

Proxecto de Innovación Tecnolóxica

**“Medidor electrónico de lonxitude de onda
de diodos láser para comunicacións
e metroloxía óptica”**



Participantes no Proxecto

- **CENTRO COORDENADOR:** IES Escolas Proval, Dep. Electrónica (Prof. Javier Diz Bugarín e Antón Infante Taboada, colaboración dos alumnos do Ciclo Superior “Mantemento Electrónico”).
- **ENTIDADE PARTICIPANTE:** Universidade de Vigo, ETSE de Minas, Dep. Física Aplicada (Prof. Dr. J. Benito Vázquez Dorrío e Jesús Blanco García)
- **ENTIDADE OBSERVADORA:** Laboratorio Oficial de Metroloxía de Galicia (LOMG). Colaboración para probas, interese no resultado final.



Obxectivos Xerais

- **Transferencia de coñecemento Universidade – FP como medio de formación do profesorado.**
- **Mellorar a cualificación do alumnado a través da participación en tarefas do proxecto.**
- **Interconexión entre centros de ensino e investigación para futuras colaboracións.**
- **Incrementar a dotación do centro educativo co material remanente do proxecto.**



Obxectivos Específicos

- **Desenvolvemento dun prototipo funcional de medidor electrónico de lonxitude de onda que poida integrarse nun sistema de díodo láser estabilizado comercial ou propio.**
- **Desenvolvemento paralelo de equipamentos para prácticas avanzadas relacionadas con fibra óptica e láseres.**
- **Transferencia de tecnoloxía dos resultados do proxecto a centros de metroloxía e potenciais clientes industriais.**
- **Mellorar as perspectivas de inserción laboral do alumnado pola experiencia acadada co proxecto (especialización como técnicos I+D en centros de metroloxía).**



Descrición do Proxecto

- O Grupo de Metroloxía Óptica do Departamento de Física Aplicada da Universidade de Vigo en colaboración co Laboratorio Oficial de Metroloxía de Galicia (LOMG) ten desenvolto nos últimos anos varios proxectos para o desenvolvemento de equipamento propio de metroloxía dimensional mediante técnicas ópticas (láser).
- Para evitar o uso de láseres de referencia de elevado custo se estabiliza a frecuencia de díodos láser mediante un sistema de Cavidade Extendida (ECDL) con anclaxe en frecuencia mediante celda de gas de iodo ou rubidio.



Descrición do Proxecto

- Unha vez acadada a estabilización dos díodos láser hai que determinar con precisión a lonxitude de onda resultante.
- Para iso existen varios sistemas, como a comparación cun láser de referencia mediante un interferómetro de Michelson.
- Un dos brazos do interferómetro é de lonxitude variable. Se se despraza unha determinada lonxitude os láseres producen un número de franxas de interferencia relacionadas coa súa lonxitude de onda.
- Os sinais ópticos son recollidos, amplificados e procesados por un sistema electrónico que proporciona a relación numérica entre as frecuencias dos láseres.



Descrición do Proxecto

- Actualmente xa existe no LOMG un interferómetro con diodo láser estabilizado mediante un sistema comercial, e un primeiro prototipo de probas do medidor electrónico.
- Neste Proxecto se construírá un medidor electrónico completamente funcional que incorpore as melloras e modificacións resultantes das probas realizadas.
- O Proxecto de Innovación permite a adquisición do material necesario e a montaxe dun banco óptico de probas para facer a verificación dos módulos electrónicos sen necesidade de desprazamentos.



External Cavity Diode Laser

Dispositivos empregados en comunicacións ópticas, en sistemas de medición e en laboratorios de física cuántica e atómica:

- Espectroscopia de absorción
- Enfriamento con láser
- Xeración de patróns de frecuencia de moi alta precisión
- Sistemas de medida de alta precisión
- ...



External Cavity Diode Laser

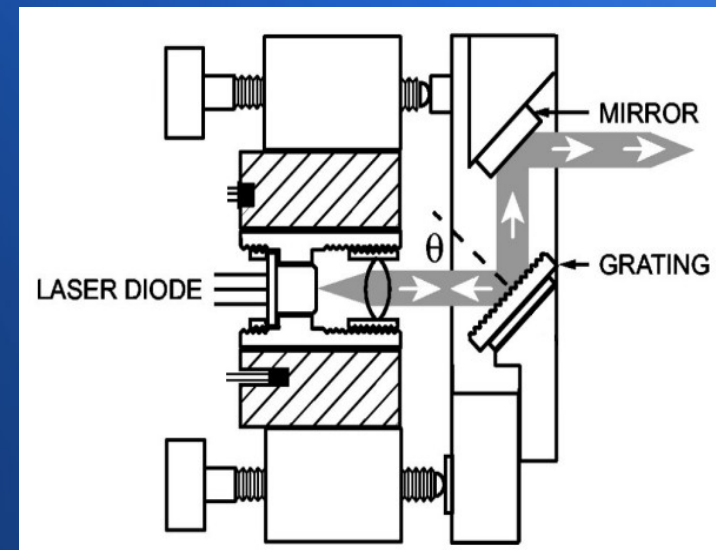
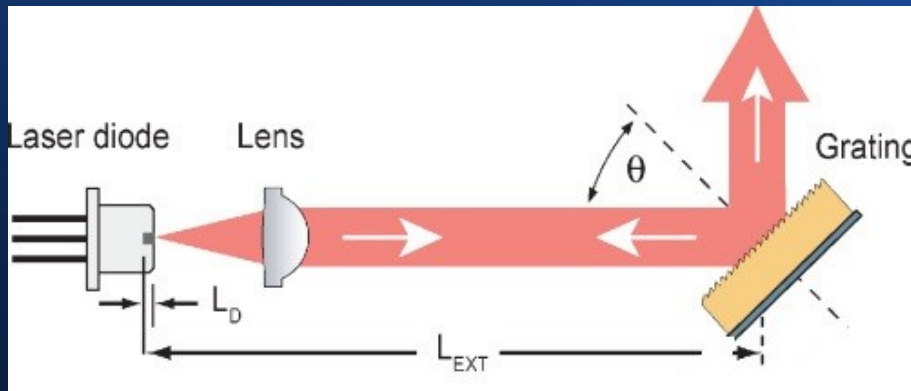
Características:

- Lonxitude de onda axustable
- Anchura de liña pequena
- Baixo prezo dos diodos láser respecto de outras fontes láser cunha anchura de liña comparable.



External Cavity Diode Laser

A configuración Littrow é unha das máis sinxelas e populares:



External Cavity Diode Laser

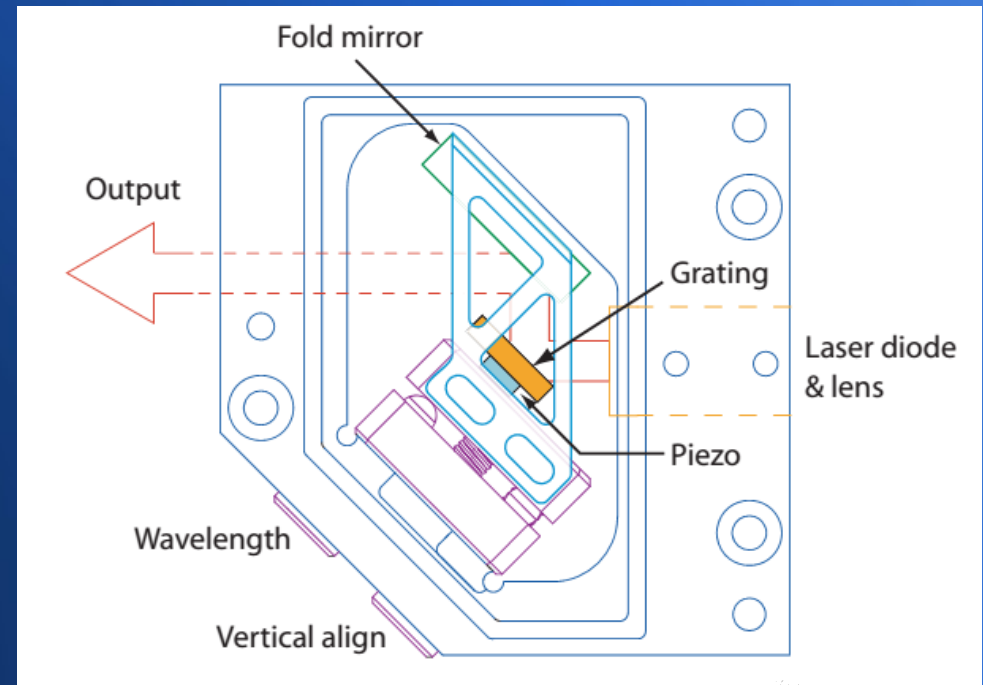
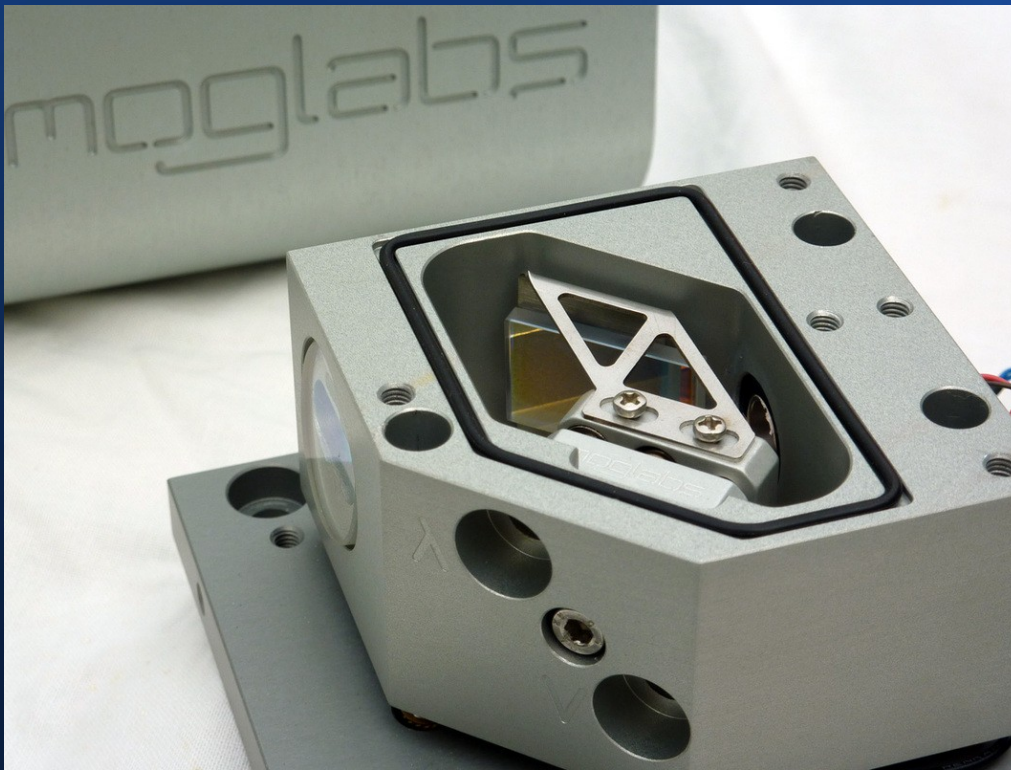
Funcionamento:

- Regulación da temperatura e da polarización do diodo láser
- Realimentación óptica dunha lonxitude de onda mediante a rede de difracción
- Entre a cara traseira do diodo láser e a rede de difracción fórmase unha cavidade externa
- O acoplamento entre os modos do diodo, os das dúas cavidades e a frecuencia seleccionada pola rede de difracción determinan a lonxitude do ECDL



External Cavity Diode Laser

Aspecto dun modelo comercial:



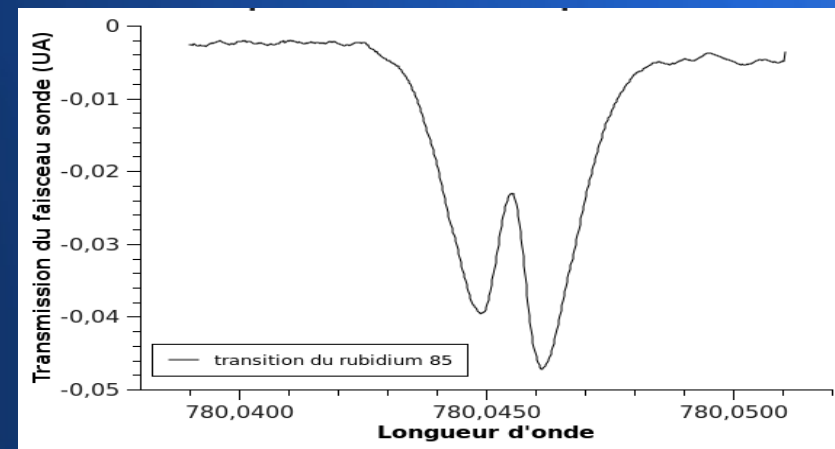
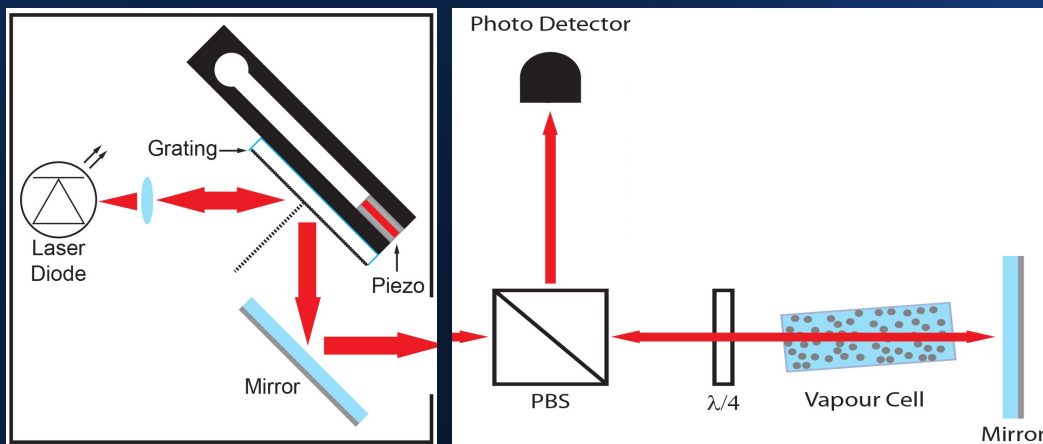
External Cavity Diode Laser

- Para facer unha regulación da lonxitude de onda do ECDL débese obter un sinal que dependa da lonxitude de onda (sinal de erro)
- Unha das alternativas máis empregadas é usar a espectroscopia de absorción saturada. Faise pasar o feixe láser do ECDL por unha celda de gas e mídese a intensidade cun fotodetector
- A intensidade depende da taxa de absorción do gas para a lonxitude de onda do ECDL



External Cavity Diode Laser

- Co sinal obtido regulase a lonxitude de onda do ECDL actuando sobre o ángulo formado entre o ECDL e a rede de difracción
- A posición da rede de difracción modifícase mediante un actuador piezoeléctrico



