

COMPONENTES DE UNA ESTACIÓN DE SATELLITE LASER RANGING

B. Vaquero Jiménez, J. A. López Fernández

Informe Técnico IT - OAN 2011 - 12



COMPONENTES DE UNA ESTACIÓN DE SATELLITE LASER RANGING

B. Vaquero Jiménez

INFORME TÉCNICO IT - OAN 2011 - 12



Noviembre 2011

Índice

1. INTRODUCCIÓN	2
2. SISTEMA LÁSER.....	2
3. TELESCOPIO	3
4. DETECTORES Y FILTROS	4
5. SISTEMA DE TIEMPO.....	5
6. SOFTWARE	5
7. EDIFICIO.....	6
8. COMPONENTES SECUNDARIOS.....	6
8.1. SISTEMA DE SEGURIDAD EXTERNA	6
8.2. ELEMENTOS PARA LA SEGURIDAD INTERNA.....	7
8.3. CÁMARAS DE VIGILANCIA.....	7
8.4. ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	7
8.5. OTROS	7
ANEXO. EJEMPLOS DE DIAGRAMAS DE BLOQUES.....	8
9. BIBLIOGRAFÍA.....	14

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se enumeran los posibles componentes que se pueden encontrar en una estación de Satélite Laser Ranging (SLR) y las diferentes características que pueden tener. Algunos de estos componentes corresponden a estaciones antiguas y no se utilizan para los nuevos sistemas, aun así, cabe mencionarlos porque siguen activos en muchas estaciones. Dentro de los componentes que marcan las tendencias actuales, aparecen todas las opciones que hemos encontrado (algunas de ellas sólo se encuentran en una o dos estaciones de todas las que forman parte de la red). Muchos de los sistemas mencionados son prescindibles, según el tipo y objetivos de la estación, o incluso incompatibles con otras instalaciones de los observatorios.

Principales componentes de una estación SLR:

- Sistema óptico de generación del láser.
- Telescopio para la recepción y transmisión de la señal.
- Sistema de detección de la señal y filtros.
- Sistemas de tiempo: estándares de frecuencia y pico event timer.
- Software para el control de las observaciones.
- Edificio, pilares.

Componentes secundarios:

- Sistema de seguridad externa, radares.
- Elementos para la seguridad interna: gafas, ventanas, señales.
- Sistema de refrigeración del láser y aclimatación del laboratorio.
- Cámaras de vigilancia.
- Estación meteorológica.
- Etc.

2. SISTEMA LÁSER

ELEMENTOS IMPRESCINDIBLES

- **Oscilador láser**, generación del láser para la observación.
 - Láser de uno o dos colores (medidas directas de la refractividad atmosférica).
 - SESAM modelocking (Semiconductor Saturable Absorber Mirror), generación de pulsos ultracortos.
 - Pockel cells y polarizadores (moduladores electro-ópticos), control de potencia, fase o polarización.
 - Sistema de generación del segundo armónico, SHG.
 - Etalon.
 - Amplificadores.

- **Mesa o banco óptico.**
 - Espejos, guiado del haz láser hasta su salida por el telescopio transmisor y hasta los detectores para los pulsos de retorno.
 - Lentes para colimar, focalizar...
 - Lentes extensoras del haz láser.
 - Sistemas de polarización (lineal, circular).
 - Diafragmas, para el ajuste de la puntería.
 - Sistema para el alineamiento del láser y el telescopio (compuesto por 2 espejos).
- Osciloscopio, observación del funcionamiento del láser o los amplificadores.
- Sistema de refrigeración del láser o amplificadores.
- Sistema de control de temperatura del laboratorio.
- Habitación limpia.
- Sistema de control manual del láser.

ELEMENTOS OPCIONALES

- **Amplificadores:**
 - Amplificador regenerativo.
 - Post-Amplificador.
 - Amplificador multipath.
 - Amplificador doble paso.
- Láser de bombeo, para los amplificadores o para la generación de los pulsos de salida deseados, por ejemplo 1000 Hz.
- Otros sistemas de aumento de potencia.

3. TELESCOPIO

- **Telescopio**, transmisión y recepción de los pulsos láser.
 - Coaxial, sólo se necesita un telescopio.
 - Espejo perforado.
 - Espejo rotatorio.
 - Biaxial, utiliza un telescopio transmisor y uno receptor.
 - Telescopio receptor.
 - ⇒ Espejo primario.
 - ⇒ Espejo secundario.
 - Telescopio transmisor.
 - Foco coudé.
- Sistema para la **observación óptica**.
 - Cámara CCD, observación de estrellas u otros objetos para el ajuste de puntería.
 - Cámaras para la observación del scattering de la atmósfera (Graz).
 - Monitores conectados a las cámaras.
- **Cúpula**, protección del telescopio.

- Sistema para la **calibración** (pre/post observación).
 - Externa.
 - Diana exterior o retroreflectores.
 - Interna.
 - Espejos en el telescopio transmisor y receptor, para dirigir el haz.
- Ordenador/software de control directo del telescopio, o TCU, Telescope Control Unit.
- **Motores** de posición azimut y elevación (servos o stepper motors).
 - Encoders (ópticos).

