

DISEÑO DE UN EMISOR LASER PARA LA NIVELACION DE TERRENOS

O. Morales Valdés, S. Fernández Yanes, D. Rodríguez Mederos, A. Combarro Romero, R. Díaz Martínez y J. Ravelo Triana, Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

Se describe el diseño y el principio de funcionamiento de un equipo que se emplea como guía para la elaboración de superficies y terrenos con alta calidad como son: pistas de aeropuertos, carreteras de alta velocidad, obras de construcción, también para los cultivos de arroz y en otros sectores de la agricultura. Este aparato utiliza como fuente de luz un diodo láser y mediante un mecanismo de rotación de un pentaprisma, se genera un plano de referencia a partir de la emisión del haz del diodo láser. El diseño está concebido para que el equipo disponga de un sistema de autonivelación que permita el establecimiento de pendiente con precisión de ± 20 arcseg, además de un mecanismo que permita establecer pendientes en 2 direcciones de $\pm 10\%$.

ABSTRACT

The design and principles of operation of an equipment used as a guide for the elaboration of high quality land surfaces like airtrips for airports, high-speed highways, building works, rice cultivation and other agriculture sectors, is described. A laser diode is used as a light source, and a mechanism rotates a penta-prism that generates a reference plane, starting from the laser diode emission. The equipment contains a self-leveling system that allows the establishment of slopes with a precision of ± 20 seconds of arc, and to establish two-direction slopes with $\pm 10\%$.

INTRODUCCION

En la actualidad los sistemas de referencia con emisor láser son fabricados por un número muy reducido de compañías en las que se destacan la firma norteamericana Spectra-Physics y la Laser Aligment, las cuales tienen presentado un grupo de patentes que protegen sus productos, además existen otros 2 productores reconocidos que son la firma Topcon de Japón y la Leica de Suiza. El dominio de esta tecnología por pocas firmas hace que su precio sea aún muy elevado, de aproximadamente 25 000 USD para un set (1 emisor y 3 receptores). La aplicación de esta tecnología tiene sus inicios en los finales de la década del 80 y principios del 90. Esto hace que el desarrollo de este equipamiento tenga presente el dominio de tecnologías novedosas y un valor económico sustancial para nuestro país, porque existe una necesidad inmediata de aplicar esta tecnología en diferentes cultivos, ya que su desarrollo permitirá un aumento de la eficiencia y calidad en la nivelación de terrenos, lo que propicia además, en el caso de los cultivos de arroz un incremento del rendimiento y un ahorro considerable de combustible y agua ya que se logra un drenaje adecuado en los terrenos arroceros.

Los sistemas de referencia desarrollados, como se puede apreciar en la Figura 1, están compuestos por:

El **emisor láser** es el alma de todos los niveladores de terrenos y es el encargado de generar un plano

de referencia a partir de la rotación de un haz de luz; él va montado sobre un trípode y colocado en el terreno o área a elaborar de forma tal que permita el control de los restantes elementos del sistema. Estos aparatos en sus inicios emplearon láseres de He-Ne pero ya en la actualidad se han sustituido por diodos láseres semiconductores y los mismos presentan grandes ventajas como son: pequeñas dimensiones, gran estabilidad en la emisión, larga vida útil y precios muy inferiores a los láseres de He-Ne. La introducción y propagación vertiginosa de estos diodos láseres semiconductores en esta tecnología ha permitido disminuir tamaño y costo de este equipamiento.

El **receptor** es un elemento fotoeléctrico que controla la posición del plano de luz láser. Él es el encargado de sensar a que altura está el plano de referencia en la posición en que se encuentra y electrónicamente emite señales a la estación de control sobre la posición del plano de luz relativo al centro (si está por encima, por debajo o en línea). Los receptores están formados por arreglos lineales de fotodiodos para sensar la luz láser y según la actividad a que están destinadas así se conforman.

En los sistemas de levantamiento topográfico estos están unidos a una regla telescópica lo que permite al técnico conocer la altura de ese punto en el terreno.

