cada señal de tensión, su correspondencia en milímetros (salto radial) y el valor de sensibilidad del instrumento en el rango de trabajo.

Entorno de trabajo	Sensibilidad d(mm)/d(V)	Amplitud [volts]	Salto radial [mm]
10V	0,0696	1,1106	0,0773
4,75V	0,0701	1,0399	0,0729

TABLA 5.1. Lecturas máximas y mínimas obtenidas en los registros anteriores. Se muestra el valor traducido a milímetros, que representa el salto radial medido.

Entre ambos resultados existe una diferencia de 0,0044mm (4,4 micrones) si se considera la amplitud del salto radial. Más adelante se analizarán las posibles fuentes de error.

Registro de desplazamientos en función del tiempo:

Se grafica ahora la señal de salida en un período, transformada a valores de desplazamiento, siempre en función del tiempo.

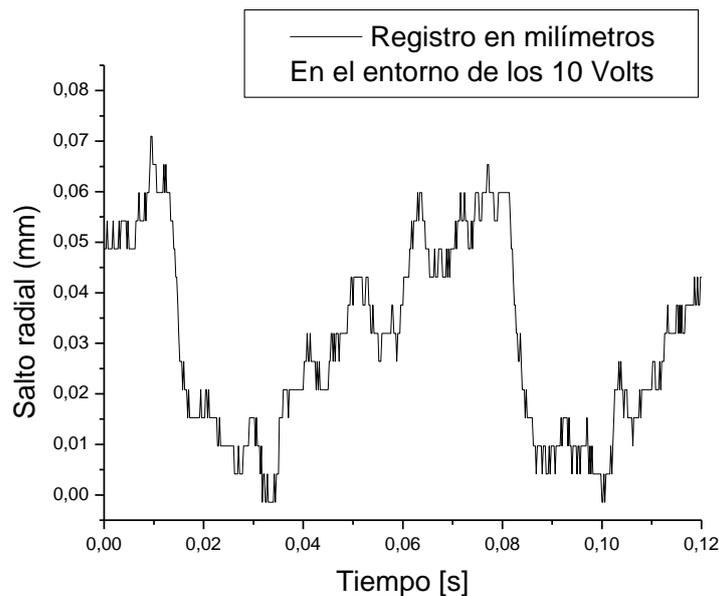


FIGURA 5.7.a.

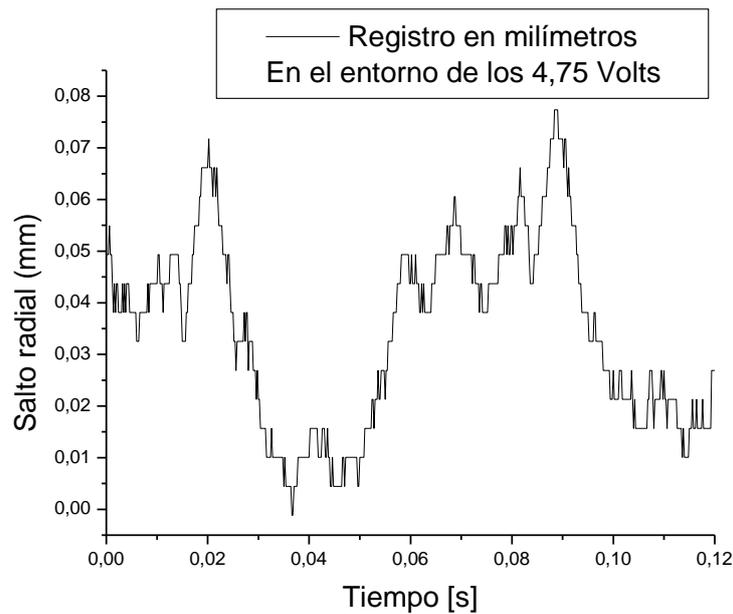


FIGURA 5.7.b.

Figuras 5.7. Las señales obtenidas transformadas a valores de desplazamiento relativo, son graficadas. Así se observa el salto radial en función del tiempo. 5.7a, para el entorno de los 10Volts; 5.7b para el entorno de los 4,75Volts.

En las gráficas de las figuras 5.7, se ha capturado un ciclo completo y algo más, para hacer más clara la interpretación del salto radial, simplemente a efectos de mostrar cómo, mediante un simple trabajo sobre los datos, el registro se obtiene en las unidades y en el intervalo de interés.

Perfiles y defectos de Forma:

Trabajando con los datos de un ciclo completo se construye una gráfica en coordenadas polares, de esta manera se obtiene una idea de la forma de de la pieza que se encuentra girando. Con un software de cálculo, se realizaron gráficas de este tipo para las mediciones anteriores (figura 5.8).

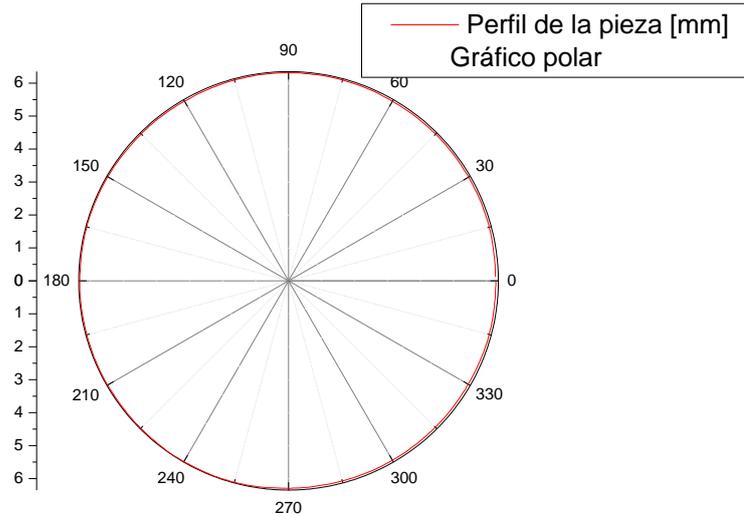


FIGURA 5.8. Gráfica polar que permite observar el perfil de la pieza. El radio del perfil es el radio medido sobre la pieza, al cual se le suman los valores de salto radial obtenidos.

La amplitud del salto medido ronda los 75 micrones, y no es apreciable a simple vista dentro del diámetro de 12,6mm. Sin embargo, se verá más adelante que podría obtenerse una representación gráfica polar que magnifique las desviaciones y las haga visualmente identificables.

Con el objetivo de conocer la respuesta del sensor a los defectos de forma, se realizó la siguiente prueba: sin retirar la pieza del plato autocentrante del torno, se generó en la misma una irregularidad en su superficie, un pequeño tramo plano (figura 5.9).

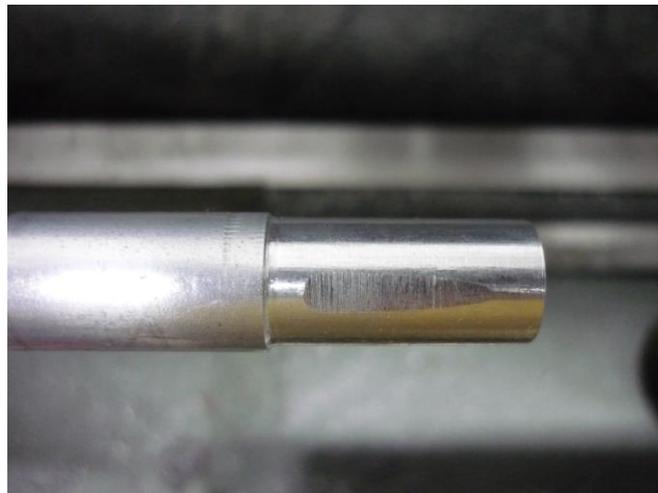


FIGURA 5.9. Hendidura en la pieza de aluminio utilizada en las mediciones anteriores.

Con esta configuración se puso en marcha el torno y se tomó registro con el sensor. Seguidamente se muestra en la figura 5.10, el patrón obtenido:

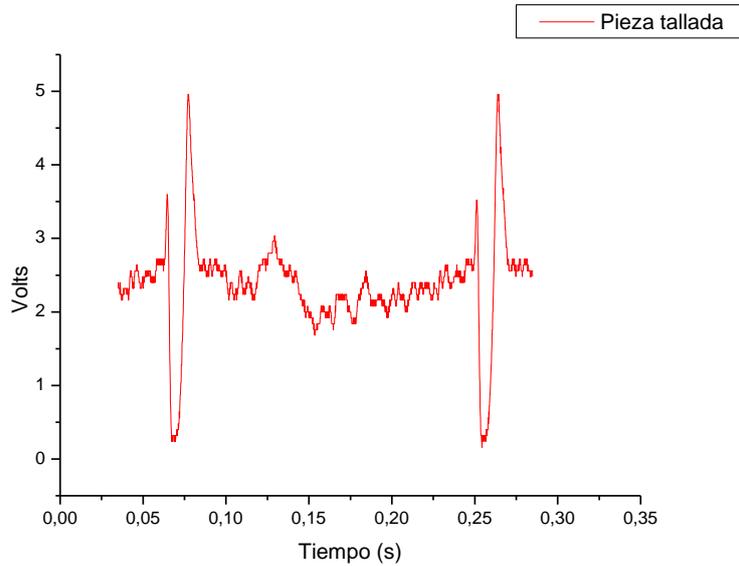


FIGURA 5.10. Señal registrada con la pieza intencionalmente modificada. La medición fue hecha en el entorno de los 2,35Volts.

Capturando un ciclo completo se realiza la gráfica en coordenadas polares, para observar el perfil de la pieza (figura 5.11):

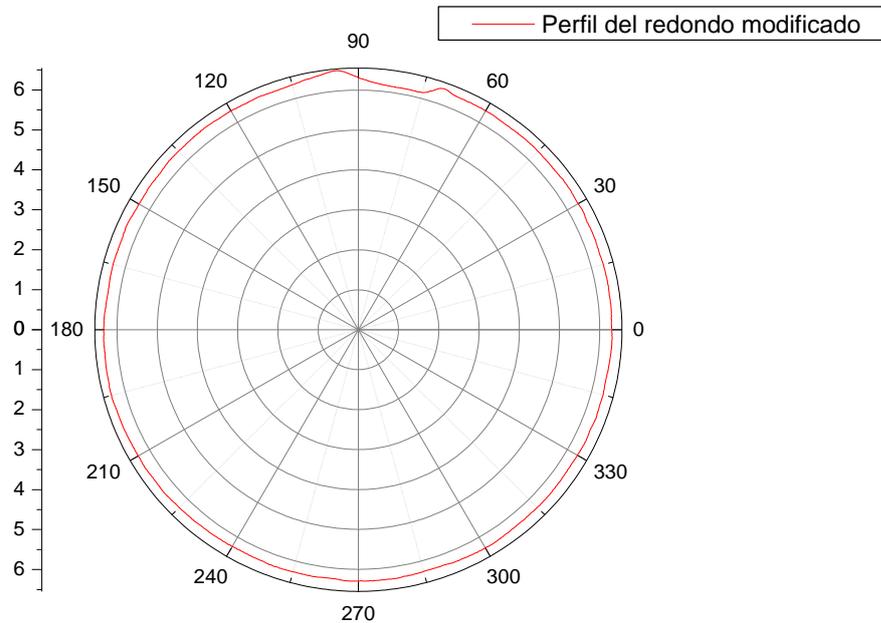


FIGURA 5.11. Representación del perfil de la pieza con la hendidura, obtenido en base al registro mostrado anteriormente.

En esta aplicación, la lectura obtenida permite reconocer la presencia de un defecto en la superficie de la pieza, e incluso entrega información acerca de su magnitud y su geometría. En la zona media del defecto se cumple la condición de perpendicularidad entre el sensor y la superficie, esto permite hacer estimaciones sobre la profundidad del mismo.

Al observar el gráfico anterior, se distingue en la pieza un valle atrapado entre dos picos que aparentan ser salientes. Es sabido que las salientes no son parte del defecto en la pieza real, sin embargo la señal registra aumentos de tensión. Estos aumentos de tensión en los bordes del defecto están asociados indudablemente a un descenso en la cantidad de luz acoplada. Lo que ocurre en este caso es que durante el giro de la pieza, en los bordes del defecto no se cumple la condición de perpendicularidad entre el sensor y la superficie. La luz se refleja con un ángulo tal que dificulta su acople en la fibra receptora (figura 5.12).

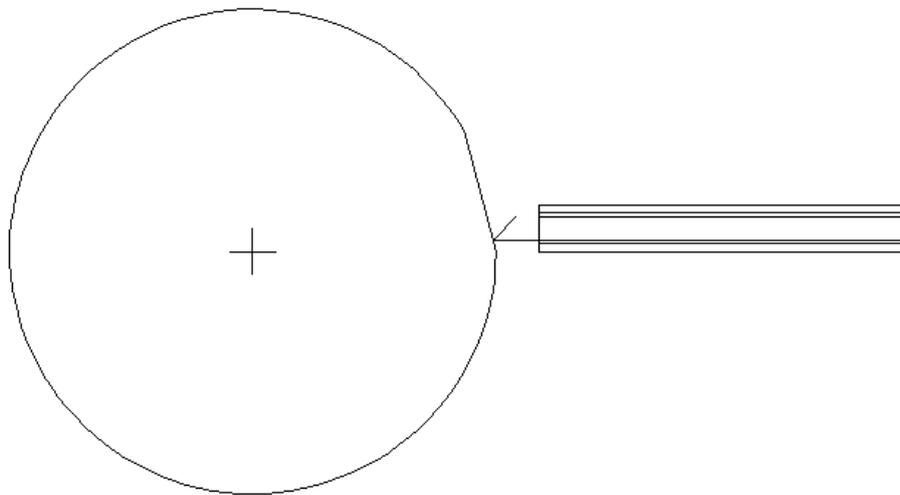


FIGURA 5.12. En los bordes del defecto se presenta el mayor apartamiento de la condición de perpendicularidad entre el sensor y la superficie de la pieza. La dirección de la luz reflejada se desvía.

Cuando una pieza inspeccionada presenta defectos de forma más suaves, por ejemplo lóbulos que la apartan de una redondez ideal, la representación del perfil resulta aun mejor, ya que se sigue verificando una cierta perpendicularidad entre la superficie y el sensor.

Un aspecto importante en la caracterización de una pieza puede ser la ubicación del defecto respecto de un determinado sector que resulte de interés. Para este propósito es posible explotar una cualidad del sensor: su sensibilidad a los puntos de baja reflectividad.

Sobre la pieza anterior se realizó una nueva experiencia que consistió en pintar una marca oscura sobre la superficie, ubicada a 90° con respecto a la marca en profundidad antes hecha. Se tomó registro con el sensor obteniéndose la siguiente respuesta:

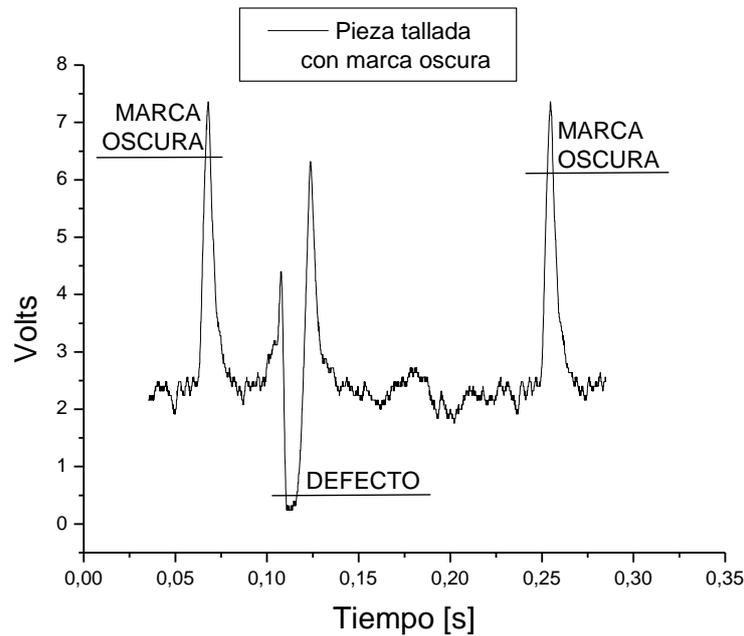


FIGURA 5.13.a. Señal registrada con la pieza intencionalmente tallada y oscurecida localmente a 90°.

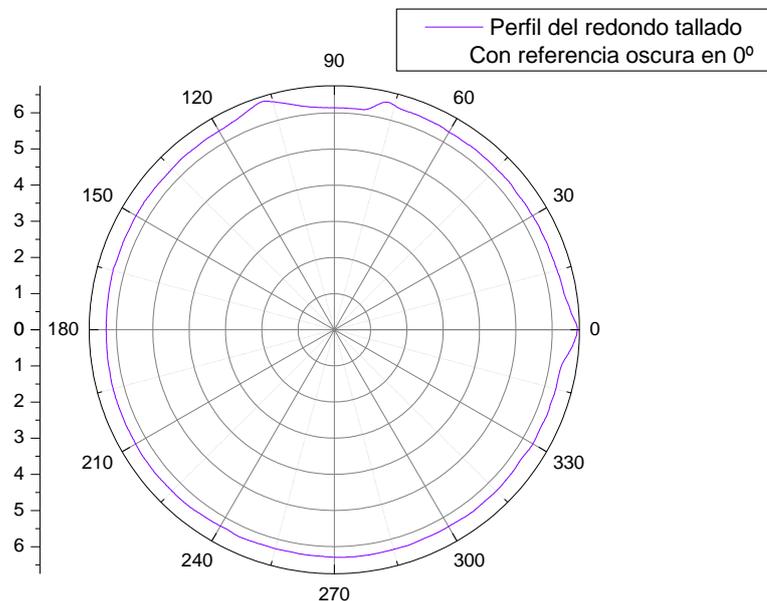


FIGURA 5.13.b. Representación del perfil de la pieza, obtenido en base al registro mostrado anteriormente.

En las figuras 5.13, se observa la aparición de un pico en la señal debido a la marca oscura. Cuando la señal es procesada para conocer el perfil de la pieza se encuentra una falsa saliente en la superficie que representa dicha señalización. De esta forma, toda la

información conseguida a lo largo del perímetro, queda referida a un punto conocido, previamente marcado con un procedimiento no destructivo.