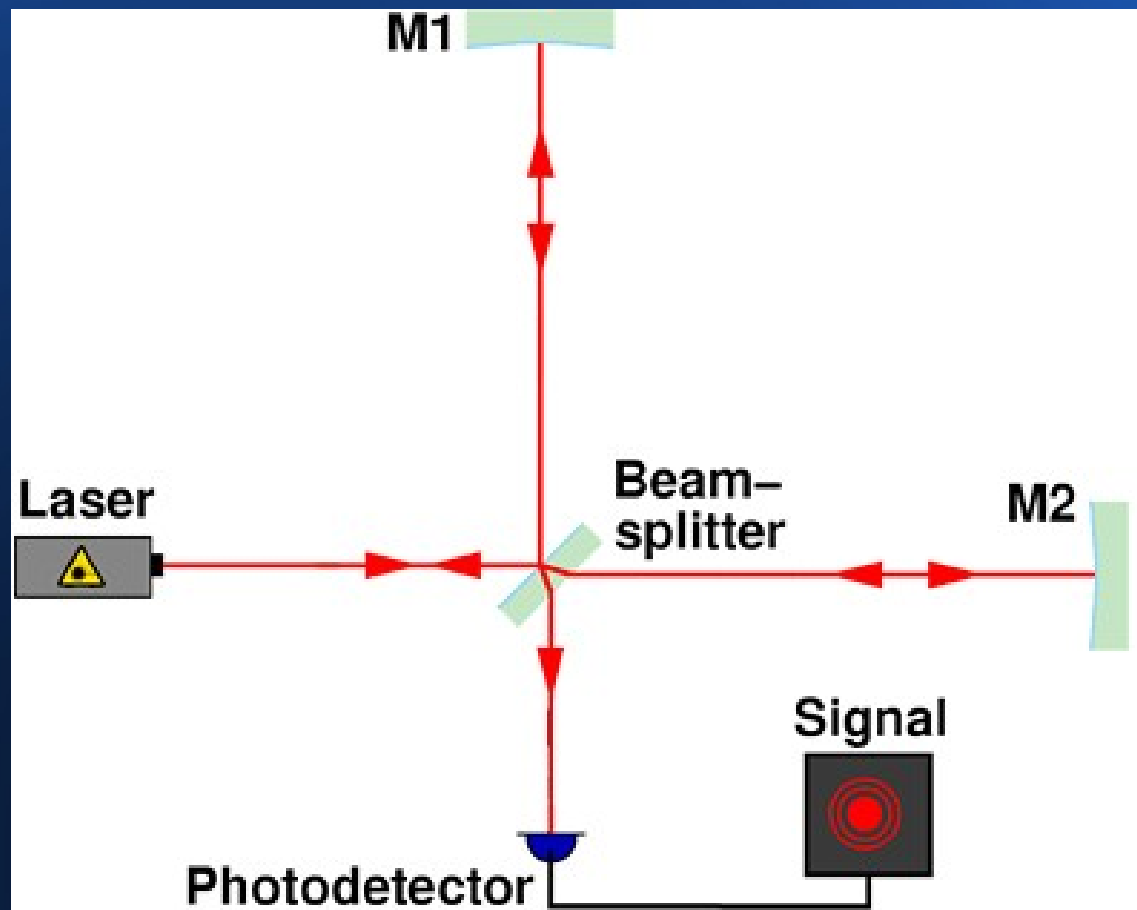
Interferómetro de Michelson

Deseñado por Albert A. Michelson para o experimento que realizou en 1887 xunto con Edward Morley tratando de medir a velocidade do movemento da terra no éter. Este experimento contribuiu establecer que as ondas electromagnéticas propáganse sen necesidade dun medio e, en último termo, á formulación da teoría da relatividade.

En 1907 Michelson recibiu o premio Nobel “*polos seus instrumentos ópticos de precisión e as investigacións espectroscópicas e metrolóxicas realizadas con axuda de estes*”. Entre estes instrumentos destaca sen lugar a dúbidas o seu interferómetro.



Interferómetro de Michelson



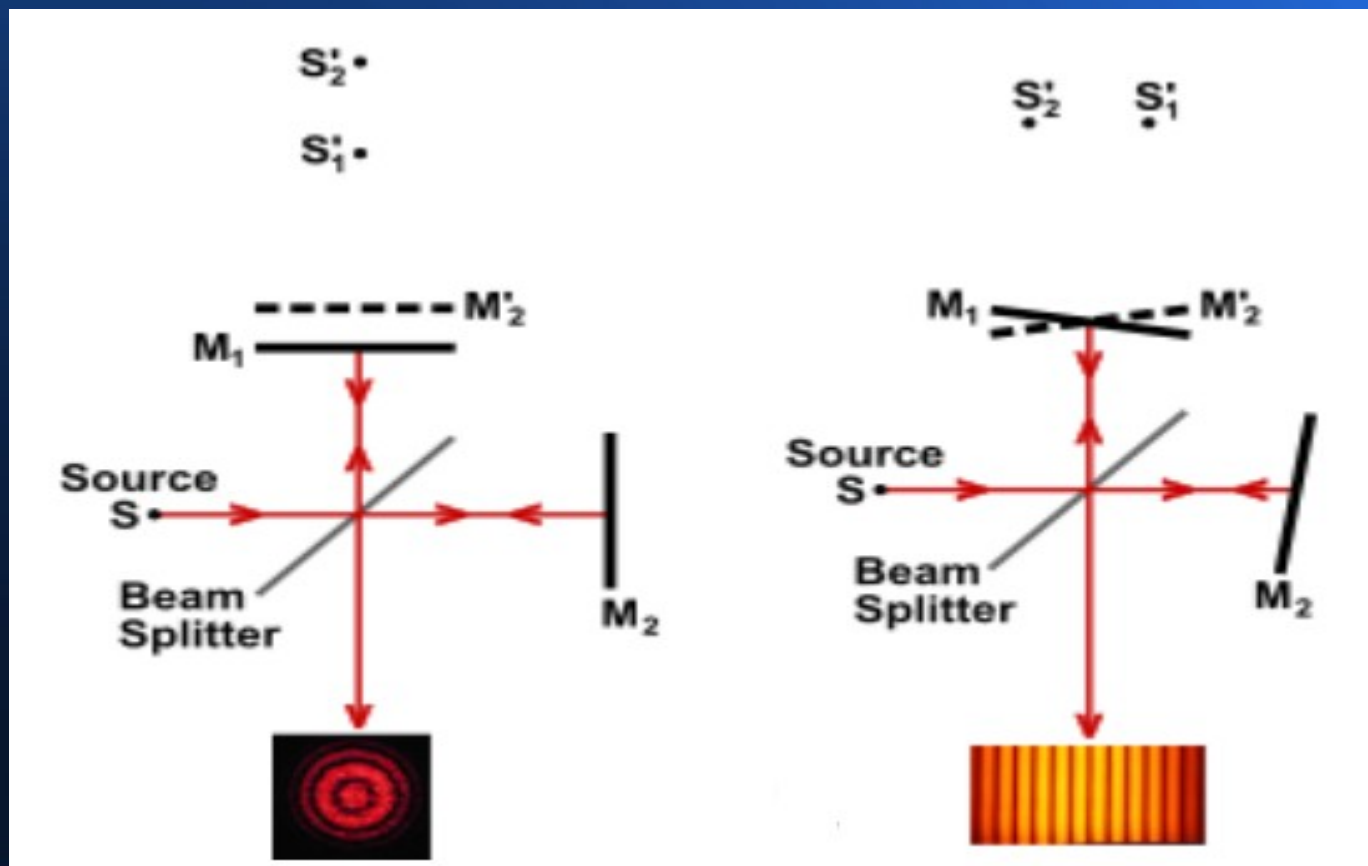
Interferómetro de Michelson

- O feixe láser é dividido en dous polo divisor de feixe.
- Cada un dos feixes resultantes percorre un camiño diferente para reflexarse nos espellos fixo (M1) e móbil (M2)
- De volta no divisor de feixe os dous feixes son dirixidos cara á pantalla ou o detector
- Sobre a pantalla fórmase un patrón de interferencias que depende da diferenza entre os camiños ópticos dos feixes
- Os máximos do patrón están separados $\lambda/2$



Interferómetro de Michelson

Explicación da formación de patróns:



Interferómetro de Michelson

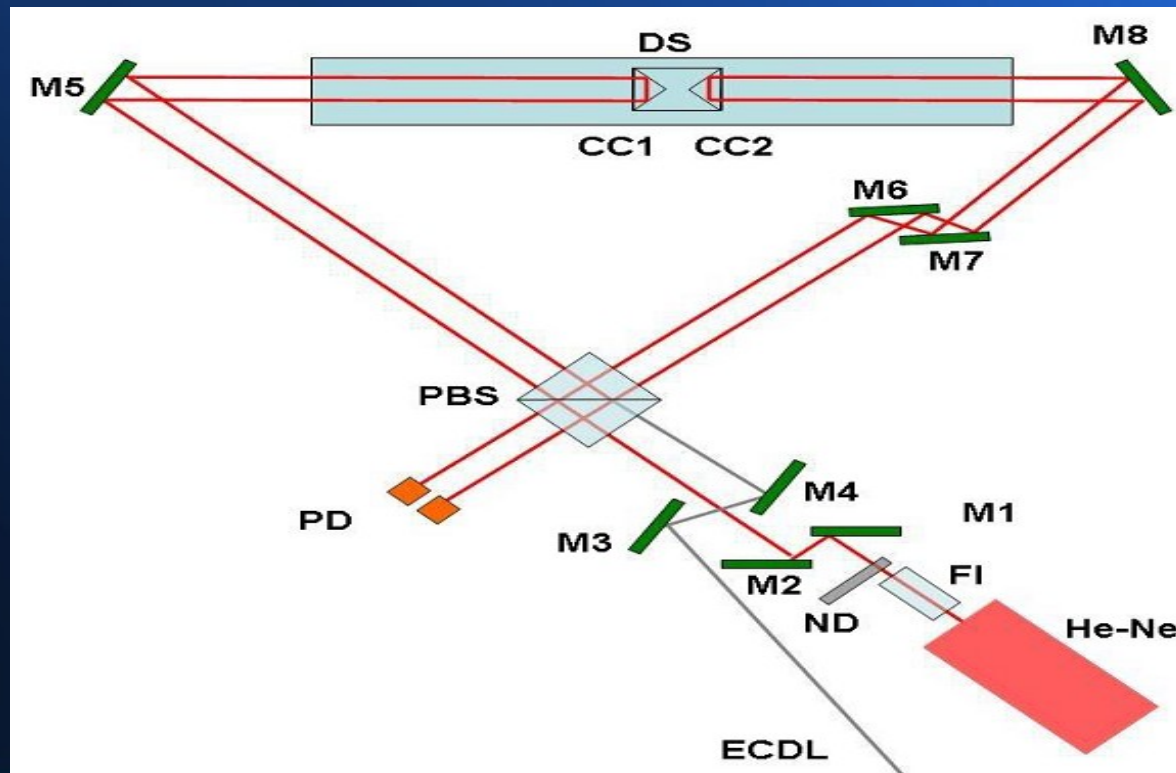
Múltiples aplicaciones con variaciones sobre o diseño orixinal:

- **Medida de desprazamentos pequenos**
- **Determinación de índices de refracción**
- **Espectroscopía de precisión, resolución de dobletes**
- **LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) é un interferómetro de Michelson modificado**
- **...**



Sistema de medición propuesto

Esquema do interferómetro modificado para a medida da lonxitude de onda:



Sistema de medición proposto

- Trátase dun interferómetro de Michelson modificado para a propagación de dous láseres
- Un par de reflectores de esquina montados sobre un elemento móbil permiten modificar simultaneamente a posición do espello móbil para os dous feixes láser
- Comparando o número de franxas producidas durante o mesmo desprazamento obtense a relación entre as lonxitudes de onda dos dous láseres



Métodos de medición: Contador simultáneo de franjas

Consiste en mover unha certa distancia o elemento móbil cos reflectores de esquina. Como a distancia percorrida polos reflectores é a mesma a relación entre os números de franjas para cada láser é idéntica á relación entre as súas lonxitudes de onda

$$\lambda_{\text{Obxectivo}} = \frac{N_{\text{Patrón}}}{N_{\text{Obxectivo}}} \cdot \lambda_{\text{Patrón}}$$



Métodos de medición:

Contador simultáneo de franjas

- Ao contar números enteiros de franjas o erro máximo pode ser practicamente dunha franxa completa no conteo
- O único xeito de minimizar este erro é contar un número moi grande de franjas
- Isto impón que o brazo sobre o que se despraza o elemento móbil sexa moi longo o que resulta caro e complexo xa que o aliñamento do brazo debe ser moi preciso



Métodos de medición: Multiplicador de frecuencia con PLL

- Multiplicando a frecuencia do sinal provinte da detección das franxas con circuítos PLL pódese obter unha resolución subfranja do mesmo factor.
- O problema máis importante deste método é que debe garantirse unha gran estabilidade da frecuencia do sinal provinte da detección das franxas o que obriga a un control moi preciso da velocidade do brazo móbil.



Métodos de medición:

Método de Vernier

- O método de Vernier consiste en comezar e finalizar a conta cando se produza unha coincidencia de fase entre os patróns de franxas reducindo o error ao tomalos coma números enteiros
- A súa precisión depende da do circuío de detección das coincidencias de fase
- As medidas poden fallar se non se alcanzan dous puntos de coincidencia no desprazamento do brazo móbil



Métodos de medición:

Contador de franxas e intervalos residuais

- Emprégase un oscilador de frecuencia superior á do sinal provinte da detección das franxas
- Disparando contadores alimentados co oscilador para medir a diferenza entre flancos ao comezo e ao final da conta das franxas pode calcularse a parte fraccionaria dos números de franxas
- A precisión depende da relación entre a frecuencia do oscilador e a do sinal provinte da detección das franxas
- O deseño do hardware é complexo



Métodos de medición:

Método das marcas de tempo

- Empregando unha tarxeta de adquisición de datos moderna poden almacenarse marcas de tempo o suficientemente precisas de todos os flancos de subida de ámbolos dous sinais provintes da detección das franxas
- Da información adquirida pola tarxeta poden obterse tanto os números de franxas en cada detector coma as partes fraccionarias das mesmas ao inicio e ao final da medida
- A desvantaxe é o custo do hardware