En los sistemas de levantamiento topográfico estos están unidos a una regla telescópica lo que permite al técnico conocer la altura de ese punto en el terreno.

El **tablero de indicación/control** es un instrumento que toma decisiones e indica las lecturas (si está por encima, por debajo o en línea) de los niveles al operador mientras que éste hace el trabajo de levantamiento topográfico del campo, o controla el borde cortante de la trailla halada por el tractor. Esto lo hace pasando la información del receptor y orientando las señales de subir o bajar a la caja de válvulas solenoide que controla los pistones hidráulicos que accionan la cuchilla de la trailla. Este tablero de indicación/control se utiliza en la nivelación de terrenos sobre tractores que arrastran las traillas sin fondo o compactas (acarreadoras), donde se necesita una inspección y un control automático de la cuchilla [1].

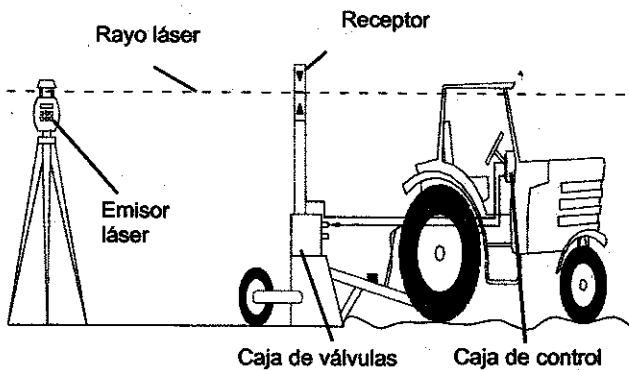


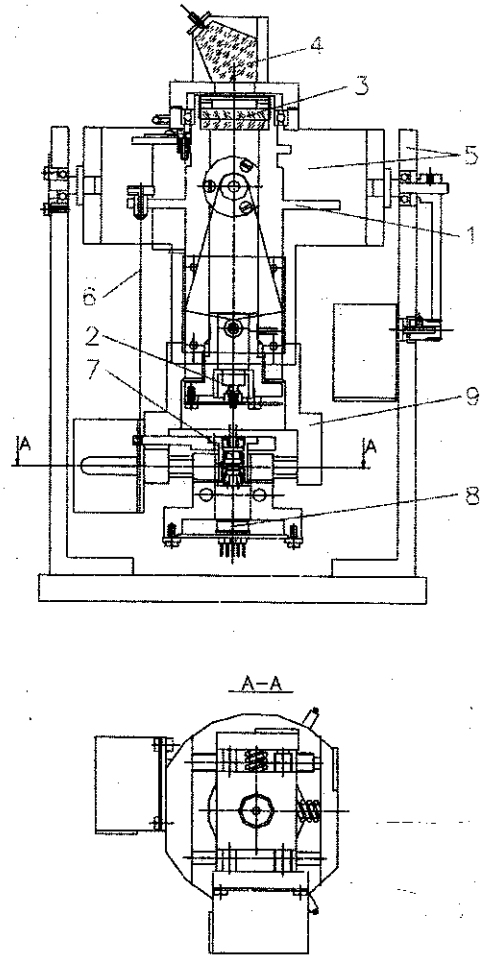
Figura I. Sistema de referencia.

DESARROLLO

Después de haber analizado cada uno de los elementos que trabajan con el emisor láser y de conocer como interaccionan, es importante explicar detenidamente como funcionará el emisor láser diseñado:

La central de transmisión consta de un emisor láser, una base elevadora y un trípode. Dicha central se localiza en un sitio conveniente en el campo, el emisor láser genera un haz de rayos láser rojo que rota 5 veces por segundo en un plano horizontal. Con esta velocidad el rayo forma un manto de luz plano que cubre un área de trabajo de hasta 250 m de radio, con una precisión de $\pm 20''$. Este plano de luz se utiliza como referencia a partir del cual se controla la trailla. El transmisor es totalmente autonivelable y de manera constante mantiene la pendiente o las pendientes deseadas, sin ser afectado por vibraciones de la tierra o cambios del viento. El resto del sistema está montado sobre el tractor.