Medición de excentricidad:

Frecuentemente resulta de interés conocer la excentricidad presente en el giro de algún elemento de una máquina. Para poner a prueba al sensor frente a una situación de esta naturaleza se realizó otra prueba sobre el mismo torno. Se extrajo la pieza torneada en un extremo y se la volvió a colocar en el plato autocentrante. Al realizar la medición se detectó un defecto de excentricidad en el posicionado de la pieza con respecto al eje de giro del torno (figura 5.14).

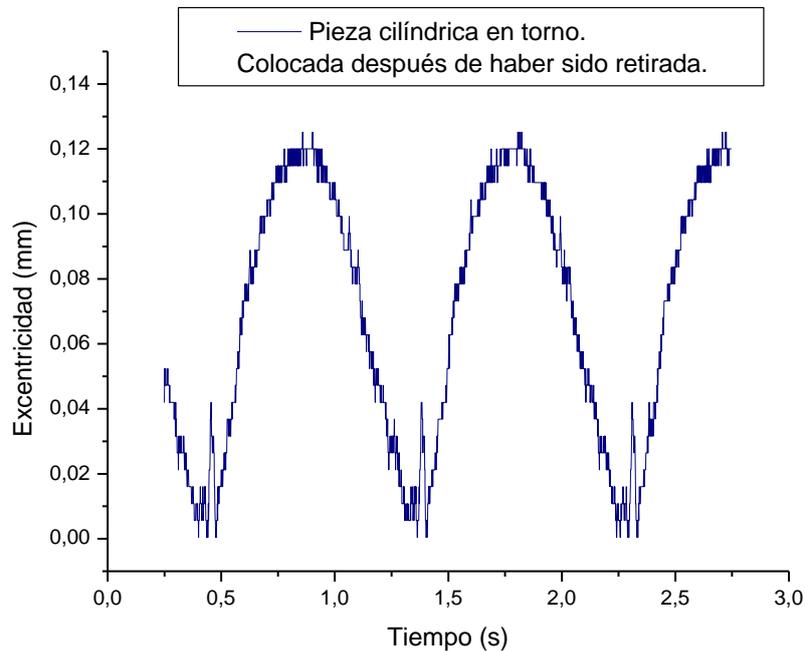


FIGURA 5.14. Patrón de excentricidad registrado, expresado en milímetros.

La excentricidad registrada es de 120 micrones (0,120mm) que en este caso es propia del sistema autocentrante del plato de tres mordazas. Este defecto se presenta como resultado de los juegos existentes en los mecanismos de ajuste y guiado de las mordazas, que deslizan sobre una espiral plana, que con su giro las desplaza radialmente para sujetar la pieza.

Graficando este perfil en una disposición polar (figura 5.15.a), apenas se percibe una leve excentricidad con la ayuda de los círculos de referencia de la gráfica. Esto es debido a que la pequeña magnitud del defecto se pierde dentro de la magnitud del diámetro de la pieza. Sin embargo existe una manera de realizar una gráfica similar que actúa magnificando los defectos de este tipo (figura 5.15.b).



FIGURA 5.15.a. Representación del perfil de la pieza obtenida según el registro anterior (figura 5.12).

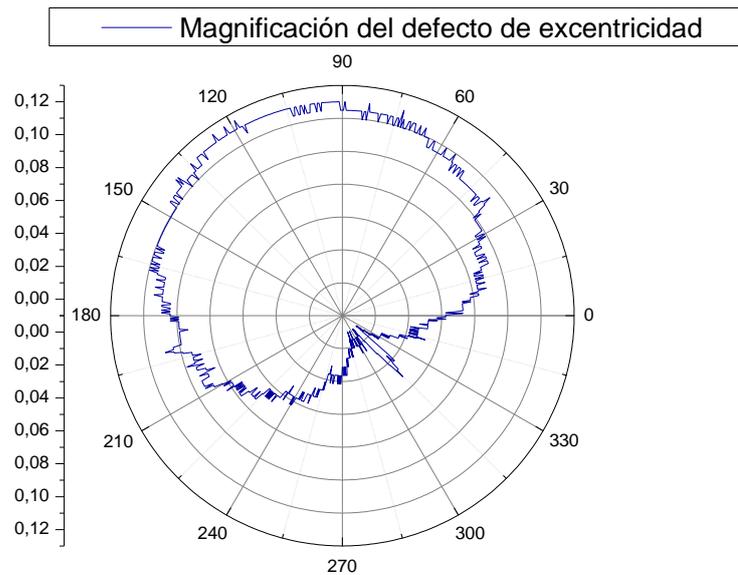


FIGURA 5.15.b. Gráfico alternativo, que no representa el perfil de la pieza, sino que se utiliza para magnificar los defectos y hacerlos más visibles.

A diferencia de una gráfica de perfil de pieza, la 5.15.b muestra exclusivamente el defecto, sin involucrar las dimensiones del redondo.

Con una representación ficticia como esta, es posible efectuar un análisis rápido del contorno. En el caso de mediciones de redondez, puede conocerse visualmente la forma del defecto gracias a esta magnificación (defecto ovalado, triangular, en polígono). Para estas aplicaciones que involucran el conteo de lóbulos, también resulta útil el uso de una referencia oscura en la pieza que identifique cada ciclo.

FUENTES DE ERROR EN LAS MEDICIONES.

Existen factores que pueden ejercer influencia sobre los resultados de las mediciones que se realizan con este sensor, a continuación se analizan las diferentes fuentes de error presentes en cualquier medición de este tipo.

Resolución del sistema adquirente de señal de salida.

En principio, la resolución del sistema de adquisición (ya sea un voltímetro, un osciloscopio o una PC) definiría la resolución de este instrumento. Por ejemplo, si se registraran los valores de tensión con un instrumento que permitiera leer hasta las centésimas de Volts, al ser multiplicado por la pendiente de la curva característica en ese punto (sensibilidad), daría la aproximación del instrumento en milímetros. En el caso de la medición anterior, si se hubiera medido con un instrumento de esa resolución, la aproximación rondaría los 0,7 micrones.

Uniformidad de la superficie.

Los defectos en la superficie pueden originar variaciones en la señal y ser mal interpretados como acercamientos o alejamientos. Al tratarse de un cilindro que gira, el sensor se encuentra midiendo en cada momento sobre una superficie diferente, el mal estado de la misma por óxidos, suciedad, mala terminación, golpes, zonas opacas o brillantes, etcétera, modifica las condiciones de reflexión de luz y por lo tanto también la cantidad de luz acoplada por el sensor. Este tipo de defecto da lugar a mediciones más “ruidosas”, y con puntos singulares que se apartan de la tendencia general. Esta quizás sea la mayor dificultad técnica al momento de realizar mediciones frente a superficies con movimiento giratorio. Lo cual significa que deberá ponerse atención en el estado de la superficie de medición y hacer una criteriosa interpretación de la medición (en caso de tener valores que se aparten de una tendencia general o lecturas ruidosas).

Luz exterior.

El método de detección de luz que utiliza este sensor, no es selectivo en longitud de onda. Por este motivo el sensor podría, rigurosamente hablando, ser sensible a las variaciones de luz ambiente, este efecto podría ser más notorio cuando se trabaja con los valores de resistencia más elevados (1MOhm y 10MOhm). Sin embargo en la práctica, durante las mediciones, no se observó ninguna influencia de la luz ambiente sobre la señal (comparando ambientes iluminados con ambientes oscuros). Esto es debido a que la luz exterior que puede ser acoplada por la fibra óptica en las condiciones en que se realizan las mediciones, es mínima. En definitiva, para esta clase de mediciones no tiene influencia, pero no puede desconocerse que en otros modos de uso podría llegar a tenerla.

Curva característica del sensor.

Según el método propuesto, para la interpretación de datos es necesario haber realizado previamente una calibración, es decir haber relevado la curva característica del sensor frente a la superficie. Los errores que se cometan en esta etapa, serán acarreados en las siguientes.

La toma de puntos para la construcción de la curva se encuentra influenciada por las características de los instrumentos que se utilizan en esa operación, que son la cabeza micrométrica y el adquisidor de señal.

Por otra parte, una vez realizada esta caracterización experimental, es necesario modelar el comportamiento en forma matemática para poder luego trabajar con la señal. Como ya se ha mostrado, esta aproximación nunca ajusta perfectamente a los valores experimentales, pero aun así suele resultar muy buena, sobre todo en intervalos centrales (verificable a través del cálculo del coeficiente de correlación muestral r).

Defectos de posicionamiento.

Durante la etapa de calibración se deben realizar pequeños desplazamientos controlados en dirección normal a la superficie. Esta condición se obtiene, en principio visualmente y luego se busca la posición angular correcta buscando la máxima señal de salida, que está asociada a la mínima distancia a la superficie (condición de perpendicularidad).

Aun así, siempre existirá algún defecto de perpendicularidad.

En la figura 5.16 se ilustra lo que ocurre cuando la dirección del sensor no coincide con la normal de la superficie.

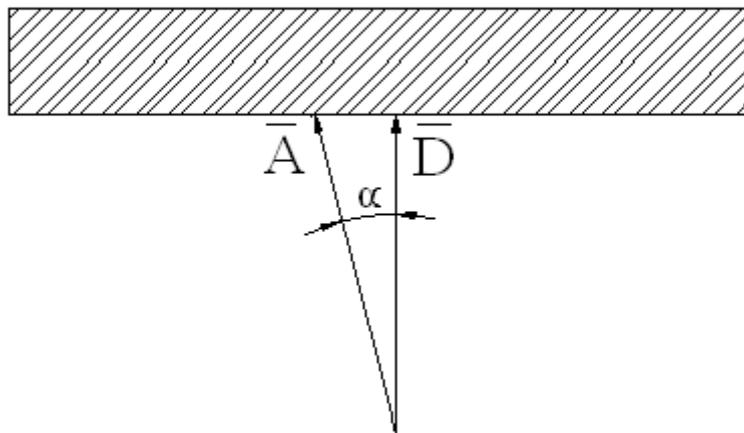


FIGURA 5.16. La medición se lleva a cabo con desplazamientos controlados en la dirección A, que por defectos de posicionamiento resulta diferente a la normal D.

En el proceso de calibración se realiza un desplazamiento controlado de módulo A según esa dirección, pero el valor de salida registrado será de módulo D.

$$D = A \cdot \cos(\alpha)$$

Luego durante la medición con la máquina en funcionamiento, los acercamientos o alejamientos de la pieza al sensor serán cuantificados equivocadamente, pues un desplazamiento de magnitud D, será valuado como uno de magnitud A.

Respecto de esto último puede inferirse que este tipo de desviaciones traen el efecto de magnificar los valores de la medición, por ejemplo el salto radial presente en el giro de un husillo.

El error absoluto será: $E = |D - A|$

$$E = A \cdot (1 - \cos(\alpha))$$

El error relativo será $Er = E / A = 1 - \cos(\alpha)$

En la tabla 5.2 se muestran los errores porcentuales de medición en los que se incurre según el desvío del ángulo del sensor.

Ángulo de desvío (grados)	Coseno del ángulo	Error porcentual
1	0,99984785	0,0%
2	0,999391444	0,1%
3	0,998630924	0,1%
4	0,997566518	0,2%
5	0,996198553	0,4%
6	0,994527443	0,5%
7	0,992553698	0,7%
8	0,990277918	1,0%
9	0,987700795	1,2%
10	0,984823114	1,5%
11	0,98164575	1,8%
12	0,978169671	2,2%
13	0,974395933	2,6%
14	0,970325686	3,0%
15	0,965960169	3,4%
16	0,961300708	3,9%
17	0,956348723	4,4%
18	0,95110572	4,9%
19	0,945573295	5,4%
20	0,93975313	6,0%

TABLA 5.2. Error en la medición debido al defecto de perpendicularidad del sensor frente a la superficie.

El error está expresado en forma porcentual y se muestran valores para defectos angulares de hasta 20 grados, aunque se estima que difícilmente un error de este tipo pueda superar los 10 grados. Un defecto de perpendicularidad de 10 grados se traduciría en un error del 1,5% en la medición final.

Si bien existe un error asociado a diferentes factores, se observa que cuando las mediciones son realizadas en condiciones adecuadas los resultados son confiables.

VERIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE TORNO PARALELO.

Sobre el torno paralelo *SIDERAL 230 ESPECIAL* se decidió abordar dos de las mediciones que se consideraron de mayor relevancia:

- Alineación del eje real de giro del husillo, con respecto a su eje geométrico.
- Paralelismo entre el eje de giro del husillo y el desplazamiento longitudinal del carro porta-herramienta.

Se tuvo a disposición una pieza patrón como la que se describió antes (Capítulo II, *Antecedentes y estado del arte*), que si bien cumple con las exigencias dimensionales que plantea la norma, fue fabricada hace algunos años y el paso del tiempo llegó a deteriorar la superficie con pequeñas marcas de óxido y puntos oscuros. Esta condición es una desventaja al momento de efectuar mediciones con el sensor de fibra óptica por intensidad de reflexión de luz. En la figura 5.17 se muestra la configuración del conjunto utilizada durante los proceso de medición.

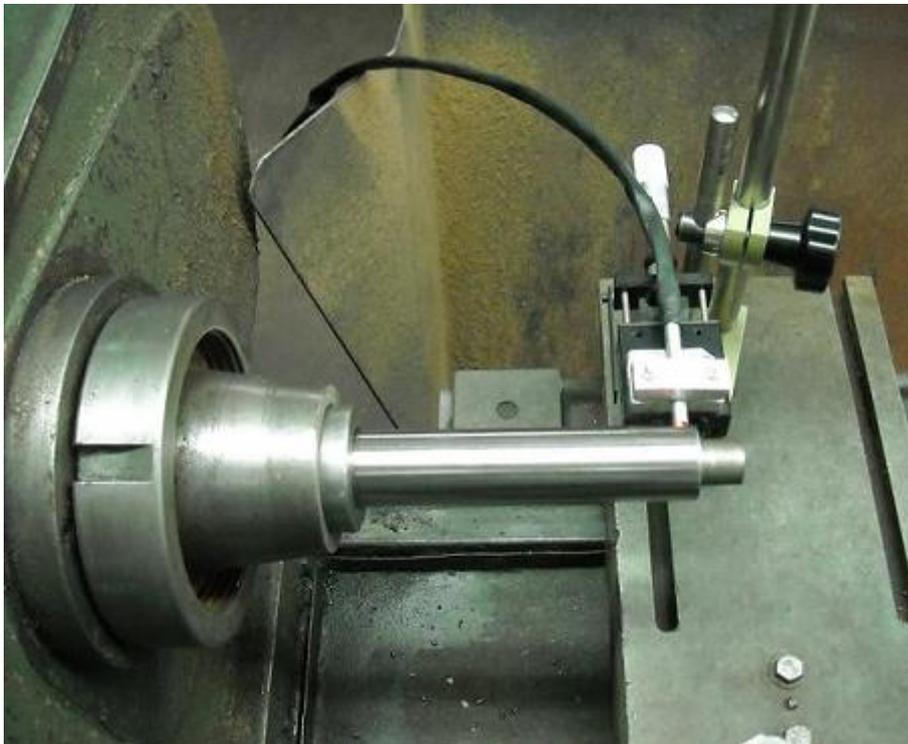


Figura 5.17. Configuración empleada para las verificaciones sobre el torno SIDERAL.

Alineación del eje real de giro, con respecto al eje geométrico del husillo:

El máximo valor admisible de salto radial sobre la sección alejada del cono del husillo es de **0,020mm** en tornos de precisión normal. Mientras que el máximo admisible en la sección próxima al husillo es de **0,010mm**.

Los resultados obtenidos se muestran seguidamente en la tabla 5.3.

	Sección cercana al husillo.		Sección lejana al husillo.	
	Plano horizontal	Plano vertical	Plano horizontal	Plano vertical
Salto radial promedio [mm]	0,206	0,175	0,249	0,172
Máximo salto radial admitido [mm]	0,010		0,020	

Tabla 5.3. Salto radial observado.

Los valores obtenidos se encontrarían fuera de los límites admitidos por la norma en todos los casos. Pero debe tenerse en cuenta que estas mediciones llevan involucrado el error propio del método trabajando en condiciones que se apartan de la condición ideal. El hecho de que las mediciones sean resultado de un promedio, genera que las lecturas excesivamente ruidosas eleven los valores finales de salto radial. A continuación, en la figura 5.18 se muestra un registro dinámico que evidencia esta situación.

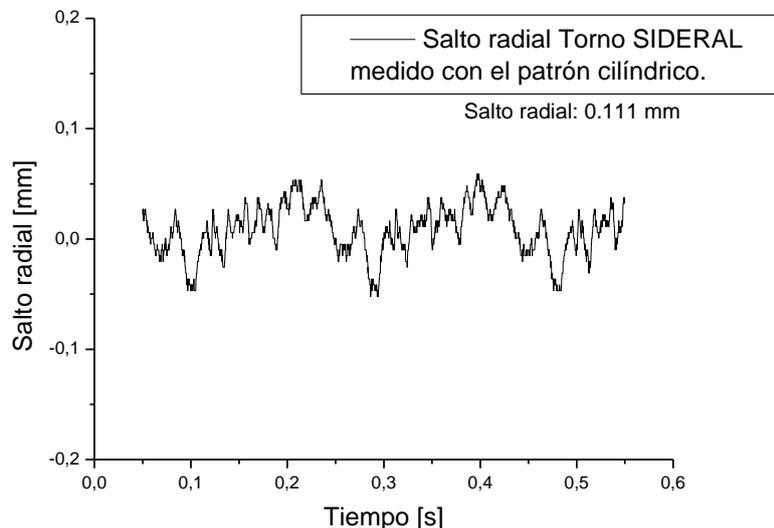


FIGURA 5.18. Medición dinámica del falso redondo de rotación, sobre el mandril de verificación que materializa el eje del husillo, se observa alto nivel de ruido.

Para contrastar con estas mediciones, fueron hechas previamente las mediciones de salto radial con un indicador a reloj (comparador centesimal). Se efectuaron directamente sobre el cono del husillo (sin necesidad de un mandril de verificación) lo cual agrega más confianza a la medición. En aquel caso los valores leídos no superaron los **0,010mm** en ninguno de los dos planos, hace pensar que los resultados anteriores no representan correctamente el estado de la máquina.

Las principales fuentes de error están asociadas al empleo del patrón de verificación, es posible que el calce dentro del husillo no sea perfectamente coaxial, dando lugar a ese pequeño salto radial. Además la señal obtenida tiene bastante dispersión alrededor de la tendencia cíclica general, este ruido es propio de cambios en la reflectividad de la superficie y no se lo debe interpretar como desplazamientos radiales. Existen soluciones para filtrar este ruido ya sea introduciendo componentes electrónicos en los circuitos

(filtro previo a la adquisición), o bien aplicando soluciones de software para filtrar la señal una vez que ya fue adquirida.

