

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN INSTRUMENTO TOPOGRÁFICO PARA LA
MEDICIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES DE
CARRETERAS**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

OMAR ISSAC GUTIÉRREZ GALARZA

ASESOR: Ing. Miguel Cataño

Lima, Agosto del 2011

Resumen

La medición de secciones transversales en las carreteras permite cuantificar el material de terreno o material que se va a transportar en camiones para la construcción de la carretera, siendo esto un costo significativo.

En la normatividad peruana se exige una medición del terreno bajo un método directo, que consiste en anotar mediciones de ángulos y distancias en la libreta de campo de forma manual para luego ser digitado en la computadora que procesará la información mostrando las estimaciones en los costos. Los instrumentos topográficos de origen extranjero no han sido diseñados para hacer tal medición directa de secciones transversales, por ella la necesidad de buscar alternativas para optimizar el proceso de medición.

En el trabajo de tesis se presenta los componentes necesarios para el diseño de un instrumento topográfico para medir distancia y ángulos de forma electrónica para evitar el uso de métodos manuales.

Utilizando las propiedades del láser se diseña un emisor y receptor para determinar la distancia utilizando el método del tiempo de vuelo. Se tiene el diseño de un circuito emisor con un diodo láser híbrido de la marca OSRAM. La etapa receptora se compone de fotodiodos y comparadores que se han utilizado en el método de discriminación del tiempo para poder detectar el punto del tiempo para empezar y terminar de contar el tiempo de viaje del rayo láser.

Para la medición de ángulos de inclinación se optó por utilizar un inclinómetro electrónico que se encuentra en un encapsulado de manera comercial, tiene características particulares para su funcionamiento y en el trabajo de tesis se presenta el diseño del circuito necesario para implementarlo.

ÍNDICE

Introducción		1
<u>CAPITULO 1</u>		
<u>EL PROCESO DE MEDICIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES Y LA</u>		
<u>PROBLEMÁTICA QUE EXISTE EN SU ENTORNO DE TRABAJO</u>		
1.1	Definición de las Secciones Transversales y Topografía	2
1.2	Plan de Desarrollo Vial	3
1.2.1	Importancia de Mejorar la Infraestructura de Transporte Vial	4
1.2.2	Integración de los Centros Poblados	4
1.3	Variables Del Medio Ambiente Específico	
1.3.1	Normativa Vigente en el Diseño Vial	5
1.3.2	Licitaciones Públicas para un Proyecto Vial	6
1.3.3	La Competencia entre Empresas Consultoras	6
1.4	Variables del Medio Ambiente Organizacional	
1.4.1	Recursos Financieros Destinados al Estudio de un Proyecto Vial	6
1.4.2	Recursos Humanos Destinados	7
1.4.3	Metodología en la Medición de Secciones Transversales	7
1.4.4	Deficiencias en la Metodología de Medición de Secciones Transversales	9
1.5	Declaración del Marco Problemático	10
<u>CAPÍTULO 2</u>		
<u>ADELANTOS TECNOLÓGICOS APLICADOS A LA TOPOGRAFÍA</u>		
<u>ESPECIFICAMENTE EN LA MEDICIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES</u>		
2.1	Estado del Arte	
2.1.1	Presentación del asunto de estudio	11
2.2	El Láser y sus aplicaciones	
2.2.1	Definición del Láser	11
2.2.2	Características del Láser	12
2.2.3	Modos de funcionamiento	12
2.2.3.1	Pulsado	12
2.2.3.2	Continúo	12
2.2.4	Aplicaciones del Láser	12
2.3	Transductores	
2.3.1	Sensores de Inclinación.	13
2.3.2	Fotodiodos.	13
2.3.3	Convertidores de Tiempo a Digital	13
2.4	Tecnologías para el estudio topográfico	
2.4.1	Teodolito	14
2.4.2	Estación Total	14
2.4.3	La Fotogrametría	15
2.4.4	GPS Sistema Global de Posición	16
2.5	Modelo Teórico	16

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DISTANCIA Y ÁNGULO

3.1	Diagrama de Bloques	18
3.2	Medición de Angulo de Elevación y Depresión	
3.2.1	Inclinómetros	18
3.2.1.1	Descripción	18
3.2.1.2	Criterios para la Selección del Inclinómetro	19
3.2.1.3	Componente Seleccionado: SCA61T-FA1H1G de VTI Technologies	
3.2.1.4	Diseño del circuito para el empleo del SCA61T-FA1H1G	20
3.3	Medición de Distancia con Láser	22
3.3.1	El Emisor de Pulsos Láser.	23
3.3.1.1	Descripción	23
3.3.1.2	Criterio para la Selección del Diodo Láser	23
3.3.1.3	Componente Seleccionado: Diodo láser SPL LL85 de OSRAM	24
3.3.1.4	Diseño del Circuito para el SPL LL85	26
3.3.2	Receptor del Rayo Láser	28
3.3.2.1	Descripción	28
3.3.2.2	Circuito Receptor del Rayo Láser.	28
3.3.3	Convertidor de Tiempo a Digital	30
3.3.3.1	Descripción	30
3.3.3.2	TDC-GP2 de Acam Mess Electronic	31

CAPITULO 4

PRUEBAS DE USO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

4.1	Inclinómetro	33
4.2	Medición de Distancia con Láser	34
4.2.1	Pruebas de Emisión del Rayo Láser	34
4.2.2	Recepción del Rayo Láser	35
4.2.3	Pruebas de Medición del Tiempo.	37
4.3	Costos derivados a las pruebas	38

<u>CONCLUSIONES</u>	40
----------------------------	----

<u>RECOMENDACIONES</u>	41
-------------------------------	----

<u>BIBLIOGRAFIA</u>	42
----------------------------	----

Introducción

La topografía es una ciencia que permite hacer una representación gráfica de la superficie de la tierra a través de métodos e instrumentos especiales. En nuestro país se siguen utilizando los métodos directo convencionales a pesar que existe modernos instrumentos, esto es debido a nuestra difícil y variada topografía que hace que estos métodos antiguos se sigan utilizando con instrumentos económicos y simples pero tienen el costo de exigir una labor más complicada que toma mayor tiempo y con errores, además que requiere de mano de obra especializada que podrían utilizarse en otras necesidades del proyecto.

Para el diseño de un proyecto vial se requiere previamente de un estudio topográfico y la medición de secciones transversales, que viene a ser la vista o corte perpendicular al eje de una vía, y sirve para poder cuantificar el movimiento de tierra y el costo de construir una carretera. No existe un instrumento moderno que haga una medición directa de secciones transversales sino que se tiene métodos indirectos con la ayuda de la computadora, pero resulta que nuestra normativa peruana del Ministerio de Transportes y Comunicaciones exige la medición de secciones transversales por métodos convencionales directos.

Es por estas razones que existe una brecha donde se necesita un instrumento topográfico electrónico destinado a la medición de secciones transversales que sea directo, preciso y económico. El presente trabajo de tesis tiene como objetivo identificar los componentes electrónicos y tecnología necesaria para poder desarrollar un instrumento de medición que permita cubrir la necesidad de modernizar los métodos que existen en el campo de la topografía peruana y diseño de proyectos viales

CAPITULO 1

EL PROCESO DE MEDICIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES Y LA PROBLEMÁTICA QUE EXISTE EN SU ENTORNO DE TRABAJO

1.1 Definición de las Secciones Transversales y Topografía

La Topografía estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de mediciones que determinan la posición relativa de puntos terrestres. Tiene un conjunto de operaciones que se necesita realizar para poder confeccionar una correcta representación gráfica planimétrica, o plano, de una extensión cualquiera de terreno, sin dejar de considerar las diferencias de cotas o desniveles que presente dicha extensión. Este plano es esencial para empezar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como lo es para elaborar cualquier proyecto. Es primordial contar con una buena representación gráfica, que contemple tanto los aspectos altimétricos como planimétricos, para ubicar de buena forma un proyecto.

Una sección transversal, es el “**corte**” o vista perpendicular al eje de una vía. La representación gráfica lo podemos ver en la Figura 1.1.

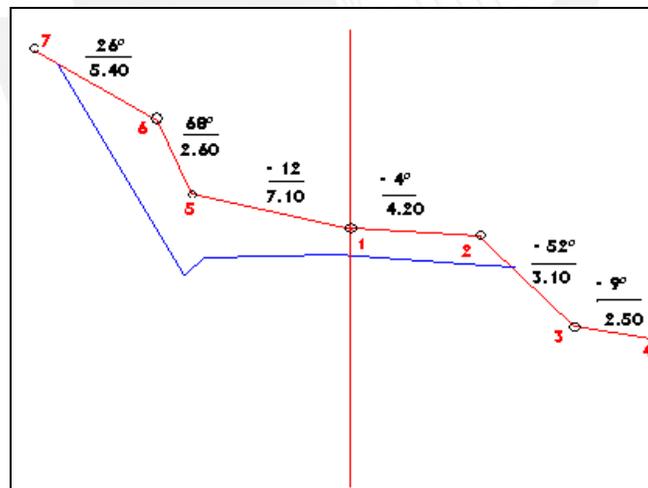


Figura 1.1. La sección transversal con los elementos que la componen.

Las secciones transversales se toman de forma directa, está formado con puntos de ángulos en grados sexagesimales y distancia como se ve en el esquema anterior, y se usa un instrumento netamente óptico y rudimentario llamado Eclímetro para medir ángulos, y las distancias se toman con cinta métrica de lona. En una carretera se acostumbra tomar secciones transversales cada 10 metros entre ellas

La sección transversal influye fundamentalmente en la capacidad de la vía, en su costo de expropiación, construcción, conservación y también en la seguridad de la circulación. Un proyecto realista deberá en general adaptarse a las condiciones existentes o previstas a corto plazo, pero estudiará la viabilidad de las ampliaciones necesarias en el futuro.

1.2 Plan de Desarrollo Vial

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha diseñado un ambicioso Plan de Desarrollo Vial el cual tiene por objetivo integrar los centros poblados con las zonas de producción y zonas turísticas más importantes del país. [1]

El plan, concebido como un aporte fundamental para el desarrollo y la lucha contra la pobreza, incluye objetivos bien definidos, que van a permitir la incorporación de extensas regiones productoras y con altos niveles de riqueza no aprovechada a los centros urbanos de intercambio y los principales puertos marítimos y fluviales. [1]

El plan considera la priorización de desarrollo de tres circuitos viales básicos, los cuales están conformados por tramos importantes de las carreteras Panamericana en la Costa, Longitudinal de la Sierra, la Marginal de la Selva y las carreteras de penetración. [1]

Al término del gobierno aprista del 85, la infraestructura vial se encontraba sumamente deteriorada y el país había alcanzado un crítico nivel de desarticulación e incomunicación que lo situaba al borde del colapso económico y social, en ese entonces sólo el 12% de la Red Vial Nacional se encontraba en buenas condiciones.

En una primera etapa, de 1991 a 1995, se ejecutó un programa de urgencia destinado a recuperar un nivel de accesibilidad mínimo indispensable, para luego emprender un programa de rehabilitación del sistema intermodal comercial de las zonas de alto potencial de recursos agropecuarios conectándolos con los mercados de consumo, así como la interconexión con los países vecinos de América del Sur, en la búsqueda implementar un sistema de transporte multimodal eficiente, moderno y esencial para el desarrollo del país.

Durante esos años, el MTC ejecutó con recursos del Tesoro Público y Endeudamiento Externo, decenas de obras de rehabilitación de carreteras, puentes y aeropuertos.

Como punto de partida de un plan de mayor alcance, en febrero de 1992 se suscribe el primer contrato de préstamo con el BID para un programa de 322,5 millones de dólares, de los cuales 210 millones aportada por el BID y 112.5 millones el Tesoro Público. Las obras correspondientes se inician en agosto de ese año, los logros alcanzados son evidentes.

En 1995 se concluye la rehabilitación de la carretera Panamericana entre Aguas Verdes (Tumbes) y la Concordia (Tacna) así como la Carretera Central entre Lima y Huanuco.

1.2.1 Importancia de Mejorar la Infraestructura de Transporte Vial

El gobierno está dando la prioridad de atraer inversión privada a la mejora de la infraestructura de transporte del Perú, con esfuerzos de mantener mejor la red nacional de las carreteras, además con un proyecto para mejorar la integración entre los puertos peruanos y brasileños. Un proyecto que se viene ejecutando es incorporar la construcción de un puente sobre el río de Madre de Dios, para proporcionar transporte de camino entre el estado brasileño del Acre y el departamento de Madre de Dios.[2]

Escobal dice: “Los resultados muestran que las mejoras en la infraestructura rural de transporte pueden tener un impacto positivo sobre los ingresos rurales y su composición, ya que un camino en mejores condiciones amplía las oportunidades de generación de ingresos de los hogares, especialmente en actividades de empleo asalariado no agropecuario.” [3]

1.2.2 Integración de los Centros Poblados

La infraestructura rural de transporte en el Perú, está integrada por la red vial vecinal, el sistema fluvial y sus muelles, pequeños aeródromos y los caminos de herradura. [4]

Su principal componente, la red vial vecinal tiene las siguientes características:

- Tiene una longitud total de 46,909 Km. constituyendo más del 60 % de la red vial terrestre en el Perú.
- Permite accesibilidad al 30% de la población y al 90 % de pueblos del Perú, a mercados locales y regionales, a servicios públicos (educación y salud fundamentalmente), a contar con información y en otros casos a mejorar la calidad de la información con que cuentan los agentes rurales. En ese sentido, es la vía más importante desde el punto de vista de conectividad e integrabilidad entre centros poblados del país.

