

ROBOT PARA LA MEDICIÓN DE PLANITUD EN GRANDES ÁREAS

Rigoberto Nava S. y Benjamín Valera O.
Centro de Instrumentos UNAM, Laboratorio de Metrología
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México D.F.
Tel. 56 22 86 02 ext. 119, Fax 56 22 86 24, E-mail: nava2@aleph.cinstrum.unam.mx

Resumen: La tendencia actual en la construcción de bodegas requiere de altos grados de exactitud en planitud y nivelación de los pisos sobre los cuales se desplazarán los montacargas verticales. En éste trabajo presentamos un robot móvil para la medición de planitud de grandes áreas, orientado a la determinación de los números F que describen la calidad de un piso. El sistema transporta instrumentos de medición de longitud y ángulo y envía las lecturas a una PC huésped. El recorrido completo del vehículo puede realizarse con un alto grado de automatización, lo cual reporta una notable ventaja sobre otros procedimientos.

INTRODUCCIÓN

Recientemente, en el Laboratorio de Metrología del Centro de instrumentos UNAM, se ha desarrollado un robot móvil para la medición de planitud y nivelación en grandes áreas. Tal diseño fue pensado como un método de medición rápido, confiable y de operación completamente automática. La idea del desarrollo surgió a partir de los servicios solicitados al Laboratorio por una firma de la industria de la construcción para medir la planitud de un piso de concreto. Un ejemplo de medición de planitud y nivelación en grandes áreas es la evaluación de pisos de concreto en bodegas verticales [1]. En esta situación la calidad en planitud y nivelación del piso es vital para el desplazamiento confiable de los altos montacargas que circulan; si el piso no cumple con la planitud preestablecida por el fabricante del montacargas, éste corre el riesgo de impactarse en las partes elevadas. Debido a este entorno, los servicios de medición en grandes áreas exigen la utilización de instrumentos autónomos que deleguen el enorme trabajo de levantamiento y procesamiento de lecturas a los sistemas electrónicos, de control y computo modernos.

El robot para la medición de planitud y nivelación descrito aquí encuentra aplicación en la medición de grandes áreas para la verificación de pisos en bodegas verticales. En nuestro concepto, el instrumento para la medición de grandes áreas esta formado por el robot usado en el levantamiento de lecturas y por el software que procesa datos e interpreta la calidad del piso medido. No obstante, la operación del robot no esta limitada a su uso exclusivo en pisos de bodegas; el rango de aplicaciones se puede extender al comprender el principio de operación y el algoritmo de medición.

El instrumento de medición de planitud y nivelación presentado en este trabajo, constituye una alternativa de desarrollo nacional al escaso mercado internacional de instrumentos similares. Con la implementación del robot usado en la medición de planitud y nivelación de grandes áreas, el Laboratorio de Metrología contará con la infraestructura de punta en el ofrecimiento de servicios especializados y se dará un impulso modesto a la construcción de pisos para bodegas verticales en México.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En éste sistema de medición existen dos componentes "hardware" y "software" físicamente separados pero interactuando a través de un enlace de comunicaciones por Radio Frecuencia, RF. El primer componente es un robot móvil controlado automáticamente en un recorrido recto sobre el piso a medir y el cual transporta dispositivos ópticos para la medición de longitud y ángulo. El mismo controlador obtiene lecturas y las transporta vía RF a una computadora huésped. El desplazamiento autónomo del robot es dirigido mediante un dispositivo apuntador láser colocado en el extremo opuesto de la trayectoria a recorrer. En el robot existen sensores guía que detectan las desviaciones sobre la trayectoria predefinida de manera que se pueda corregir la dirección. Asimismo, el robot posee sensores de longitud de desplazamiento que le indican el momento para adquirir lecturas. El segundo componente es un programa para PC y una estación receptora de RF en espera del arribo asíncrono de lecturas para procesarlas y así obtener los números F que describen la calidad del piso. El esquema descrito para la medición se muestra en la figura 1.

Sistema electrónico

El sistema electrónico en el robot está compuesto por un control principal basado en el

microcontrolador MC68HC11, y subsistemas de guía, impulsor autónomo, adquisición de datos y comunicaciones RF, como se muestra en la figura 2.