El emisor láser es una unidad sellada para proteger del medio ambiente el láser, el sistema óptico y sus mecanismos. En la Figura II se



muestran las partes que componen el sistema.

Figura II. 1. Núcleo central, 2. Diodo láser, 3. Lente, 4. Pentaprisma, 5. Mecanismo de establecimiento de pendiente, 6. Péndulo, 7. Puntero láser, 8. Fotodiodo de cuatro cátodos, 9. Sistema x-y.

El sistema consta de un núcleo central (1) como se muestra en la Figura II, que contiene un diodo láser (2) de baja potencia que emite hacia arriba un haz de luz roja. Este haz incide en una lente (3) para enfocar a la distancia de 250 m una mancha de 20 mm de diámetro, posteriormente el haz incide en un pentaprisma (4) que origina que él mismo se proyecte a 90° respecto al de incidencia, este pentaprisma gira de forma constante y de esta manera se describe un plano de referencia a láser. Esta unidad central está soportada sobre un mecanismo de establecimiento de pendiente (5), compuesto por dos marcos giratorios dispuestos a 90° , simulando los grados de libertad de un giróscopo; cada marco es accionado por un motor

de paso con un sistema de reducción que permite alcanzar resoluciones de ± 20 arcseg . Para la selección de la pendiente se cuenta con un sistema de péndulo (6) sujeto al núcleo central, y que contiene a un puntero láser (7), cuyo haz incide sobre un fotodiodo de cuatro cátodos (8) soportado por un sistema x-y (9). Este sistema x-y permite seleccionar la pendiente mediante el desplazamiento del fotodiodo de cuatro cátodos, en la dirección x-y con una precisión de $\pm 10 \mu\text{m}$.

Este emisor láser cuenta con un circuito electrónico que tiene como función principal la de mantener la pendiente del plano que se genera según el valor prefijado por el usuario en las dos direcciones, lo que se logra mediante un sistema a lazo cerrado. También tiene como funciones adicionales la posibilidad de variar la pendiente del plano generado, en las dos direcciones anteriormente mencionadas, así como variar la velocidad de rotación del haz de luz que genera dicho plano, para lo cual se utiliza un pequeño teclado de 6 teclas y una pantalla alfanumérica de cristal líquido donde se muestra en todo momento el estado del equipo.

La célula fundamental del sistema es el sensor que determina la desviación del ángulo del plano respecto al valor prefijado por el usuario y con ello el sistema mantiene dicho ángulo constante. Este sensor está constituido por un fotodiodo de cuatro cátodos como detector y su circuito asociado; además consta de un diodo emisor de luz cuyo haz, enfocado sobre el área sensible del fotodiodo, funciona como "puntero", la desviación de este puntero respecto al centro del detector estará determinada por la desviación que existe entre el ángulo en que se genera el plano y el fijado por el usuario exteriormente mediante el teclado.

En régimen normal de operación, el emisor debe generar el plano con un ángulo igual al prefijado, pero se permite una desviación de 30 mm a 250 m de distancia por lo que se han identificado tres zonas de trabajo para el sistema de autonivelación: punto central, zona límite y fuera de zona.

Punto Central: En estas condiciones el puntero incide en el mismo centro del detector lo que significa que el sistema está nivelado; es decir, el ángulo del plano generado coincide con el prefijado.

Zona Límite: El ángulo del plano generado no coincide con el prefijado, pero se encuentra dentro del error permisible y a pesar de que se mantiene su generación, el sistema de autonivelación está funcionando para llevarlo a las condiciones del punto central.

Fuera de Zona: En estas condiciones se detiene la generación del plano, pues la desviación respecto al valor prefijado es mayor que la permisible por lo que el sistema de autonivelación está funcionando

con el objetivo de restablecer las condiciones que permitan continuar generando dicho plano.

En cada una de las condiciones anteriores, en la pantalla se indica el estado en que se encuentra el instrumento, es decir, si está nivelando o no.