- Permite articulación y conformación de las redes viales en el Perú. Las redes viales de mayor jerarquía como los departamentales y nacionales pierden importancia sin la presencia de estas vías.
- Son caminos que están ubicadas en el mundo andino que se caracteriza por tener elevadas pendientes y gran diversidad geográfica (topografía accidentada, taludes inestables, fallas geológicas, etc.)
- En la mayoría de casos son caminos que están al final del tejido vial. Son las vías que alimentan fundamentalmente a las vías secundarias.
- Caminos que unen capitales de distrito con otras capitales de distrito y/o provincia, capitales de distrito con centros poblados, caseríos, anexos, comunidades, etc.
- El mantenimiento rutinario (todos los días) de estos caminos requiere poca calificación y usa una tecnología intensiva en el uso de la mano de obra.
- En general son caminos con bajos niveles de servicio que hace complejo la autosostenibilidad financiera, por lo tanto requiere de mecanismos de subsidios y transferencias.
- Es un bien público puro. Es muy caro establecer puestos de identificación a los usuarios ya sea para cobrar peajes o excluir del consumo a los que no lo hacen, por ejemplo; y, cuando ya existe la vía, que lo use otra persona, con un vehículo u otro medio de transporte, no reduce el consumo de otra persona, es decir, un consumidor no rivaliza con otro.

1.3 Variables Del Medio Ambiente Específico

1.3.1 Normativa Vigente en el Diseño Vial

El Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTC), a través de La Dirección General de Caminos, teniendo en cuenta las condiciones actuales del sistema vial del país, ha promovido la actualización de la normativa vigente, para lo cual ha preparado el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001). [5]

La Guía de Diseño Geométrico del MTC reúne los métodos y procedimientos necesarios para proyectar el trazado de una carretera. Sus disposiciones son de carácter explicativo y de recomendación para todos los proyectistas que realicen diseños contratados por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción de la República del Perú.

No se debe perder de vista al definir las características geométricas de la vía, que el objetivo del diseño de los caminos es el de crear una carretera de tipo apropiado, con

dimensiones y características de alineamientos tales que la capacidad resultante sea, cuando menos, tan grande como la demanda del proyecto, pero no tanto como para que su realización represente una extravagancia o un desperdicio. Donde se logre este objetivo, el resultado será un sistema de carreteras bien equilibrado y económico.

Hay que obtener la economía o el menor costo posible, tanto de la ejecución de la obra, como del mantenimiento y la explotación futura de la misma, alcanzando siempre una solución de compromiso con el resto de objetivos o criterios.

La elasticidad suficiente de la solución definitiva para prever posibles ampliaciones en el futuro.

1.3.2 Licitaciones Públicas para un Proyecto Vial

Es una modalidad de selección que contempla la actual Ley de Contrataciones y Adquisiciones del Estado, por la cual una entidad estatal como el Ministerio de Transportes realiza un concurso público para seleccionar el mejor postor para efectuar el estudio de un proyecto vial. El ganador es el que tiene un mejor perfil económico y técnico para ejecutar el estudio vial.

El hecho de que se convoque a una licitación pública es porque se cuenta con el financiamiento necesario y ya se tiene un precio base de lo que va costar el estudio. Es ganador del concurso el que tiene el mejor plan de trabajo, el mejor precio y con un mejor personal técnico.

1.3.3 La Competencia entre Empresas Consultoras

Son las empresas privadas encargadas en realizar el diseño y costo de un proyecto vial para ello cuenta con un staff de ingenieros especializados, equipos topográficos, equipos de cómputo, etc. Este conjunto hace que una empresa sea sólida y competitiva para una licitación pública ya que tendrá mejores costos y podrá ofrecer sus servicios a menor costo por kilómetro, haciéndose más atractiva para ganar la licitación. En la licitación pública se evalúa dos aspectos: el económico y el técnico.

1.4 Variables del Medio Ambiente Organizacional

1.4.1 Recursos Financieros Destinados al Estudio de un Proyecto Vial

El Ministerio de Transportes convoca a un concurso público para realizar el estudio de factibilidad de la carretera, el consultor ganador determina si el proyecto es rentable o no. Si es rentable el estudio de factibilidad sirve para justificar ante el MEF, que lo ingrese al SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública).

Luego el MTC lo incluye en su plan anual, pero antes necesita el estudio de ingeniería definitivo, que ya tiene partida del MEF, entonces convoca una licitación pública para el estudio definitivo. El consultor ganador realiza el estudio de ingeniería, estimando con cifras muy aproximadas el monto de la obra a ejecutar.

1.4.2 Recursos Humanos Destinados

La empresa consultora ganadora de la licitación de pública para el estudio definitivo del proyecto vial reúne a sus especialistas en diseño vial y los manda a la obra en el interior de país, con un presupuesto y equipos topográficos.

El topógrafo que se va encargar de las mediciones de secciones transversales lleva sus equipos necesarios y si lo requiere a su personal de apoyo o lo que sucede en la mayoría de veces se contrata ayuda local para que sirvan de asistentes. En la obra la experiencia del jefe de la brigada es muy importante ya que estarán sometidos a diversas presiones debido a condiciones ambientales que puedan atrasar su avance como la lluvia, o también sucede que se encuentran en lugares alejados del país sin acceso al teléfono que dificulta la comunicación con su sede. El presupuesto con el que cuentan este bien medido y deben administrarlo muy bien pues requerir más dinero significa viajar un par de horas para llegar a un banco para recibir una transferencia bancaria o a veces la empresa consultora tiene problemas de liquidez y se le dificulta girarle un dinero adicional.

1.4.3 Metodología en la Medición de Secciones Transversales

Para la medición de secciones transversales se cuenta con un eclímetro para la medición de ángulos de inclinación con respecto a una horizontal y de una cinta métrica de lona para medir distancias. El eclímetro es un instrumento opto mecánico entonces antes de empezar a utilizarlo hay que verificar si se encuentra bien equilibrado sino se obtendría malos datos (ver figura 1.2).

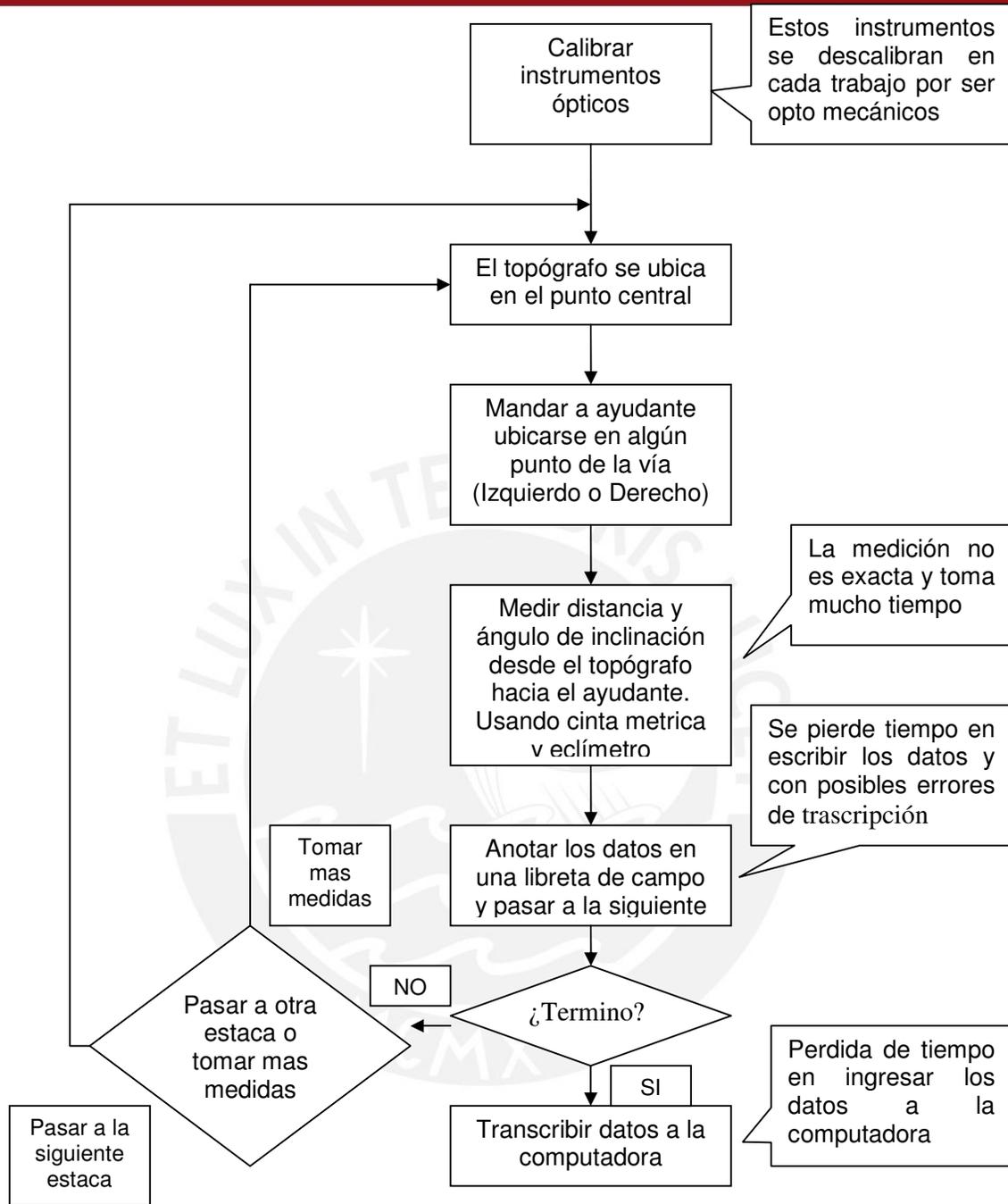


Figura 1.2. Flujo del proceso de medición de las secciones transversales.

El topógrafo se ubica en el punto central del tramo del futuro proyecto vial. Manda al primer ayudante ubicarse en algún punto de la vía (Izquierdo o Derecho perpendicular a su posición) esto depende del criterio del topógrafo y el tipo de terreno donde mande a posicionarse al ayudante. Luego un segundo ayudante mide la distancia con la cinta métrica, entre el primer ayudante que se ubicó en una posición determinada y el topógrafo luego toma el ángulo de inclinación que tiene respecto a la horizontal hacia

el primer ayudante. Esto solo es el primer punto tiene que repetir lo mismo para otros puntos y así sucesivamente cada 10 metros; cada conjunto de puntos forma una sección transversal.

Las secciones transversales se anotan en una libreta de campo, llenándose con el conjunto de datos de distancia y ángulos que forman los puntos de la sección transversal. Al finalizar la obra el topógrafo habrá llenado una buena cantidad de libretas de campo que servirán para ser digitadas en la computadora para su procesamiento, son con estos datos lo que son necesarios para el estudio definitivo. Una representación del proceso, se presenta en la Figura 1.3.

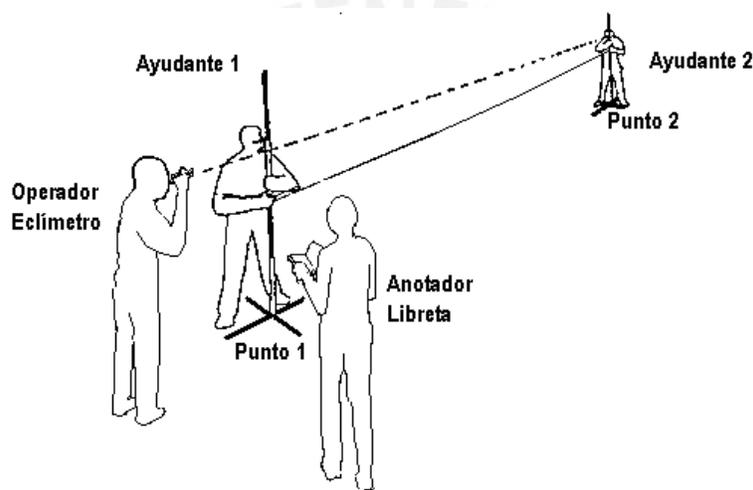


Figura 1.3. Representación de la metodología para la medición de secciones transversales

1.4.4 Deficiencias en la Metodología de Medición de Secciones Transversales

Los instrumentos topográficos al ser manipulados en el campo o por estar expuestos a excesivo movimientos, y también por el desuso el instrumento se descalibran produciendo mediciones incorrectas. Se tiene que llevar a centros especializados para volver a calibrarlos.

Para la medición de secciones transversales se realiza entre varias personas y con cinta métrica de lona que con el tiempo se van estirando además los lugares son a veces difíciles de acceder. Sucede también que el eclímetro para medir ángulos de elevación es un método óptico que depende del operario, es decir se debe tener una buena visión y tener un buen pulso.

Los datos de medición de distancia y ángulo de inclinación se anotan con una metodología en la libreta de campo. Sucede que por la mala caligrafía del operador y

por la densidad de datos, se transcriben defectuosamente o a veces necesita de mayor cuidado.

Con los datos transcritos en la libreta de campo, cuando se termina la medición de todas las secciones se pasan a transcribir en algún software especializado, la cantidad de secciones es variada pero toma bastante tiempo y exige un cuidado de no introducir datos erróneamente.