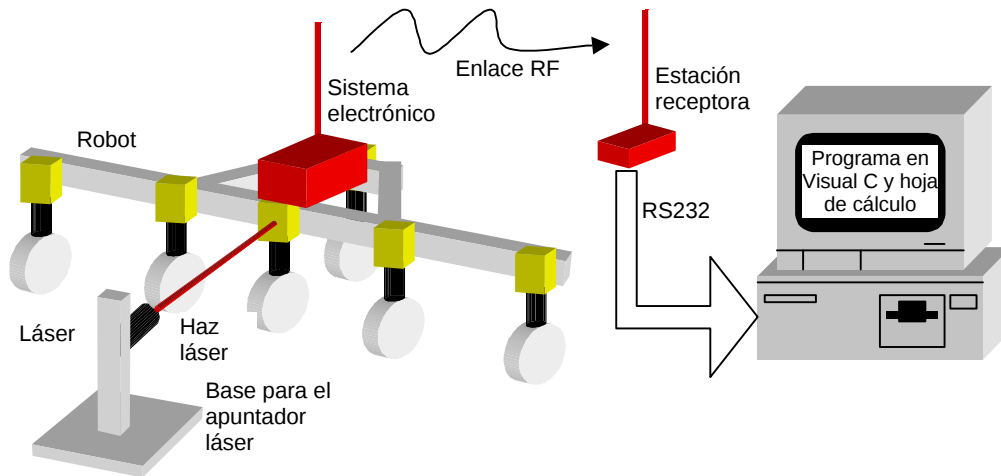


Fig. 1. Robot para la medición de planitud y nivelación de grandes áreas.

El programa en ensamblador para el HC11 implementa el algoritmo de control en un esquema fuertemente basado en interrupciones asíncronas de éste microcontrolador.

El movimiento del robot es controlado al impulsar un motor CD solidario al mecanismo de avance en el robot a través del puerto D del HC11.

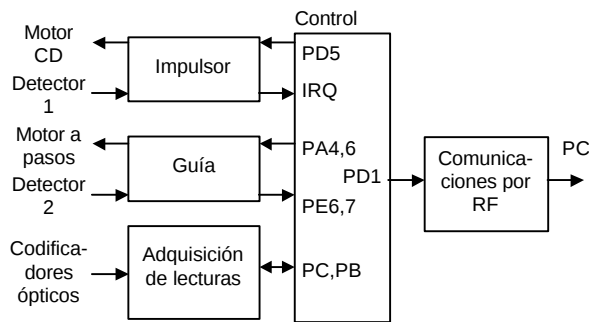


Fig. 2 Sistema electrónico.

En la siguiente descripción, refiérase a la figura 1 para la explicación, la notación y el significado de las siglas empleadas. El subsistema impulsor proporciona la energía eléctrica para el desplazamiento autónomo del robot con movilidad controlada. El sensor óptico identificado como "Detector 1" permite el avance controlado del robot sobre la trayectoria definida para detenerse en forma estable cada 300mm y capturar lecturas de desplazamiento y ángulo. El detector 1 genera una interrupción, IRQ, en el microcontrolador para atender el flujo del algoritmo de control. El

El subsistema guía es la interfaz hardware para la detección de la desviación de la trayectoria recta y para la corrección de dirección. La trayectoria es predefinida mediante un apuntador láser común colocado en el extremo opuesto. La detección de la trayectoria se lleva a cabo mediante sensores ópticos infrarrojos identificados como "Detector 2" conectados al puerto E del HC11. Entonces el detector 2 indica el sentido de corrección en la dirección del robot de la siguiente forma: si PE7=1 entonces corrige a la derecha, si PE6=1 entonces corrige a la izquierda, si PE7=PE6=0 entonces no hay corrección. La corrección se lleva a cabo al impulsar un motor de pasos solidario al mecanismo de dirección en el robot a través del puerto A del HC11.