Paralelismo entre el eje de giro del husillo y el desplazamiento del carro longitudinal.

Se procedió desplazando el carro con un paso de 10mm, mientras se capturaban los datos de salida. En tornos de precisión normal, los máximos valores admisibles son de **0,015mm** en el plano horizontal, y **0,040mm** en el plano vertical (para una longitud de 300mm). Esta diferencia radica en que el paralelismo en el plano horizontal tiene mayor incidencia en la calidad de forma de la pieza mecanizada, por esa razón la norma es más exigente en dicho plano. Los resultados se muestran en las figuras 5.19.

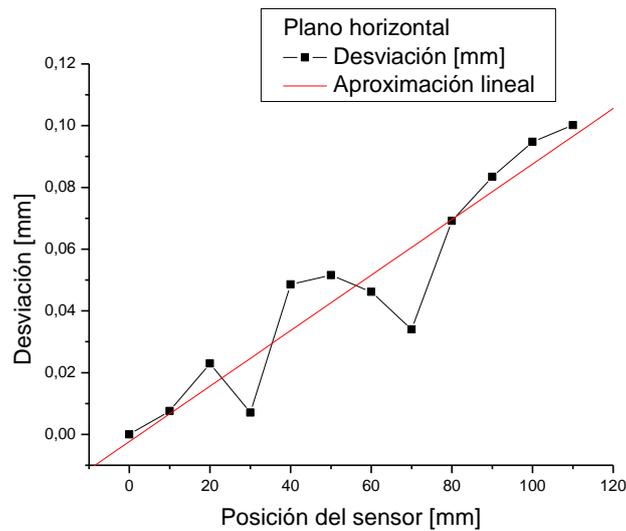


FIGURA 5.19.a. Medición de paralelismo entre el eje de giro del husillo y el desplazamiento del carro longitudinal, en el plano horizontal.

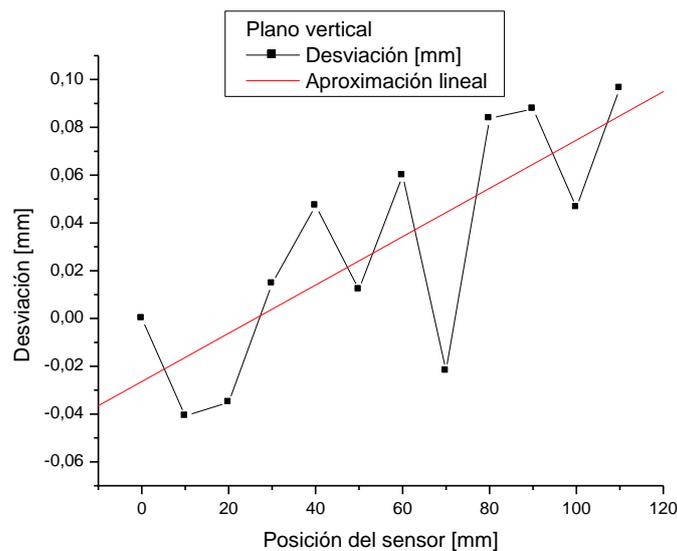


FIGURA 5.19.b. Medición de paralelismo entre el eje de giro del husillo y el desplazamiento del carro longitudinal, en el plano vertical.

Si bien las mediciones resultan algo dispersas, es posible apreciar tendencias. En cada caso se realizó una aproximación lineal, según la cual los valores de desvío de paralelismo resultan:

	Plano horizontal	Plano vertical
Desvío de paralelismo (en 120mm)	0,105	0,122
Desvío de paralelismo (estimado en 300mm)	0,262	0,305
Valor admitido (en 300mm)	0,015	0,040

Tabla 5.4. Muestra los valores de desvío de paralelismo medidos en 120mm, y la estimación para el desvío en 300mm pues la norma refiere sus límites a una medición de tal longitud.

Al igual que lo ocurrido en las mediciones de salto radial en la verificación anterior, la lectura contiene un nivel de ruido alto sumado a la tendencia lineal de desviación de paralelismo. Esto ocurre en ambos planos y apunta nuevamente a las condiciones en las cuales ha de llevarse a cabo la verificación.

Para realizar en forma exitosa las verificaciones propuestas por la norma IRAM 5090 es necesario disponer de un cilindro patrón que cumpla con los requerimientos de forma y a su vez refleje la luz con igual intensidad en toda su superficie.

OTRAS APLICACIONES DEL SENSOR DE FIBRA OPTICA.

Si bien este sensor ha sido puesto a prueba frente a aplicaciones que involucran al torno paralelo, su utilización se hace extensiva a otras máquinas-herramientas (fresadoras, rectificadoras, etc.), a diversos sistemas mecánicos, y al control y la automatización de procesos. A continuación se muestran otras aplicaciones en las cuales fue puesto a prueba el sensor.

Medición de vibraciones:

Se registraron las oscilaciones de una barra de aluminio que, después de un apartamiento respecto de su posición de equilibrio, quedó oscilando libremente.

Las características de la barra son:

- Módulo elástico (Aluminio) $E = 7,5 \cdot 10^5 \text{ Kgf/cm}^2$
- Densidad (Aluminio) $= 2,7 \text{ gr/cm}^3$
- Longitud 307mm.
- Sección cuadrada de 9,5mm de lado.
- Frecuencia Natural de oscilación en Hz teórica.

$$f = 0,65 * \frac{1}{L^2} * \sqrt{\frac{EI}{A\rho}}$$
$$f = 85,9 \text{ Hz.}$$

El resultado de la medición es el que muestra a continuación la figura 5.20.

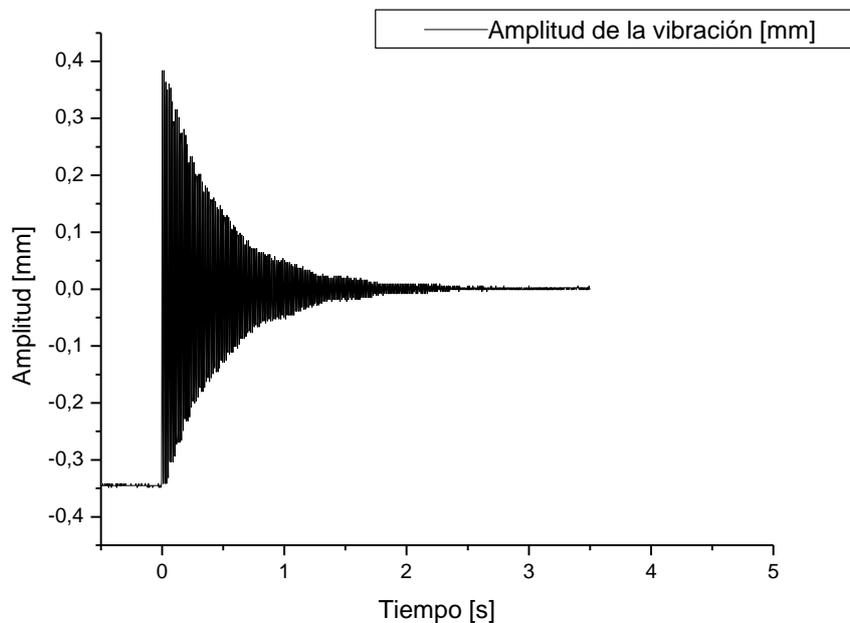


FIGURA 5.20. Muestra del registro de la oscilación libre de la barra de aluminio, con los valores en milímetros.

Se observa el decremento exponencial en la amplitud de la oscilación. A continuación se traza sobre este registro (figura 5.21.a), punto a punto la curva envolvente con el objetivo de aplicar una aproximación exponencial con un software de cálculo, graficada en la figura 5.21.b.

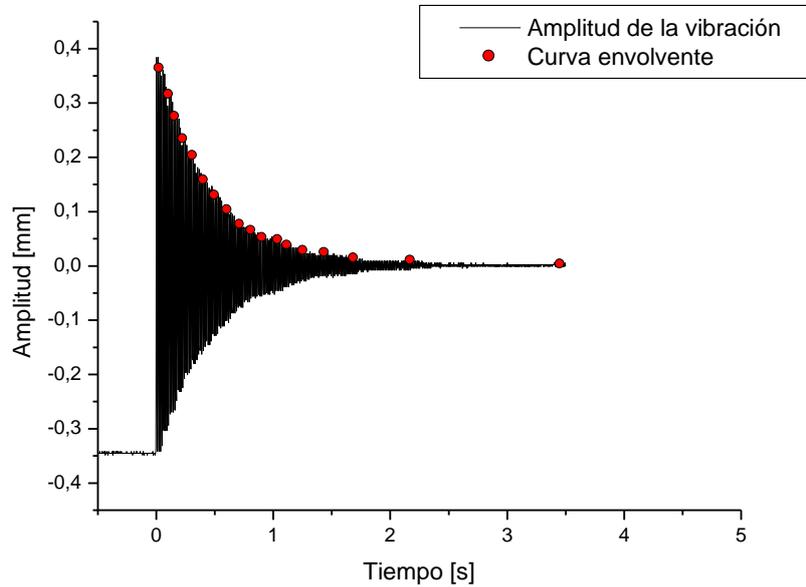


FIGURA 5.21.a. Curva envolvente trazada punto a punto sobre el registro de vibración.

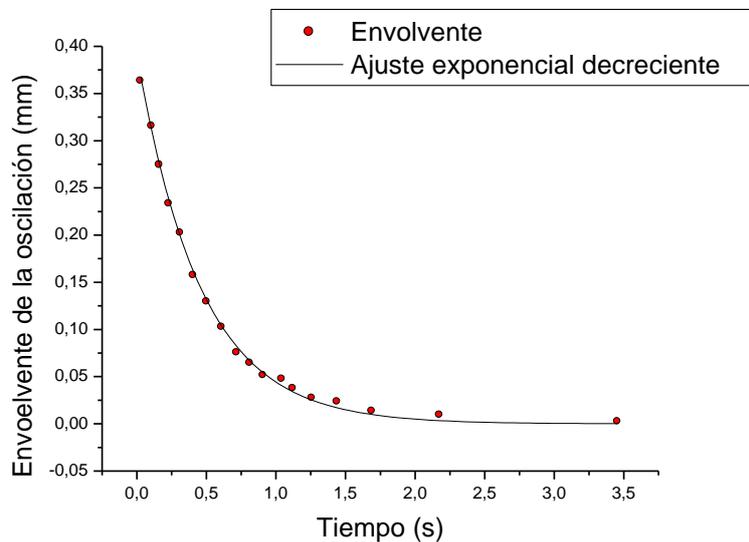


FIGURA 5.21.b. Curva envolvente trazada punto a punto junto con el ajuste exponencial.

Nuevamente el software arroja los valores de los coeficientes y el valor de r^2 (medida de la calidad de la aproximación hecha).

$$\text{Amplitud [mm]} = 0,39137 * e^{(-t / 0,45865)}$$

$$r^2 = 0,99859$$

Además, con este mismo registro es posible calcular la frecuencia natural de oscilación de la barra. Para ello es necesario hacer *zoom* sobre el gráfico, e ir saltando punto a punto con el cursor. De esa manera es posible contar la cantidad de ciclos y el tiempo transcurrido entre ellos (figura 5.22).

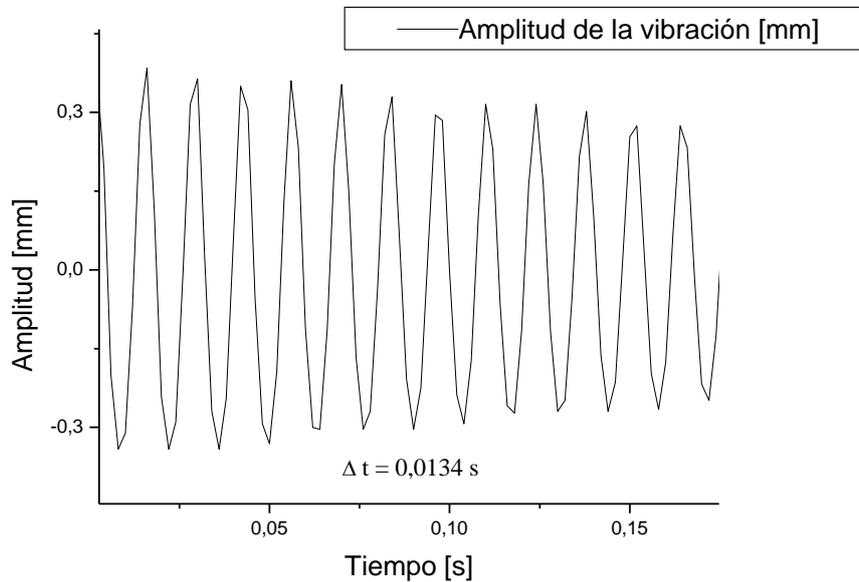


FIGURA 5.22. Gráfico amplificado, realizado con los valores pertenecientes al registro original.

La respuesta observada fue una frecuencia natural de oscilación $f = 74 \text{ Hz}$, que resulta ser el 86% del valor esperado, seguramente debido a que los valores de densidad y módulo elástico utilizados en el cálculo son estimaciones que pueden tener variaciones en cada caso particular.

Algunas otras mediciones de este tipo que fueron llevadas a cabo, se muestran en el Apéndice VIII.

Empleo como tacómetro:

De manera simple, con los resultados de las primeras mediciones, es posible calcular el número de revoluciones que realiza la máquina por unidad de tiempo. En la figura 5.23, se señala la duración de un ciclo en forma gráfica.

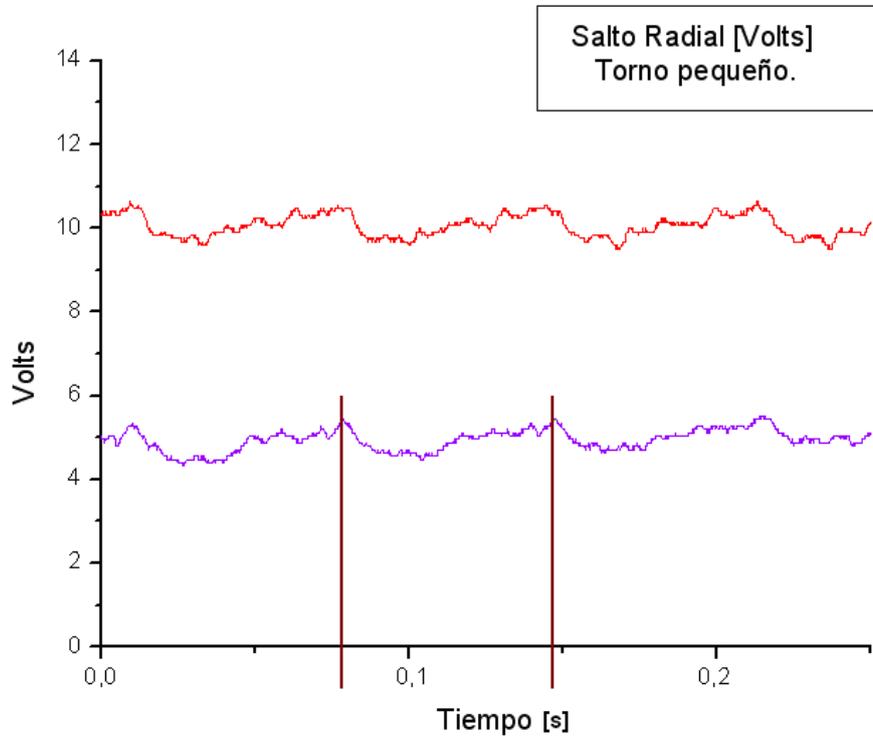


FIGURA 5.23. Registros de tensión en función del tiempo identificando la duración de un ciclo.

Los valores señalados en la escala de tiempo corresponden a 0,0784 segundos, y 0,1478 segundos. La duración del período resulta 0,0694 segundos.

En 60 segundos la máquina habrá realizado 864,6 revoluciones, es decir que se encontraba girando a **864,6rpm**. La velocidad indicada en el selector del torno para este ensayo fue de 840rpm. En comparación son velocidades muy similares y su discrepancia puede deberse a los distintos estados de carga en que la máquina es capaz de trabajar.

Empleo como detector “SÍ / NO”:

La utilización de este sensor podría extenderse a aplicaciones de control y automatización, por ejemplo en líneas de producción. Allí puede resultar útil detectar una zona en particular dentro de un producto o material en proceso, o bien la presencia o no de un objeto. Es posible identificar dicha zona de interés previamente (con una marca oscura por ejemplo), para luego obtener una variación significativa de tensión de salida en el momento en que dicha zona es detectada, permitiendo así, la implementación de una acción automatizada, así lo ilustra la figura 5.24.

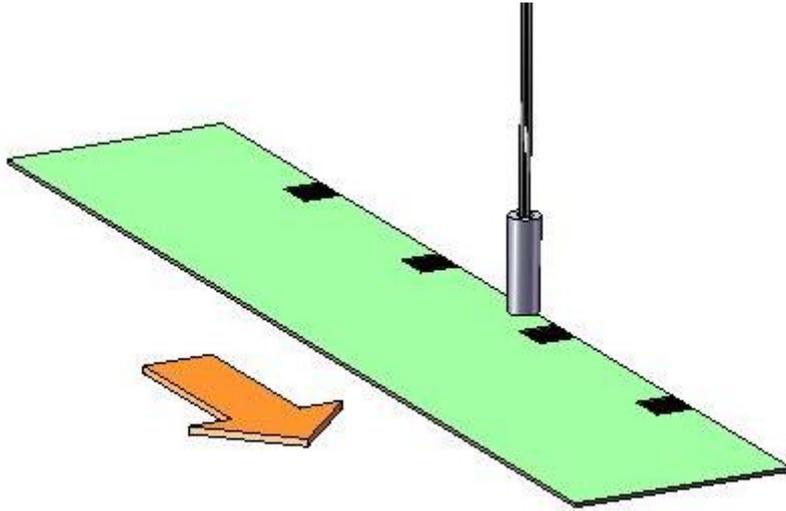


FIGURA 5.24. Una cinta de material en movimiento lleva impresas marcas oscuras de referencia, el sensor las traduce en variaciones de señal.