1.5 Declaración del Marco Problemático

La metodología para la medición directa de secciones transversales es de las más antiguas y en nuestro país se siguen utilizando debido a nuestra topografía accidentada que tenemos. En países más desarrollados esta metodología ha sido desplazada por métodos indirectos de cálculo de secciones transversales que utilizan equipos topográficos electrónicos más modernos, como la Estación Total y con ayuda de un software se estiman las secciones transversales de manera indirecta.

Las mediciones con eclímetro y cinta métrica de lona se hacen en un tiempo de 12min por cada sección transversal, y si por cada kilómetro de carretera hay por lo menos 10 secciones, un proyecto de regular magnitud toma semanas completar las mediciones y además sin tomamos el tiempo que toma la transcripción de datos a la computadora para su procesamiento estos plazos se vuelven importantes en la estimación de los costos. Según información proporcionada el costo por Kilómetro de topografía esta unos 2000 soles por Kilómetro, siendo el 40% la intervención de la secciones transversales.

En el país, hay miles de kilómetros de caminos que se necesitan construir o mejorar, por lo tanto la búsqueda de métodos que busquen ahorrar algún componente del presupuesto, permitirá la viabilidad del proyecto.

Las empresas consultoras en ingeniería contratan personal destinado a la mediciones topográficas para determinado proyecto y los costos para logística, viáticos, alquilar de equipos e instrumentos, además de los ayudantes que mayormente se contratan en la misma zona, todos estos factores influyen en la competitividad de la empresa y su eficiencia para desarrollar proyectos viales. También un ahorro en los costos hará reducir los precios de contrato al momento que el Estado hace las licitaciones para diversos proyectos viales.

CAPITULO 2

ADELANTOS TECNOLÓGICOS APLICADOS A LA TOPOGRAFÍA ESPECIFICAMENTE EN LA MEDICIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Presentación del asunto de estudio

El Láser se ha vuelto un elemento muy útil y tan común para la vida actual, los encontramos desde en forma de lápiz para la presentación de transparencias o diapositivas durante conferencias y hasta en discotecas que sirven para hacer juego de luces, pero el Láser tiene muchas tareas distintas, que van desde medicina hasta trabajos industriales. Solo la imaginación es el límite para el desarrollo de aplicaciones para el Láser.

Sus aplicaciones han llegado hasta la Topografía de precisión, con equipos electrónicos y con capacidad de almacenar datos.

Al respecto, en países en vías de desarrollo, es tan importante la construcción de infraestructura vial y de caminos rurales para la integración del País, que necesariamente estos proyectos pasan necesariamente por un estudio topográfico previo para poder estimar los costos y beneficios de la obra a ejecutar.

Existe variedad de equipos electrónicos, ópticos y mecánicos para los estudios topográficos, siendo la mayoría tecnología de origen extranjero. Pero estos equipos topográficos no se adaptan a ciertos requerimientos que existen en la geografía local, generando inconvenientes.

En el presente capítulo se desarrolló la tecnología basado en Láser y luego abordaremos los instrumentos topográficos que existen. Haremos recuento de los equipos que se utilizan en la actualidad. Finalmente, se evaluará las ventajas y desventajas de los equipos que se ha de mencionar.

2.2 El Láser y sus aplicaciones

2.2.1 Definición del Láser

Un láser es un dispositivo de amplificación de luz por emisión estimulada de radiación, produciendo un tipo muy especial de luz. Los diodos láser, son semiconductores de pequeño tamaño y su uso es para la electrónica, funcionan con circuitos especiales y operan de manera similar a un diodo LED.

2.2.2 Características del Láser

Es una luz intensa, que emiten tan sólo algunos milivatios y son capaces de producir una elevada intensidad en un rayo de un milímetro de diámetro. [6]

Los haces de láser son estrechos y no se dispersan como los demás haces de luz. Por ello es posible focalizarlos en un punto muy pequeño. Esta cualidad se denomina direccionalidad.

Los láser pueden producir muchos miles de vatios continuamente; otros son capaces de producir billones de vatios en un impulso cuya duración es tan sólo la mil millonésima parte de un segundo.

La luz láser es coherente y monocromática. Esto significa que todas las ondas luminosas procedentes de un láser se acoplan ordenadamente entre sí y producen luz de una sola longitud de onda, causando un solo color.

2.2.3 Modos de funcionamiento

2.2.3.1 Pulsado.

En un láser pulsado en un intervalo pequeño de tiempo, la potencia láser sufre variaciones periódicas, la potencia emitida se encuentra entre los 10 W y 100 W. Esto es útil en el corte de esquinas agudas en chapa, en elevadas potencias para el taladrado y marcado.

2.2.3.2 Continuo

Se caracteriza por un nivel continuo de potencia emitida, de orden pequeño. Es ampliamente utilizado para aplicaciones industriales. Es el caso de numerosas aplicaciones de corte, soldadura y tratamientos térmicos de metales.

2.2.4 Aplicaciones del Láser

El Proyecto "LOLA", siglas en inglés para el Lunar Orbiter Láser Altimeter ó en español Altímetro Láser del Orbitador Lunar. Fue lanzado en Junio del 2009 y forma parte de uno de los siete instrumentos a bordo de la nave Lunar de Reconocimiento Orbital. LOLA funciona enviando pulsos de luz láser que rebotan en la superficie lunar mientras se encuentra en órbita alrededor de la Luna. Al medir el tiempo que tarda la luz en viajar a la superficie y regresar, LOLA puede calcular la distancia del viaje de ida y vuelta. LOLA puede cronometrar los pulsos con una precisión de 0,6

nanosegundos, correspondiente a un error de distancia de no más de 10 centímetros.
[7]

En Cuba se realizó el proyecto que consistía en la comprobación de la eficacia terapéutica, en algunas de las patologías donde ha sido usada con éxito la terapia láser de baja potencia [8]

En la Universidad *Illes Balears* participan en un proyecto que sentará las bases teóricas para descifrar la última predicción de Einstein Una nueva generación de interferómetros de láser se aprestan a detectar la radiación gravitacional [9]

Desde hace 30 años el programa de Gobierno para la Defensa de los Estados Unidos viene desarrollando tecnología Láser, para uso militar. Se piensa desarrollar armas que tengan precisión de apuntar el objetivo a más de 10 a 15km y emitir una potencia alrededor de 100kW. [10]

2.3 Transductores

2.3.1 Sensores de Inclinación.

Sensor electrónico empleado para determinar el ángulo de inclinación de un sistema con respecto a la horizontal, conocido también como inclinómetros. Los inclinómetros son instrumentos electrónicos de alta sensibilidad, salida analógica y/o digital con bajo consumo de poder. Existen basados en mercurio o midiendo la aceleración de la gravedad.

2.3.2 Fotodiodos.

Son dispositivos semiconductores contruidos con una unión PN, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja, es el detector más importante utilizado en los sistemas de comunicación. Los fotodiodos pueden operar en dos modalidades: fotovoltaico, donde no hay fuente de polarización aplicada al diodo; fotoconductiva, donde el diodo opera con polarización inversa.

Para que su funcionamiento sea correcto se polarizarán inversamente, con lo que producirán una cierta circulación de corriente cuando sean excitados por la luz.

2.3.3 Convertidores de Tiempo a Digital

En la electrónica de instrumentación y procesamiento de señales se conoce al convertidor de tiempo a digital al dispositivo que convierte la señal entre dos pulsos separados por un tiempo y lo representa de forma digital. En otras palabras mide el

tiempo entre dos eventos consecutivos y con una precisión de picosegundos. El convertidor de tiempo a digital se base en un simple contador de alta frecuencia.

2.4 Tecnologías para el estudio topográfico

Siendo la topografía la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie de la Tierra, tanto en planimetría como en altimetría. En esta sección se presentan unas breves reseñas sobre las tecnologías que existen para el estudio topográfico del terreno.

2.4.1 Teodolito

El teodolito es un instrumento de medición mecánico-óptico que sirve para medir ángulos verticales y, sobre todo, horizontales, ámbito en el cual tiene una precisión elevada.

Es portátil y manual, está hecho para fines topográficos. Con ayuda de una mira y mediante la taquimetría puede medir distancias. Un equipo más moderno y sofisticado es el teodolito electrónico, más conocido como estación total.

2.4.2 Estación Total

Se denomina estación total a un instrumento topográfico electro-óptico cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Este instrumento consiste en la incorporación de un distanciómetro a un teodolito electrónico y un microprocesador.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, y seguidor de trayectoria y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla.

Hay que recalcar que la desventaja de la Estación Total es su dificultad en la toma de secciones transversales pues no ha sido diseñado para ese uso porque se toma más tiempo estacionando el equipo y hay que hacer una serie de artificios en la configuración del equipo para que se pueda tomar secciones transversales pero siendo aún dificultoso hacerlo.

2.4.3 La Fotogrametría

La fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo; el levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la fotogrametría a la Topografía.

Muchos mapas topográficos se realizan gracias a la fotogrametría aérea; utilizan pares estereoscópicos de fotografías tomadas en levantamientos y, más recientemente, desde satélites artificiales como los spot [11]. En las fotografías deben aparecer las medidas horizontales y verticales del terreno. Estas fotografías se restituyen en modelos tridimensionales para preparar la realización de un mapa a escala. Se requieren cámaras adecuadas y equipos de trazado de mapas muy precisos para representar la verdadera posición de los elementos naturales y humanos, y para mostrar las alturas exactas de todos los puntos del área que abarcará el mapa. Una aplicación de la fotogrametría se ve en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Trazado de curvas de nivel sobre una fotointerpretación.

Una gran cantidad de labores distintas surgieron para la fotogrametría durante los últimos decenios. En primer plano figuran, en numerosos países, los levantamientos topográficos del territorio. A esto se suman una gran variedad de mapas especiales y fotoplanos para los fines de la Economía, del tráfico, de la Ciencia y de la administración. Algunos ejemplos de las anteriores son: La urbanización, el catastro, el parcelamiento moderno, el planeamiento de ciudades, pueblos y villas, la variedad de

levantamientos forestales y agrícolas, la geografía científica y aplicada con sus numerosas ramas especiales y ciencias limítrofes.

2.4.4 GPS Sistema Global de Posición

Consiste en un sistema que permite calcular las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde una constelación de satélites en órbita. Básicamente, su principal funcionalidad es que permite al usuario conocer, mediante un receptor, su posición en cualquier parte del planeta.

Los GPS Topográficos tienen precisiones desde varios milímetros hasta menos de medio metro. [12]

El GPS no reemplaza a la estación total, en la mayoría de los casos se complementan. Es en levantamientos de gran extensión donde el GPS resulta particularmente práctico, ya que no requiere una línea de vista entre una antena y otra, además de tener el GPS la gran limitante de trabajar solo en espacios con vista al cielo, las radioseñales emitidas por los satélites no pueden penetrar una vegetación muy espesa o densa, rocas, edificios o accidentes geográficos [13], en lugar de abrir una brecha para tener visual entre la estación total y el prisma. Así mismo es común hacer el levantamiento de dos puntos con GPS (línea de control) y posteriormente usar la estación y en lugar de introducir coordenadas arbitrarias introducimos coordenadas geográficas, y todo lo que se levante con la estación estará georeferenciado.

2.5 Modelo Teórico

Para la implementación de un instrumento para la medición de secciones transversales se necesita primero contar con un sistema de medición de distancia preciso, por ello se opta por utilizar el láser por su característica de direccionalidad (ver figura 2.2).

Para la medición de la distancia utilizando láser, se utilizara el método de medición por “tiempo de vuelo” (TOF). El instrumento emitirá un pulso láser con una potencia entre 5 a 50W en un intervalo de tiempo de 2 a 50 ns, este pulso que se emite inicia el conteo del tiempo, llegando a un prisma reflector que viene hacer el objetivo que se desea saber su distancia. El pulso láser es reflejado por el prisma, y llega a un fotodiodo receptor que es polarizado, el tiempo que tardo el pulso láser en ir y regresar se registra para con ello determinar una distancia recorrida.

Una vez determinado la distancia, se procede a medir el ángulo de inclinación con un sensor electrónico en grados sexagesimales, se utiliza un sensor de inclinación con una salida digital. Teniendo los datos de distancia y ángulo estos se almacena en bancos de memoria del instrumento para su transmisión serial hacia la computadora con un software especial para topografía. El instrumento necesitara de una interfaz con el usuario para poder agregar, eliminar, o modificar las secciones transversales a medida que se encuentra en el campo tomando los datos.