El subsistema de adquisición de lecturas consta de tres circuitos de interfaz entre microprocesador y codificadores ópticos, LS7266R1 [2], tres codificadores ópticos lineales para la medición de desplazamiento [3] y dos codificadores ópticos de péndulo o inclinómetros para la medición de ángulo [4]. El HC11 controla las acciones de configuración, lectura y escritura en los R1 para la adquisición de datos a través de sus puertos C y B. La utilización

de transductores de estado sólido implica un consumo de potencia bajo, lo que prolonga la duración de las baterías.

El subsistema de comunicaciones RF consiste de un módulo transmisor, TXM-900-HP-II [5], controlado por el puerto serie RS232 del HC11, PD. El TXM en conjunto con el RXM, funcionan como reemplazo inalámbrico del enlace serie entre dos equipos de comunicaciones. El TXM opera con modulación OOK (On-Off Keying) en la banda de 900MHz, alcanzando distancias de hasta 100m en línea de vista. El alcance inalámbrico permite la operación autónoma del robot en distancias relativamente largas.

El subsistema de comunicaciones RF se complementa con la estación receptora en el extremo opuesto del enlace. La estación receptora esta compuesta por un módulo receptor RXM-900-HP-II [6] y un desplazador de nivel MAX232. El RXM genera la señal de recepción de datos y el MAX232 acondiciona la señal al puerto serie RS232 de la computadora.

El sistema de control esta constituido por el microcontrolador MC68HC811E2 [7], el cual es el cerebro de este instrumento de medición. El MC68HC11 es un MCU de 8-bits que utiliza tecnología HCMOS que lo hace de tamaño pequeño y rápido con un bajo consumo de energía, y alta inmunidad al ruido.

Diseño mecánico

En la figura 3 se pueden observar los puntos de contacto *A*, *B*, *C* y *D* equidistantes. Los puntos *B* y *C* son apoyos rígidos sobre la superficie en proceso de medición los cuales, para efecto del procesamiento de lecturas, definen un segmento de recta con una inclinación α respecto a la horizontal. Las distancias verticales *a* y *b* son desviaciones de los puntos *A* y *D* respecto a la recta *BC*.

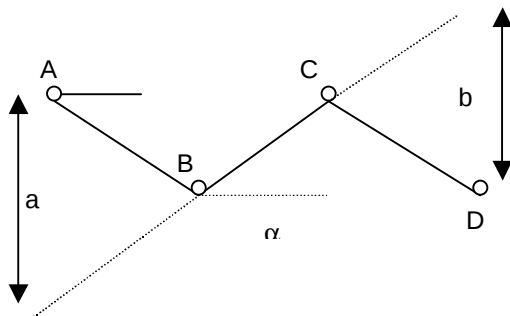


Fig. 3 Diseño mecánico

Con estos datos se obtiene la rectitud de una línea elemental de la superficie. Ahora bien, realizado las mediciones de rectitud de todas las líneas elementales previamente definidas de una superficie y correlacionando la posición entre líneas elementales contiguas es obtenida la topografía de la superficie total.

La correlación de líneas elementales se hace a través del cambio de elevación del punto de contacto con respecto a la posición anterior en cada estación de medición. Este cambio de elevación es definido por un ángulo β .

Los valores de los ángulos α y β así como los valores de desviación de rectitud *A* y *D* de la recta que pasa por los apoyos *B* y *C* permiten calificar a las superficies bajo las normas establecidas para todas las categorías de pisos así como aquellas establecidas para todas las categorías de mesas de planitud [8].

Software de usuario

El software de usuario permite obtener las lecturas del robot móvil a través de una computadora PC. En el esquema de la figura 4 el programa para acceder el puerto serie, llamado "ControlCom", recibe en forma asíncrona datos y los envía dinámicamente a una hoja de cálculo en Excel. El programa ControlCom se desarrollo en forma específica para este proyecto en particular utilizando Visual C++ 6 como herramienta de desarrollo. La forma dinámica de envío de datos asíncronos, conocida como "OLE Automation", permite la adquisición de lecturas sin la intervención del operador [9]. Posteriormente, y una vez capturadas las lecturas de un segmento del piso a medir, el usuario puede almacenar los datos, graficar o calcular los números *F* que describen la calidad del piso.