El empleo como detector “SÍ / NO” encuentra aplicación en diversos campos trabajando como sensor en dispositivos de disparo o en diferentes tipos de alarma, siempre asociado a elementos complementarios. Inclusive podría trabajar en el monitoreo de distintas variables en forma indirecta, midiendo la distancia existente hasta algún elemento de referencia pudiendo por ejemplo, dar indicación del nivel de un determinado producto contenido en un recipiente o trabajar en aplicaciones similares.

MEDICIÓN DE VIBRACIONES DE UN TORNO PARALELO.

Sobre el torno paralelo *SIDERAL* perteneciente al Taller de Máquinas-Herramientas de la Facultad de Ingeniería de la UNMDP, modelo *230 ESPECIAL*, se tomaron mediciones de vibraciones a diferentes velocidades de giro del husillo.

Se dispuso el instrumental de medición sobre un soporte exterior al torno, y se realizaron las mediciones con el sensor enfrentado a una pequeña chapa solidaria a la máquina. En primer lugar se midió la vibración producida solamente por el funcionamiento del motor, habiendo desacoplado el giro del husillo mediante el mecanismo de embrague.

En la figura 5.25 se muestra el registro obtenido, con el motor produciendo una perturbación de 1495 ciclos por minuto.

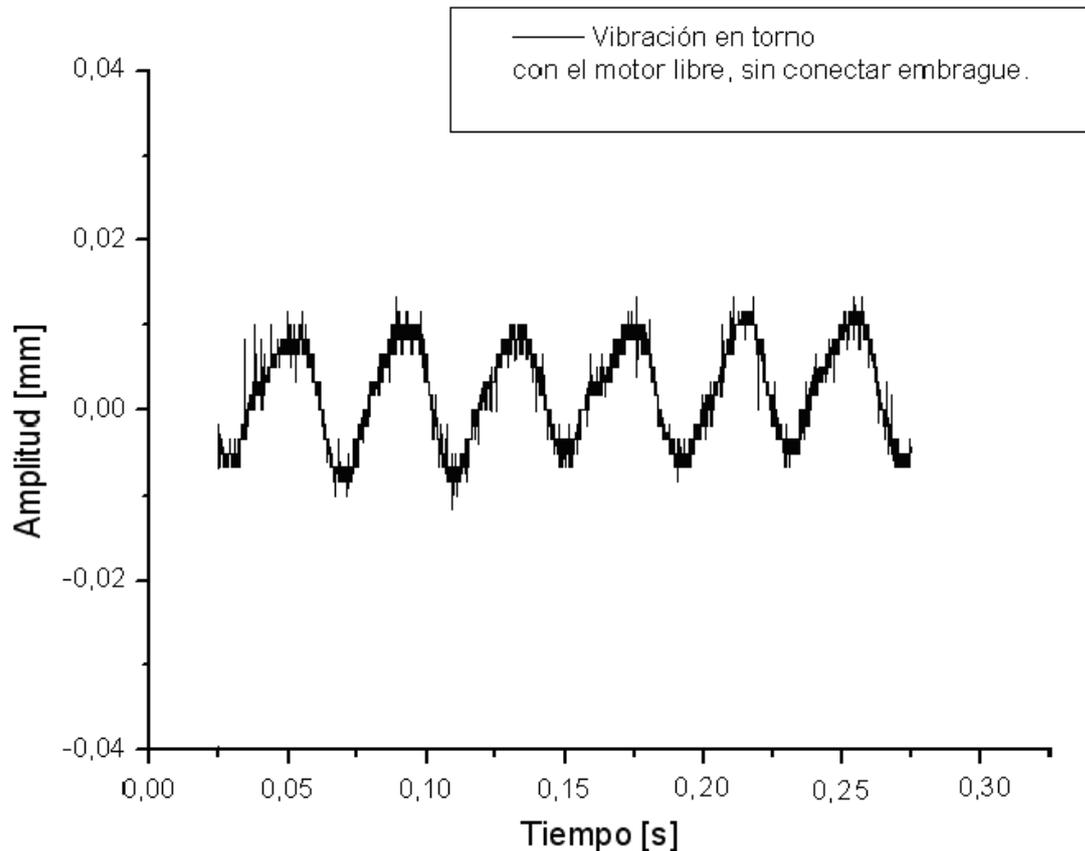


FIGURA 5.25. Vibración medida en la parte posterior del torno, sin conectar el movimiento del husillo.

La doble amplitud de la vibración resulta de **0,018mm** (considerando que la amplitud es la distancia máxima al punto de equilibrio).

Luego se realizaron mediciones con el husillo en movimiento, a distintas velocidades de giro. La tabla 5.5 muestra los resultados.

Velocidad de giro [r.p.m.]	Doble amplitud de vibración [mm]	Salto de tensión [Volts]
750	0,015	0,18
880	0,022	0,26
945	0,027	0,32
1000	0,020	0,24

Tabla 5.5. Resultado de las mediciones de vibración a diferentes velocidades de giro.

Se observa un aumento en la amplitud de las vibraciones en el entorno de las 945 revoluciones por minuto. En la figura 5.26 se muestran gráficamente dichos valores.

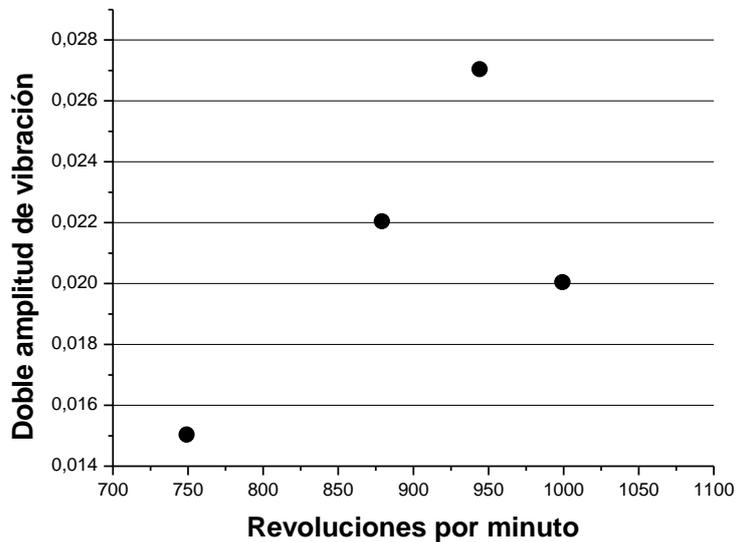


Figura 5.26. Ubicación gráfica de los valores de la tabla 5.5

Estas mediciones fueron realizadas sin colocar el plato de tres mordazas en el husillo, de manera que existe una significativa diferencia entre estas condiciones y las condiciones normales de uso de la máquina. Experiencias de trabajos anteriores revelaron la presencia de una zona de resonancia comprendida entre las 750 y las 810 r.p.m. cuando la máquina funciona en condiciones normales. En estas dos diferentes condiciones, se observa comparativamente un corrimiento de la frecuencia natural del conjunto, el cual es debido al notable cambio inercial que introduce la presencia del plato.

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL PRODUCTO FINAL OBTENIDO.

Al momento de dar especificaciones acerca de las prestaciones del instrumento, es necesario referirse a alguna condición de trabajo determinada. En trabajos de laboratorio en los que se cuidaron detalles de posicionamiento y se dispuso de elementos suficientemente rígidos, se lograron buenos valores de precisión y bajos valores de incertidumbre durante las calibraciones del instrumento.

Los desplazamientos controlados fueron realizados mediante un carro con tornillo micrométrico graduado *PARKER*, y los registros de tensión de salida fueron tomados con un multímetro comercial que se utilizó con una resolución de la centésima del Volt (0,01V). En tales condiciones y trabajando con un valor de ganancia intermedio (470KOhm), se obtuvo frente a una superficie de acero opaco una curva de calibración muy buena, pues no presenta prácticamente zona de saturación (ello implica mayores rangos de trabajo) y al mismo tiempo se extiende en un amplio intervalo de tensiones (esto último aporta mayor pendiente a la curva y por ende mayor sensibilidad).

En la figura 5.27 se muestra la mencionada curva y se representan los diferentes rangos de trabajo:

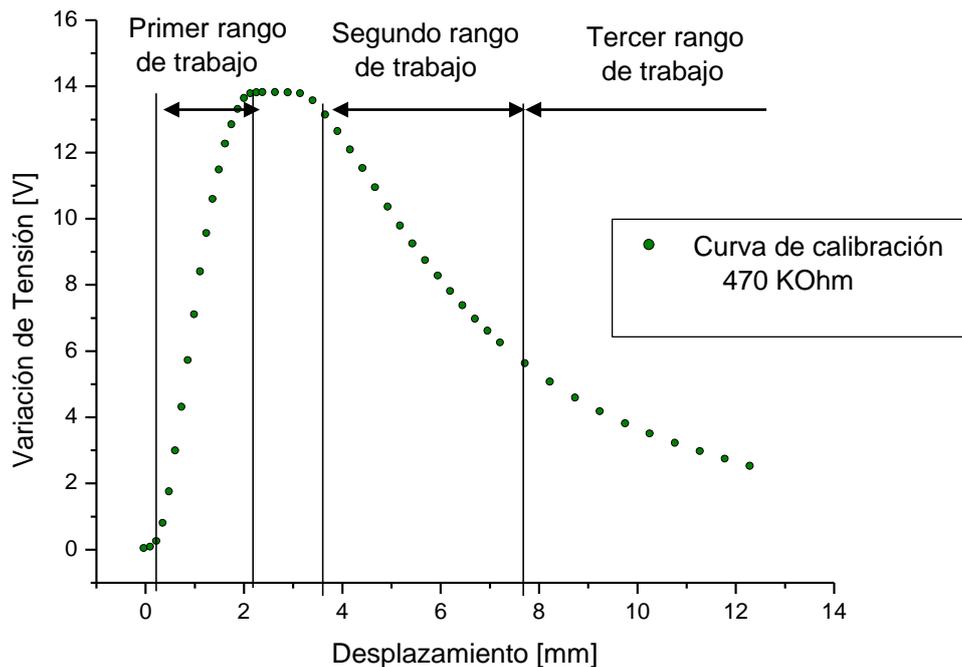


FIGURA 5.27. Curva característica de laboratorio, adoptada como referencia para dar especificaciones del instrumento.

En la gráfica de la figura 5.26 se identifican tres posibles zonas de trabajo. La primera de más alta sensibilidad pero menor rango (generalmente utilizada), la segunda es de mayor extensión pero con un marcado descenso en la sensibilidad, y la tercera es una zona que podría elegirse en situaciones particulares en que se midan desplazamientos de un orden mayor sin grandes requerimientos de aproximación en la medición. La información se resume en la tabla 5.6.

<i>Ganancia 470KOhm</i>	Amplitud rango de trabajo [mm]	Sensibilidad [mm/V]	Aproximación*1 [mm]	Incertidumbre*2 [mm]
1er Rango de trabajo	2,0	0,13	0,0013	≈ 0,0013
2do Rango de trabajo	4,0	0,53	0,0053	≈ 0,0053
3er Rango de trabajo	mayor a 4,0	1,50	0,0150	≈ 0,0150

TABLA 5.6. Especificaciones del instrumento en condiciones de laboratorio.

*1. La aproximación es la menor fracción de una magnitud que el instrumento puede medir.

*2. Los valores de incertidumbre mostrados en la tabla se calculan asumiendo que el instrumento de medición de señal posee una incertidumbre del orden de su resolución, por eso son valores aproximados.

La sensibilidad está dada por la pendiente de la curva en cada tramo, la aproximación resulta de multiplicar aquella sensibilidad por la resolución propia del instrumento de medición de señal utilizado (voltímetro: 0,01V). De igual manera la incertidumbre del instrumento de medición de señal también se traslada al sensor proporcionalmente a la sensibilidad.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.

La ejecución de este proyecto consistió en el diseño y la construcción de un sensor óptico, enfocado a la verificación de máquinas-herramientas. Como resultado quedó construido y caracterizado el sensor, a disposición del Grupo Tecnología Mecánica de la Facultad, por un costo relativamente bajo.

El funcionamiento intrínseco del sensor resultó bueno, con un gran acople de luz en cada una de las fibras por medio de los dispositivos de posicionado.

Se obtuvieron las ventajas propias de este tipo de sensores: no invasivo, señal de salida digital, posibilidad de obtener registros en función del tiempo, inmunidad al electromagnetismo.

El empleo de este sensor, por su exactitud, resulta muy adecuado para realizar ciertas mediciones, mientras que para otras es dependiente de variables propias de los elementos sometidos a la medición y ajenas al sensor. Se lo encuentra muy bueno funcionando como tacómetro y como sensor de vibraciones o desplazamientos de una superficie invariante.

Cuando la superficie sobre la cual se mide varía (caso de salto radial, salto axial, paralelismo, defectos de forma, etc.), la confiabilidad de la medición depende de la calidad superficial de la pieza y su homogeneidad en cuanto a reflexión de luz. Es por ello que para abordar mediciones por norma de este tipo, resulta fundamental disponer de patrones adecuados en tales aspectos. Esta problemática podría ser afrontada también con recursos de la electrónica, incorporando sistemas de filtrado de señales, que se encarguen de separar el ruido existente.

Durante la ejecución del proyecto hubo un valioso proceso de aprendizaje acerca de las técnicas ópticas de medición y su aplicación en el campo de la mecánica, como así también de las etapas experimentales y constructivas del sensor.

Queda material disponible para la realización de una práctica de laboratorio, como aporte a la cátedra de Metrología Dimensional, en la que se transmita parte del conocimiento adquirido, explicándose los fundamentos del método, con la posibilidad de realizar una demostración frente a los alumnos.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA.

1. Moncada, Osvaldo J. - Echeverría María D. *Procesos de Fabricación. Apunte de cátedra, segunda parte*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2006.
2. Normas IRAM 5294. *Código de ensayo de Máquinas herramienta*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 1971.
3. Normas IRAM 5090. *Torno Paralelo. Verificación geométrica y ensayo práctico*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 1987.
4. Gallardo, Mario. *Láser y Óptica en Ciencias e Ingeniería (LOCI), Metrología Óptica*. La Plata, Centro de Investigaciones Ópticas. 1987.
5. Udd, Eric. *Fiber Optics Sensors – An introduction for Engineers and Scientists*. Chapter 1 (pags. 1-8). EEUU, John Wiley & Sons (eds), 1991.
6. Rossi, Mario. *Máquinas-Herramientas modernas*. Sexta edición. Barcelona: Editorial Hoepli, (eds.), 1967.
7. Lucchesi, Domenico. *Verificación de Piezas y Máquinas Herramientas*. Nuevos manuales técnicos labor. Barcelona: Editorial Labor (eds), 1973.
8. Udd, Eric. *Fiber Optics Sensors – An introduction for Engineers and Scientists*. Chapter 6, (pags. 139-156). EEUU, John Wiley & Sons (eds), 1991.
9. Arenas, Gustavo F. *Tesis Doctoral.*, “Desarrollo de sensores de fibra óptica: aplicación de un interferómetro Fizeau al estudio de polímeros”. Mar del Plata, UNMdP, 2009.
10. OPTEX FA. CO. LTD. *Displacement sensor Lineup*. CD Series. Kyoto, Japón.

CAPÍTULO VIII. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.

En este apartado se describen muy brevemente algunos lineamientos de trabajo que podrían ser abordados con el objetivo de lograr optimizaciones sobre los resultados logrados en este proyecto y mayor desarrollo de los métodos de medición.

-Programación de una rutina en PC para la toma de datos a través de una placa adquisidora. Resultaría de suma utilidad disponer de un sistema adquirente de datos, con el cual sea posible seleccionar distintas modalidades de muestreo, empleando variados valores frecuencia y de tiempos totales de muestreo.

-Modulación de los circuitos emisor y receptor de luz. Es posible incorporar a los circuitos, componentes que modulen la longitud de onda de la luz emitida para que el sensor sea únicamente sensible a esa longitud de onda (modulación y demodulación). De esa manera el sensor será completamente inmune a las variaciones de luz del entorno.

-Implementación de circuitos de filtrado de señal. Con una incorporación de esta clase se espera que la salida de datos del sensor no contenga un nivel de ruido elevado, dotando al instrumento de una mayor resolución y una menor dispersión.

-Diseño y construcción de patrones para la verificación por norma del estado de las máquinas-herramientas. Esta temática puede comprender la construcción total del patrón de verificación, o bien la modificación de alguno existente, pudiendo aplicarse tratamientos superficiales además de las operaciones de mecanizado necesarias.

-Automatización de la calibración. La propuesta es generar un programa de PC que se encuentre vinculado con un sistema de accionamiento, que traslade al sensor con desplazamientos controlados, frente a alguna superficie de trabajo. De esa forma sería útil tener una adquisición de datos cada cierta unidad de desplazamiento realizado. Así podría relevarse de manera automática la curva que caracteriza al funcionamiento del sensor frente a dicha superficie. Luego, con sus propios resultados sería posible que este nuevo programa traduzca directamente la medición de tensión en Volts, a valores de desplazamiento en milímetros.

APÉNDICE I. FUNCIONAMIENTO DE LA FIBRA ÓPTICA COMO GUÍA DE ONDA. [8]

Una fibra óptica es una guía de onda cilíndrica de material dieléctrico (generalmente SiO_2 , aunque también las hay plásticas, de PMMA), compuesta de un núcleo o *core* de radio a , y un recubrimiento o *cladding* de radio b que difieren en su índice de refracción (n_1 y n_2 respectivamente) en apenas unas centésimas (Figura Ap. I. 1).

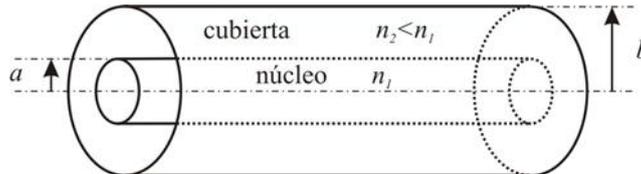


FIGURA Ap. I. 1.

La luz se propaga por la fibra óptica mediante el principio fundamental de reflexión interna total dada por la Ley de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2)$$

A partir del planteo de la ley de Snell en las interfaces aire-núcleo de la fibra, y núcleo- recubrimiento (Figura Ap. I. 2), se pueden definir los siguientes parámetros propios de la fibra óptica:

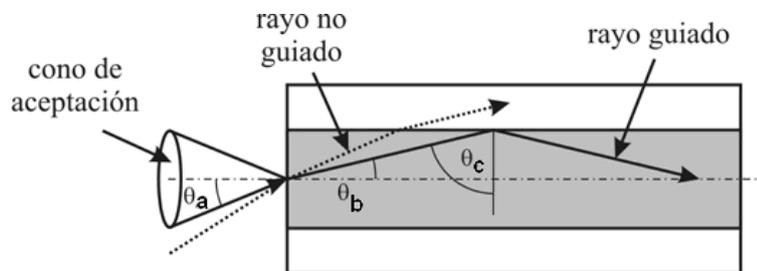


FIGURA Ap. I. 2. Guiado de la luz en una fibra óptica.