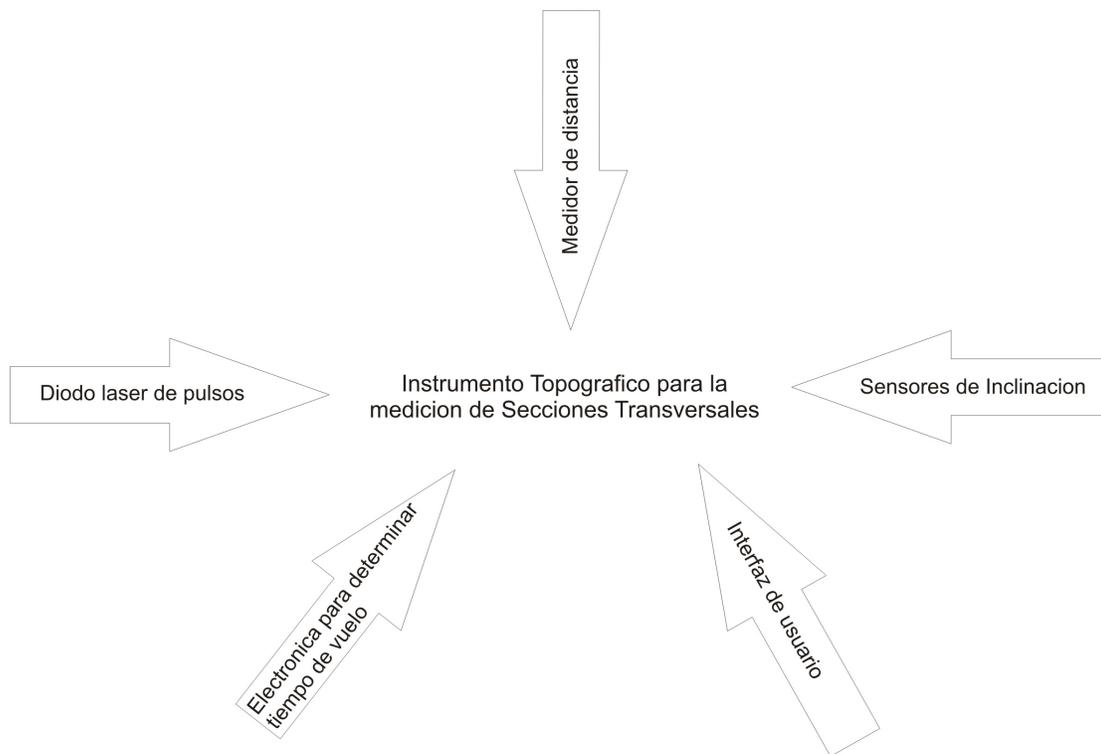


Figura 2.2. Representación Gráfica del Modelo Teórico.

CAPITULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DISTANCIA Y ÁNGULO

3.1 Diagrama de Bloques

Como hemos mencionado el equipo topográfico debe ser capaz de medir ángulos y distancias para ello se presenta un diagrama de bloques en la Figura 3.1. Donde se observa que un microcontrolador recolecta la información de distancia y ángulo que luego almacena en una memoria y lo presenta al usuario.

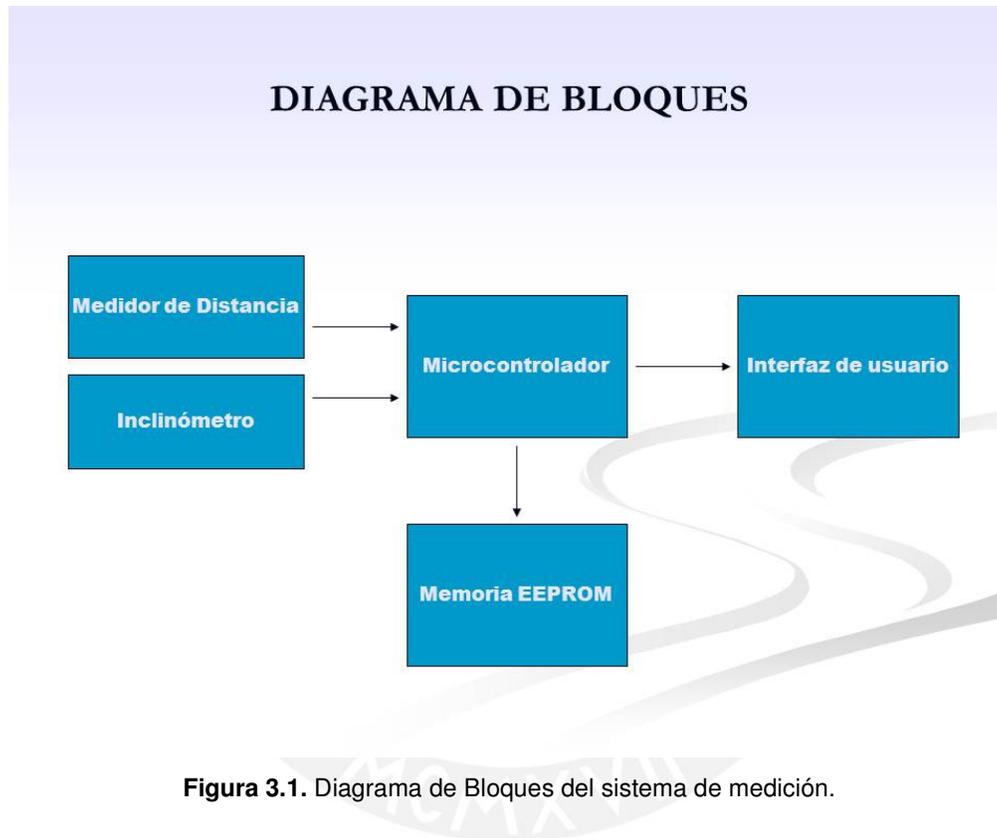


Figura 3.1. Diagrama de Bloques del sistema de medición.

3.2 Medición de Angulo de Elevación y Depresión

3.2.1 Inclinómetros

3.2.1.1 Descripción

Los inclinómetros son sensores que transforman ángulos de elevación o depresión en voltajes analógicos y también en datos digitales, tienen una gran sensibilidad a los cambios de inclinación. Para el conjunto del instrumento topográfico es un componente importante tener datos de ángulo con buena exactitud; en la medición de secciones transversales los ángulos se miden en grados sexagesimales, el instrumento que se diseña debe tomar de manera inmediata varias muestras para que luego sean promediadas obteniendo un resultado final que representara un ángulo de

elevación o depresión. El microcontrolador va a recibir un dato binario para procesar y convertirlo en ángulo sexagesimal.

3.2.1.2 Criterios para la Selección del Inclinómetro

Para la selección del inclinómetro se necesitara tomar en cuenta los siguientes factores:

- Exactitud, de $\pm 1^\circ$ grado sexagesimal
- Tamaño, un integrado menor a un área de 4cm^2
- Rango, el instrumento requiere que mida de -90° a 90° grados sexagesimal.
- Costo, inferior a \$100 (dólares americanos)

Para el caso de medición de secciones transversales, con medir la inclinación con una exactitud de $\pm 1^\circ$ grado sexagesimal bastaría; sin embargo valores más precisos permitirá tener modelos más exactos durante el procesamiento de la información.

Como se desea un instrumento práctico y portátil, en su conjunto de poco tamaño y peso para que sea transportable, entonces el inclinómetro que forma parte del instrumento topográfico deberá ser menor 4cm^2 y un peso inferior a los 100 gramos. Además si su implementación requiere de pocos componentes adicionales podría reducir el tamaño del circuito impreso.

Existen opciones ópticas para medir ángulo de elevación o depresión que existen comercialmente (Ej. Eclímetro o Nivel) que miden en un rango de $\pm 90^\circ$ grados sexagesimal y tiene un costo por encima de los \$100 (Cien Dólares Americanos), entonces un inclinómetro deberá tener un precio inferior, ya que la solución que presento debe ser más económica.

3.2.1.3 Componente Seleccionado: SCA61T-FA1H1G de VTI Technologies

En el mercado existe una variedad de inclinómetros de distinta aplicación, forma, tamaño y costo, para el estudio se tuvo que elegir entre dos modelos, el ADIS16203 [15] de Analog Devices y el SCA61T-FA1H1G[16] de VTI Technologies. Un cuadro comparativo con sus características se presenta en la Tabla 3.1.

	ADIS16203	SCA61T-FA1H1G
Rango de Medición	$\pm 180^\circ$ grados sexagesimal	$\pm 90^\circ$ grados sexagesimal
Exactitud	$\pm 0.62^\circ$ grados sexagesimal	$\pm 0.23^\circ$ grados sexagesimal

Resolución Digital	0.025 ° / LSB	0.07 ° / LSB
Tamaño	9.35cm x 8.37cm	10.48cm x 11.31cm
Precio	49.52 Dólares Americanos	49.16 Dólares Americanos

Tabla 3.1. Cuadro Comparativo entre el ADIS16203 y SCA61T-FA1H1G

Haciendo una comparación es seleccionado es el SCA61T-FA1H1G de la empresa VTI Technologies porque se encuentra justo en el rango necesario y tiene una mejor exactitud, se presenta las siguientes características adicionales:

Rango de medida	:	De -90 a +90 grados sexagesimales
Exactitud	:	+/- 0.23 grados sexagesimal
Sensibilidad	:	35 mV/°
Resolución	:	0.07 ° / LSB. Conversor ADC interno de 11 bits
Comunicación	:	Soporte para comunicación serial entre circuitos – SPI



Este modelo especialmente tiene salidas de tipo analógico y digital. La salida digital ahorra la necesidad de contar con un ADC adicional, así los datos binarios representados con una resolución de 11 bits irían directamente al microcontrolador para que sean transformados a ángulo

sexagesimal, con 11 bits tenemos una resolución de 0.07°/LSB según hoja de datos [16]. El inclinómetro SCA61T cuenta con el estándar de comunicación entre circuitos integrados el SPI, esto facilitará su uso con un microcontrolador que también soporte SPI.

Una desventaja es que la salida del inclinómetro es dependiente de la tensión de alimentación que es 5v que si cambia de valor también el resultado cambiaría, por ello se recomienda el uso de fuente regulada y estar verificando que la tensión se mantenga. Esto se indica en su hoja de datos en la sección 2.3.

3.2.1.4 Diseño del circuito para el empleo del SCA61T-FA1H1G

El circuito que se implementó siguiendo las indicaciones del fabricante necesario para utilizar el SCA61T-FA1H1G se presenta a continuación en la figura 3.2.

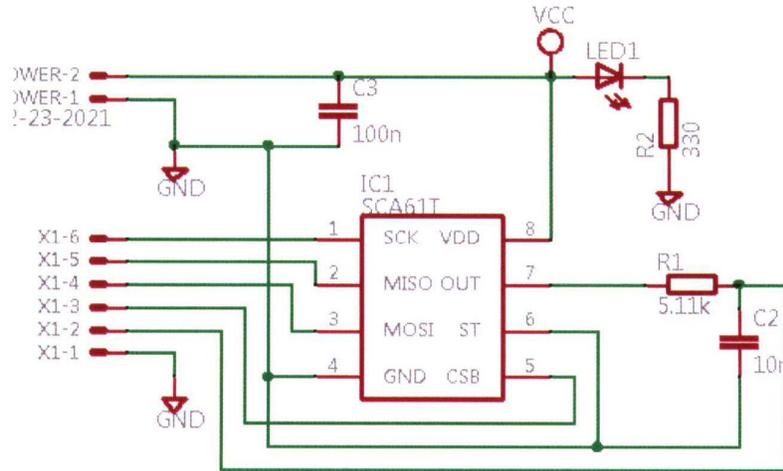


Figura 3.2. Circuito esquemático para el inclinómetro SCA61T.

El SCA61T se alimenta con 5v y debe ser una fuente regulada, como se observa en la Tabla 3.2 que son valores obtenidos de la hoja de datos del componente. Se mencionó anteriormente que su salida que representa el ángulo depende de su alimentación por eso se coloca un condensador de 100nF adicional para garantiza la estabilidad de una fuente externa lejana. La salida analógica es el PIN7 y tiene un filtro pasa bajo para reducir los ruidos proveniente del reloj interno que tiene el componente, según recomienda el fabricante en su hoja de datos. Para el envío de datos se utiliza la comunicación serial en SPI, que necesita 3 líneas SCK, MOSI, MISO y una línea más de habilitación que viene del microcontrolador. Las salidas digitales y analógicas se conectan a un conector del tipo MOLEX para su posterior conexión con el módulo de pruebas que se tiene en los laboratorios de la universidad.

Tabla 3.2. Valores de operación del SCA61T obtenido de la hoja de datos.

Supply voltage (V _{DD})	-0.3 V to +5.5V
Voltage at input / output pins	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)
Storage temperature	-55°C to +125°C
Operating temperature	-40°C to +125°C
Mechanical shock	Drop from 1 meter on a concrete surface (20000g). Powered or non-powered

El SCA61T tiene una salida de tensión proporcional (PIN7 VOUT) al ángulo de inclinación como se indica en la siguiente figura 3.3. El SCA61T mide en la dirección X mientras se va girando el componente.

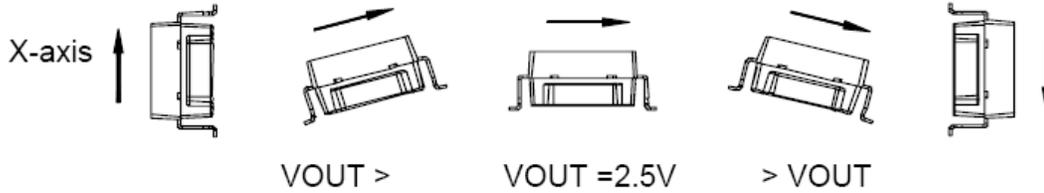


Figura 3.3. Funcionamiento del inclinómetro, a medida que gira alrededor de su eje X el voltaje de salida varia.

Además de una salida analógica, el SCA61T tiene una salida digital que envía el ángulo en un formato binario de 11 bits, es por la línea MISO (PIN2) que se transfiere el dato binario al microcontrolador, es un valor en un rango de 0 a 2048, y que es convertido a ángulo mediante la siguiente expresión, indicada en su hoja de datos.