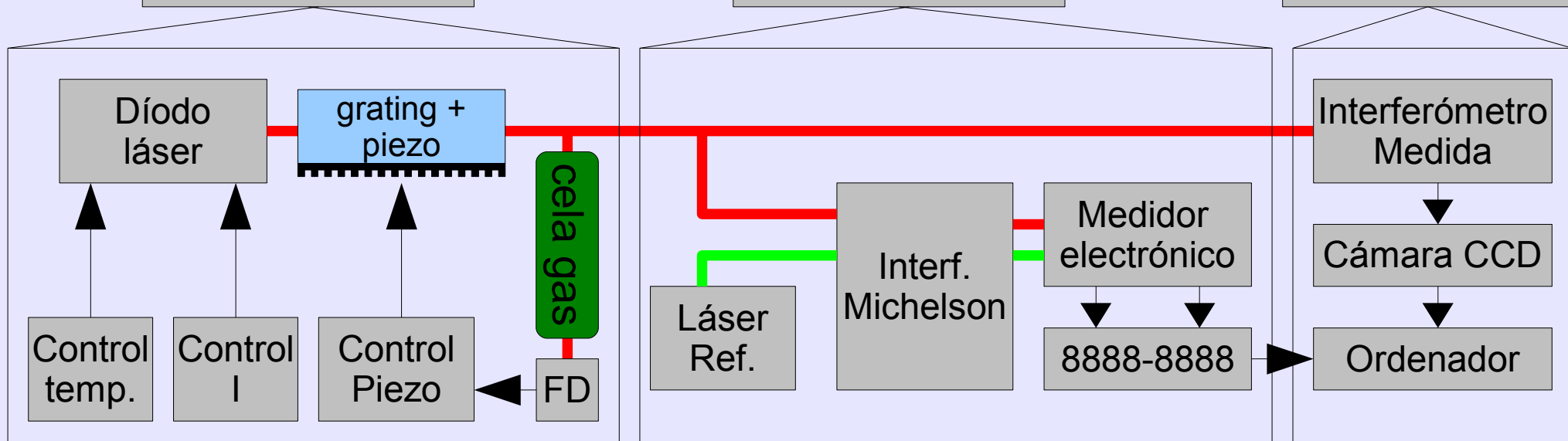


Medición interferométrica de lonxitudes con díodos láser estabilizados

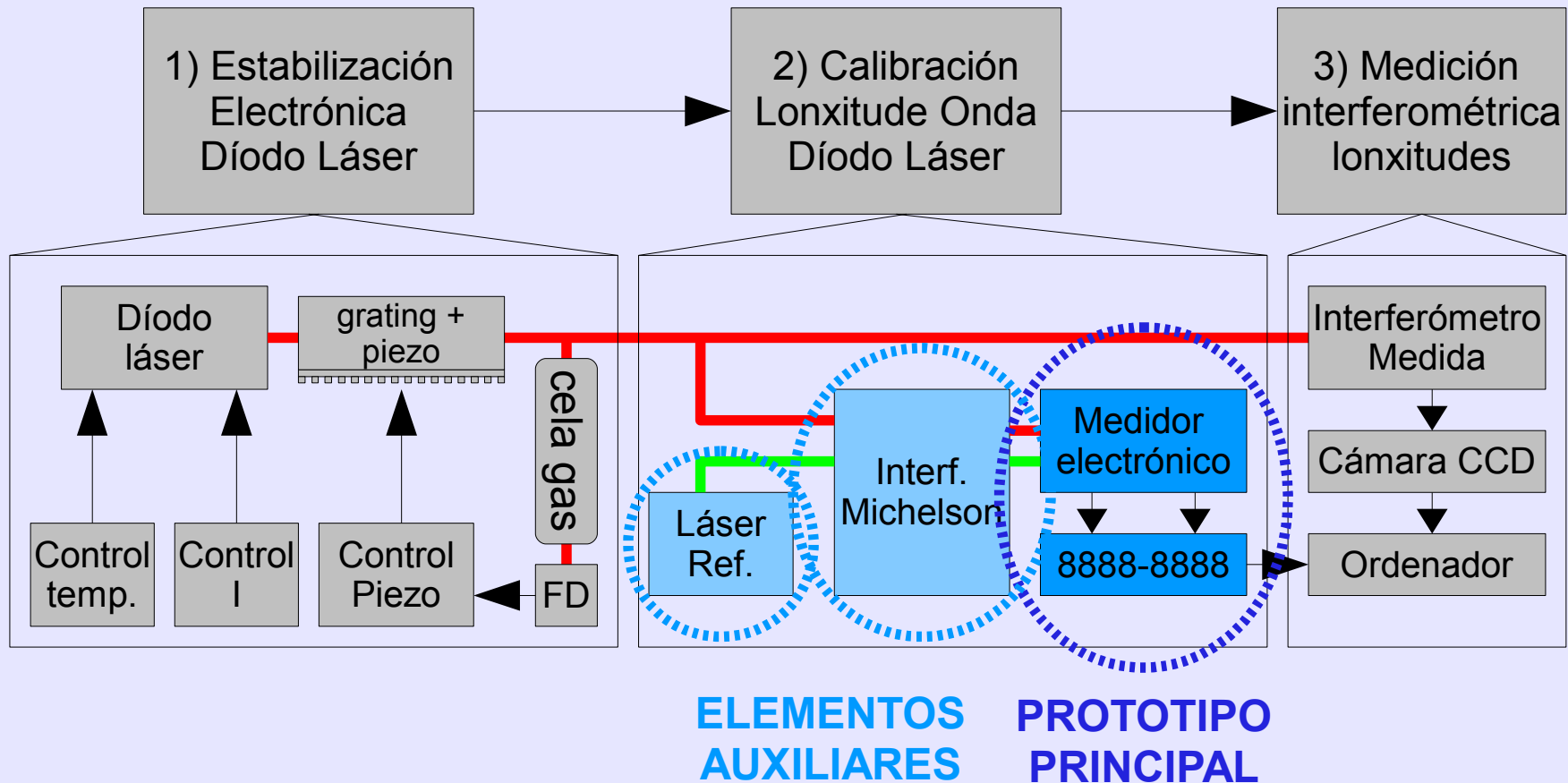
1) Estabilización Electrónica Díodo Láser

2) Calibración Lonxitude Onda Díodo Láser

3) Medición interferométrica lonxitudes



Alcance do Proxecto



Planificación do Proxecto

- T1. Definición das especificacións do sistema de medida
- T2. Deseño e construción de módulos electrónicos:
 - T2.1. Simulador de franxas de interferencia
 - T2.2. Módulo analóxico de sensores ópticos
 - T2.3. Módulo detector de sincronismo de franxas
 - T2.4. Módulos de control, visualización e comunicacións
- T3. Integración de módulos electrónicos e verificación de funcionamento con simulador de franxas
- T4. Probas de integración con sistema óptico real
- T5. Avaliación, divulgación e transferencia



Planificación do Proxecto

- Como en calquera outro proxecto serio, neste xa incumplimos meticulosamente a planificación:
- Estaba previsto que os alumnos participaran na construción dalgún dos módulos no último trimestre do curso pasado, pero co retraso na concesión do proxecto xa non houbo tempo. Probaremos de novo este curso...
- Na fase de especificacións decidimos engadir un novo módulo de contadores de alta velocidade que non estaba previsto e que será unha das aportacións deste proxecto ó novo prototipo.
- Decidimos montar un interferómetro de probas no instituto para verificar os módulos electrónicos con sinais parecidas ás reais.
- E xa veremos qué máis se nos ocorre...



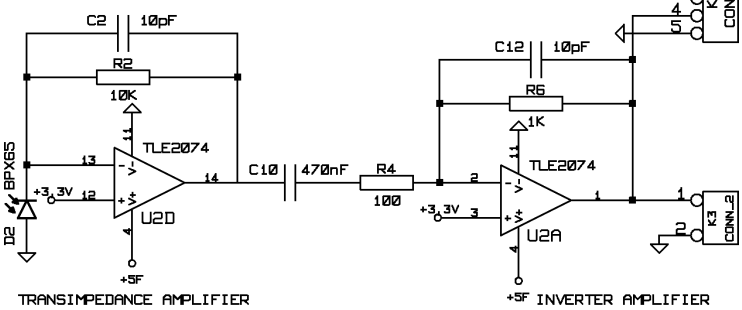
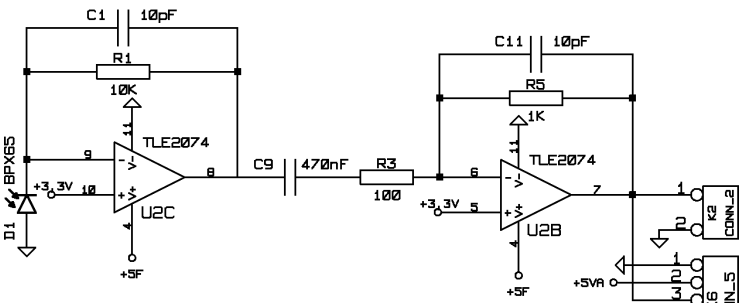
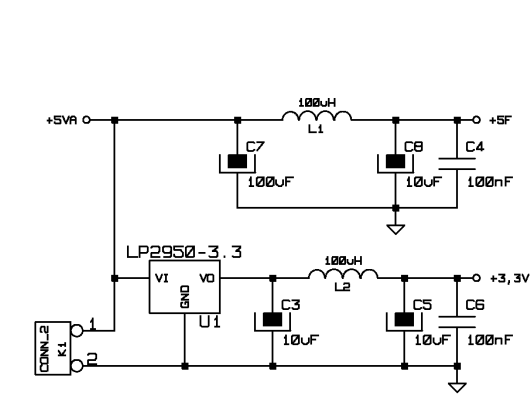
Módulos analóxicos

- Este módulo estará encargado de transformar o sinal óptico de interferencia en sinal electrónico.
- Está formado por dous fotodíodos (un para cada láser), seccións amplificadoras e convertedor de onda cadrada.
- O sinal resultante terá as características necesarias para conexión a circuitos dixitais.
- Este módulo ten aplicación didáctica nos módulos Circuitos Analóxicos e Radiocomunicación para facer prácticas de comunicacións ópticas, telemando e sensores.