Angulo Crítico: tomado con respecto a la normal que se muestra en la figura Ap.I.2. Corresponde al máximo ángulo de incidencia con el que un haz podrá propagarse. Se expresa en función de los índices de refracción:

$$\text{sen}(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1}$$

Apertura Numérica: conocido también como “cono de aceptación”. Es otra manera de expresar el ángulo crítico.

$$NA = \text{sen}(\theta_a) = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

APÉNDICE II. DIFERENTES SENSORES POR INTENSIDAD.

[8]

El tipo de sensor más simple que se puede construir es uno en el que la perturbación modifica directamente la amplitud de la luz, de lo que resulta un cambio de intensidad en el detector. El mayor desafío en este tipo de diseño y su mayor limitación, es separar la fluctuación en la intensidad debido a la perturbación externa de la generada por otras causas espurias (variación de la luz proveniente de la fuente, de la alimentación eléctrica, etc.).

En la Figura Ap. II.1 se muestra un sensor que consiste en dos fibras ópticas dispuestas muy cerca una de la otra, en este caso conforma un sensor de vibración. La luz que se propaga a lo largo de la fibra forma un cono de luz cuyo ángulo depende de la diferencia de los índices de refracción del núcleo y la cobertura o *cladding*.

La luz que pueda ser acoplada por el otro extremo de la fibra depende igualmente del ángulo de aceptación propio y de la distancia “d” de separación entre las dos fibras. Cuando esta distancia cambia, ya sea por una vibración o un desplazamiento, la intensidad de luz varía en consecuencia. El agente externo modulante es bien representado por una intensidad de luz proporcional, en ciertos rangos fáciles de reconocer.

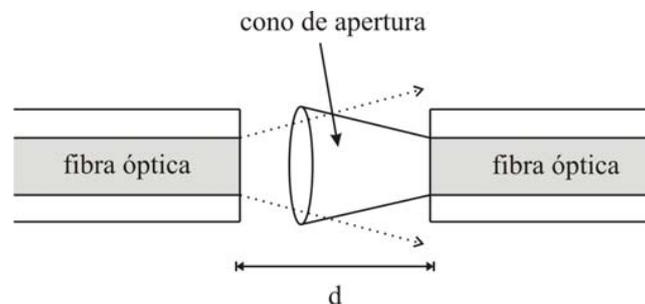


FIGURA Ap. II. 1. Sensor de fibra óptica de intensidad. La luz proveniente de la primera fibra es acoplada a la segunda a partir del cono de apertura característico de la segunda fibra.

Frecuentemente, muchas aplicaciones no permiten una disposición como la mostrada, por ello una variación usualmente empleada se muestra a continuación en la figura Ap.II.2

Esta configuración es la del denominado sensor “Y”.

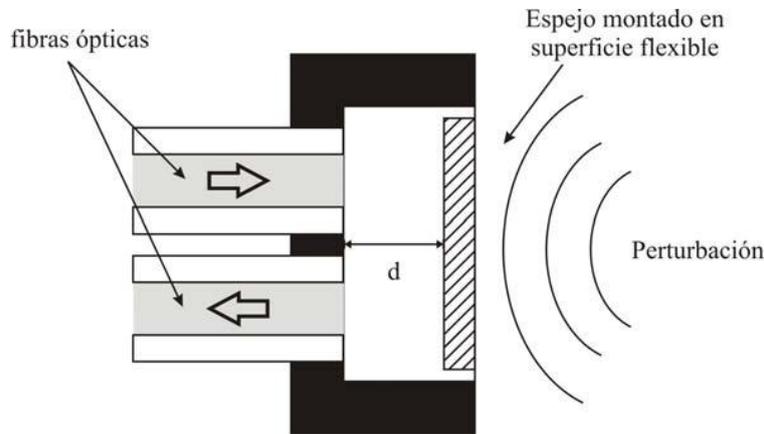


FIGURA Ap. II. 2. Alternativa de sensor de fibra óptica de intensidad utilizando un espejo flexible, o bien montado en una superficie sensible a la perturbación que se quiere medir.

En esta configuración se utiliza un espejo, que es simplemente una superficie suficientemente espejada o pulida que pueda responder a una perturbación externa, como ejemplo la presión de una onda acústica. En este esquema la luz inyectada por una de las fibras se expande y refleja en el espejo para luego ser acoplada parcialmente por la segunda. El grado de acoplamiento dependerá de la distancia de separación entre las fibras y el espejo, y el ángulo de aceptación de la fibra de salida.

A medida que el espejo o reflector varía su posición relativa a causa de la perturbación, se modifica la separación efectiva, generando modulación de intensidad en la segunda fibra. Este tipo de sensores es especialmente útil en aplicaciones donde se desea conocer una información de tipo binaria (*on/off*, cerradura de puertas, etc.). Sin embargo, dependiendo de la calidad del diseño mecánico, pueden utilizarse para mediciones análogas como detección de vibraciones y ondas de sonido, presión, desplazamientos y distancias.

APÉNDICE III. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN POR LÁSER OPTEX.

[9]

CD33 series

CMOS sensor with $\pm 0.1\%$ F.S. linearity packed in a half-palm size.

- Compact design ideal for builtin use with OEM machines.
- Analogue output (4-20mA or 0-10V) + 2 control outputs
- Stand-alone design capable of direct operation without controller



LINEUP

CD5

CD4

CD33

CD3

CD1

CD33-30NV (PV) CD33-30NA (PA)

30mm distance type

Warping / Sagging of PC board

Measurement range : 30 ±4mm
Resolution : 4μm (Fast mode)
Linearity : ±0.1% F.S.



CD33-50NV (PV) CD33-50NA (PA)

50mm distance type

Height of components on the board

Measurement range : 50 ±10mm
Resolution : 6μm (Fast mode)
Linearity : ±0.1% F.S.



CD33-85NV (PV) CD33-85NA (PA)

85mm distance type

Joint of rubber sheet

Measurement range : 85 ±20mm
Resolution : 15μm (Fast mode)
Linearity : ±0.1% F.S.



CD33-120NV (PV) CD33-120NA (PA)

120mm distance type

Loosen rubber sheet

Measurement range : 120 ±60mm
Resolution : 45μm (Fast mode)
Linearity : ±0.1% F.S.



Product code

- CD33-□ NV (N=NPN, V=0-10V)
- CD33-□ PV (P=PNP, V=0-10V)

- CD33-□ NA (N=NPN, A=4-20mA)
- CD33-□ PA (P=PNP, A=4-20mA)

CD33 Series

CD33 ADVANCED TECHNOLOGY

CD5

CD4

CD33

CD3

CD1

The CD33 series is a function rich CMOS laser displacement sensor designed in an ultra-compact housing

Just 65g weight.

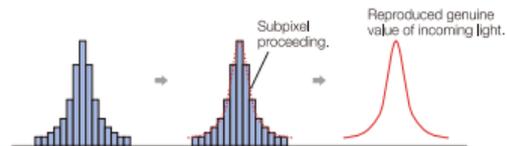
Stand-alone design dedicates space-saving as well as cost-saving.

No separate controller required and thanks to the light weight, the CD33 is ideal for installations on robot end effectors.



Digital subpixel processing

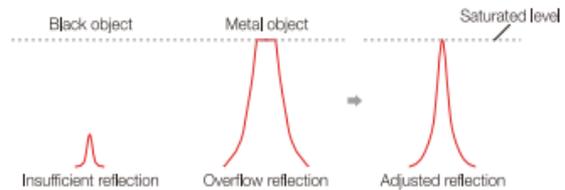
Subpixel processing divides one pixel into small pieces that enables accurate measurement by reproducing genuine value of incoming light.



High resolution electronic shutter

High resolution electronic shutter controls to keep a constant level according to reflection.

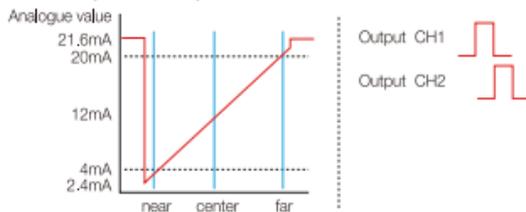
This function enables stable peak level detection even when unstable surface conditions exist.



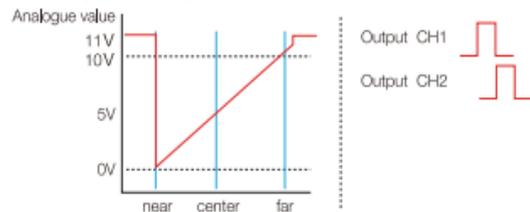
Easy-to-select models between voltage and current output.

It is common today for sensors to be very complicated requiring long set-up times and many buttons to operate. The CD33 focuses on easier set-up by separating voltage and current output models into two types.

4-20mA output + 2CH outputs



0-10V output + 2CH outputs



DIMENSIONS

Cable type

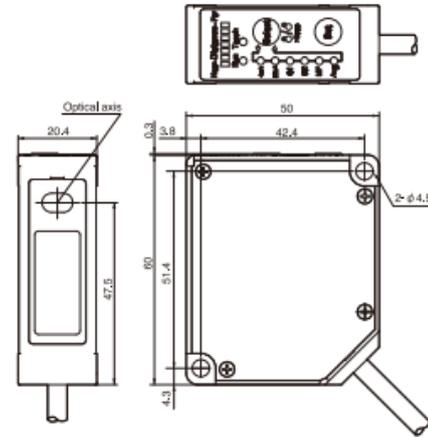
Ideal for robot mounting

Ideal for mounting on robot cylinder thanks to compact dimensions and the light 65g weight. IP67 water tightness is also secured.



Easy operation

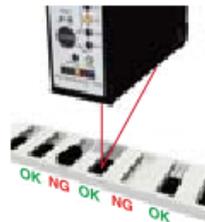
Just two buttons (SET and SELECT) are enough to set and operate. LED indicator shows which function you are setting.



M12 Connector type

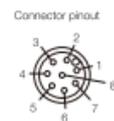
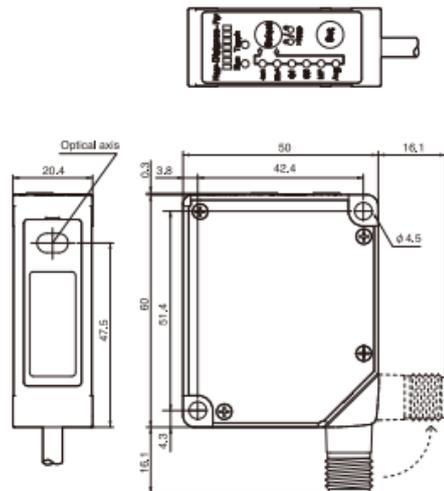
2CH outputs enables individual setting of measurement range.

Highly accurate comparator output capable of identifying $12\mu\text{m}$ (with CD33-30 types). Hysteresis is just 0.15% F.S.



MF (Multi Function) input for further convenience.

The programmable remote MF input can be set to one of the following: Laser o , External teach, Hold, or One-shot trigger.



(mm)



SPECIFICATIONS

Model	Cable type	2control output	CD33-30N / P	CD33-50N / P	CD33-85N / P	CD33-120N / P
		2control output + Analog 4-20mA	CD33-30NA / PA	CD33-50NA / PA	CD33-85NA / PA	CD33-120NA / PA
		2control output + Analog 0-10V	CD33-30NV / PV	CD33-50NV / PV	CD33-85NV / PV	CD33-120NV / PV
		1control output + RS422	CD33-30N-422 / P-422	CD33-50N-422 / P-422	CD33-85N-422 / P-422	CD33-120N-422 / P-422
Connector type	2control output	CD33-30CN / CP	CD33-50CN / CP	CD33-85CN / CP	CD33-120CN / CP	
	2control output + Analog 4-20mA	CD33-30CNA / CPA	CD33-50CNA / CPA	CD33-85CNA / CPA	CD33-120CNA / CPA	
	2control output + Analog 0-10V	CD33-30CNV / CPV	CD33-50CNV / CPV	CD33-85CNV / CPV	CD33-120CNV / CPV	
	1control output + RS422	CD33-30CN-422 / CP-422	CD33-50CN-422 / CP-422	CD33-85CN-422 / CP-422	CD33-120CN-422 / CP-422	
Control output		N = NPN output, P = PNP output				
Measurement range		30±4mm	50±10mm	85±20mm	120±60mm	
Full scale		8mm	20mm	40mm	120mm	
Light source		Red laser diode (wave length 650nm)				
Peak power		1mW max.				
IEC/JIS Class		Class 2				
FDA CLASS		CLASS II				
Spot size (approx.volume) (*1)	Near	0.15×0.15mm	0.6×1.2mm	0.9×1.5mm	1.2×1.8mm	
	Middle	0.1×0.1mm	0.5×1.0mm	0.75×1.25mm	1.0×1.5mm	
	Far	0.15×0.15mm	0.4×0.9mm	0.6×1.0mm	0.5×0.8mm	
Linearity (*2)		±0.1% F.S.				
Resolution(*3)	Fast	4μm	8μm	15μm	45μm	
	Other	2μm	5μm	10μm	30μm	
Supply voltage		12 - 24V DC (-5 to +10%)				
Temp drift		±0.08%F.S. / °C				
Response time (*4)	Fast	1ms+ selecting sensitivity (averaging: 1)				
	Standard	8.5ms+ selecting sensitivity (averaging: 16)				
	High resolution	32.5ms+ selecting sensitivity (averaging: 64)				
	Selecting sensitivity	4ms max.				
Indicators	Distance indicator	bar graph LED				
	Output indicator	ON status : Orange				
Protection category		IP67				
Operating temp / humidity		-10~+45°C / 35~85%RH (No condensation or freezing)				
Storage temp / humidity		-20~+60°C / 35~95%RH (No condensation or freezing)				
Ambient illuminance		Sun light: 10,000lx max. Incandescent lamp: 3,000lx max.				
Vibration resistance		10 to 55 Hz, Double amplitude 1.5 mm, 2 h for XYZ axes				
Shock resistance		50G (500m/s ²)				
Material		PBT (Case) PMMA (Front window)				
Weight	Cable type	approx.65g (without cable)				
	Connector type	approx.70g				

Model	2 Control output	+ Analog 4-20mA	+ Analog 0-10V	2 Control output + RS422
Supply voltage	DC 12-24V (-5%, +10%)		DC 18-24V (-5%, +10%)	DC 12-24V (-5%, +10%)
Current consumption	max. 75mA (DC24V)	max. 80mA (DC24V) including analog output		max. 75mA (DC24V)
Output	Control output 1	NPN / PNP open collector 100mA max. / 30VDC (residual voltage max. 1.8V)		
	Control output 2	NPN / PNP open collector 100mA max. / 30VDC (residual voltage max. 1.8V)		
	Analog output	—	4-20mA	0-10V
Interface	—			RS422
Cable type	Dia : 5mm 5core 2m AWG24 (PVC)	Dia : 5mm 6core 2m AWG24 (PVC)		Dia : 5mm 8core 2m AWG24 (PVC)
Connector type	M12 8pin			

*1 Defined with center strength 1/e²(13.5%). There may be leak light other than the specified spot size. The sensor may be affected when there is a highly reflective object around the targets.

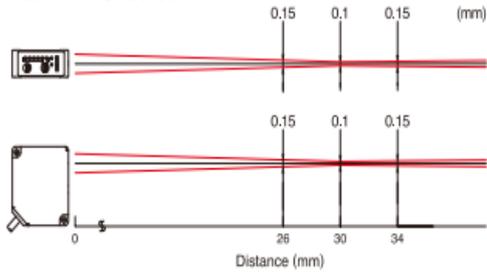
*2 Averaging: 64 (High resolution), Object: white ceramic.

*3 Middle of measuring range, Object: white ceramic.

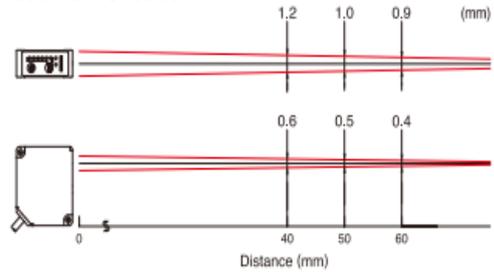
*4 Response time : response time plus selecting sensitivity time.