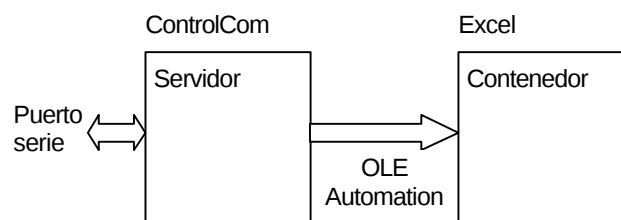


Fig. 4 Software de usuario

RESULTADOS

Los resultados del instrumento pueden ser evaluados subjetivamente al observar su desempeño en la medición. No obstante, el instrumento en su conjunto puede ser evaluado cualitativamente a través de la calibración de los dispositivos para la medición de desplazamiento y ángulo.

Robot para la medición de planitud

Se desarrolló un robot para la medición de planitud mostrado en la figura 5. Sus principales funciones proporcionan al instrumento las siguientes características:

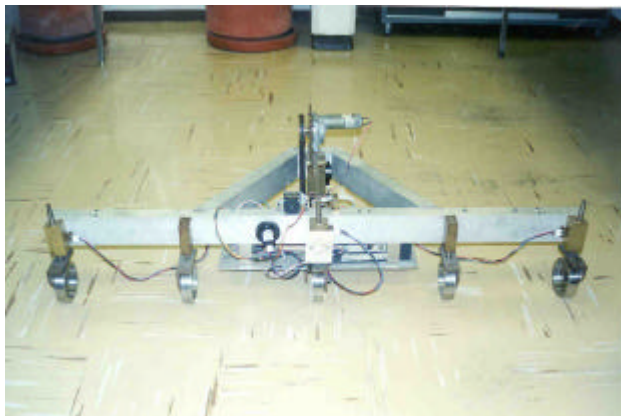


Fig. 5 Robot para la medición de planitud

- Bajo consumo de potencia. Aproximadamente requiere suministro doble de voltaje de 5V 0,3Ah y 12V 0,7Ah.
- Alcance de medición de 20mm y 2π rad cubriendo dos franjas de 100m X 300mm.
- División mínima de 0,05mm y $8,72 \times 10^{-4}$ rad.
- Exactitud de ± 1 dígito.
- Desplazamiento autónomo.
- Velocidad de desplazamiento de 0,3m/s.
- Algoritmo de control implementado en software.
- Ajustes y calibración por software.
- Transmisión de lecturas de desplazamiento lineal e inclinación en forma inalámbrica y automática.
- Mínima intervención por parte del operador. Sólo se requiere la intervención humana en la puesta en inicio.

Software de usuario

Se desarrolló un software específico con aplicación en la medición de planitud y nivelación utilizando la tecnología OLE Automation que permite el intercambio dinámico de datos entre aplicaciones Windows 98/00. El software desarrollado en el laboratorio de metrología del CI UNAM automatiza el proceso de captura de lecturas provenientes del robot sin la intervención humana al transportar datos de mediciones a Excel para su procesamiento. Las principales características del software son las siguientes.

- Recepción automática de datos asíncronos por puerto serie.
- Transporte dinámico (sin intervención del operador) de datos a Excel.
- Interfaz amigable bajo una plataforma Windows 98/00.
- Programación Orientada a Objetos, POO, lo que permite escalabilidad y reusabilidad del código fuente.

Calibración

Se desarrolló un experimento de calibración para evaluar el desempeño de los dispositivos de medición de desplazamiento lineal y angular y se obtuvieron las curvas de calibración de la figura 6.

Tales resultados nos permiten apreciar las capacidades del instrumento y, en un momento determinado, introducir correcciones por software para mejorar la exactitud.