4. DETECTORES Y FILTROS

- **Detector** del pulso de **start**, SPD.
 - Fotodiodo, detecta una pequeña parte de la señal del láser que se transmite a través de un espejo reflector y la convierte en una señal eléctrica.
- **Detectores** pulso de **stop** o retornos.
 - **CSPAD**, compensated single photon avalanche diode, puede detectar un sólo fotón, tiene una eficiencia cuántica del 20% y el área efectiva no es demasiado pequeña.
 - Time walk compensated, sistema para controlar el time walk error, desarrollado por la estación de Graz.
 - Sistema de control de la temperatura, -60°.
 - **APD**, avalanche photodiode, pueden tener eficiencia cuántica del 50% pero el área efectiva es muy pequeña (cientos de micras).
 - **MPT**, multichannel plate photomultiplier, el área efectiva es grande (15-18 mm), pero la eficiencia cuántica es menor que en los otros detectores, 10%.
- Unidad de distribución de los pulsos, PDU, o **discriminadores**. Sistema que transforma la señal de los detectores en el tipo adecuado de señal (NIM) antes de ser transmitida al ET.
- Pre-amplificadores en el caso de algunos detectores.
- **Filtro espectral**, para la observación durante el día, oscila entre 0,15 y 1 nm alrededor de la frecuencia del láser.
- **Filtro espacial** o **field of view**, principalmente para la observación durante el día, evita que entre gran cantidad de ruido. Toma valores entre 7"-15" según el satélite a observar, el detector y la cantidad de ruido.
- **Filtro temporal** o **range gate**, tiempo en el que el detector puede recibir la señal, alrededor del momento en el que se espera el pulso de retorno según la distancia a la que se encuentra el satélite.
 - Ancho fijo, por ejemplo 200 ns, y modificación de la situación en torno al momento esperado (cero).
 - Modificación del ancho entorno al cero, entre 100 y 400 ns.
- **Filtro óptico de amplitud**, reducir la potencia total transmitida al detector o aumentar el umbral de detección. No interesa para detectores single photon.
- Control de la **divergencia** del haz láser, entre 5" y 20", limitado por el error de puntería y la turbulencia atmosférica, ayuda a la observación de algunos satélites.
- Control de la **atenuación**, para evitar demasiada señal en los detectores (es opcional, porque se puede controlar con los sistemas anteriormente mencionados).

5. SISTEMA DE TIEMPO

- **Event timer**, para medir las épocas de los pulsos de start y stop, tiempo de vuelo de los pulsos entre la estación y el satélite. Necesita frecuencias de referencia (1 pps, 10 MHz...).
 - Modulos Dassault (usados en los event timer de algunas estaciones).

Tiempo de la estación y sincronización con el tiempo UTC:

- **Reloj atómico**, estándar de frecuencia, para proporcionar el tiempo a la estación, 1 pps y otras frecuencias de referencia.
 - Cesio.
 - Rubidio.
- **Máser de H**, se utiliza como estándar de frecuencia, para proporcionar el tiempo a la estación, 1 pps y otras frecuencias de referencia (5 MHz, 10 MHz).
- **Receptor GPS**, sirve como sistema de referencia de tiempo y sincronización con los relojes atómicos y el tiempo UTC.
- Dispositivos para realizar la sincronización y que muestren el tiempo UTC-estación-láser.

6. SOFTWARE

- **Control de la optoelectrónica** (detectores, event timer).
 - Tarjeta FPGA: control de disparo del láser basándose en las frecuencias de referencia (1 pps, 10 MHz) y en los posibles solapamientos de la señal, generación del range gate, etc. Desarrollada por la estación de Graz.
 - Software del propio event timer.
- Software event timer, principalmente para la medida del ToF.
- Procesador del tiempo y las frecuencias de referencia:
 - Sincronización del tiempo de la estación con el tiempo UTC (mejor de 100 ns).
 - Posibilidad de sincronizar del comienzo de los disparos del láser con el tiempo de la estación o UTC.
- **Interface usuario.**
 - Control de telescopio.
 - Límite del telescopio en elevación.
 - Posición del Sol y zona de peligro (alrededor de 20° en torno al Sol).
 - Corrección fina de la puntería del telescopio de forma manual durante la observación.
 - Control de la cúpula.
 - Elección del satélite a observar.
 - Elección del detector (si hay más de uno).
 - Modificación de la divergencia.
 - Modificación del field of view.
 - Modificación de la atenuación.

- Modelo de puntería (mount model).
 - Catálogo de estrellas. Puntos de referencia.
- Control del láser.
 - Limite de elevación para el funcionamiento del láser.
 - Apagado y encendido manual en caso de emergencia.
- Control del sistema de seguridad.
- Generación del schedule de observación.
- Base de datos de las **predicciones**.
 - Relación: predicciones-tiempo estación-montura telescopio.
 - Modelo orbital para la determinación de la órbita según satélite, usando los datos de las predicciones y los datos atmosféricos.
 - Sincronización con el tiempo UTC para que el cálculo de la órbita sea válido.
- Creación de los **archivos** con los datos observados: tiempo de vuelo, posición del telescopio, tiempo de la estación, datos meteorológicos, calibración, etc.
- Programa para el cálculo de los **puntos normales**. Presentación de los resultados en el formato CDR.
- Envío de los datos a los centros de análisis, vía ftp o email.