SPOT SIZE

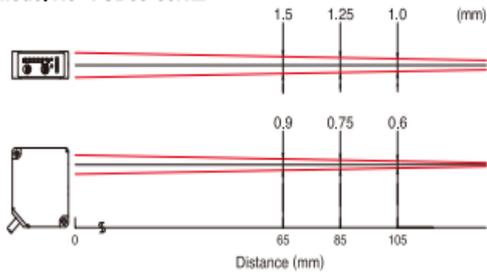
Model No. : CD33-30N □



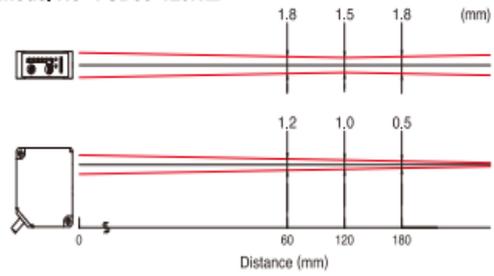
Model No. : CD33-50N □

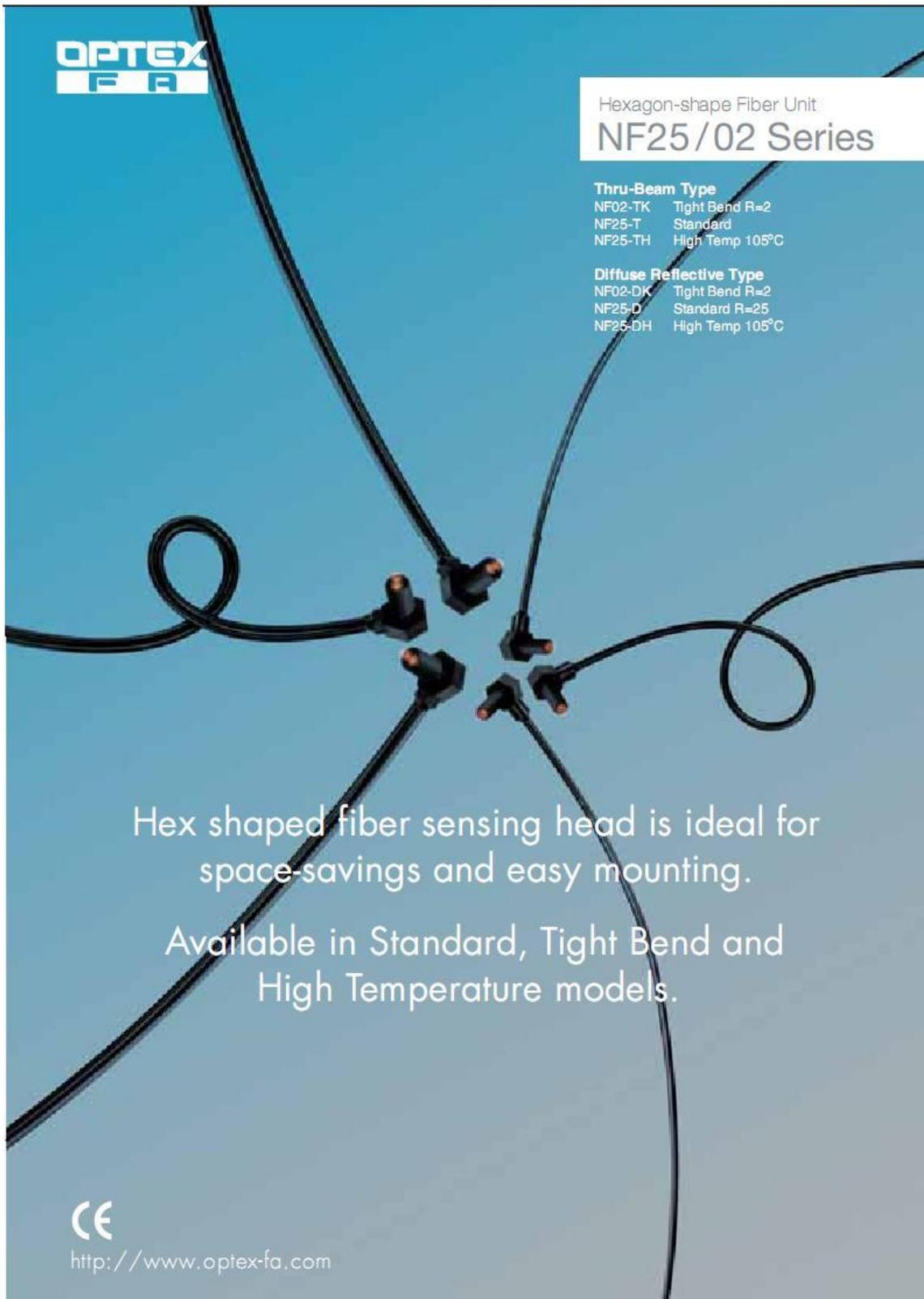


Model No. : CD33-85N □



Model No. : CD33-120N □





**OPTEX
FA**

Hexagon-shape Fiber Unit
NF25/02 Series

Thru-Beam Type
NF02-TK Tight Bend R=2
NF25-T Standard
NF25-TH High Temp 105°C

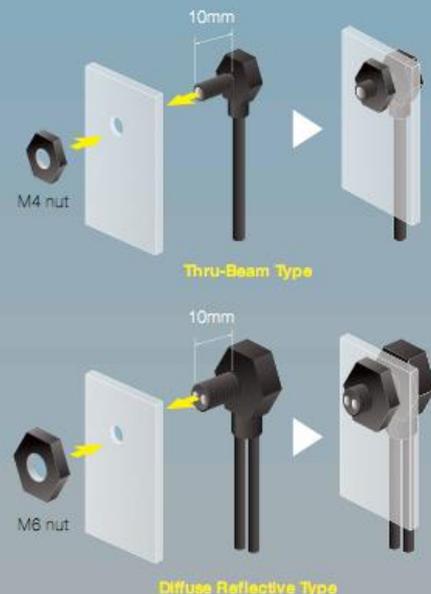
Diffuse Reflective Type
NF02-DK Tight Bend R=2
NF25-D Standard R=25
NF25-DH High Temp 105°C

Hex shaped fiber sensing head is ideal for space-savings and easy mounting.
Available in Standard, Tight Bend and High Temperature models.

CE
<http://www.optex-fa.com>

Easy Mounting

The NF25/02 fiber cables (M4 Thru-beam / M6 Diffuse Reflective) are easily mounted using the threaded tip. All that is required for mounting is a single nut. The threaded tip is sufficient in length to extend through most mounting surfaces.



Thru-Beam Type

Diffuse Reflective Type

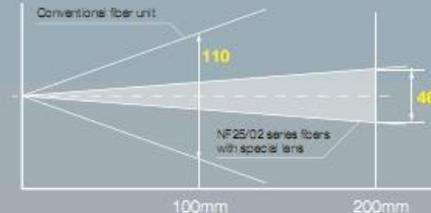
Space-saving installation

The design of the sensing head allows for installation in areas where a standard cable cannot be used.



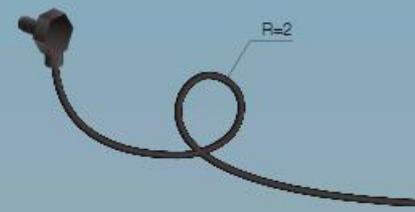
Narrow Beam Angle

The NF25/02 fiber cables have a lens mounted on the tip of the sensing head to project a narrow beam.



Tight Bend Type NF02 (R=2 mm)

The NF02 series can be bent to a 2 mm radius. This makes it ideal when mounting in areas where space is limited and helps to prevent the cable from becoming entangled with other parts of the equipment.



R=2

High Temperature Type NF25-H

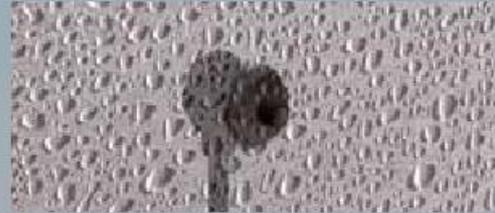
The NF25-TH (Thru-beam) and NF25-DH type fibers are designed for use in high temperature applications. The cables are rated up to 105 degrees C (221 F).



105°C (221°F)

IP67 Rating

Both the NF25 (Regular and High Temp) and the NF02 (Tight Bend) have a plastic housing, making them resistant to water and corrosion.



New Ergonomic Fiber Cutter

The NF25 and NF02 are free cut type fibers. The cutter that is included with the cable has been ergonomically designed to make cutting the cable quick and easy.



APÉNDICE IV.
PLANOS DE LOS DISPOSITIVOS CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA.

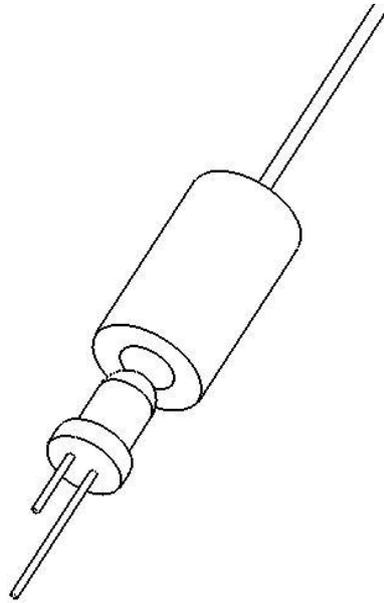


Figura Ap.IV.1. Conector fibra-fotodiodo.

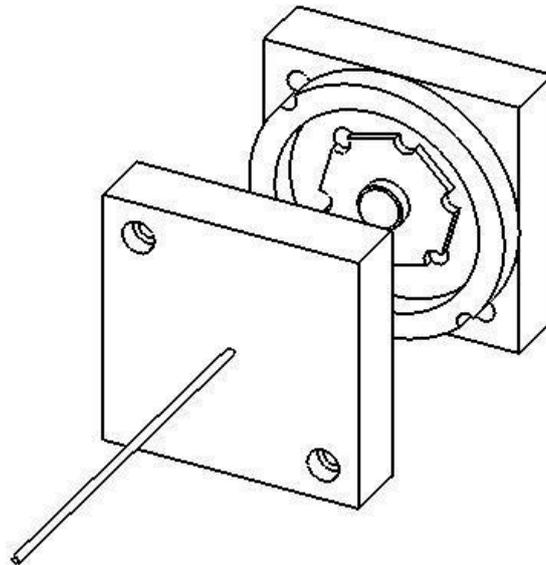
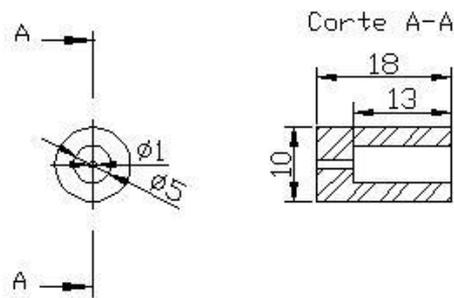
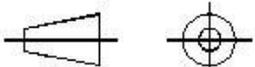
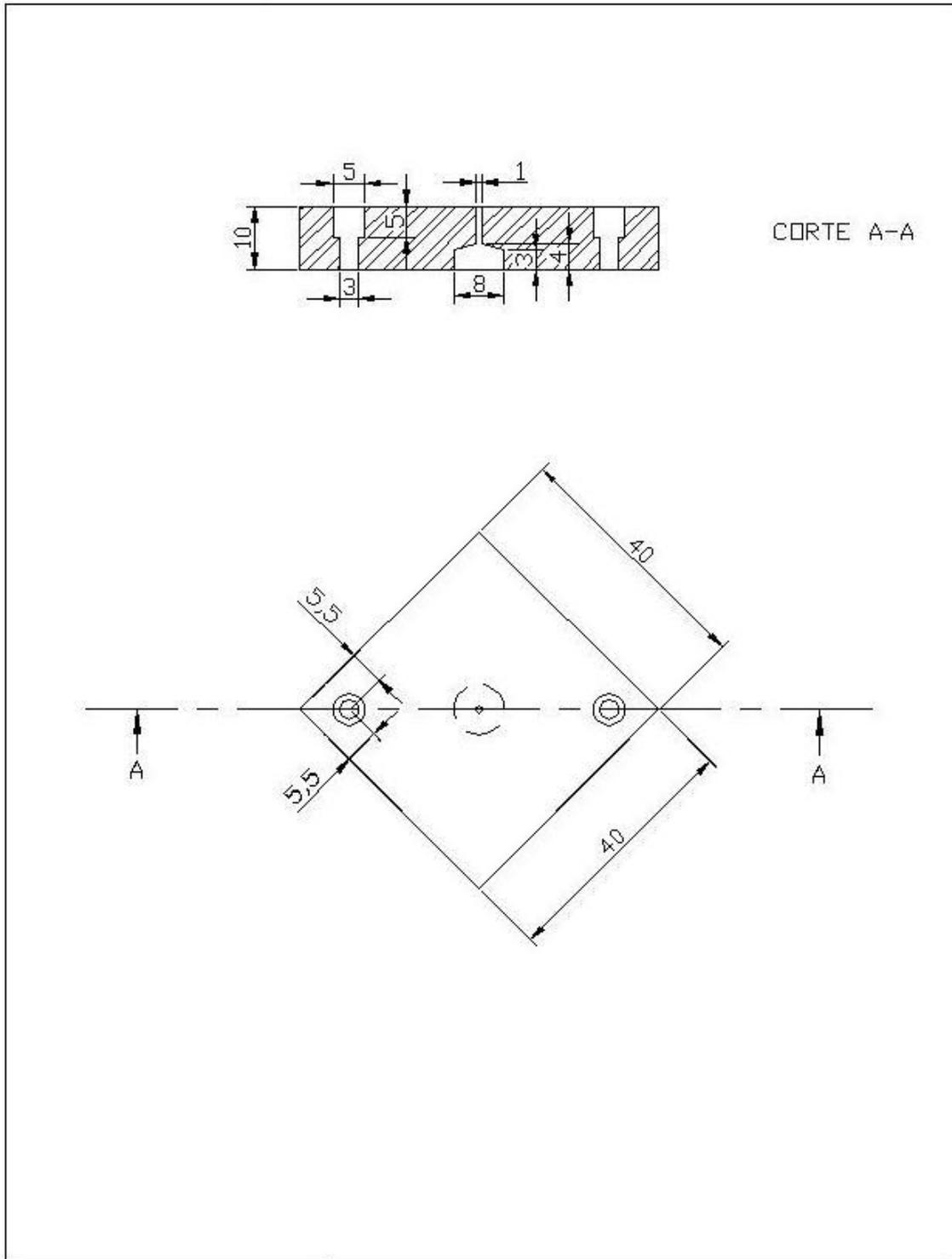
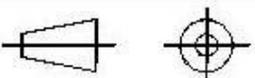


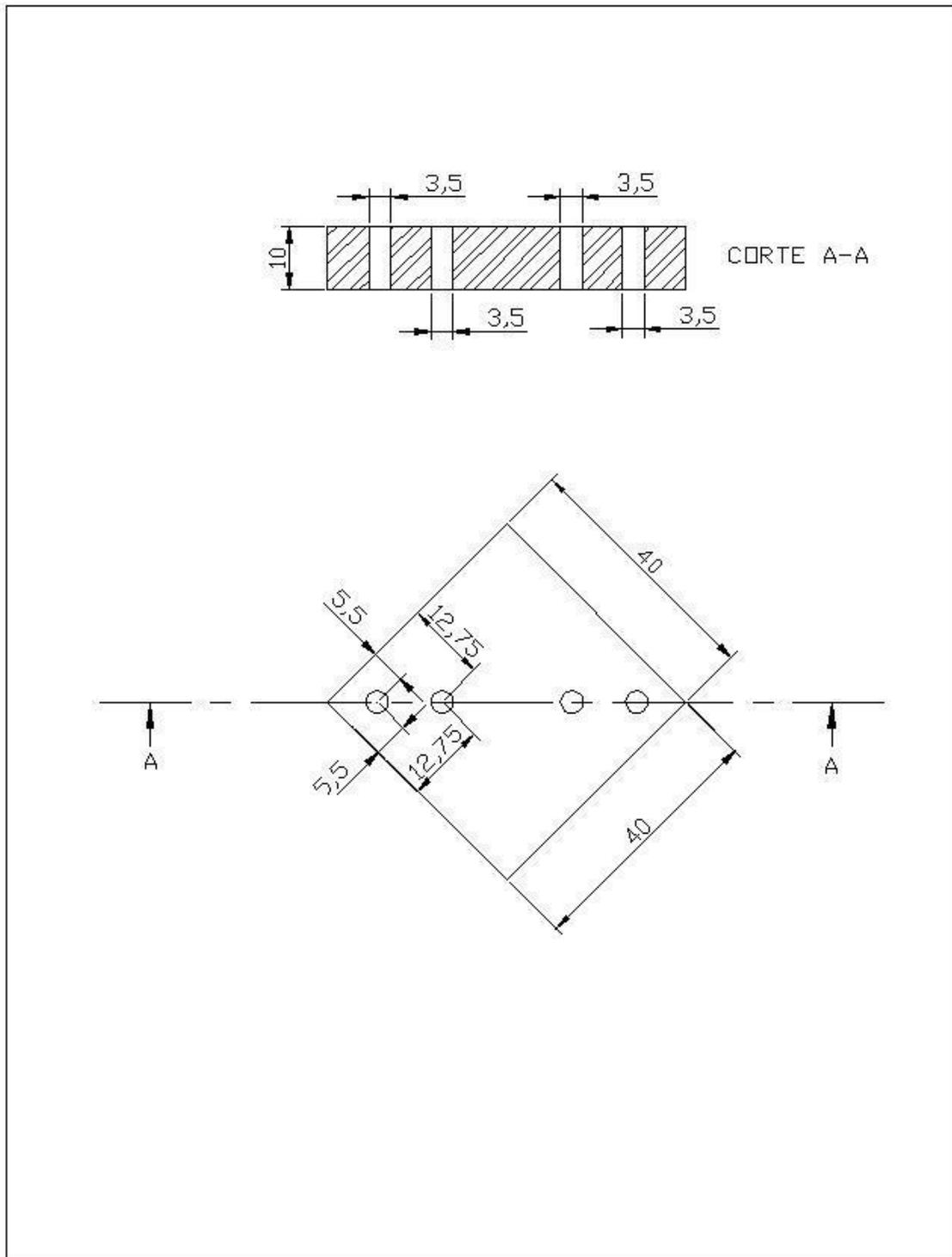
Figura Ap.IV.2. Conector fibra-LED.

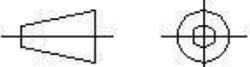


MATERIAL: Aluminio	SENSOR DE FIBRA OPTICA	
CANTIDAD: 1	CONECTOR FIBRA/FOTO-DIODO.	PLANO Nº 1
ESCALA: N/N		
		TOL. GRAL: 0,1



MATERIAL: Aluminio	SENSOR DE FIBRA OPTICA	
CANTIDAD: 1	CONECTOR FIBRA/LED SUPERIOR CON ALOJAMIENTO PARA FIBRA.	PLANO N°
ESCALA: N/N		2
		TOL. GRAL: 0,1



MATERIAL: Aluminio	SENSOR DE FIBRA OPTICA	
CANTIDAD: 1	CONECTOR FIBRA/LED BASE CON ALOJAMIENTO PARA LED	PLANO N° 3
ESCALA: N/N		
		TOL. GRAL: 0,1

APÉNDICE V. DATOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.

Technical Datasheet Rev. B (2006.5)

Xpower LED 3W Series

Model No: ZL-X□□□3□-□□□

Spec No: ZZ-GY-S0353



Xpower LED series is designed for higher current operation and super high flux output applications. It's easy and free to design applications by package SMD design and its special color management. For high volume applications, custom Xpower designs are available upon request, to meet specific needs.