Además de lo expresado con anterioridad el equipo cuenta con una protección para cuando no es posible la nivelación automática, debido a que el sistema mecánico, donde se monta la óptica que se encarga de generar el plano, está desplazada un ángulo mayor de $\pm 10^\circ$ respecto al cuerpo exterior del aparato, situación en la cual se detienen todas las operaciones de autonivelación y se da una indicación a través de la pantalla para que el operador realice una nueva orientación del aparato. También el equipo posee una protección contra el bajo nivel de la batería que alimenta todo el sistema con su correspondiente indicación.

El sistema está controlado por un microcontrolador 8751, el cual procesa los datos digitalizados de la salida del sensor y genera los códigos necesarios para el movimiento de los motores de paso, tanto los que ajustan la pendiente en cada dirección como los que accionan el sistema de nivelación automática del ángulo del plano.

En cuanto al programa que rige todo el proceso, está constituido por tres subrutinas principales: atención al teclado, ajuste de las pendientes y nivelación.

La subrutina de **atención al teclado** se encarga de chequear constantemente si se oprime una tecla y en ese caso ejecutar la función correspondiente a ella.

La subrutina de **ajuste de las pendientes** es la responsable del movimiento de los motores que posicionan al detector para lograr el ángulo deseado en el plano, en las dos direcciones, teniendo en cuenta el sentido de rotación de cada motor y la cantidad de pasos necesarios a dar por cada uno de ellos.

La subrutina de **nivelación** tiene como tarea sensar la posición del puntero a través del sensor de posición y mover los motores de paso del sistema de autonivelación en caso de ser necesario.

En la Figura III se muestra un diagrama en

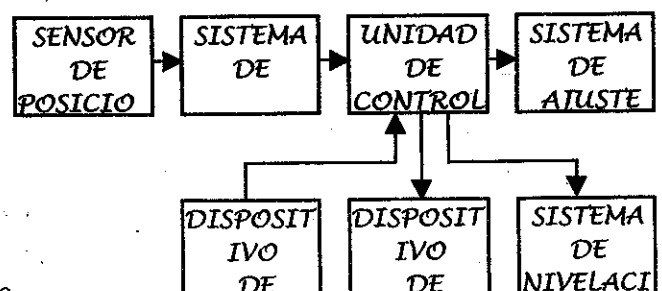


Figura III Diagrama en bloques

Para garantizar que los resultados sean consistentes y repetibles se necesita que el plano de luz permanezca estable, para ello es importante proporcionar la base más estable posible al emisor, para que de esta forma tengan que funcionar menos los mecanismos de autonivelación del mismo. Con el fin de minimizar cualquier tendencia a vibraciones o desviaciones, el emisor láser se ha diseñado cuidadosamente, utilizando componentes y materiales pesados.

CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se desarrolló un sensor de nivel horizontal a partir de un sistema óptico compuesto por láser, una lente y un fotodiodo de cuatro cátodos, que permite alcanzar una precisión de $\pm 0,01$ % de pendiente.

Además se alcanzó el diseño de un emisor láser para la nivelación de terrenos que permite nivelar terrenos de 250 m de radio con pendientes de hasta ± 10 % y con una precisión de ± 20 arcseg.

REFERENCIAS

- [1] Manual del operador del sistema Laserplane, Laser Alignment inc.
- [2] Manual de operación "The laser Beacon LB-4", Laser Alignment inc.
- [3] Lineal Databook I. National Semiconductor Corporation, 1987.
- [4] Microprocessor and Peripheral Handbook. Volume II. Peripheral. Intel Corporation, 1988.
- [5] Manual de operación modelo 1145, Spectra Physics inc.
- [6] Introducción a los microcontroladores, hardware, software y aplicaciones. Libro de texto. ISPJAE.
- [7] Patente: 4. 062. 634 System for controlling attitude of Laser beam plane (Diciembre 77).
- [8] Patente: 4. 653. 910 Remote indicator for a laser alignment system (Marzo 87).
- [9] Patente: 4. 676. 634 Detector device for a rotating light beam (Junio 87).
- [10] Patente: 4. 830. 489 Three dimensional laser beam survey system (Mayo 89).