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{D_{out} [\text{LSB}] - D_{out@0^\circ} [\text{LSB}]}{Sens [\text{LSB/g}]}\right)$$

Dónde:

- D_{out} = Salida digital de 11 Bits.
- $D_{out@0^\circ}$ = Valor de compensación nominal = 1024
- $Sens$ = Sensibilidad del dispositivo = 819

3.3 Medición de Distancia con Láser

El diagrama de bloques de un medidor de distancia láser de doble canal que se estudia en este trabajo se presenta en la Figura 3.4. El sistema de medición consiste en un transmisor, un receptor de dos canales, dos discriminadores del tiempo y una unidad de medida del tiempo. Además, el sistema también puede incluir un atenuador óptico y un microprocesador que mide la potencia de la señal recibida y los controles de funcionamiento del atenuador óptico. Los pulsos de inicio se toman directamente de la radiación saliente de la reflexión difusa. Este sistema se conoce como el método de tiempo de vuelo (TOF), sus componentes se estudiarán en los siguientes apartados.

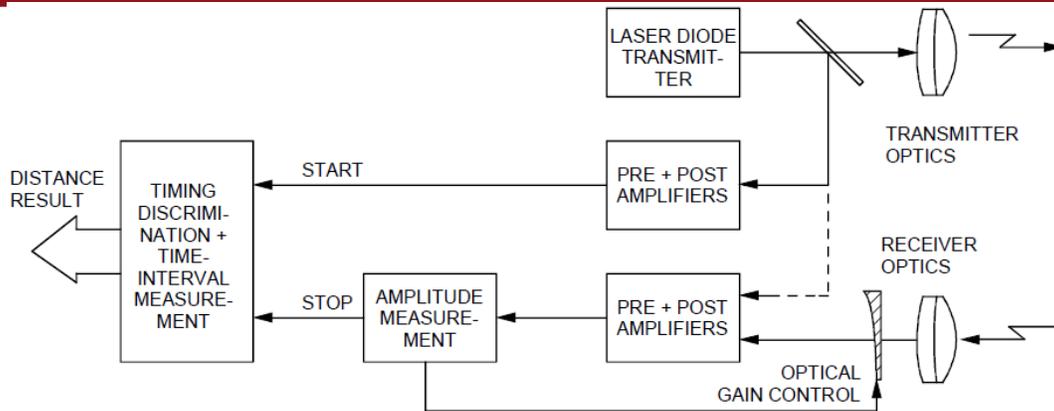


Figura 3.4. Diagrama simplificado del método de tiempo de vuelo (TOF)

3.3.1 El Emisor de Pulsos Láser.

3.3.1.1 Descripción

En la medición de secciones transversales, además de medir ángulos, es necesario medir distancias. Para obtener dicha distancia se ha optado por usar el láser por su característica que tiene de direccionalidad que se explicó en el capítulo 2 y que es aplicable a la solución que deseamos.

El láser tiene la propiedad de ser coherente esto quiere decir que la longitud de onda que emite es solo una luz monocromática. Otra propiedad es que su rayo es estrecho y no se dispersa como otras fuentes de luz. Esta cualidad llamada direccionalidad nos será muy importante, porque nos permitirá apuntar donde queremos medir.

Los diodos láseres, son semiconductores que emiten láser cuando la corriente pasa a través de ella. Por su pequeño tamaño y peso son ideales para el uso en un equipo electrónico portátil.

3.3.1.2 Criterio para la Selección del Diodo Láser

Del capítulo 2 se conoce que existen dos tipos de funcionamiento del diodo láser, pulsado y continuo. En esa ocasión se coge un diodo láser pulsado, debido a que emite una potencia mayor a los 10W en menos de un microsegundo, que sería suficiente para el viaje de ida y vuelta que daría el rayo con ayuda de un espejo para dar el rebote, y que llegaría finalmente al fotodiodo. Con la potencia indicada se podría llegar a distancias mayores a los 10 metros con la suficiente energía para activar el fotodiodo receptor.

El diodo láser debe emitir su rayo en una longitud de onda que no esté en el espectro visible para que no sea interferida con otros tipos de fuente de Luz, para que el circuito receptor sea más sencillo y requiera de menores filtros.

3.3.1.3 Componente Seleccionado: Diodo Láser SPL LL85 de marca OSRAM

Se presenta en la tabla 3.3 dos opciones de diodo laser, de la marca OSRAM, los modelos SPL PL85 [19] y el SPL LL85[18].

	SPL PL85	SPL LL85
Tipo	Diodo Laser de Pulsos	Diodo Laser de Pulsos Híbrido
Potencia Óptica	10W	14W
Voltaje de Operación	3V	< 9V
Longitud de Onda	850nm	850nm
Implementación	Compleja	Sencilla

Tabla 3.3. Cuadro Comparativo entre el SPL PL85 y SPL LL85

Los dos modelos son similares pero su diferencia se encuentra en su facilidad de aplicación, por ese motivo se escoge el SPL LL85 que es de fácil uso porque a diferencia del otro, es un láser híbrido que contiene internamente unos condensadores y mosfet que sirven para energizar el diodo laser de una manera muy rápida y solo necesitan de una controlador de mosfet de disparo.

La configuración de los pines del diodo laser SPL LL85 se presenta en la Figura 3.5.

- Pin 1: Trigger signal for the MOSFET gate
- Pin 2: Charge voltage
- Pin 3: Ground

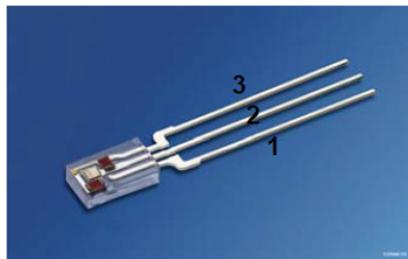


Figura 3.5. Diodo Híbrido de Laser de Pulsos. SPL LL85.

El diodo láser híbrido SPL LL85 de la marca OSRAM emite un rayo de longitud de onda de 850 nm, suficiente para el fotodiodo receptor de la misma longitud de onda que se tenía disponible. En la figura 3.6 extraída de su hoja de datos se puede verificar la longitud de onda que se emite.

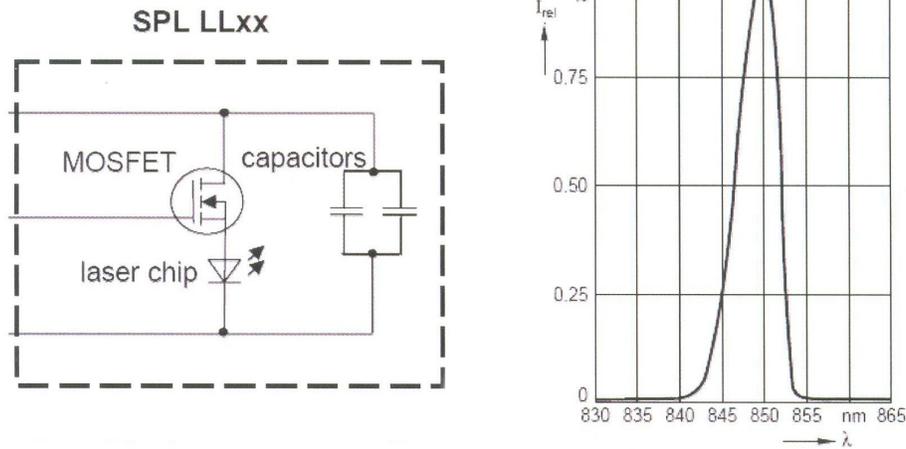


Figura 3.6. A la derecha la representación esquemática del diodo láser. A la izquierda se ve lo estrecho que es el rayo láser que emite, siendo 850nm.

El SPL LL85 es un módulo laser híbrido porque tiene internamente dos condensadores, un MOSFET además del diodo laser, todo integrado en una sola cápsula, se puede apreciar su representación en la Figura 3.6. Veremos más adelante que esto nos simplifica su aplicación. Los capacitores internos conectados en paralelo suman 47nF.

En la Figura 3.7 se presenta dos curvas características de funcionamiento del diodo laser, uno de ellos es el ancho de pulso de salida óptico (FWHM), siendo su máximo de 30ns en un rango de 5 a 30ns esto explica que si el ancho de pulso de disparo en su puerta del MOSFET es mayor a 30ns su FWHM se mantendrá en el máximo siempre. Además se puede observar que el pico máximo de potencia óptica de salida en el SPL LL85 es de 18W con un voltaje de carga de 9v. Sin embargo su punto de operación ideal es con una potencia óptica de salida de 14W con un voltaje de carga de 7v, hacerlo operar de manera diferente le quitaría tiempo de vida al diodo laser.

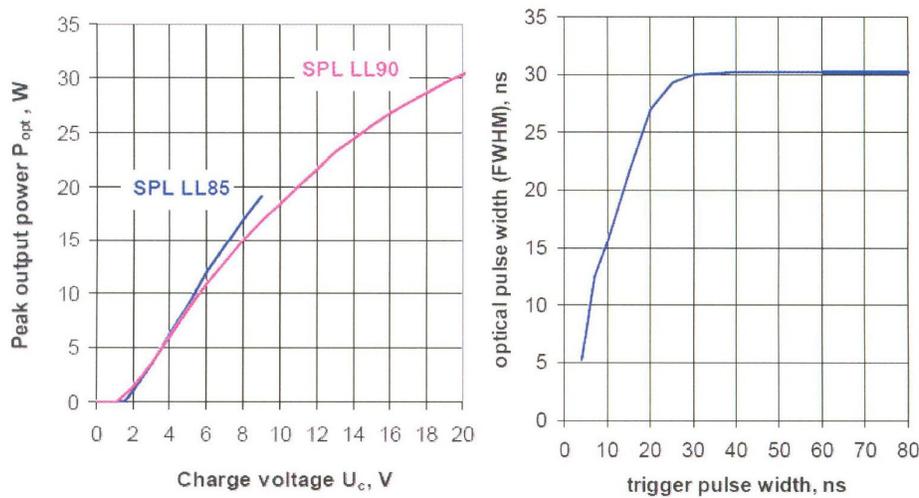


Figura 3.7. La curva de potencia óptica de salida del SPL LL85 a la izquierda. A la derecha el ancho del pulso de salida óptica.

3.3.1.4 Diseño del Circuito para el SPL LL85

Se requiere diseñar un circuito que permite emitir pulsos de rayo láser, con un determinado ancho de pulso, el circuito se activara con una señal TTL proveniente del microcontrolador. Con los módulos de laboratorio de la universidad se generara una señal PWM de 1Khz de nivel TTL con un ancho de pulso de 1us, que es suficiente para obtener el máximo ancho de pulso óptico del diodo laser (FWHM 30ns). Para cumplir los requerimientos se revisa las recomendaciones del fabricante y que procedemos a indicar.

El circuito diseñado para operar el diodo laser se presenta en la figura 3.8. La tensión de carga como se explicó anteriormente es de 7 voltios, la resistencia de 100 ohmios es para cargar los condensadores internos del diodo laser representado por Q2.

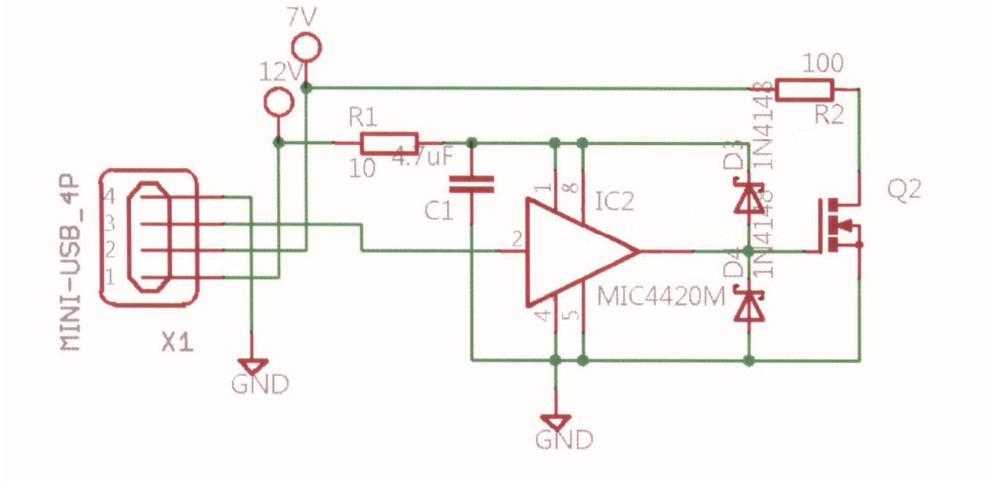


Figura 3.8. Circuito diseñado para emitir rayos láser con el SPL LL85

El mosfet interno que tiene el diodo láser SPL LL85 posee una puerta de entrada con una capacitancia puerta-fuente de 300pF y se debe cargar el voltaje umbral necesario de 5v muy rápido [17]. Esta señal puede ser generada por un controlador MOSFET de disparo de alta velocidad de conmutación y que se activa con una señal TTL. Con recomendación del fabricante se utiliza el MIC4420 de Micrel que resuelve este requerimiento simplificando el diseño del circuito que se ha presentado.

El MIC4420 es un circuito integrado que se activa con una señal TTL en nivel positivo (5v), que se obtendrá del microcontrolador en una señal PWM. Es importante mencionar que la frecuencia de trabajo máxima que soporta el diodo láser es de 0.1%, sobrepasar este límite produce el calentamiento de la empaquetadura generando una degradación de la potencia de salida óptica y quitarle tiempo de vida al componente [17].