Features

1. Highest luminous flux output
2. Long operating lifetime (up to 100,000 hours)
3. More energy efficient than incandescent and most halogen lamps
4. Low forward voltage operated
5. Instant light (Less than 100ns)
6. No UV
7. Superior ESD protection
8. Available in Pure White, Warm White, Green, Blue, Royal Blue, Cyan, Red and Amber
9. SMT design

Typical Applications

1. Portable flashlight
2. Automotive lights
3. Reading lights
4. LCD TV / Monitor backlight
5. Indoor and Outdoor Commercial lighting
6. Decorative/Entertainment lighting
7. General lighting



High Power LED Constant Current Driver

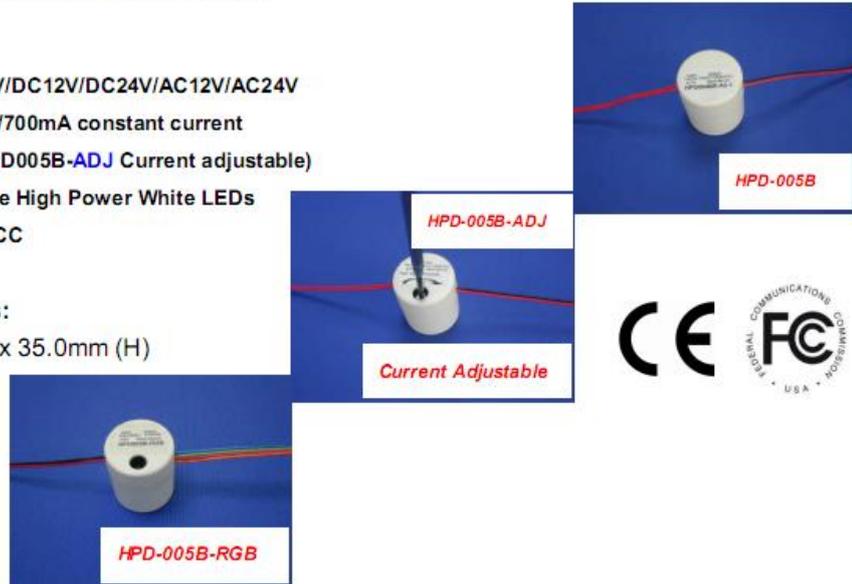
Product No: **HPD-005B Series**

Features

- ▶ Input : DC5V/DC12V/DC24V/AC12V/AC24V
- ▶ Output: 350/700mA constant current
- ▶ Dimmer (HPD005B-ADJ Current adjustable)
- ▶ Easy to drive High Power White LEDs
- ▶ Meet CE / FCC

Dimensions:

31.0mm (D) x 35.0mm (H)



Electrical characteristics

Part No.	Input Condition	Output	Application (Number of LED)
HPD005B-ADJ	AC/DC10~24V	3~20V/30~800mA	(1~3)Watt×(1~2)pcs@ACDC12V (1~3)Watt×(1~5)pcs@ACDC24V Current adjustable
HPD005B-A1-1	AC12V	3~4V/350mA	1Watt×1pcs
HPD005B-A1-2	AC12V	6~8V/350mA	1Watt×2pcs
HPD005B-A1-5	AC12V	15~24V/350mA	1Watt×(5~6)pcs
HPD005B-A3-1	AC12V	3~4V/700mA	3Watt×1pcs
HPD005B-A3-2	AC12V	6~8V/700mA	3Watt×2pcs
HPD005B-A5-1	AC12V	6~8V/700mA	5Watt×1pcs
HPD005B-B1-1	AC24V	3~4V/350mA	1Watt×1pcs
HPD005B-B1-2	AC24V	6~8V/350mA	1Watt×2pcs
HPD005B-B1-3	AC24V	9~12V/350mA	1Watt×3pcs
HPD005B-B3-1	AC24V	3~4V/700mA	3Watt×1pcs
HPD005B-B3-2	AC24V	6~8V/700mA	3Watt×2pcs
HPD005B-B3-3	AC24V	9~12V/700mA	3Watt×3pcs
HPD005B-B5-1	AC24V	6~8V/700mA	5Watt×1pcs



May 2000

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

Features

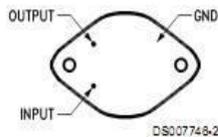
- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

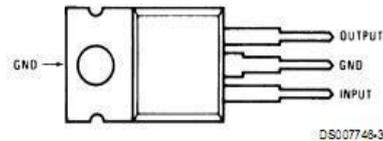
Connection Diagrams

Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum



Bottom View
Order Number LM7805CK,
LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

Plastic Package
TO-220 (T)



Top View
Order Number LM7805CT,
LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

APÉNDICE VI. FUNCIONAMIENTO CIRCUITAL.

El circuito de acondicionamiento de señal es el encargado de transformar el flujo luminoso que el sensor logra acoplar, en una señal eléctrica. Consiste en una fuente de tensión continua V_{cc} , con un fotodiodo polarizado en inversa y una resistencia de carga R . La señal de salida V se mide en los terminales del fotodiodo como se muestra en la figura Ap.VI.1.

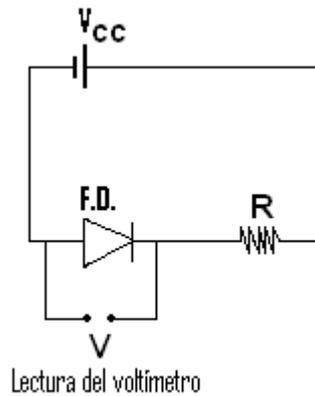


FIGURA AP.VI.1. Circuito de acondicionamiento de señal.

Mientras el fotodiodo no recibe luz, actúa sin dejar circular corriente. A medida que el flujo luminoso se incrementa, este elemento genera una corriente proporcional que atraviesa la resistencia R y produce una caída de tensión opuesta en signo a la de la fuente. Como consecuencia aparece una variación de tensión en la lectura V , una disminución de tensión (figura Ap. VI.2)

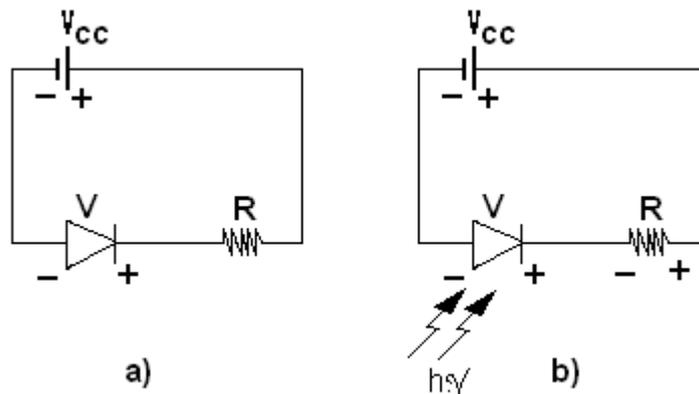


FIGURA Ap.VI.2. Caídas de tensión en los distintos componentes, a) el fotodiodo no recibe luz; b) el fotodiodo recibe luz.

RESPUESTA TÍPICA DEL FOTODIODO.

El comportamiento de un fotodiodo puede definirse con una serie de curvas que relacionan la tensión entre sus terminales, con la corriente que circula a través de él. Cada una de las curvas se obtiene para un valor determinado de flujo lumínico, y cada punto dentro de una misma curva, para un valor determinado de resistencia equivalente (figura Ap.VI.3). Como se observa, las curvas se ubican en diferentes posiciones dentro del plano conforme el flujo de luz va aumentando. A la primera de todas las curvas (la que pasa por el origen de coordenadas) se la denomina curva de oscuridad, pues corresponde al funcionamiento en ausencia total de luz. Esta curva expone cómo al aplicársele una tensión al fotodiodo siempre existe una pequeña corriente, aun a oscuras.

Para la configuración del fotodiodo a circuito abierto (corriente igual a cero), el punto de trabajo se encuentra en la intersección de estas curvas con el eje de abscisas, si el fotodiodo trabaja cortocircuitado (tensión nula) entonces el punto de trabajo se ubicará en la intersección de la curva con el eje de ordenadas. Finalmente para la configuración circuital utilizada, el punto de trabajo se ubica en la intersección de las curvas con la recta característica del circuito.

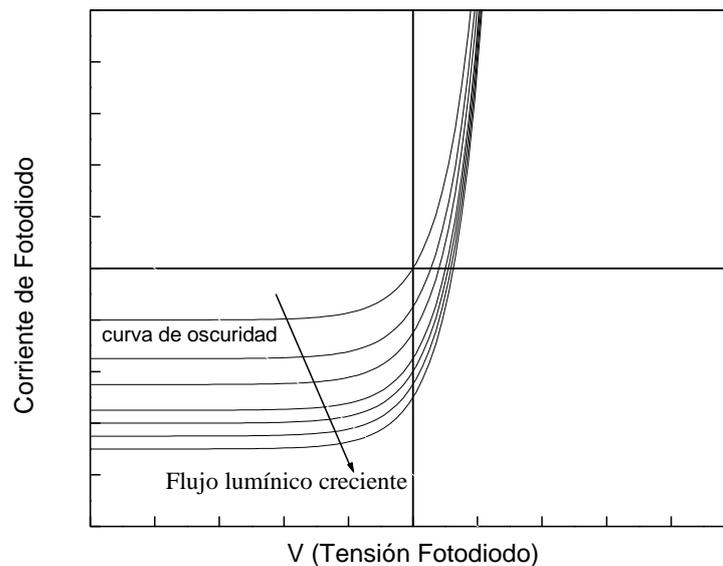


FIGURA Ap.VI.3. Curvas características del fotodiodo.

La recta de carga correspondiente a la configuración circuital empleada es:

$$\mathbf{V_{cc} + I \cdot R + V = 0}$$
$$\mathbf{I = -(V + V_{cc}) / R}$$

Graficando esta curva junto con las curvas del fotodiodo se halla el punto de trabajo como la intersección de las mismas (figura Ap.VI.4):

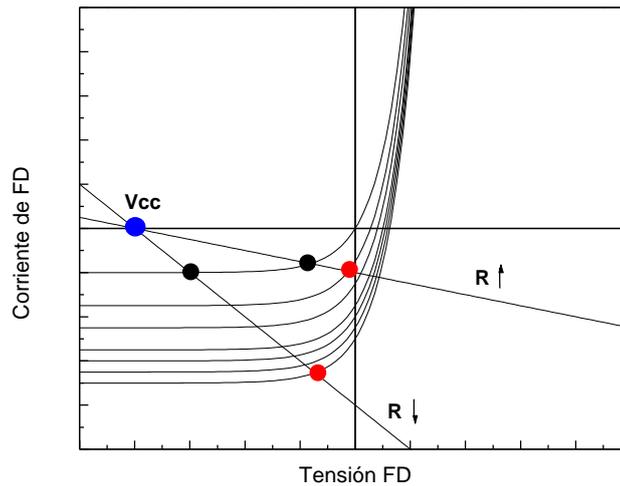


FIGURA Ap.VI.4. Intersección de las diferentes rectas de carga con las diferentes curvas del fotodiodo.

Estando el fotodiodo conectado en reversa, la tensión de la fuente V_{cc} , se considera de signo negativo, lo cual deja a este análisis comprendido dentro del semiplano izquierdo de la gráfica.

Ante diferentes valores de flujo luminoso el punto de trabajo se va desplazando hacia menores valores de tensión y mayores valores de corriente. El hecho de que la intersección con la curva de oscuridad se produzca más próxima al valor nulo de tensión, implica que el rango útil (en tensión) se acorte. En la figura puede observarse el rango de medición comprendido entre los valores de abscisas correspondientes a los puntos de intersección señalados con rojo y negro (fin y comienzo del intervalo respectivamente). Es apreciable la disminución de dicho intervalo a medida que los valores de resistencia se elevan.

Por otro lado se observa que los valores finales de este rango (identificados con rojo), son alcanzados con diferentes flujos lumínicos. En cualquiera de los dos casos ilustrados, un aumento en la cantidad de luz acoplada por el sensor a partir de esa condición (puntos rojos), no genera variación de tensión en el fotodiodo. Cuando se llega a este punto de trabajo significa que el fotodiodo ha alcanzado la saturación. A medida que los valores de R se hacen mayores, menor es el flujo lumínico necesario para llegar a tal condición.

INCIDENCIA SOBRE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN.

El comportamiento mostrado en la gráfica de la figura Ap.VI.4, incide en las curvas de calibración del sensor (figura Ap.VI.5).

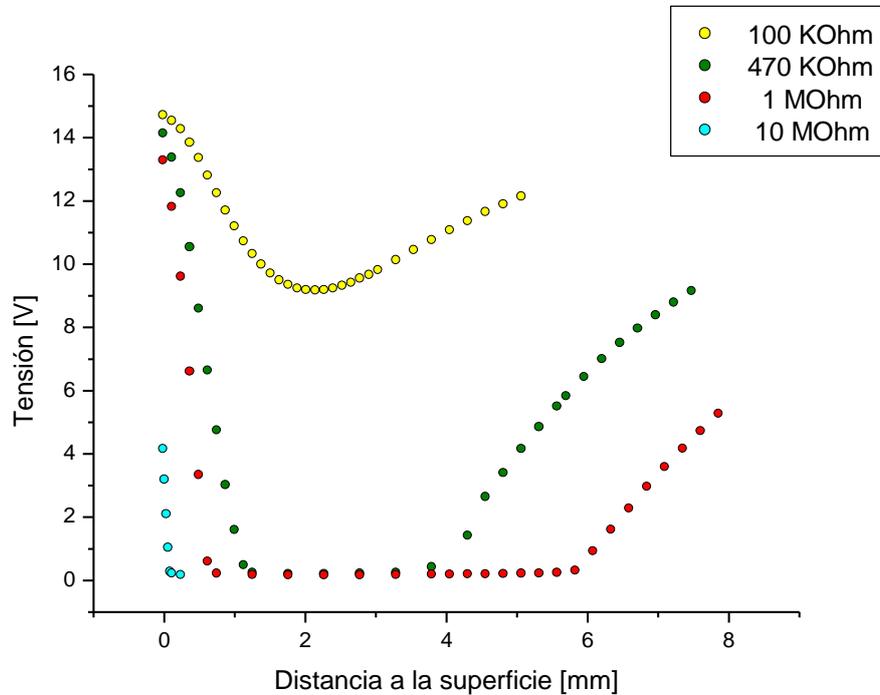


FIGURA Ap.VI.5. Curvas de calibración mostrando valores absolutos de tensión registrada.

Aquellas curvas cuyo valor de resistencia R es más bajo, comienzan su intervalo de medición cercano al valor de la fuente V_{cc} de 15V. A medida que R aumenta, este comienzo se aparta de tal valor y el intervalo útil se reduce (tal como se explica en la gráfica Ap.VI.4).

En cuanto al punto final del intervalo de medición, se observa que la zona ciega de las curvas (zona plana que no registra variaciones de tensión) aparece cada vez a menor distancia de la superficie de medición conforme aumenta R . Esto significa que con tal aumento, es cada vez menor la cantidad de luz para la cual el fotodiodo satura, pues la cantidad de luz acoplada está directamente vinculada con la distancia a la superficie.

APÉNDICE VII. MODALIDADES DE MUESTREO.

De acuerdo con las características propias del sensor y con las señales típicas obtenidas en diferentes condiciones de funcionamiento, se propone generar una rutina para PC que posibilite al usuario seleccionar entre las ventanas de muestreo descritas en este apartado.

Rango de señal propio del sensor: 0-14V.

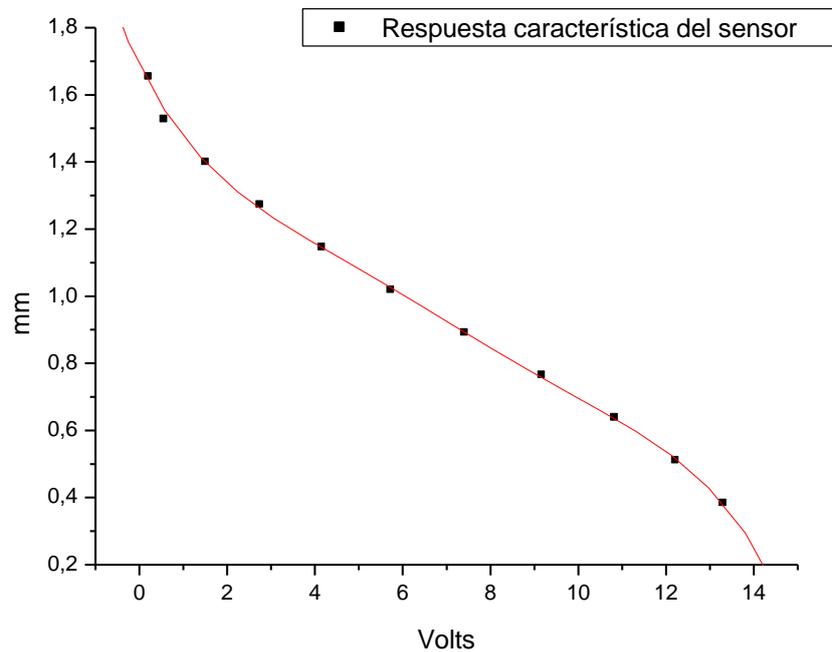


FIGURA Ap. VII. 1. El rango posible de señal de salida del sensor se encuentra entre 0 y 14 Volts (abscisas).

En este sentido debe tenerse precaución a la hora de diseñar un sistema de adquisición, pues lo más aconsejable es disponer del rango de trabajo en su totalidad. Algunas placas de adquisición no trabajan con valores que se encuentren más allá de los 5 o 10V, en estos casos puede resultar conveniente acondicionar la señal de salida del sensor previamente a la entrada adquisidora (adaptar el sensor a la placa). Aunque por razones de simplicidad, y si la aplicación no lo requiere, sería conveniente trabajar con un rango más acotado dentro de las posibilidades de este instrumento, por ejemplo entre 0 y 10V (en este caso no hay adaptación alguna, simplemente el rango de trabajo se recorta unas décimas de milímetro).

ADQUISICIONES TÍPICAS.

Dependiendo de la velocidad de giro de la máquina a la cual se lleva a cabo la medición, y de la tendencia que se desea evaluar será conveniente efectuar adquisiciones cortas o largas.

Adquisiciones cortas:

En la medida en que la velocidad de giro de la máquina o bien la frecuencia de oscilación que se requiere medir va en aumento, presentan ventajas las mediciones cortas. Estas mediciones tienen menor duración en el tiempo pero precisan una frecuencia de muestreo más elevada cada vez. De esa forma se pretende observar el comportamiento del objeto de medición durante algunos ciclos con buen detalle.