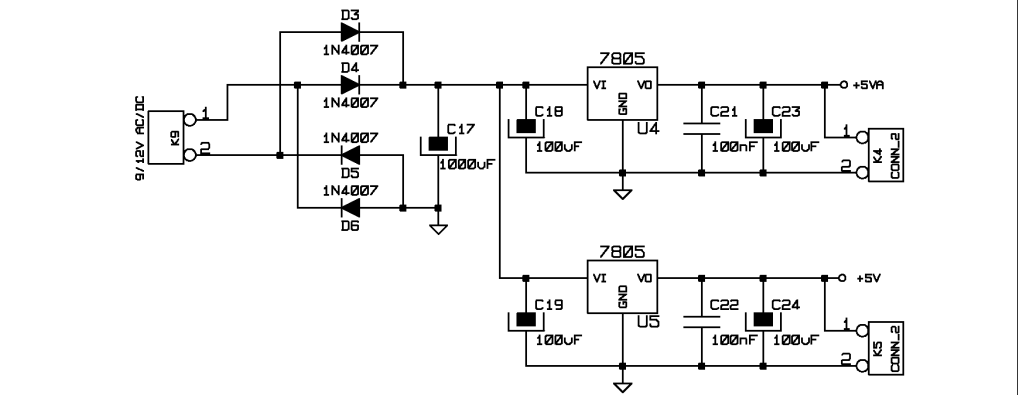


Módulos analógicos

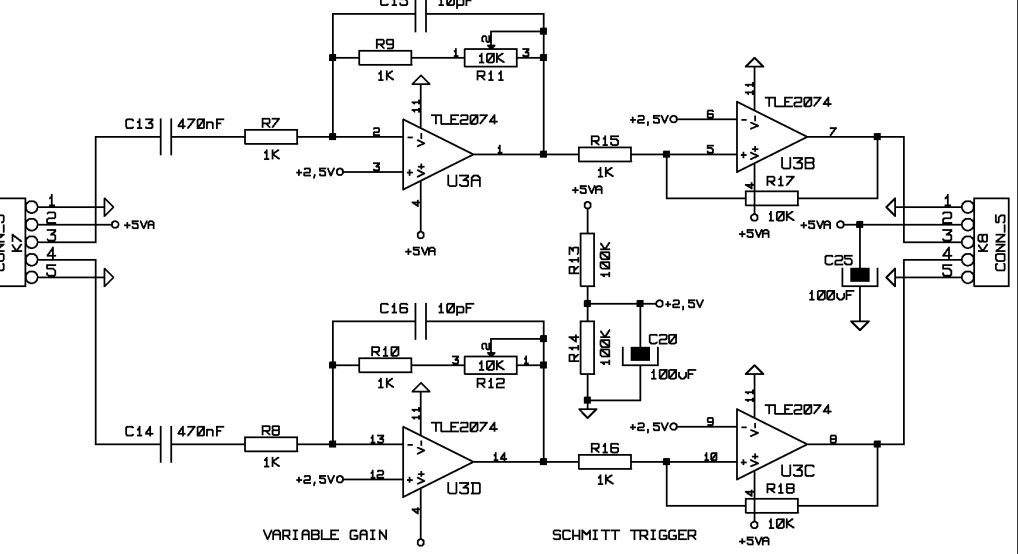
PHOTODIODE AMPLIFIER



POWER SUPPLY

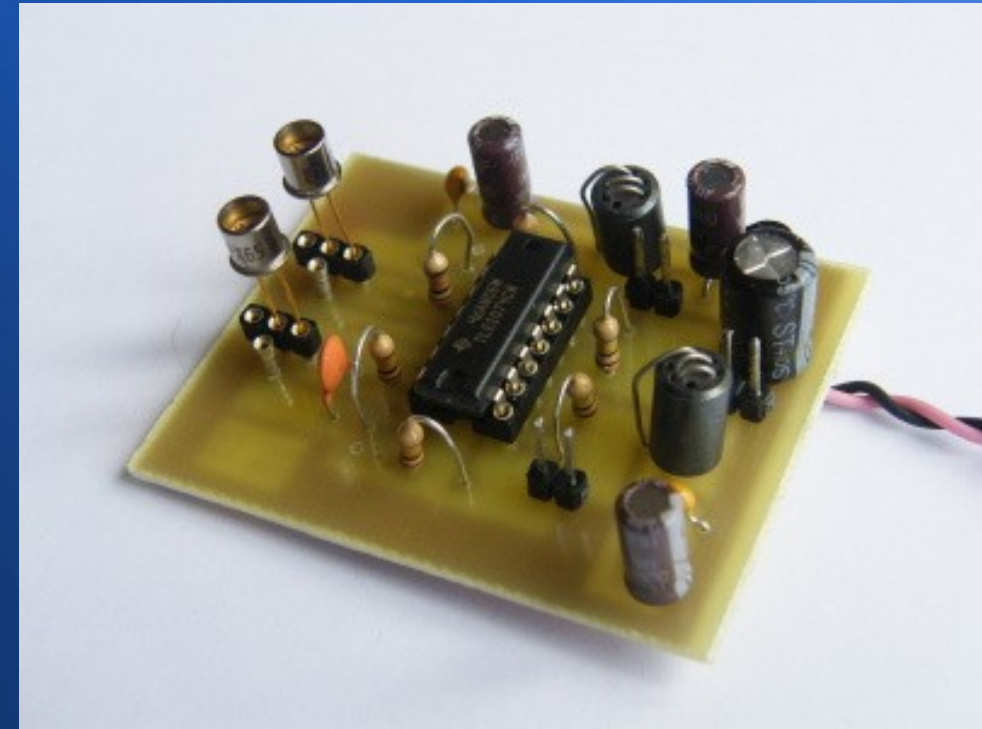
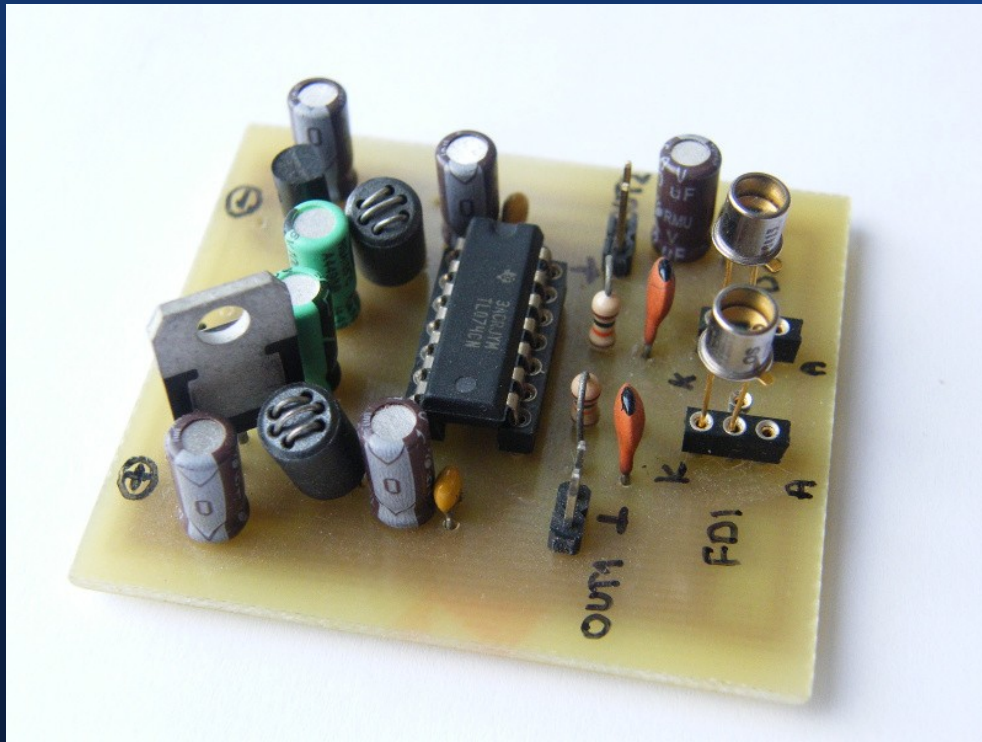