Los diodos Schottky es para prevenir los sobre voltajes y el condensador C1 de 4.7uF es para minimizar los ruidos de la tensión de 12v que opera el MIC4420.

Finalmente se ha usado de entrada de alimentación y control un conector de tipo MINI-USB de 4 pines de montaje superficial para poder hacer un circuito impreso muy pequeño para así poder apuntar mejor el diodo láser hacia el objetivo que queremos.

3.3.2 Receptor del Rayo Láser

3.3.2.1 Descripción

El receptor sirve para poder recibir el pulso del rayo láser y generar una señal de voltaje para detener la cuenta del tiempo de vuelo, como se explicó en el modelo teórico teniendo el tiempo de vuelo que tuvo el rayo láser se puede determinar una distancia de recorrido. Como se explicó en el modelo teórico, el rayo láser rebota en una superficie reflectante. Si el diodo laser emite una longitud de onda de 850nm se necesita de un fotodiodo que tenga mayor sensibilidad en ese valor. El circuito está compuesto por una etapa de amplificación, luego seguido de una etapa discriminadora del tiempo que es la que indica el momento de detener la cuenta del reloj en el convertidor de tiempo a digital.

3.3.2.2 Circuito Receptor del Rayo Láser.

Cuando se recibe el rayo láser luego que es reflejada del objetivo, se tiene que alinear los fotodiodos para la recepción el rayo rebotado, como el rayo láser tiene una longitud de onda de 850nm que lo hace invisible al ojo humano este proceso se hace dificultoso, en el siguiente capítulo se explica cómo se hizo las pruebas. Se optó por usar un arreglo de fotodiodos para mejorar el área de recepción. El circuito que se plantea se basa en el esquema simplificado de los autores Ari Kilpelä, Juha Ylitalo, Kari Määttä, Juha Kostamovaaraddiseñado de la Universidad de Oulu en Finlandia [14] se presenta en la figura 3.9 y que procederemos a describir su funcionamiento.

Al esquema original presentando por Ari Kilpelä se le agrega el arreglo de fotodiodos con el fotodiodo PNZ334 [20] seguido de un LM741 en realimentación negativa para amplificar y transformar la señal de corriente del fotodiodo a una señal de voltaje. El voltaje de salida del LM741 es el producto de la corriente que pase por el fotodiodo por la resistencia de 330 ohmios. La señal en voltaje amplificada pasara a la etapa siguiente conocida como discriminador del tiempo [14].

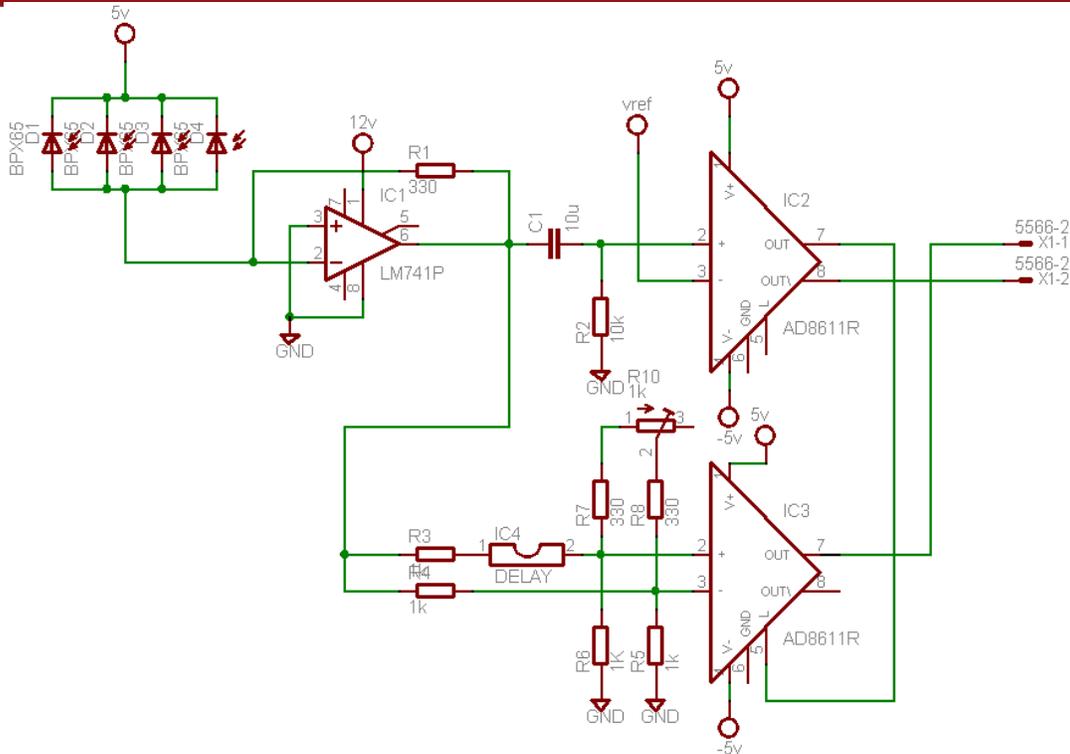


Figura 3.9. Receptor del rayo láser para longitud de onda de 850nm

La etapa que sigue luego de la amplificación, se conoce como el discriminador del tiempo [14], que consiste en que el pulso amplificado de entrada es dividido en dos partes de la misma amplitud, uno de ellos es retardado, el punto de cruce del último tramo de pulso recibido y con la parte principal del mismo pulso pero retardado y con un voltaje de compensación marca el tiempo donde empieza o termina un evento de medición seguido en el método TOF.

En la figura 3.10 se presenta una descripción del método para su mejor entendimiento. Se presenta dos eventos, cada uno se encuentra con su pulso original seguido del mismo pulso retardado (líneas discontinuas) y con un pequeño voltaje de compensación. Se puede observar que el punto del tiempo es la línea vertical discontinua (Timing event) y que esta no se ve muy afectada si es que el pulso recibido varía su amplitud que podría suceder dependiendo de cómo regresa de la superficie a medir.

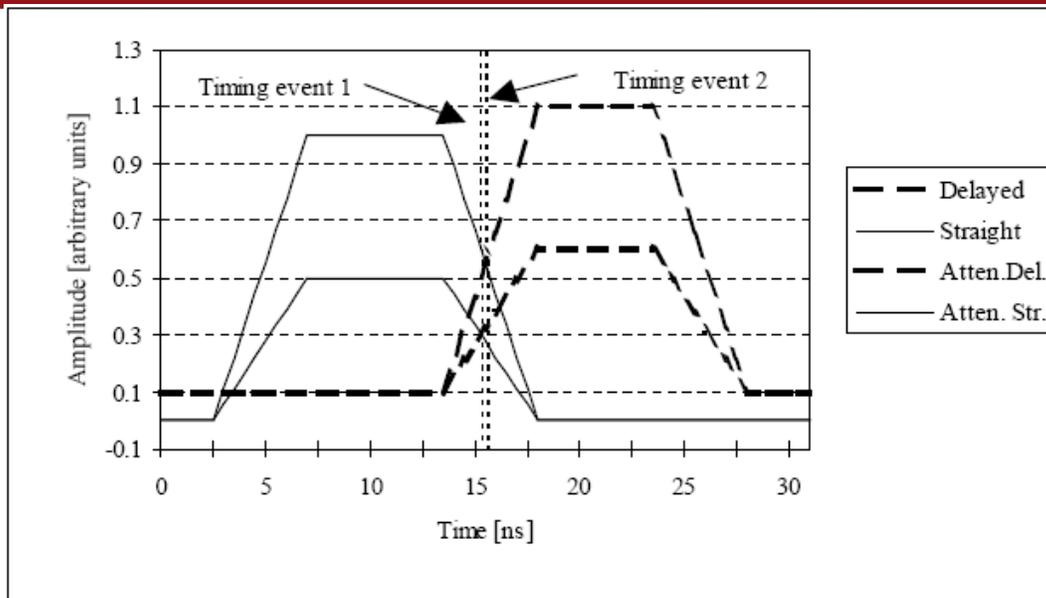


Figura 3.10. La formación del punto de tiempo, la señal original y la retardada son comparadas.

Siguiendo con la explicación del circuito (ver figura 3.10), se tiene dos comparadores, el superior sirve como habilitador del segundo y sirve para descartar los pulsos recibidos producidos por algún ruido en el circuito. El comparador inferior determina el punto de tiempo donde para la cuenta el convertidor de tiempo a digital, hay que destacar que el autor del método Ari Kilpelä [14] recomienda el uso de comparadores de alta velocidad de respuesta y de lógica de emisores acoplado (ECL).

El arreglo de resistencias en la entrada del comparador inferior sirve para añadir el voltaje de compensación entre las entradas del comparador ultra rápido, este voltaje se ajustara según la potencia que se tiene en la recepción del pulso de rayo láser. Se puede ver en el circuito que existe una línea de retardo que se logra usando un componente electrónico para hacer retardos pequeños de orden de los 5ns a los 10 nanosegundos (ver retardo en Figura 3.10), esto es necesario para usar el método de discriminación del tiempo.

3.3.3 Convertidor de Tiempo a Digital

3.3.3.1 Descripción

Para el caso de la medición de secciones transversales, se requiere una exactitud de 1cm similar al que tiene la cinta métrica de lona, en un rango de 60cm a 50m. Para medir la distancia se está utilizando el método del tiempo de vuelo del pulso de rayo láser, como se conoce la velocidad de la luz es aproximadamente 300 000 km/s

entonces conociendo el tiempo de ida y vuelta del pulso se podría determinar con exactitud la distancia recorrida. Haciendo una analogía quiere decir que en 1us la luz láser viaja 30metros por ese motivo si deseamos implementar un contador de tiempo de vuelo en algún microcontrolador o con un contador sería imposible tener medición de distancia con la exactitud requerida, debido a la velocidad que corren estos es de 1-16Mhz se necesitaría una velocidad mayor a los 100Mhz de frecuencia para cubrir el requerimiento de 1cm de exactitud. Para tener la exactitud requerida se necesita de un contador del tiempo con una resolución de 67ps.

3.3.3.2 TDC-GP2 de Acam Mess Electronic

Se presenta el convertidor de tiempo a digital de propósito general TDC-GP2 de Acam [22], es el único comercial con información disponible, el resto se encuentra patentado para usos específicos. Este dispositivo mide intervalos de tiempo entre un inicio y una parada (tiene canales de entrada respectivo) funciona como un contador de alta frecuencia, el intervalo de tiempo medido lo representa digitalmente y lo entrega al microcontrolador.

El TDC-GP2 es un encapsulado de 32 pines (QFN32) tiene dos fuentes de alimentación como indica en su hoja de datos, una es para alimentar los puertos I/O y la otra para el núcleo, además posee capacidad de comunicación serial (SPI).

El TDC-GP2 tiene dos modos de medición, depende de la aplicación para lo que se quiere usar, las diferencias lo presentamos en la Tabla 3.4.

	Medición Rango 1	Medición Rango 2
Canales de Inicio	1 Canal	1 Canal
Canales de Parada	2 Canales	1 Canal
Resolución	65ps	65ps
Rango de medición	3.5ns a 1.8us	500ns a 4ms

Tabla 3.4. Cuadro Comparativo entre los dos modos de medición del TDC-GPS2

Por lo visto la mejor opción que cubre el rango para la medición de distancia en secciones transversales sería en el de rango 1 que consiste en un canal que inicia la cuenta y dos canales de parada. Con este modo de medición se puede medir intervalos de tiempo entre 3.5ns a 1.8us esto equivaldría teniendo como referencia la velocidad de la luz, saldría un D_{min} y D_{max} tal.

$$D_{min} = 3.5ns \times 1cm / 67ps = 52.24 \text{ centímetros.}$$

$$D_{max} = 1.8\mu s \times 1cm / 67ps = 268.66 \text{ metros.}$$

El convertidor de tiempo a digital TDC-GP2 puede medir también el intervalo de tiempo entre dos eventos sucesivos que sucede en su entrada, en el caso del TDC-GP2 posee dos entradas de parada (STOP1 y STOP2) que sirven para poder comparar dos eventos distintos. En la figura 3.11 extraído de su hoja de datos podemos ver una representación de los rangos de tiempo que puede medir el TDC-GP2, por ejemplo el Tss es el tiempo mínimo medible entre el inicio y la parada que sería de 3.5ns.

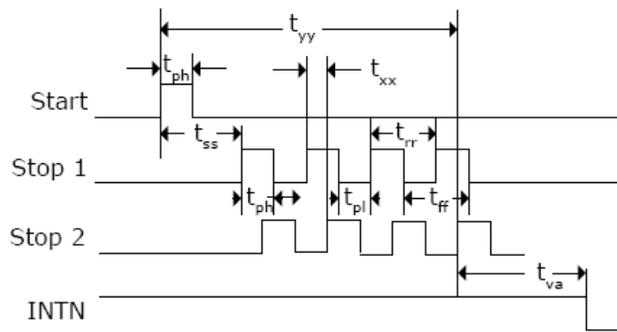


Figure 6

	Time (Condition)	Description
t_{ph}	2,5 ns (min.)	Minimum pulse width
t_{pl}	2,5 ns (min.)	Minimum pulse width
t_{ss}	3.5 ns (min) 1,8 μ s (max.)	Start to Stop
t_{rr}	15 ns (typ.)	Rising edge to rising edge
t_{ff}	15 ns (typ.)	Falling edge to falling edge
t_{ve}	560 ns uncalibrated 4.6 μ s calibrated	Last hit to data valid
t_{xx}	No timing limits	
t_{yy}	1,8 μ s (max)	Max. measuring range

Figura 3.11. Diagramas de tiempo del funcionamiento del TDC-GP2

CAPITULO 4

PRUEBAS DE USO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

4.1 Inclinómetro

Como se presentó en el capítulo 3 se escogió como inclinómetro el SCA61T-FA1H1G, por cumplir con los requerimientos y teniendo las siguientes características:

Rango de Medida	:	De -90 a +90grados sexagesimales
Exactitud	:	+/- 0.23 grados sexagesimales
Sensibilidad	:	35mV/°
Resolución	:	Conversor ADC interno de 11 bits
Comunicación	:	Soporte SPI

En la figura 4.1 observamos el inclinómetro implementado en su circuito impreso, según el esquemático que se presentó en el capítulo anterior.