7. EDIFICIO

- Edificio, completamente aislado de los pilares del telescopio y láser.
- Pilar base de todo el sistema.
- Pilar del telescopio.
- Pilar de sistema láser.
- Sala de control de las observaciones.
- Sala láser y telescopio.

8. COMPONENTES SECUNDARIOS

8.1. SISTEMA DE SEGURIDAD EXTERNA

- Radar activo, para la detección de aviones u otros elementos que podrían ser dañados con la luz láser.
- Radar pasivo, para la detección de aviones.
- Cámaras de vigilancia, control del cielo por parte de los operadores.
- Sistema láser, sistema para la detección de aviones u otros objetos que utiliza un láser infrarrojo completamente seguro para los ojos y que no causa interferencia en otras instalaciones del observatorio, como los radiotelescopios.
- Programas con información sobre el tráfico aéreo.

8.2. ELEMENTOS PARA LA SEGURIDAD INTERNA

- Gafas de protección para los ojos, seguridad siempre que se realicen trabajos con el láser.
- Señales de peligro en puertas y ventanas.
- Señales con información de la peligrosidad del láser: clase, potencia, longitud de onda...
- Cobertura de ventanas que den a la sala del láser.
- Sistemas de control de apagado/encendido del láser en puertas y ventanas que den a la sala del láser.
- Señales luminosas que avisen que el láser se encuentra activo.
- Visor de infrarrojos, para los trabajos con el láser.

8.3. CÁMARAS DE VIGILANCIA

- Control del funcionamiento del láser, para poder observar desde la sala de control si el láser funciona correctamente.
- Observación del cielo, nubes, para detener la observación si el cielo está muy nublado o cerrar la cúpula si empieza a llover.
- Observación de los satélites, ayuda para la puntería.

8.4. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Para realizar la corrección meteorológica. Datos que deben introducirse en los archivos de observación de cada uno de los satélites:

- Sensor de temperatura.
- Sensor de presión.
- Sensor de humedad.

8.5. OTROS

- Racks para la distribución de los ordenadores, event timer, información meteorológica, etc.
- Pantallas para la sala de control.
- Mobiliario (sillas, mesas).
- Pararrayos.
- Personal para la realización de observaciones.

ANEXO. EJEMPLOS DE DIAGRAMAS DE BLOQUES

Sistema optoelectrónico de la estación ARGO-M de Corea:

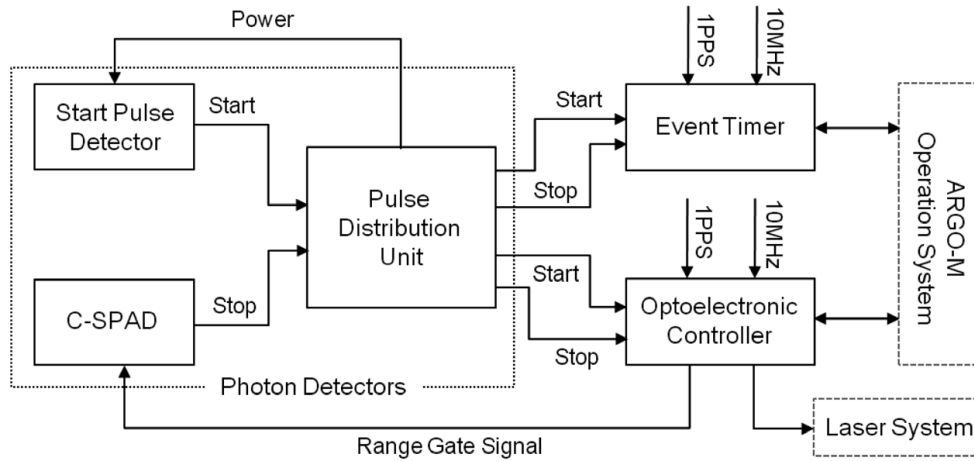
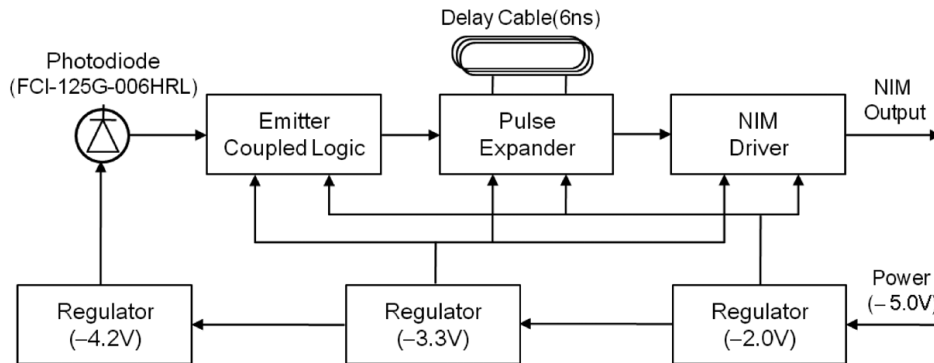