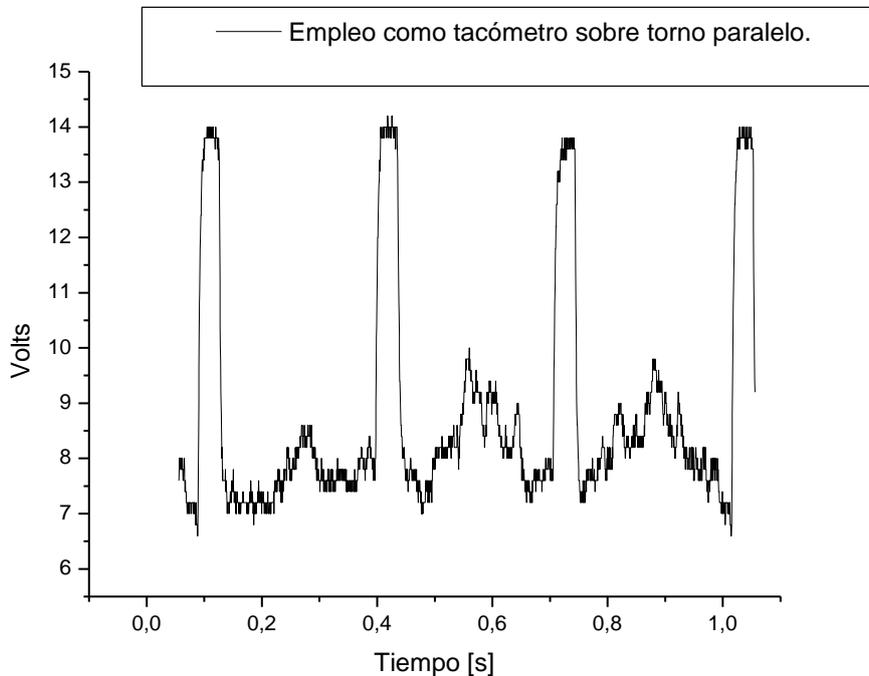


FIGURA Ap. VII. 2. Registro típico de corta duración, en aplicación sobre torno paralelo.

Adquisiciones largas:

Resultan necesarias cuando el fenómeno que se desea observar tiene una duración mayor en el tiempo. En estos casos la frecuencia de muestreo utilizada es menor, pues la tendencia observada no requiere tanto detalle dentro de cada ciclo. Además existe una limitación, no es cómodo (y en ciertos casos se vuelve imposible) trabajar con archivos que contienen demasiados datos (así resultaría si se trabajase con frecuencias de muestreo elevadas durante largos períodos de tiempo).

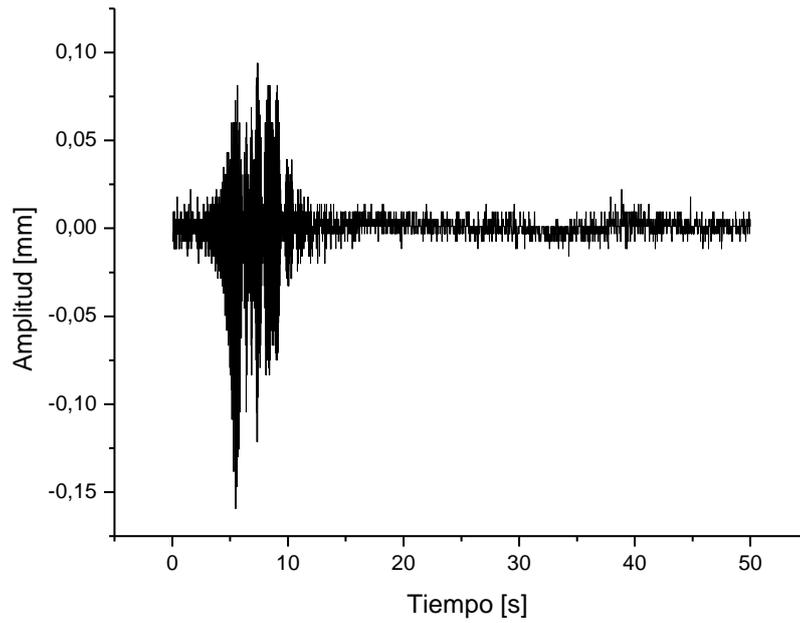


FIGURA Ap. VII. 3. Registro de larga duración, en un caso de vibración.

Seguidamente se muestran en la tabla Ap. VII. 1 los valores sugeridos para las distintas ventanas de muestreo (duración y frecuencia), intentando cubrir cualquier condición de trabajo.

	Duración.	Frecuencia de muestreo.	
Ventana 1	4 seg.	2 KHz.	Adquisiciones cortas.
Ventana 2	2 seg.	8 KHz.	
Ventana 3	½ seg.	15 KHz.	
Ventana 4	60 seg.	100 Hz.	Adquisiciones largas.
Ventana 5	300 seg.	10 Hz.	

TABLA Ap. VII. 1.

APÉNDICE VIII. OTRAS MEDICIONES.

VIBRACIÓN DE BARRA BAJO UN ESTADO COMPUESTO DE TENSIONES.

La misma barra de aluminio que antes fue sometida a un desplazamiento inicial para oscilar libremente bajo esfuerzos de flexión pura, fue también sometida a una oscilación libre pero con esfuerzos combinados de flexión y torsión.

Como resultado, el sensor registró una señal similar a la obtenida bajo la influencia de flexión pura, pero esta vez apareciendo una distorsión que se hace notar a lo largo de todo el registro (Figura Ap. VIII. 1)

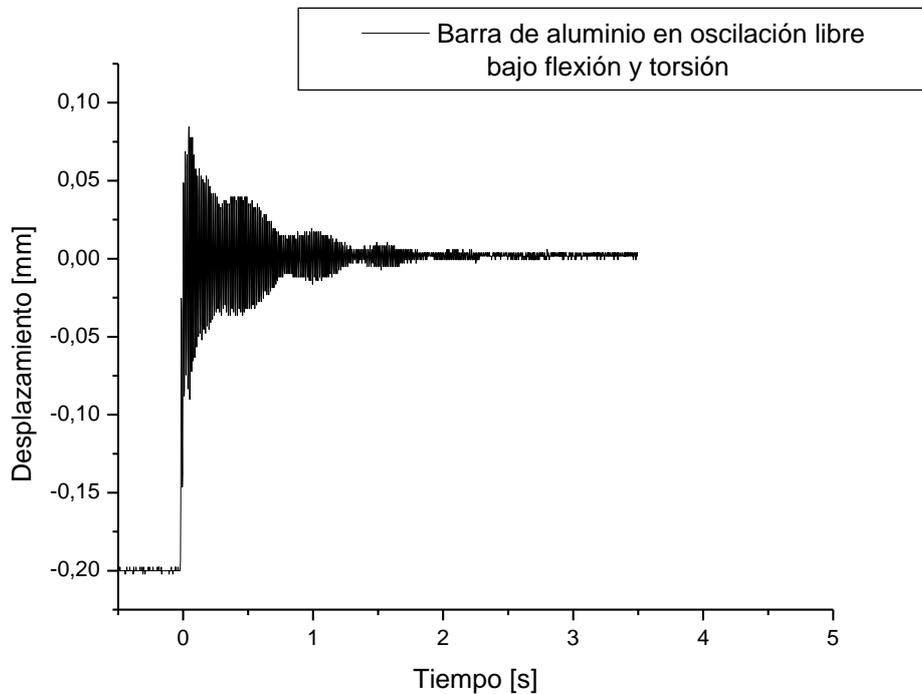


FIGURA Ap. VIII. 1. El resultado de la medición muestra la incidencia de la componente de torsión. La señal aparenta estar compuesta por batidos, en los que dos perturbaciones periódicas de distinta frecuencia se suman y restan dando lugar a ese fenómeno.

VIBRACIÓN DE UNA MÁQUINA AMOLADORA DE BANCO.

Se midieron las vibraciones de una máquina amoladora de banco (Figura Ap. VIII. 2) durante su apagado. Se trata de una máquina rápida que trabaja por encima de su frecuencia natural de oscilación. Es así que durante el apagado, a medida que la velocidad de giro decrece, se barre una amplia zona de velocidades que desde luego cruza la zona de resonancia.



FIGURA Ap. VIII. 2. Amoladora de banco.

A continuación se muestra el registro obtenido.

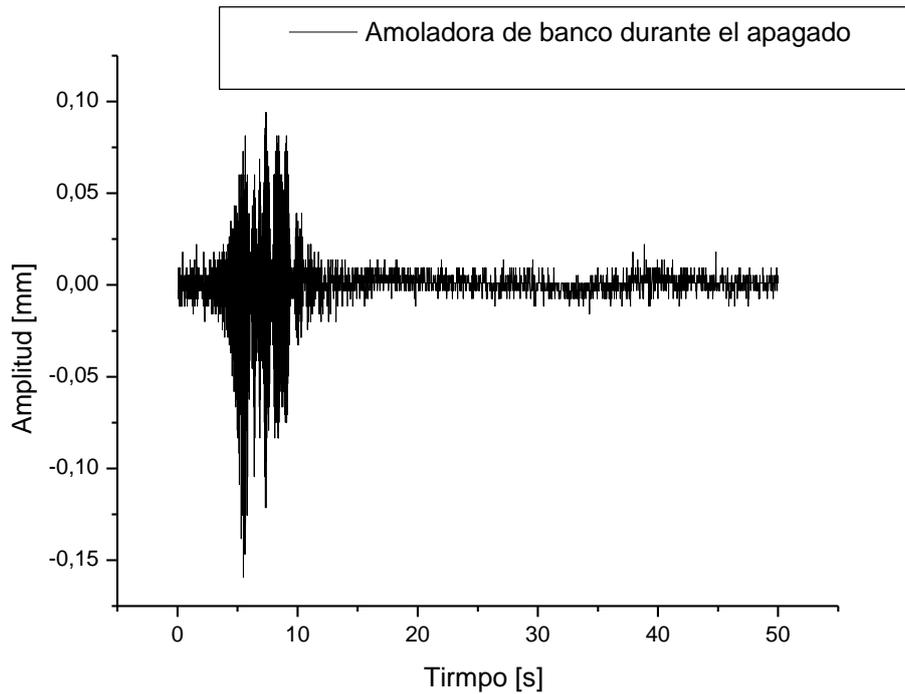


FIGURA Ap. VIII. 3. Se observa el pasaje por una zona de resonancia en donde la amplitud de la vibración se ve magnificada.

La Figura Ap. VIII. 3 muestra el notable incremento en la amplitud de la vibración que se registra en la zona de resonancia. Con un registro de datos de mayor frecuencia y a través de un apropiado software de cálculo, es posible conocer en qué gama de velocidades se manifiesta este fenómeno. En la figura Ap. VIII. 4 se muestra un registro de esas características.

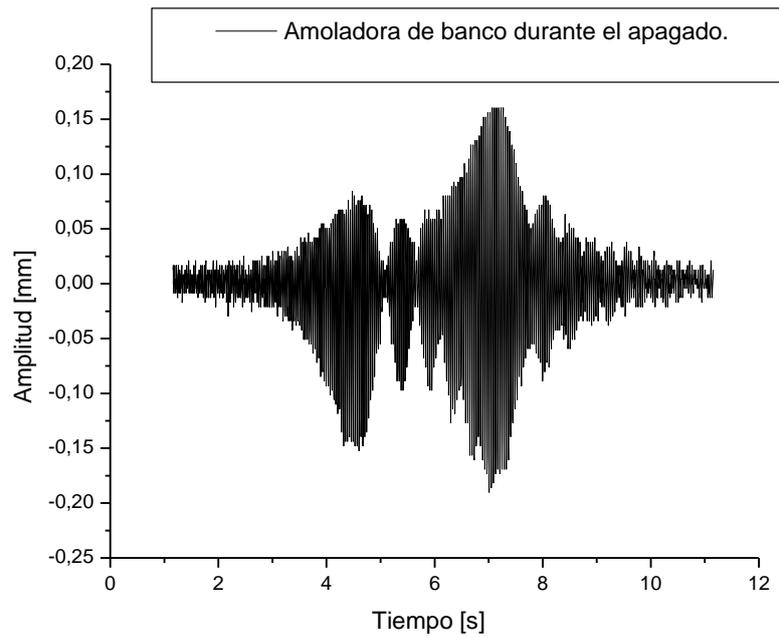


FIGURA Ap. VIII. 4. Se muestra otra medición igual a la anterior pero de mayor frecuencia y más corta duración.

Se detecta que la zona de resonancia está situada aproximadamente entre los 35 y los 25Hz. Esto se traduce en un número de vueltas por minuto de 2100 y 1500, que son las zonas en las que mayor amplitud se registra.

APÉNDICE IX. HOJA DE INSTRUCCIONES.

En este apartado se pretenden exponer de forma sintética, instrucciones esenciales para el empleo del sensor desarrollado, en la verificación de máquinas-herramientas.

- 1- Conectar la fuente de tensión continua (18Volts, 1Ampere), enchufando a la red (220Volts, 50Hz).
- 2- Encender el instrumento con la tecla principal del panel (ON/OFF) que se muestra en la Figura Ap. IX.1.
- 3- La señal de salida en tensión (0–14Volts), es obtenida en la salida coaxil del panel (dos terminales con diferencia de potencial). Allí debe conectarse el instrumento de medición de tensión adecuado.
- 4- Seleccionar el valor de ganancia con el cual se trabajará, desde la perilla del panel. El incremento en el valor de ganancia proporciona mayor sensibilidad al instrumento en tanto que el rango útil de medición se reduce. Los valores de ganancia aumentan girando la perilla en sentido horario. Se recomienda comenzar a trabajar con valores intermedios.

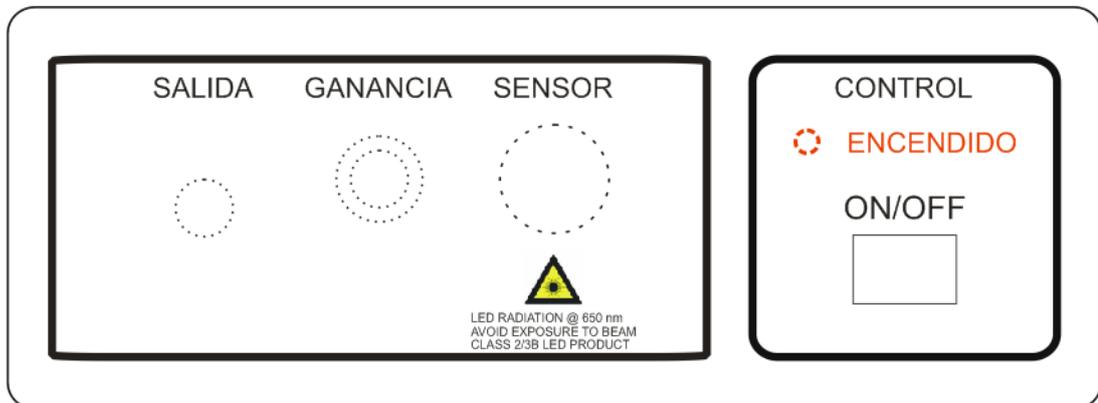


FIGURA Ap. IX.1. Esquema del panel delantero.

- 5- Posicionamiento del sensor. Ajustar el extremo del sensor en el carro con desplazamiento micrométrico. Posicionar el conjunto de manera que el desplazamiento longitudinal de dicho carro sea perpendicular a la superficie de medición. Para esto puede utilizarse un brazo articulado con base magnética o algún otro instrumento apropiado.
- 6- Efectuar una calibración. Debe relevarse la curva característica del sensor frente a la nueva superficie en cuestión. Comenzando con distancia nula entre el sensor y la superficie se realizan desplazamientos controlados de alejamiento, en cada posición se debe registrar el valor de la señal de salida.
- 7- Realizar la gráfica de la curva característica *distancia* en función de *tensión de salida*. Luego elegir una zona lineal para trabajar y obtener la expresión funcional que ajusta en dicha zona (Figura Ap. IX.2). Puede hacerse mediante algún software de cálculo, o manualmente por el *método de ajuste por cuadrados mínimos*.

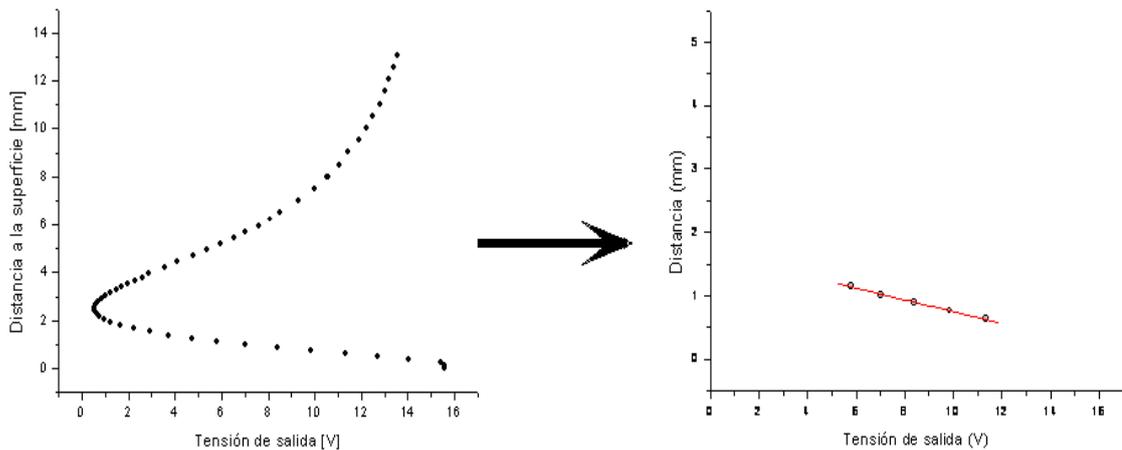


FIGURA Ap. IX.2. En primer término se obtiene la curva de calibración completa y luego se escoge una zona lineal para el trabajo de medición.

- 8- Posicionar la punta del sensor con el carrito desplazable en la zona media del intervalo de medición lineal escogido. Para realizar esta operación se recomienda guiarse por la lectura de señal de salida.
- 9- Poner en funcionamiento la máquina-herramienta y adquirir la señal de salida, ya sea con un osciloscopio o con una PC. En caso de que se trate de un ensayo estático, la señal podrá observarse con un tester debiendo registrarse manualmente los valores leídos.
- 10- La señal registrada en valores de tensión, deberá ser traducida a valores de desplazamiento mediante la expresión matemática anteriormente obtenida, que modela el comportamiento del sensor en ese rango de trabajo.