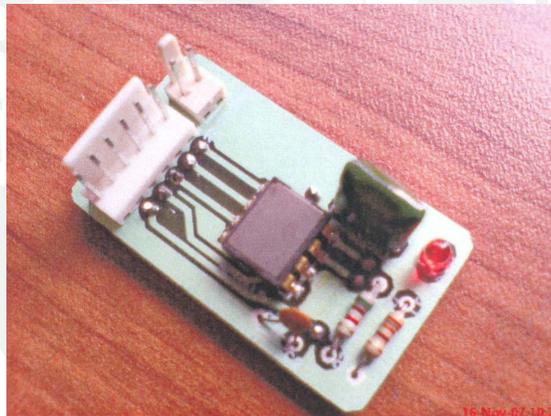


Figura 4.1. Inclinómetro implementado en su circuito impreso.

Para las pruebas en los laboratorios de la Universidad se usó el módulo de pruebas AVR PUCP que tiene puerto serial RS232 que nos servirá para enviar el ángulo medido a la computadora. Se realiza las conexiones necesarias entre el inclinómetro y la computadora, la interfaz usada es la herramienta de HyperTerminal que tiene el Windows XP, como se puede apreciar en la figura 4.2 se ve la pantalla de la computadora mostrando el ángulo de inclinación respecto a la horizontal que tiene el circuito impreso.

A la izquierda de la Figura 4.2 se inclina el circuito impreso en ángulos negativos, y a la derecha de la figura el circuito indica ángulos positivos. En la tabla 4.1 se muestra un resumen de los ángulos medidos en el momento de las pruebas.

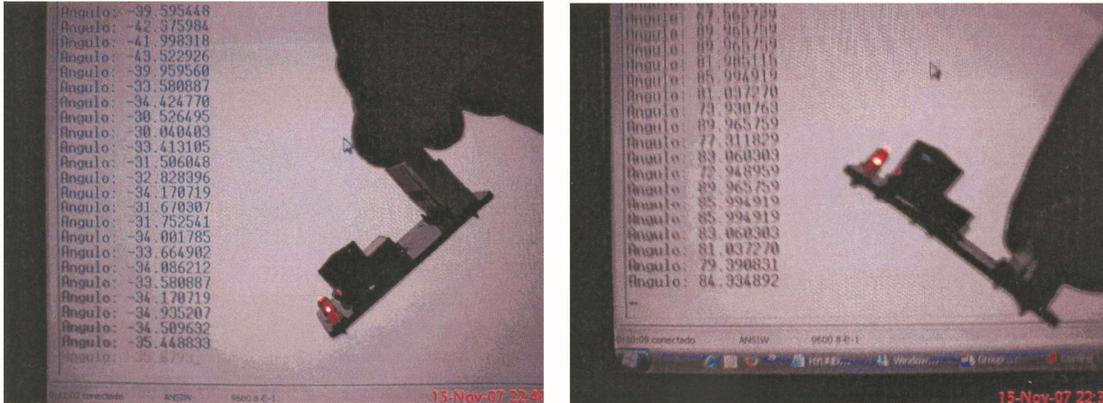


Figura 4.2. Pruebas del inclinómetro con la computadora, se ve como se muestra el ángulo que tiene el circuito impreso.

Ángulos Negativos	Ángulos Positivos.
-33.580887	85.994919
-34.170719	83.060303
-34.509632	81.037270
-35.448833	79.390831

Tabla 4.1. Resumen de los resultados de prueba con el SCA61T-FA1H1G.

4.2 Medición de Distancia con Láser

4.2.1 Pruebas de Emisión del Rayo Láser

Se presenta en la figura 4.3 los circuitos implementado según el esquemático del capítulo anterior, usando el diodo láser SPL LL85 de 850nm se fabricó dos versiones que operan de la misma forma, la diferencia es en el tamaño y el tipo de mosfet de disparo, el primero es de empaquetado DIP y el segundo es usando montaje superficial.

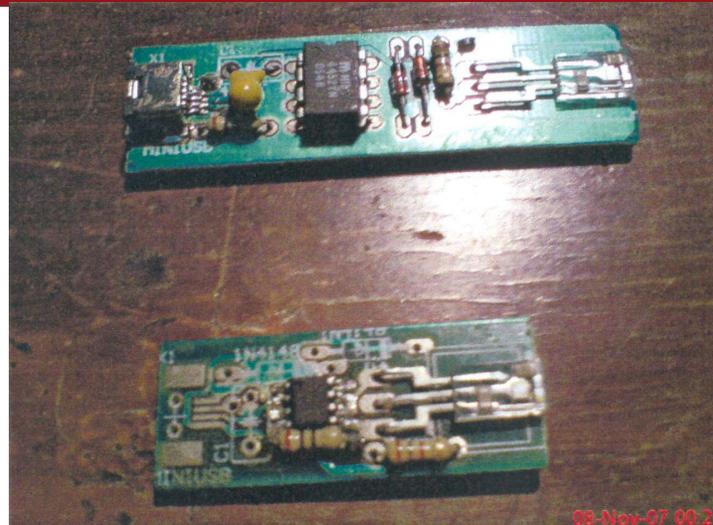


Figura 4.3. Dos versiones de emisor de rayos láser. En la parte superior la primera versión con mosfet de disparo DIP, la segunda versión usando un mosfet de disparo superficial.

Cuando el circuito se le hace funcionar no se puede ver el rayo láser ya que su longitud de onda de 850nm, siendo invisible para el ojo humano. Pero como se deseaba comprobar que el circuito diseñado emitía el rayo láser y si era estrecho, para ello se usó una cámara digital para poder observarlo. En la figura 4.4 se ve el rayo láser emitido observado desde una cámara, la foto a la derecha fue tomada en un ambiente totalmente oscuro.

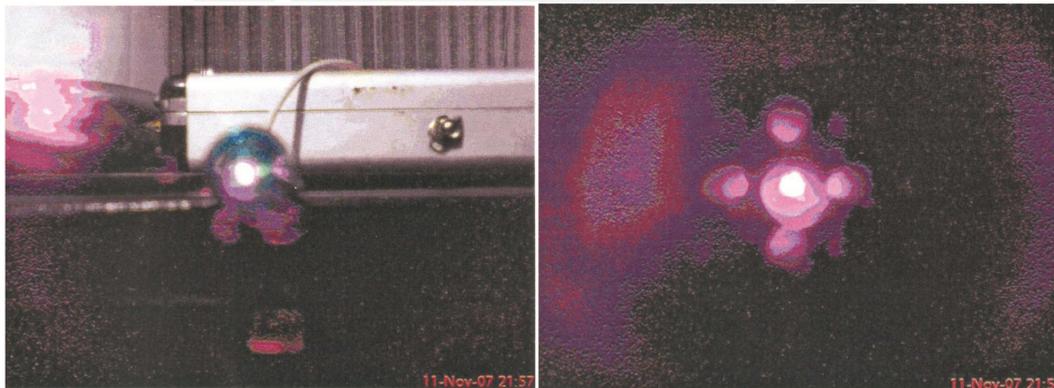


Figura 4.4. Fotografías del rayo láser emitido obtenidos con una cámara digital

4.2.2 Recepción del Rayo Láser

Para la recepción del rayo láser se usó el fotodiodo PNZ334 [21] que tiene mayor sensibilidad en 850nm de longitud de onda. El objetivo de esta prueba es conocer como el fotodiodo reacciona al recibir el pulso de rayo láser, también conocer la forma del pulso recibido. En la figura 4.5 se presenta a la derecha el fotodiodo a una

distancia muy cerca al diodo láser que está a la izquierda, aproximadamente unos 10 centímetros, esto es para asegurar que el rayo llegara al fotodiodo.

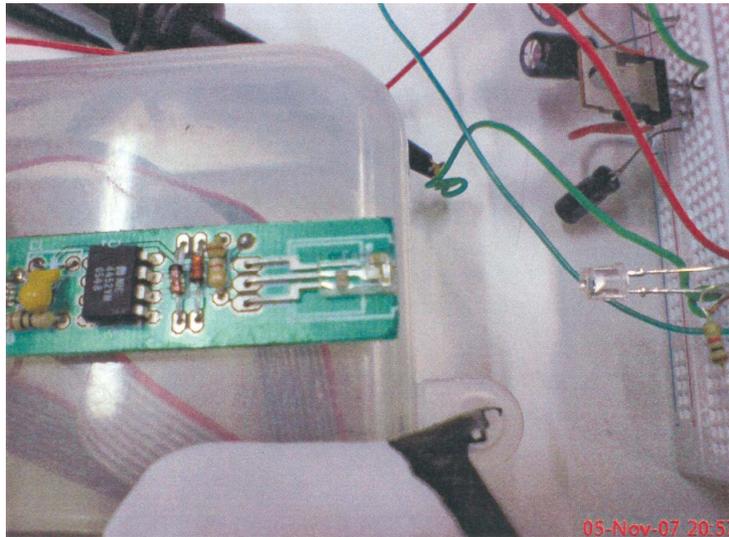


Figura 4.5. Pruebas de recepción del pulso láser, a la derecha el fotodiodo y a la izquierda el diodo láser que se encuentran alineados.

Una vez alineados el diodo laser con el fotodiodo, se procedió a conectar el circuito emisor de rayo láser con el módulo de pruebas AVR-PUCP de la universidad. Se empieza a enviar una señal PWM a nivel TTL para que el circuito comience a emitir pulsos de rayo láser. Se va a utilizar el osciloscopio de los laboratorios de la universidad pero primero se tiene que pasar el pulso de corriente a un pulso de voltaje proporcional, para ello se implementa en un protoboard parte del circuito de recepción del capítulo anterior, esto quiere decir utilizar el LM741 en realimentación negativa.

Una punta del osciloscopio se conecta a la salida del amplificador LM741 y la otra punta se conecta en la entrada del emisor laser donde recibe la PWM. En la parte superior de la figura 4.6 se ve el pulso emitido por el microcontrolador que activa el circuito del diodo láser produciendo el rayo, en la parte inferior se ve el pulso de corriente transformado en voltaje recibido por el fotodiodo y que es producido por el láser. La prueba se realizó a una distancia de 10 cm para comprobar que el rayo láser se recibe en el fotodiodo y que efectivamente el emisor está mandando los pulso laser, se puede apreciar la diferencia de tiempo entre el rayo emitido y recibido es casi nula por la cercanía entre el emisor y receptor.

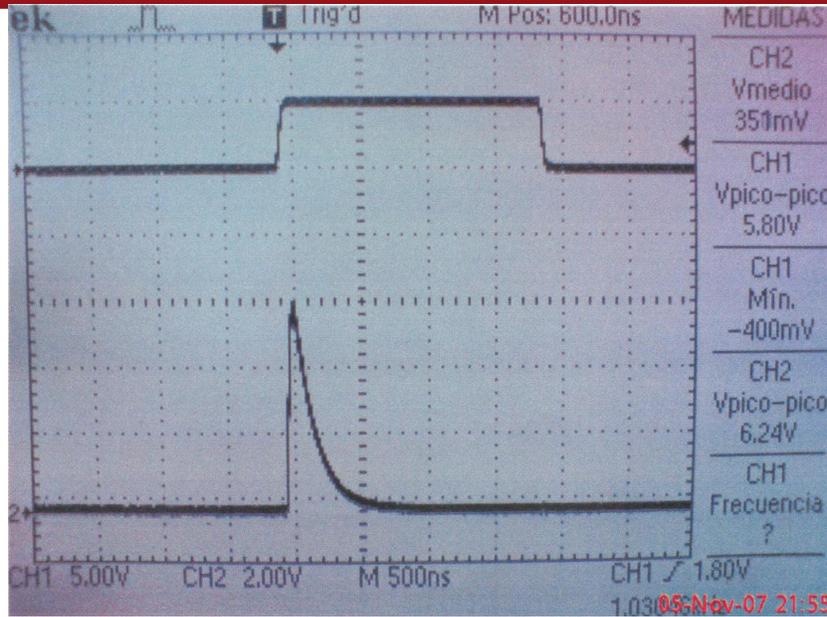


Figura 4.6. Señal de voltaje recibido en el receptor del rayo láser utilizando el osciloscopio.

4.2.3 Pruebas de Medición del Tiempo a varias Distancias.

En los laboratorios de la universidad se cuenta con un osciloscopio de 60 MHz que se utilizara para medir el tiempo de vuelo del rayo de luz para una distancia de 20m entre el emisor y un espejo.