Diagrama de bloques del detector de start, fotodiodo, de la estación de Corea, ARGO-M:



Diseño del Event Timer A032-ET desarrollado en Riga, Letonia:

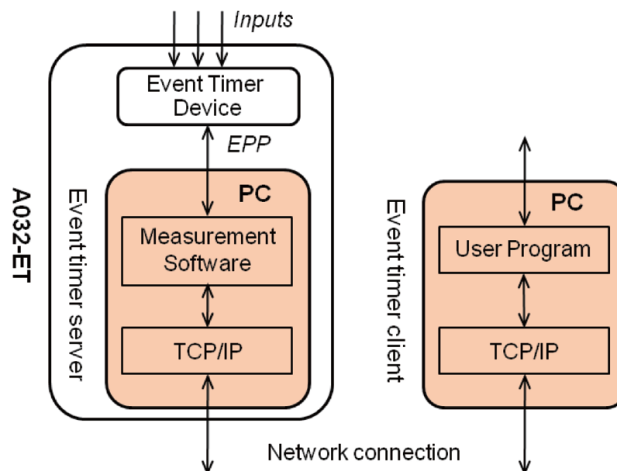


Diagrama de bloques de la tarjeta FPGA desarrollada por la estación de Graz, Austria:

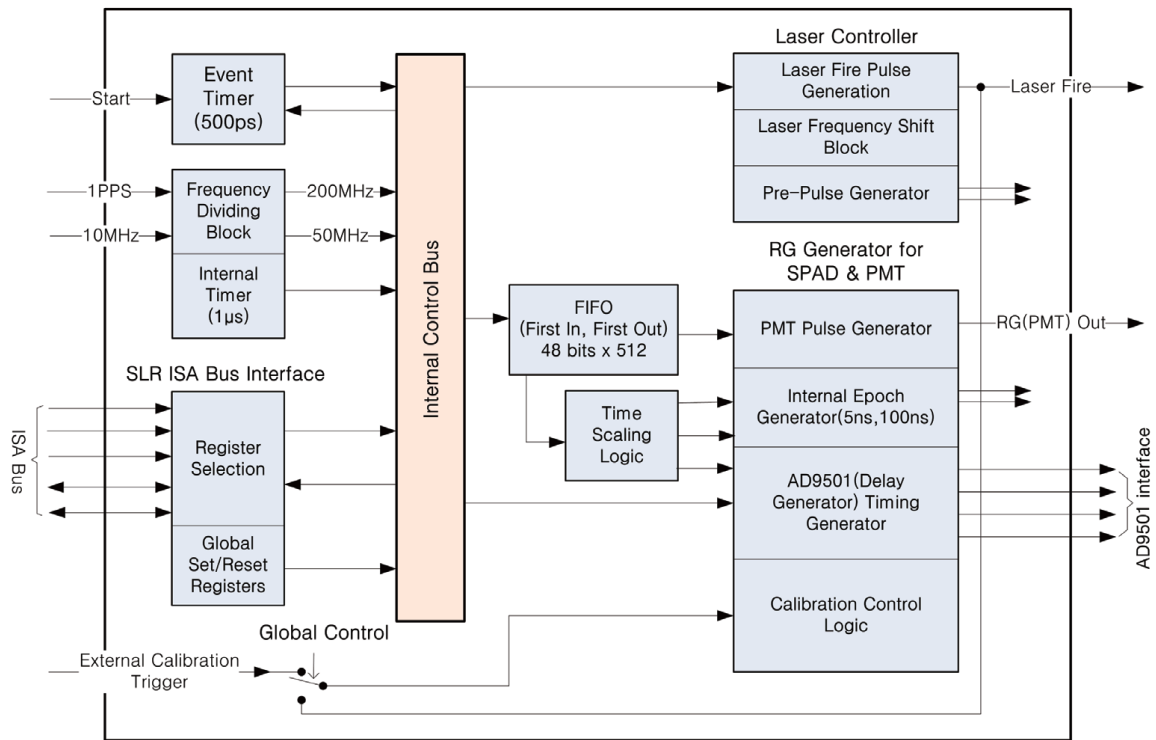
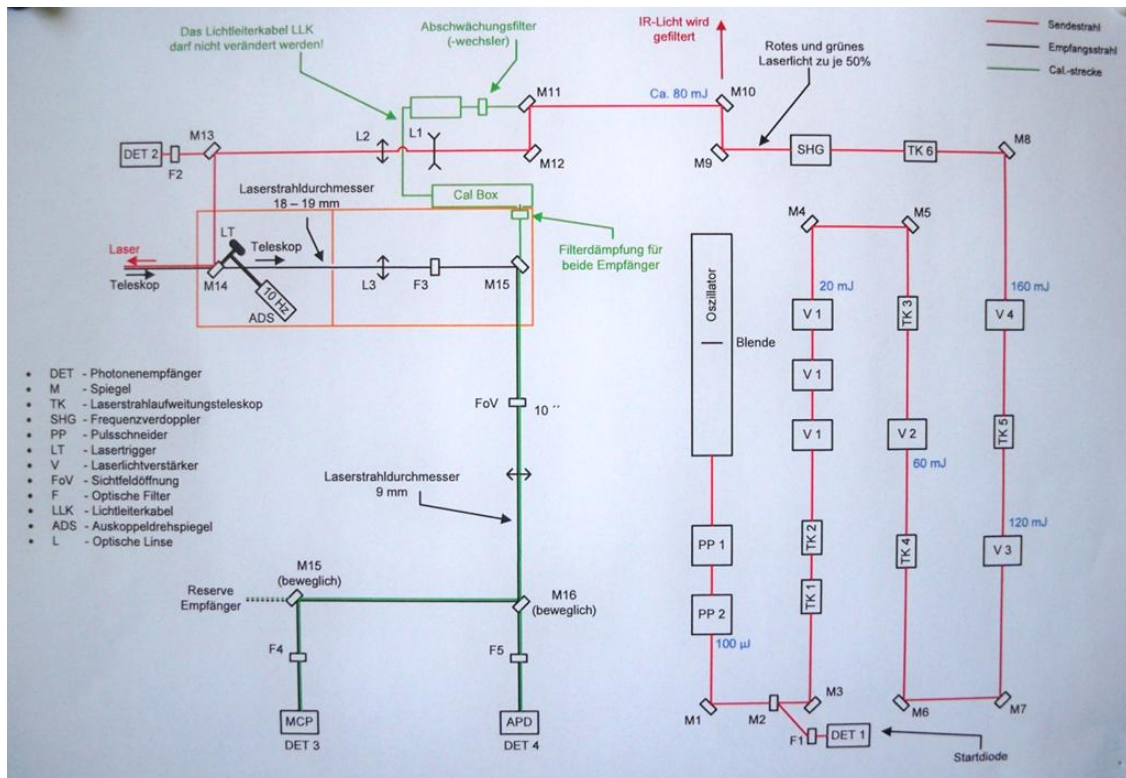