AMPLIFIER AND COMPARATOR



Módulos analógicos

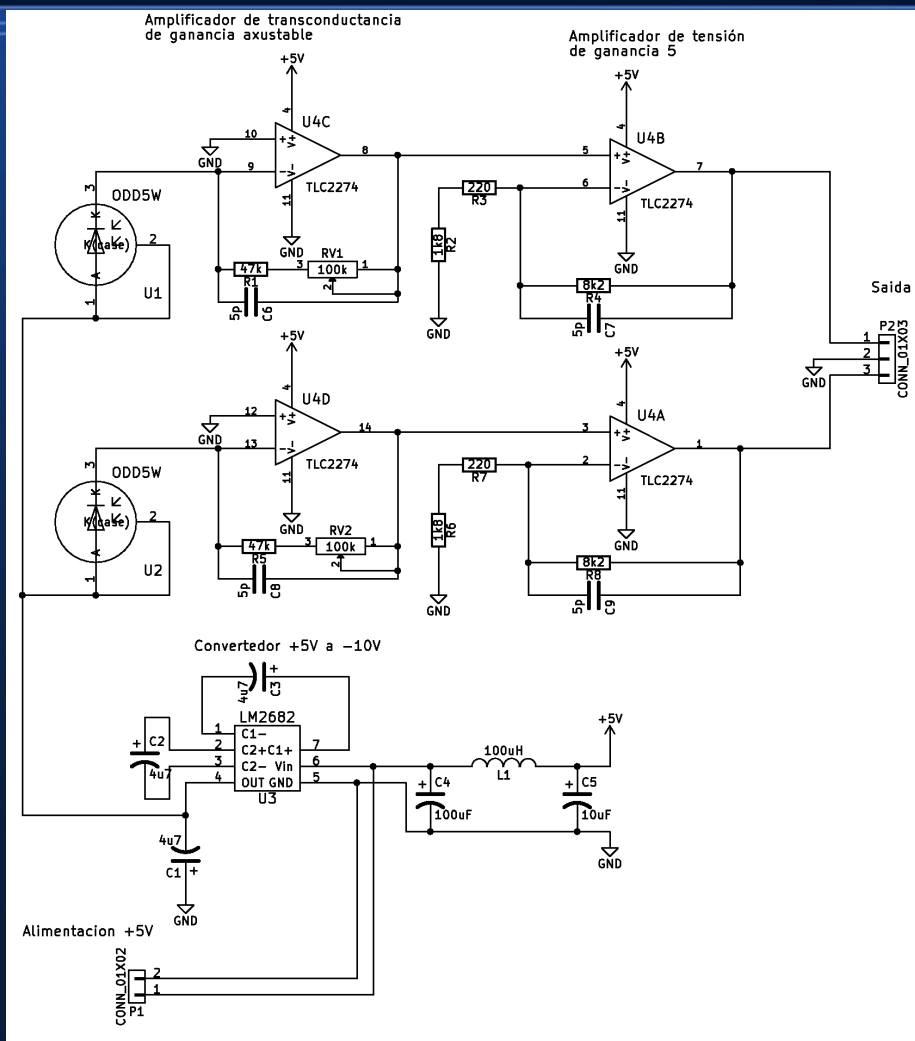
1) Versión con fonte simétrica



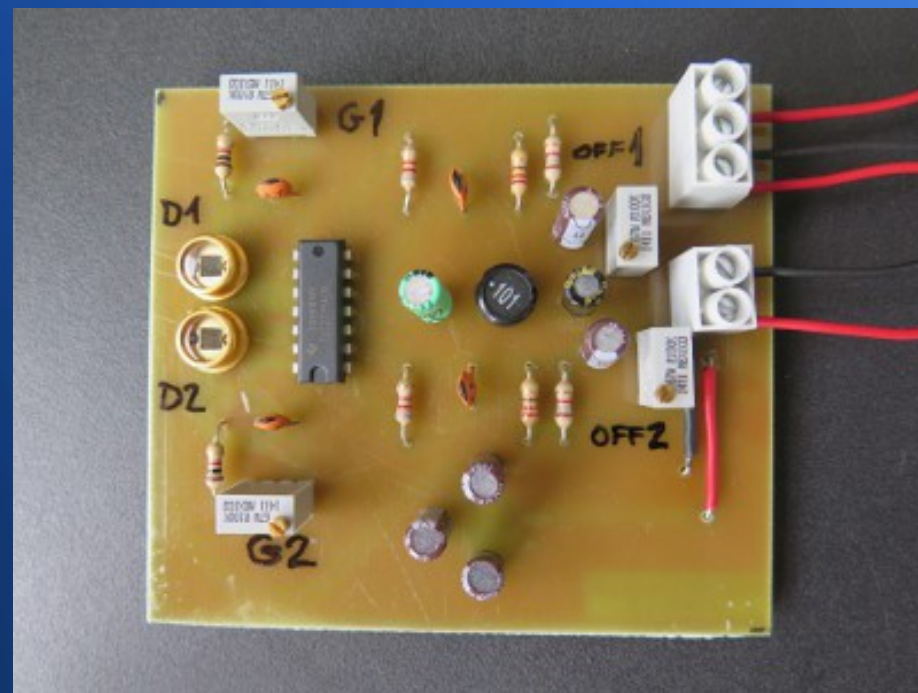
2) Versión con fonte simple +5V



Módulos analógicos



3) Versión con xerador de tensión negativa a partir de +5V



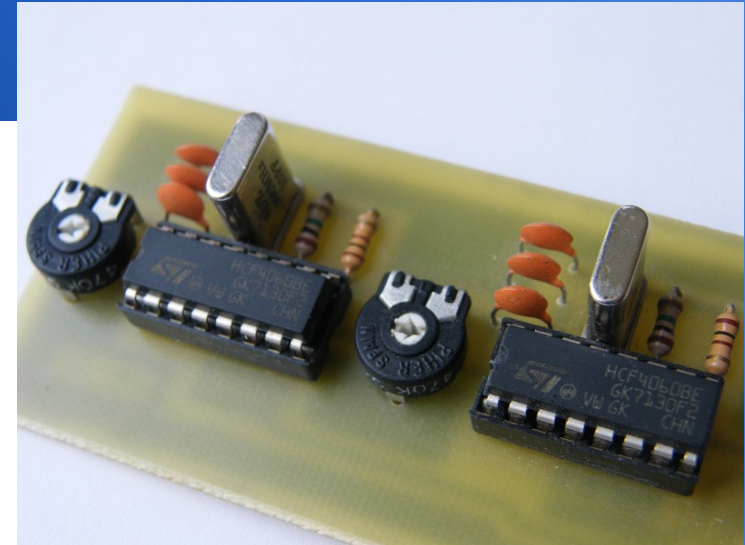
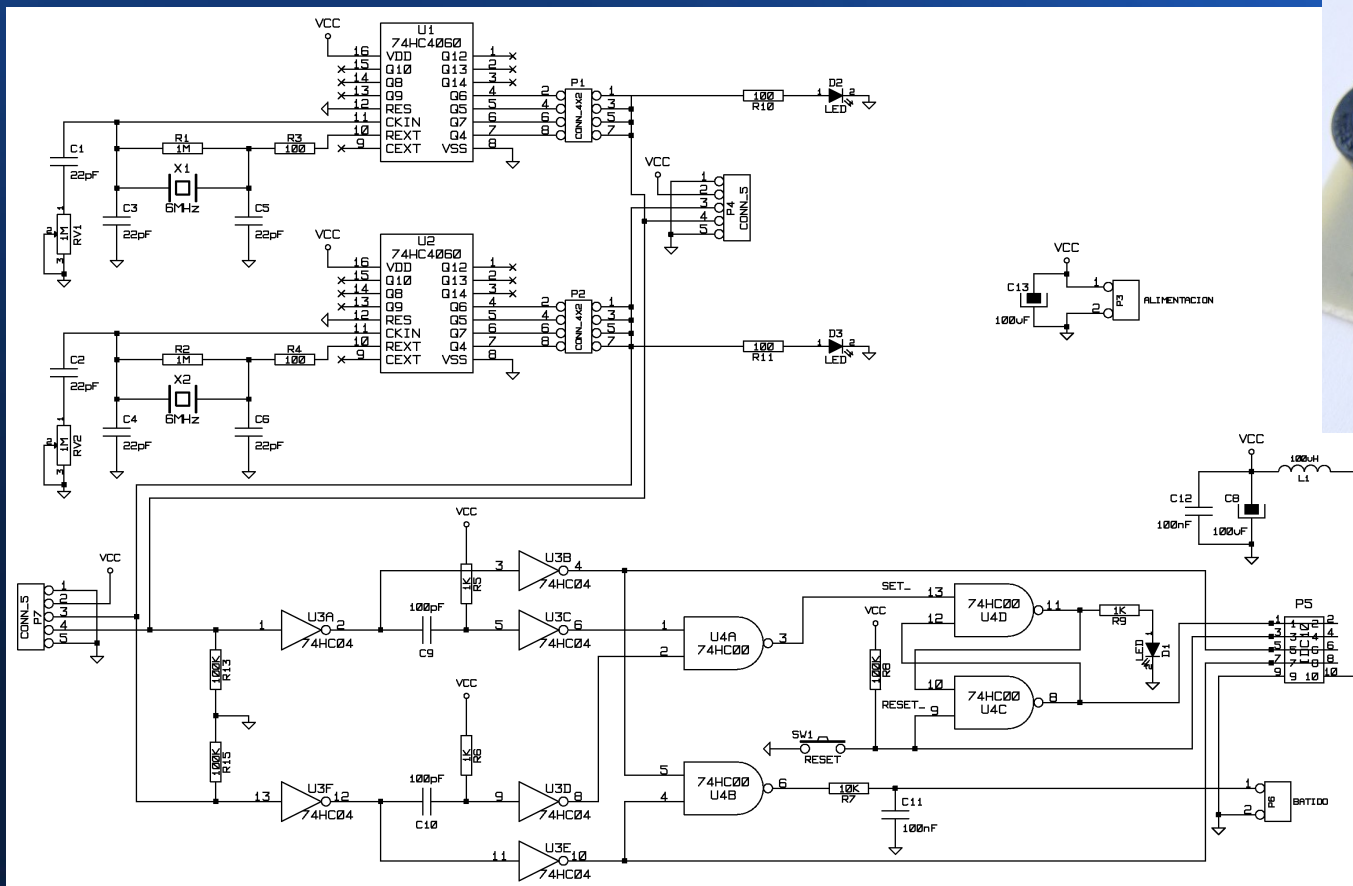
Módulo detector de sincronismo e simulador de franxas

- Este módulo consiste nun detector de fase que establece o comenzo e final de funcionamento do sistema contador de franxas.
- As versións máis antigas facían uso de comparadores analóxicos e portas lóxicas ou circuítos PLL.
- O noso esquema baséase nun módulo hardware con monoestables e portas lóxicas que activa as interrupcións dun microcontrolador.
- O simulador de franxas consiste en dous osciladores de cristal de frecuencias moi próximas e axustables nun pequeno rango, con saída electrónica e óptica (leds).
- Este módulo ten aplicación en Equipamentos Microprogramables e circuitos de comunicacións (Radiocomunicacións).