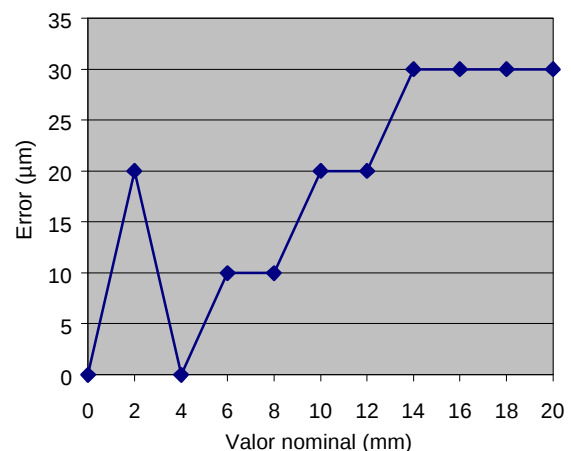


Fig. 6.a Curva de calibración lineal

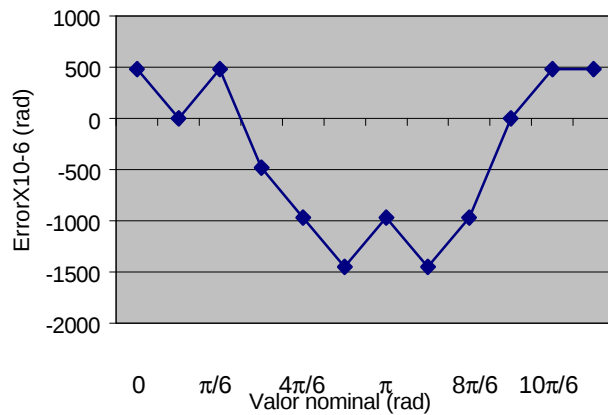


Fig. 6.b Curva de calibración angular, en donde $p=3.14159...$

Desempeño en la medición

El desempeño en la medición de una superficie de prueba confirma los resultados esperados. Adicionalmente, podemos afirmar lo siguiente:

- El instrumento en conjunto es de operación sencilla. Sólo requiere de personal con capacitación básica en metrología dimensional y conocimientos esenciales del ambiente Windows.
- Se proporciona una excelente comodidad de operación. En este sentido, el operador tiene la libertad de delegar el control de la medición al instrumento y computadora PC. Además, la autonomía de desplazamiento del instrumento (100m de alcance) evita que el operador acompañe al instrumento en su recorrido. La estación receptora y computadora PC permanecen fijas y el robot se desplaza automáticamente en la superficie bajo inspección.

DISCUSIÓN

A diferencia de los equipos comerciales, nuestro instrumento requiere una mínima intervención por parte del operador. En conjunto, el instrumento proporciona un alto grado de automatización en comparación al equipo comercial disponible en el mercado.

CONCLUSIONES

En el Laboratorio de Metrología del Centro de Instrumentos UNAM, se cuenta con el equipo

necesario y software para realizar mediciones de planitud y nivelación de grandes áreas con una gran rapidez e intervención casi nula por parte del usuario. También se puede prestar los servicios de estas herramientas a la industria. Se adquirió experiencia en el desarrollo electrónico con dispositivos semiconductores recientes como los mencionados RXM, TXM y R1 y se asegura la vigencia del instrumento en los años venideros. Esto nos permite abordar proyectos de desarrollo tecnológico con una mejor capacidad técnica. En cuanto al programa ControlCom, se comprobó que la automatización de Office habilita a los programadores y usuarios para desarrollar y utilizar aplicaciones complejas bajo un esquema cooperativo de tareas.

REFERENCIAS

- [1] Face, The Face Companies Homepage, <<http://faceco.com/compinfo.html>>, Enero 2001.
- [2] US Digital, *LS7266R1 Encoder to microprocessor interface chip, Technical data*, US Digital Corp., Vancouver, USA, 1999, pp. 6.
- [3] US Digital, *Optical encoder disk and linear strip, Technical data*, US Digital Corp., Vancouver, USA, 1999, pp. 2.
- [4] US Digital, *T2 Inclinator, Technical data*, US Digital Corp., Vancouver, USA, 1997, pp. 1.
- [5] Linx, *High performance RF module TXM-900-HP-II*, Linx Technologies, Oregon, USA, 1999, pp. 16.
- [6] Linx, *High performance RF module RXM-900-HP-II*, Linx Technologies, Oregon, USA, 1999, pp. 24.
- [7] Motorola, *HC11 Reference manual*, Motorola Inc., Phoenix, USA, 1991.
- [8] ACI Committee, *Comentary on Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-90)*, ACI Committee 117, pp. 7.
- [9] D. J. Kruglinsky, G. Shepard, S. Wingo, *Programación avanzada con Microsoft Visual C++*, Microsoft Press, México, 2000, pp. 1058.