Diagrama de bloques simplificado de la estación de Wettzell, WLRS, Alemania:



Esquema óptico del sistema biestático NASA MOBLAS 5, donde se muestran de forma separada los sistemas transmisor y receptor. Estados Unidos.

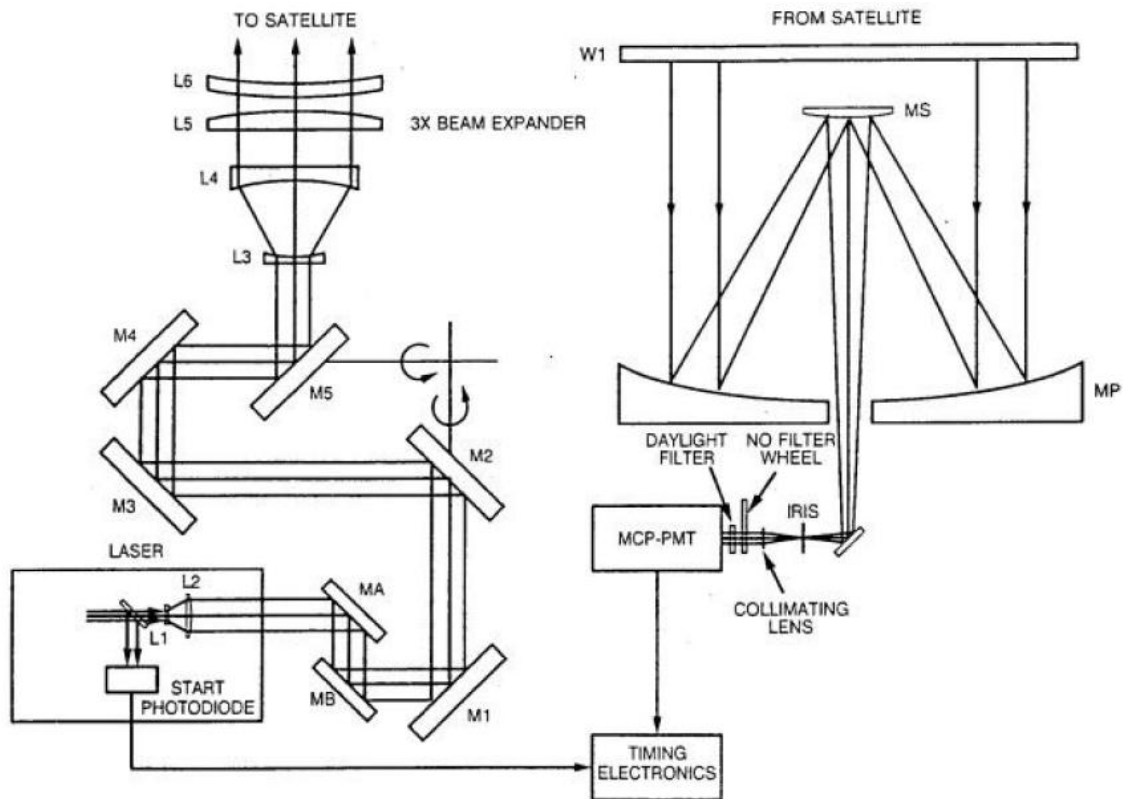
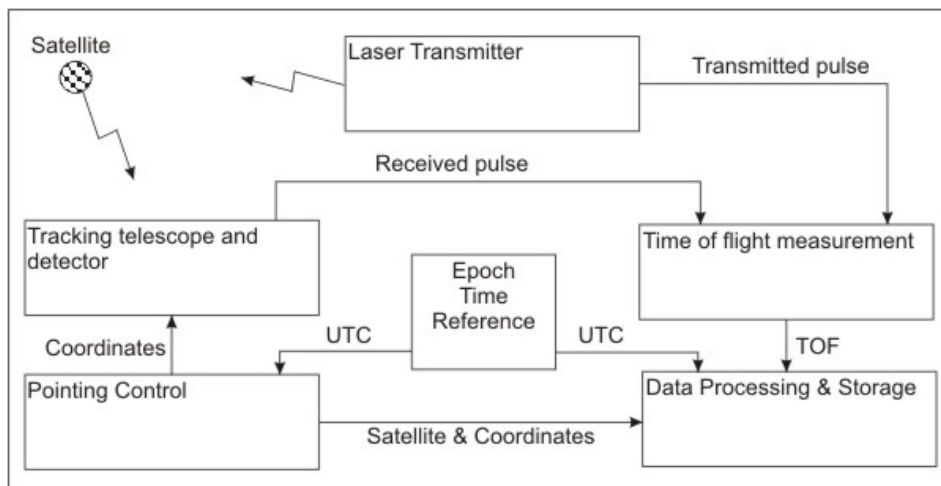