Módulo detector de sincronismo e simulador de franxas

Esquema e placa de circuito impresso



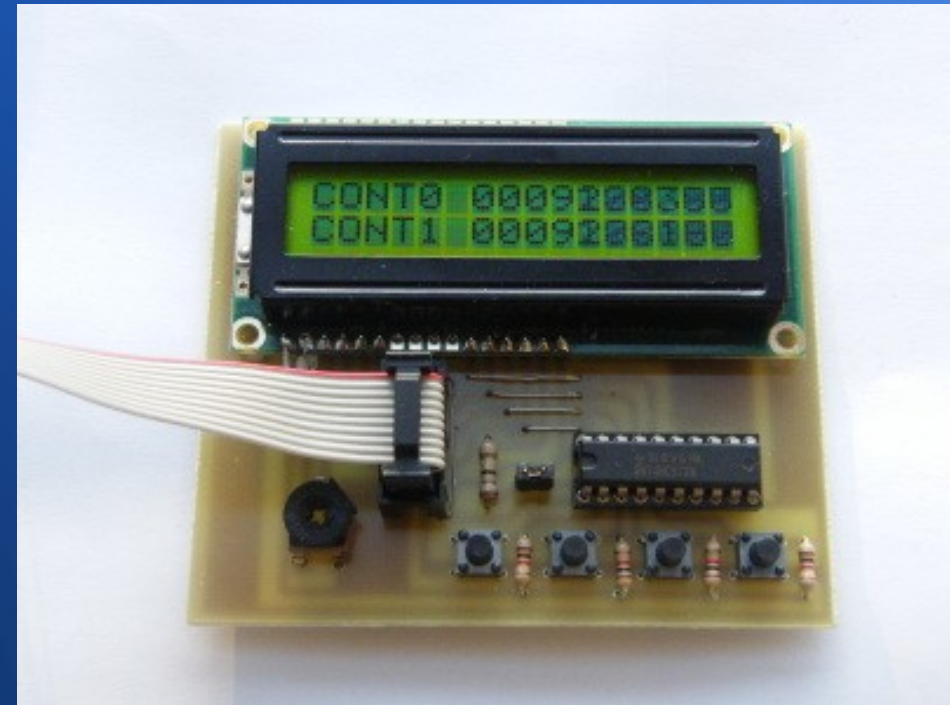
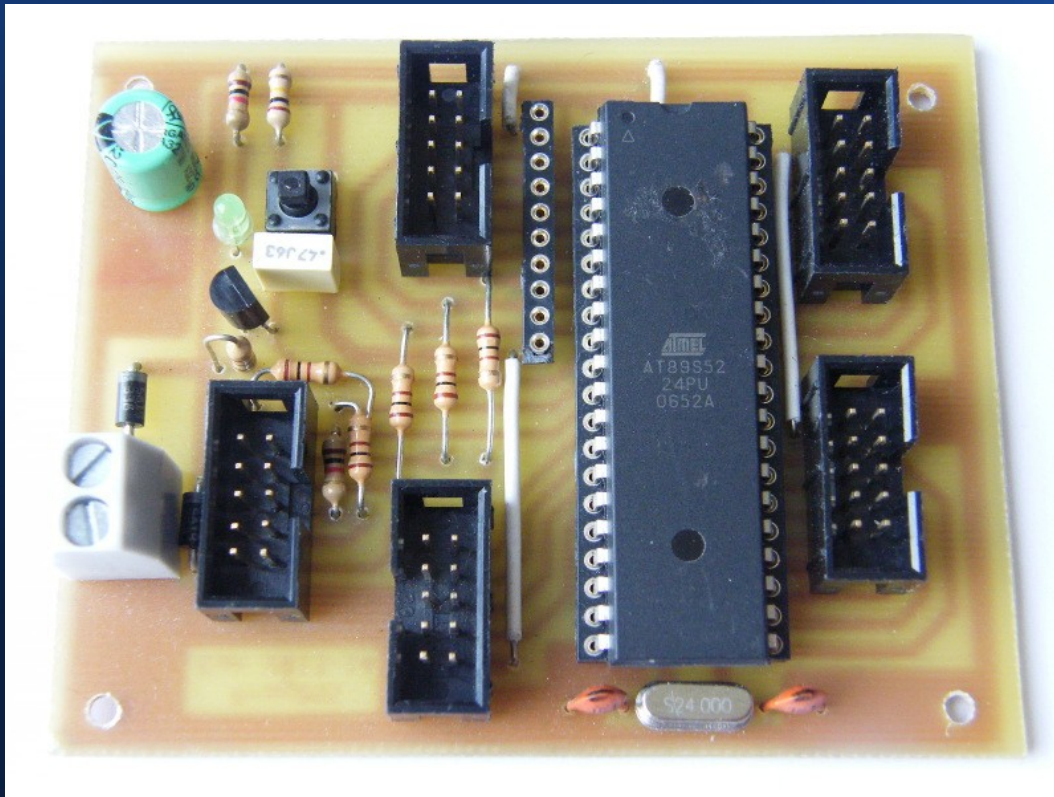
Módulos de control, visualización e comunicacións

- O módulo de control está baseado nun microcontrolador da familia MCS51 (AT89S52) con capacidade de programación ISP.
- Para facilitar o desenvolvemento usamos o sistema de aplicacións con microcontroladores SISDECMI creado no centro para os proxectos dos ciclos DPE e Mantemento Electrónico.
- Os módulos empregados son: unha placa principal co microcontrolador e fonte de alimentación, unha placa de interfaz de usuario con visualizador LCD e teclado de 4 pulsadores, e unha placa de comunicacións serie-usb para conexión a ordenador.
- Esta tarefa ten aplicación fundamentalmente no módulo Equipamentos Microprogramables.



Módulos de control, visualización e comunicaciones

Placas de microcontrolador e visualizador lcd - teclado



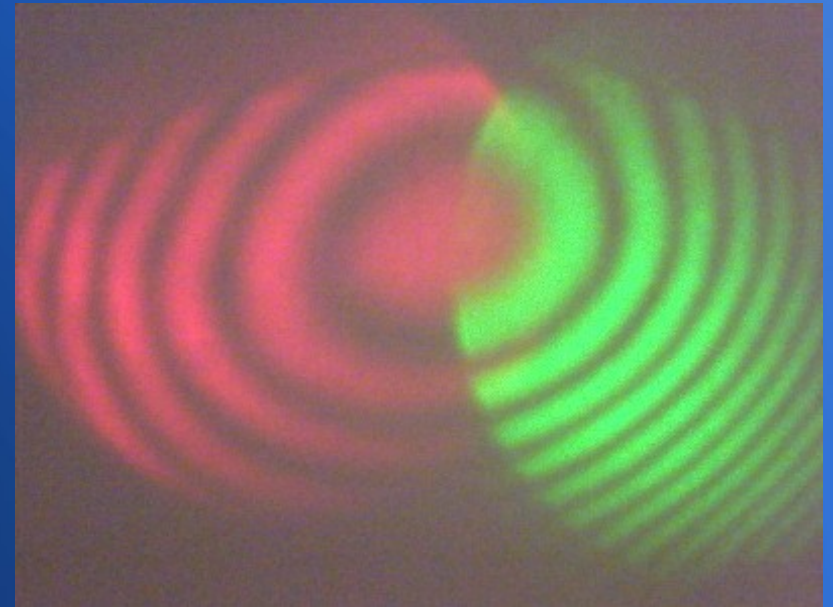
Sistema óptico de probas

- O interferómetro de probas está baseado nun kit de Thorlabs: <http://www.thorlabs.de/thorproduct.cfm?partnumber=EDU-BT1/M>
- A este kit engadímoslle varios elementos como un segundo láser, unha mesa de desprazamento lineal e un actuador motorizado.
- Esta montaxe ten unha dobre función: serve para facer probas de funcionamento con franxas de interferencia reais e como elemento didáctico para explicar o sistema de medida. Unha vez finalizado o proxecto quedará no instituto para prácticas de óptica.
- A calidade dos láseres deste kit e o rango de desprazamento da mesa non permiten a montaxe dun sistema de medida real, para iso necesítase un orzamento moito maior.



Sistema óptico de probas

Montaxe do interferómetro e detalle da interferencia producida con dous láseres (vermello e verde)



Fin da Presentación...

... pero non do proxecto,
xa vos contaremos cómo remata...

Grazas pola atención