Para efecto del experimento se coloca los elementos de manera similar a la prueba con 10 cm que se hizo para comprobar la recepción, el emisor se conectó al módulo de pruebas del AVR-PUCP y el receptor se coloca cerca de él, además se utilizó un espejo para que el rayo láser de un rebote, para alinear el espejo se utilizó un puntero laser de luz visible rojo para determinar el trayecto que realizara el láser. (Ver figura 4.7).

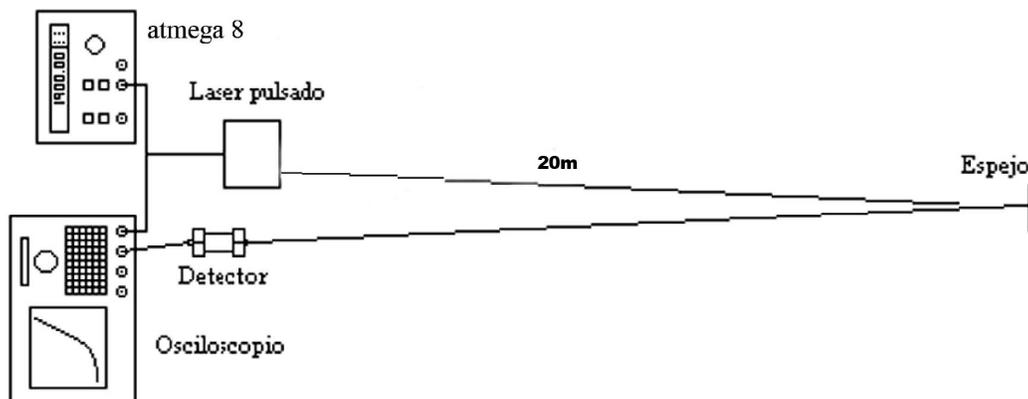


Figura 4.7. Esquema de la distribución de los elementos para hacer la medición de tiempo de vuelo

Luego de tener la distribución de los elementos se comenzó la prueba activando el AVR-PUCP para enviar la señal PWM que activa el circuito emisor de rayos láser. En la figura 4.8 se presenta una captura del osciloscopio en el momento cuando el espejo se encuentra a una distancia de 20 metros. Con la ayuda del osciloscopio y sus cursores se puede medir el tiempo que demora y es aproximadamente de 190 ns, multiplicando este tiempo por la velocidad de la luz (299 792 458 m/s) se obtiene un resultado de 57 metros que viene a ser el total de la distancia recorrida de ida y vuelta. Esto representa un error de:

$$\text{Error} = (57-40) / 40 \times 100 = 42.5\%$$

El error se produce porque existe un retardo en el circuito emisor y receptor por sus componentes que tienen un retardo de nanosegundos se puede ver en sus respectivas hojas de datos, pero esto se compensa en el cálculo de la distancia. En las instalaciones del laboratorio de la universidad no se tenía más espacio para probar distancias mayores.

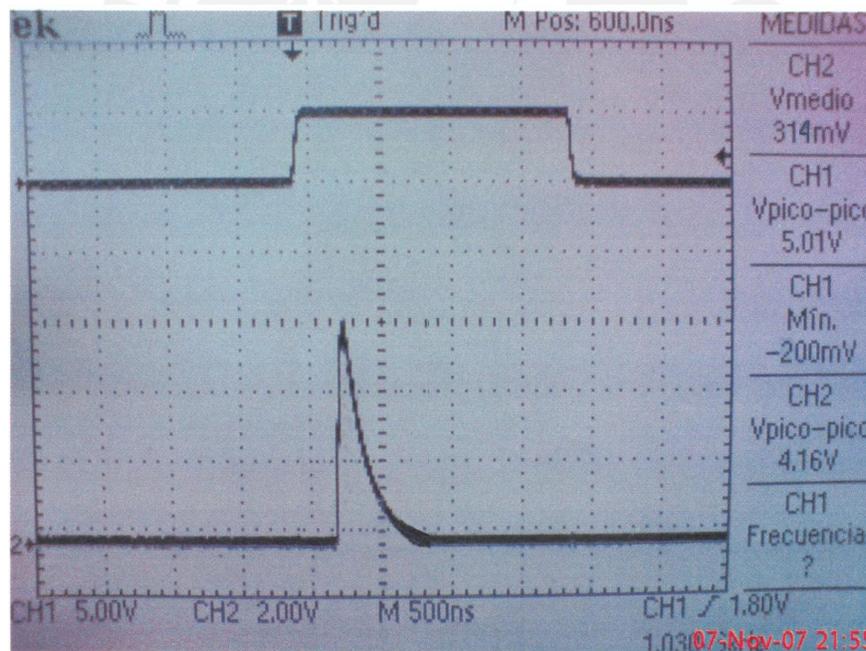


Figura 4.8. Rayo recibido por el receptor a una distancia de 20 metros del espejo.

4.3 Costos derivados a las pruebas

Para la realización de las pruebas se tuvo que incurrir a los costos de fabricar los circuitos impresos y adquirir los componentes, las resistencias, condensadores y conectores que se encontraron en el mercado local pero los diodos laser e inclinómetros se tuvieron que importar.

Cantidad	Componente	Precio
2 Unidades	Circuito Impreso	25 soles
2 Unidades	Inclinómetro SCA61T de VTI Technologies	336 soles
	Resistencias, Condensadores	3 soles
	Conectores	1 sol
	Gastos de Envío e Importación	70 soles
	Total	435 soles

Tabla 4.2. Costos para la realización de las pruebas con el Inclinómetro.

En la tabla 4.2 se presentan los gastos para realizar las pruebas de medición de ángulos utilizando el inclinómetro SCA61T de VTI Technologies.

Cantidad	Componente	Precio
2 Unidades	Circuito Impreso	25 soles
2 Unidades	Diodo Laser de Pulsos SPL LL85	270 soles
2 Unidades	Controlador MOSFET de disparo	24 soles
2 Unidades	Fotodiodo de 850nm	16 soles
	Resistencias, Condensadores	3 soles
	Conectores	4 soles
	Gastos de Envío e Importación	90 soles
	Total	432 soles

Tabla 4.3. Costos para la realización de las pruebas de medición de distancia con láser.

En la tabla 4.3 se describen los gastos para la fabricación del circuito emisor y receptor de pulsos de rayo láser, el diodo laser, controlador y el fotodiodo fueron componentes importados.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que la posibilidad de desarrollar equipos electrónicos de medición tanto para el estudio de proyectos de carreteras hasta para la industria y automatización se hace viable juntando pequeños componentes y armar sistemas para la resolución de problema propios de nuestro medio.

Si bien para hacer realizable un instrumento topográfico para medir secciones transversales se ha presentado la mayor parte de la electrónica y su realización se presenta bastante viable porque se ha encontrado los componentes necesarios dentro de los requisitos pedidos, y que en el desarrollo del presente trabajo se ha ido describiendo su funcionamiento e implementación.

En el trabajo de tesis se termina implementando la emisión y recepción para el pulso laser, se pudo comprobar la forma del pulso laser y la potencia que podía emitir el diodo laser. Con el osciloscopio se pudo medir el tiempo de vuelo y se calculó una distancia. En el caso de la medición de ángulos se pudo concluir obteniendo ángulos de elevación en tiempo real con ayuda de la computadora, el inclinómetro que se utilizó cumplió con los requisitos para la medición de secciones transversales.

Existe una parte adicional para el desarrollo del instrumento que no se ha abarcado en el presente trabajo que es la óptica y conjunto de lentes necesarios para poder recibir el rayo láser de regreso a una distancia mayor a los 10 metros, realizar las pruebas en laboratorio y apuntar el diodo láser para poder recibir los rayos por los fotodiodos ha sido de mucha dificultad poder alinearlos.

En definitiva el uso de un módulo de diodo láser híbrido nos ha permitido simplificar la electrónica necesaria y realizar de manera sencilla la emisión de rayos Láser y que podríamos utilizar para otras aplicaciones. La etapa de recepción con fotodiodos, comparadores ECL, y con el método de discriminación de tiempo se vienen presentando en investigaciones en un solo circuito integrado para aplicarlo en sonares o telémetros para usos más ambiciosos. El receptor se puede mejorar en futuros diseños teniendo un amplificador de ganancia variable que dependa de la amplitud del pulso recibido.

RECOMENDACIONES

Es posible encontrar otras alternativas para la emisión de rayos láser, con otros tipos de diodos de diferente potencia de salida y característica. Además existe toda una variedad de teorías por estudiar para la discriminación del tiempo y técnicas ópticas, buscando mejorar la ganancia en la recepción del rayo láser permitiendo abarcar otros campos como la telemetría o radares. Esta por estudiar el uso de los fotodiodos de avalancha y los amplificadores de transimpedancia integrados con mayor ancho de banda.

El convertidor de tiempo a digital (TDC) si bien su rango de medición se encuentra en el requerimiento para la medición de secciones transversales se podría usar otros rangos de medición para otro tipo de aplicaciones. A medida que la tecnología avanza el uso de convertidores de tiempo a digital se volvería más comercial y alcanzable poder diseñar instrumentos con otros tipos de fines.

Probando el inclinómetro nos resultó bastante preciso, sin embargo el error que se produce al montarlo de manera casera teniendo los defectos de no tener circuitos impresos industriales hacen que el inclinómetro no este sobre una superficie lo suficientemente fiable que sea totalmente horizontal. Se podría compensar este error manejándolo internamiento en la programación que se tiene en el microcontrolador para disminuir el error producto del montaje. El inclinómetro que hemos utilizado tiene un sensor de temperatura que sirve para poder mejorar la medición que varía por efecto de la temperatura, con una determinada formula descrita en su hoja de datos se podría compensar la variación producto de la temperatura.

En el trabajo de tesis use un inclinómetro basado en un acelerómetro, pero además existen otros tipos de inclinómetros que utilizan mercurio o mecanismos para conseguir el ángulo de inclinación, está por estudiar otras opciones que existan en el mercado.

Recomiendo indagar y encontrar soluciones a los problemas de las tareas en otras áreas de la ingeniería que no necesariamente están relacionadas a la electrónica, como la ingeniería civil, minas, geología, etc. Puesto que no siempre se encuentran soluciones tecnológicas en el extranjero para los retos que se presentan en el país, y que con la economía creciente en que estamos es necesario desarrollar nuestra propia tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones
www.mtc.gob.pe
- [2] Peru Economy - New road projects are planned
Jan 14, 2005
- [3] Escobal, Javier; Ponce, Carmen
El beneficio de los caminos rurales: ampliando oportunidades de ingreso para los pobres. Lima: GRADE, 2002.
- [4] Edgar Quispe Remón
Mantenimiento vial de los caminos rurales en el Perú basado en microempresas. Lima: PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE RURAL - PROVIAS RURAL
- [5] Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG 2001). Segunda edición.
Marzo, 2001
- [6] Dorrnsoro, Miguel
La Tecnología Láser, fundamentos, aplicaciones y tendencias.
Mc Graw Hill, 1999.
- [7] Guía para el Autopista en Viaje a la Luna
Directorio de Ciencias del Centro Marshall para Vuelos Espaciales de la NASA
Mayo 24, 2005
- [8] Comprobación de la eficacia terapéutica de láseres semiconductores que emiten en 650, 780, 830 y 940nm.
Jefe de Proyecto: Lic. Margarita Cunill Rodríguez
- [9] Universidad Illes Balears
Departamento de Física de la UIB. Grupo de Relatividad y Gravitación.
<http://www.uib.es/depart/dfs/GRG/index.html>
- [10] Lee Gutheinz
Láser weapons: The future is now. **Laser Focus World**. Tulsa: Jul 2006.Vol.42
- [11] José E. Juliá
Las Transiciones en la Fotogrametría
Versión elaborada de una conferencia impartida en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica de la Universidad Politécnica de Madrid en Octubre de 2002
- [12] Hollmann, R., Welsch, W.
“El GPS en aplicaciones de topografía de ingeniería de precisión”
Topografía y Cartografía, N° 68, vol. XII, Mayo-Junio 1995, 40-50.
- [13] Ing. Agr. Michel Koolhaas, (M.Sc.)
Elementos del sistema de posicionamiento global (GPS)
Julio 2003

- [14] Ari Kilpelä, Juha Ylitalo, Kari Määttä, Juha Kostamovaara
Timing discriminator for pulsed time-of-flight laser Rangefinding measurements.
University of Oulu. Department of Electrical Engineering and Infotech Oulu,
Electronics
- [15] Analog Devices
Programmable 360° Inclinometer ADIS16203. Hoja de datos.
2006. Rev. A.
- [16] VTI Technologies
The SCA61T Inclinometer Series, Hoja de Datos.
2006. Rev. A
- [17] OSRAM Opto Semiconductors
Operating the Pulsed Laser Diode SPL LLxx. Application Note.
November 2004
- [18] OSRAM Opto Semiconductors
Hybrid Pulsed Laser Diode with Integrated Driver Stage 14 W Peak Power.
Hoja de Datos.
Marzo 2009
- [19] OSRAM Opto Semiconductors
Nanostack Pulsed Laser Diode in Plastic Package, 10 W Peak Power
Hoja de Datos.
Marzo 2009
- [20] Micrel
MIC4420/4429. 6A-Peak Low-Side MOSFET Driver. Hoja de Datos.
Julio 2005
- [21] Panasonic
PIN Photodiodes PNZ334 (PN334). Hoja de Datos.
Abril 2004
- [22] ACAM Mess Electronic
TDC-GP2 Universal 2 Channel Time To Digital Converter. Hoja de Datos.
Febrero 2007