Diagrama básico de un sistema SLR. Hartebeesthoek MOBLAS 6 SLR.



Diagramas de bloque simplificado del sistema de medida del MOBLAS 6. Hartebeesthoek MOBLAS 6 SLR.

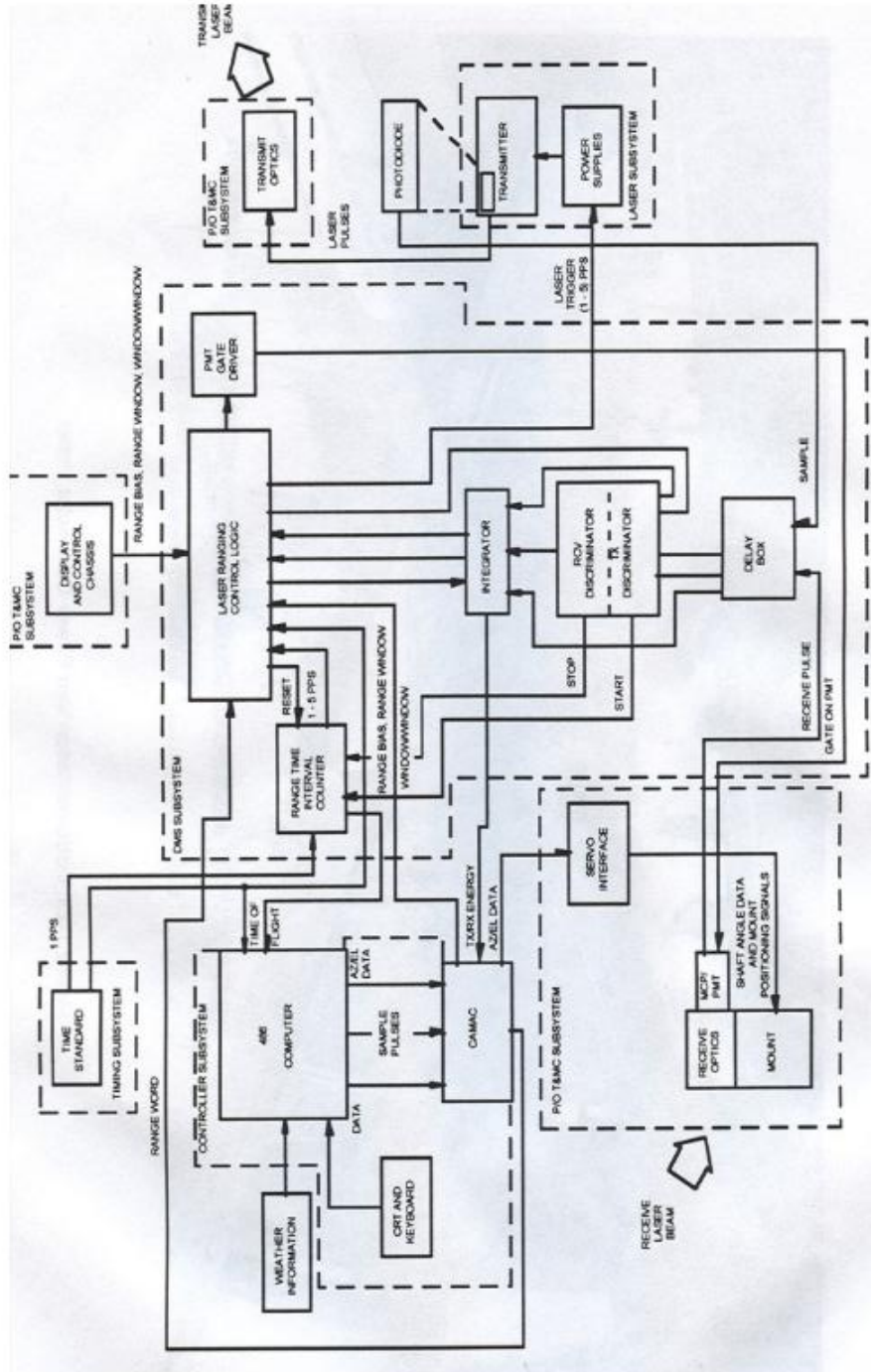
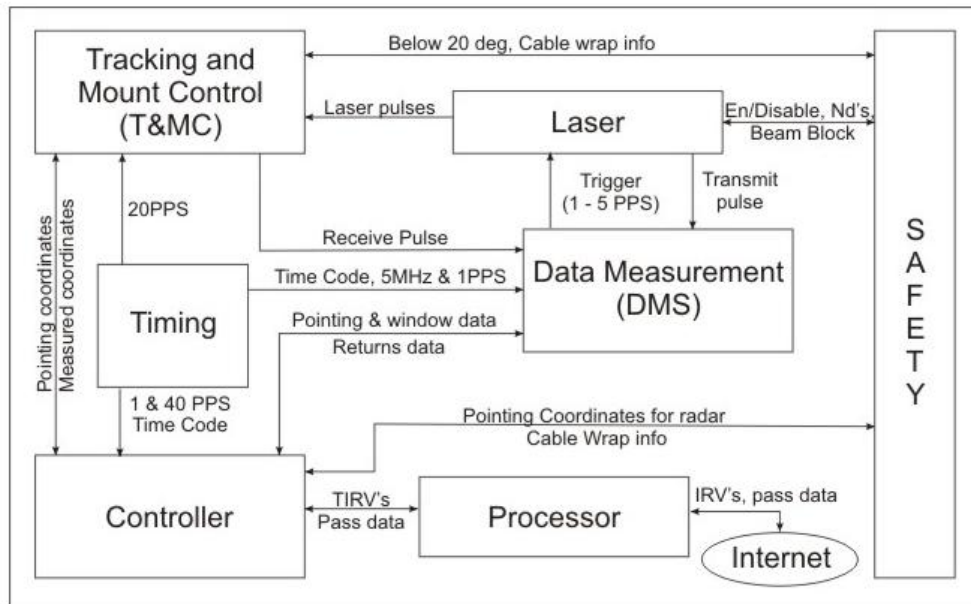
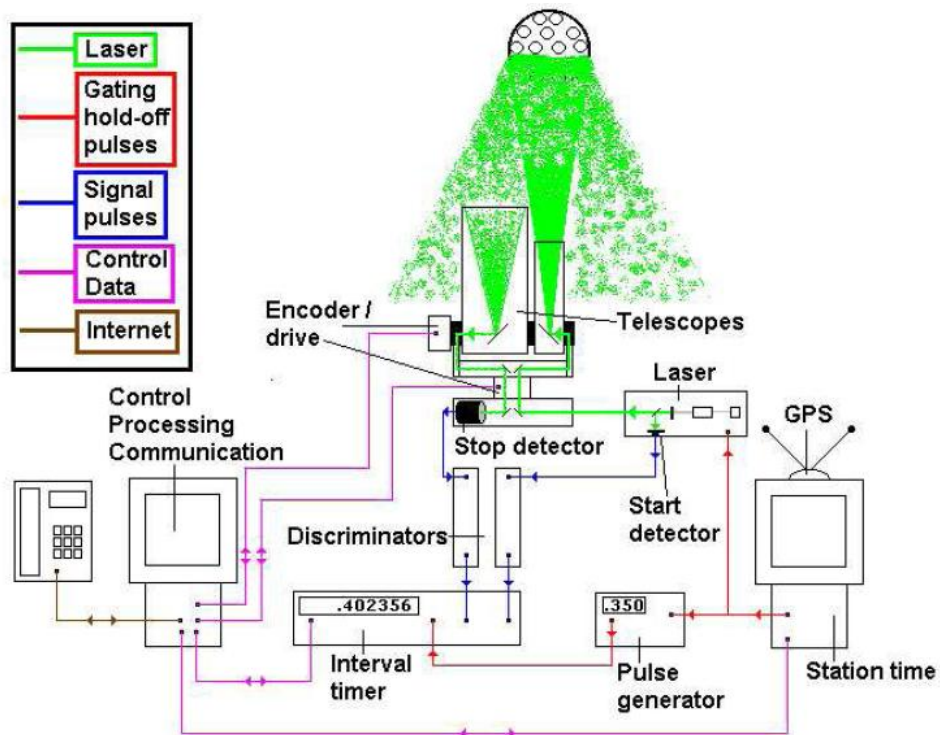


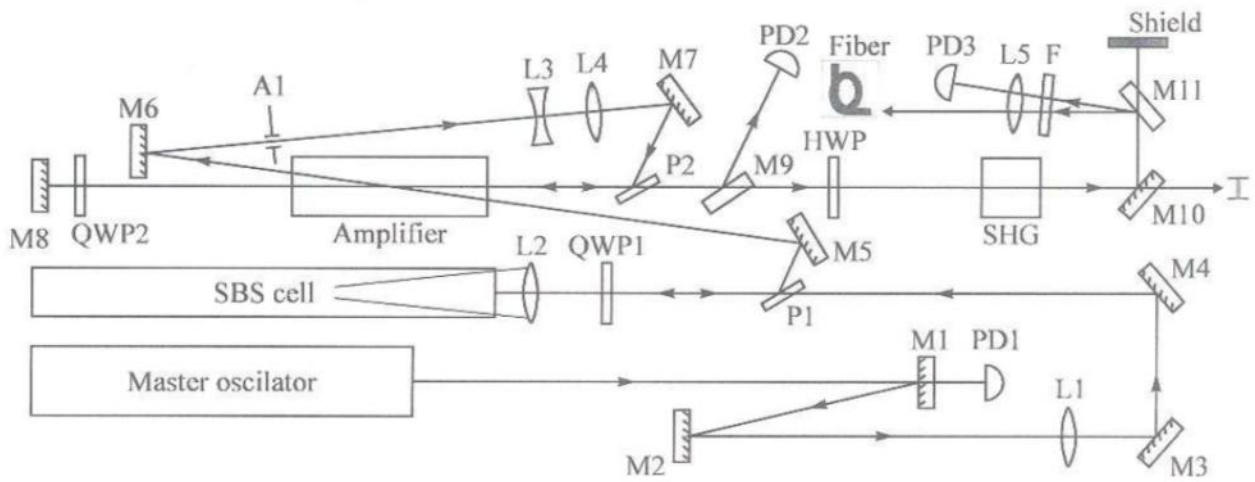
Diagrama de las interconexiones de los subsistemas básicos del MOBLAS 6. Hartebeesthoek MOBLAS 6 SLR.



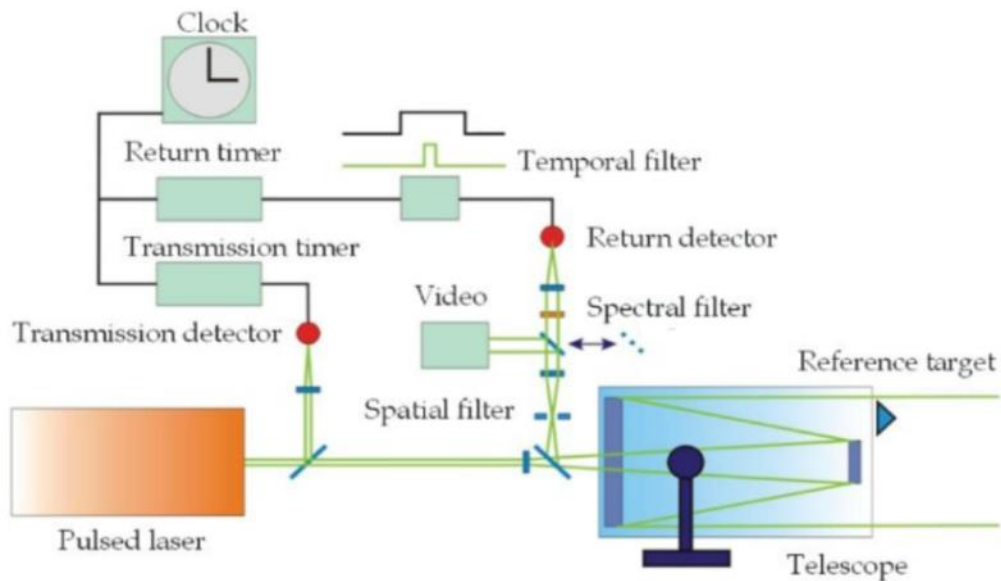
Representación esquemática de un sistema típico de SLR con dos telescopios. Portable Satellite Laser Ranging. Australia.



Representación del esquema óptico del PSLR, Portable Satellite Laser Ranging, SL212 láser.



Esquema de un sistema de SLR. TIGO.



9. BIBLIOGRAFÍA

Development of the Portable Satellite Laser Ranging System [Michailovas, 1997]. M. Broomhall. Australia 2003.

Hartebeesthoek Satellite Laser Ranger (SLR). HartRAO MOBLAS 6 SLR Information. <http://www.hartrao.ac.za/geodesy/slr/index.html>

Millimeter Accuracy Satellite Laser Ranging. J. Degnan. Estados Unidos 1993.

Study of the Optoelectronic Design for Korean Mobile Satellite Laser Ranging System. H.C. Lim, Y.K. Seo, S.Y. Yu, S.C. Bang, E. Park, etc. Korea 2010.

TIGO Transportable Integrated Geodetic Observatory. M. Häfner, B. Sierk.