



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SMART NIR SENSOR DE BAJO
COSTE BASADO
EN MICROCONTROLADOR**

Alumno: Antonio José Ropa Espín

Tutor: Diego Manuel Martínez Gila

Depto.: Ingeniería electrónica y automática

Junio, 2017

Resumen

Este estudio persigue como objetivo, solucionar una demanda por parte de la industria agroalimentaria y en el sector olivarero, a través de los resultados analíticos de las muestras de aceituna, obteniendo mediante técnicas no invasivas el rendimiento graso que contiene.

En la actualidad, se necesita el uso de un laboratorio, personal técnico especializado, y bastante tiempo para procesar las medidas. En este estudio se solventan todos estos inconvenientes de los sistemas analíticos actuales. Gracias a la tecnología óptica y electrónica utilizada; se ha podido minimizar el tiempo de medida y resultado de horas a milisegundos, no se utiliza ningún producto químico contaminante, reduce considerablemente las dimensiones del equipo final, lo que permite la instalación del equipo “in-situ” en la propia cadena de extracción de la almazara, esto permite suprimir la necesidad del uso del laboratorio para realizar las medidas y del personal técnico.

Para conseguir todo lo anterior mencionado, se han evaluado diferentes tecnologías para llegar a una solución de equilibrio con el mejor rendimiento posible, menor tamaño y al menor coste.

ÍNDICE

1	Contexto.....	8
2	Introducción	9
2.1	Antecedentes	10
2.1.1	Aceite de oliva.....	10
2.1.2	Planta de producción aceite de oliva.....	12
2.1.3	Rendimiento Industrial en los análisis de aceituna	13
2.2	Estado del arte	15
2.2.1	Sistemas analíticos de medida en laboratorio	15
2.2.2	Near Infrared Spectroscopy (NIRS).....	17
2.2.3	Fundamentos NIR.....	17
2.2.4	Componentes del equipo NIR	24
2.2.5	Aplicaciones NIR en la industria.....	30
3	Objetivos	33
3.1	Objetivos generales	33
3.2	Objetivos específicos	34
4	Materiales y métodos	36
4.1	Medidor de Humedad mediante Fotodiodos InGaAs	36
4.2	Evaluación y selección del equipo NIR Low Cost.	40
4.3	Desarrollo del sistema de control del NIR	47
4.3.1	Evaluación y selección de tarjeta de desarrollo.....	47
4.3.2	Integración hardware	54
4.3.3	Evaluación y selección del software.....	60
4.3.4	Desarrollo Software.....	72
5	Resultados	78
5.1	Equipo NIR compacto de bajo coste	78
5.2	Caso de uso: determinación de contenido graso sobre muestras de pasta de aceituna	81
5.2.1	Preparación de muestras y procedimiento	81

5.2.2	Realización de medidas	83
5.2.3	Resultados.....	84
6	Conclusiones	88
6.1	Conclusiones generales y líneas futuras	88
7	Anexos.....	89
7.1	Anexo A: NIR Insion test de funcionamiento	89
7.2	Anexo B: Instalación Sofrtware Specview	90
7.3	Anexo C: Instalación Sistema Operativo Rapsbian.	94
7.4	Anexo D: Instalación Sistema Operativo Windows IoT Core	96
8	Bibliografía	99

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 2.1. Planta de producción	12
Figura 2.2. Extractor Soxhlet	16
Figura 2.3. Equipo RMN	16
Figura 2.4. Molécula de Agua.....	18
Figura 2.5. Energía potencial en el modelo de oscilador armónico.....	19
Figura 2.6. Energía potencial en oscilador armónico (- -) y no armónico (-).....	21
Figura 2.7. Asignación de bandas NIR a grupos orgánicos	23
Figura 2.8. Sistema de selección de longitudes	25
Figura 2.9. Sistema de filtros para la selección de longitudes de onda.....	25
Figura 2.10 NIR por transmisión	26
Figura 2.11. NIR por reflectancia.....	27
Figura 2.12 NIR por Transflectancia	28
Figura 2.13. Esquema de las 3 configuraciones de registro de espectros NIR	29
Figura 2.14 Diseños instrumentales en espectroscopia NIR.....	29
Figura 4.1 Fotodiodo PIN.....	36
Figura 4.2 Estructura de un fotodiodo.....	37
Figura 4.3 Coeficiente de absorción intrínseco	37
Figura 4.4 Esquema medidor de humedad	38
Figura 4.5 Fotodiodo Hamamatsu	38
Figura 4.6 Esquema conexión fotodiodo.....	39
Figura 4.7 Setup Espectrómetro NIR Arcoptix Rocket	40
Figura 4.8 Ejemplos Medidas NIR Arcoptix Rocket.....	41
Figura 4.9 Espectrómetro NIR BRUKER Tango	41
Figura 4.10 Funcionamiento interno de equipo NIR.....	43
Figura 4.11 Micro NIR de Texas Instruments DLP® NIRscan™ EVM	44
Figura 4.12. Micro NIR AvaBench-50	45
Figura 4.13. Micro NIR Laser Spectrometer	46
Figura 4.14. Micro NIR Insion	46
Figura 4.15 Arduino UNO	48
Figura 4.16 Arduino Mega 2560	48
Figura 4.17 Conexiones de Raspberry PI 3 model B	49
Figura 4.18 Periféricos necesarios para la Raspberry PI 3	52
Figura 4.19 Pantalla resistiva 3.2 pulgadas 4DPIDISPLAY.....	52
Figura 4.20 Tarjeta GSM SIM800	53
Figura 4.21. Pinout esquemático, equipo Micro NIR Insion.....	54

Figura 4.22. Diagrama de conexionado Arduino.....	55
Figura 4.23. Resultado final, Arduino.....	56
Figura 4.24. Alimentación placa Arduino y Micro NIR.	57
Figura 4.25. Pinout utilizado en tarjeta Arduino	57
Figura 4.26. Conexión placa Arduino y equipo NIR	57
Figura 4.27. Diagrama de conexionado Raspberry.....	58
Figura 4.28. Conexionado Raspberry PI.....	59
Figura 4.29. Resultado final, Raspberry PI	59
Figura 4.30. Medida de ruido aleatorio	60
Figura 4.31. Resultado de la prueba.....	62
Figura 4.32. Resultado comando general	64
Figura 4.33. Prueba de medida	64
Figura 4.34. Página oficial de Arduino	65
Figura 4.35. Interfaz gráfica de Arduino.....	65
Figura 4.36. Configuración placa Mega 2560	66
Figura 4.37. Selección del puerto COM	66
Figura 4.38. Opciones de descarga SO I.....	67
Figura 4.39. Opciones de descargas de SO II	68
Figura 4.40. Opciones de descargas de SO III	68
Figura 4.41. Interfaz Raspbian en pantalla de 3,2”	70
Figura 4.42. Aplicación Phyton 3, en Raspbian	71
Figura 4.43. Diagrama de Flujo	73
Figura 4.44 Arduino realizando una medida, con equipo NIR	75
Figura 4.45. Interfaz gráfica Netbeans.....	76
Figura 4.46. Evolución de la interfaz del programa realizado.....	77
Figura 4.47 Interfaz gráfica, versión final	77
Figura 5.1 Equipo NIR fabricado.....	78
Figura 5.2 Equipo integrado	79
Figura 5.3. Equipo NIR Low Cost	80
Figura 5.4. Sonda de medida en probeta.....	82
Figura 5.5. Equipo completo de medida	83
Figura 5.6 Setup de medida NIR Insion	84
Figura 5.7. Resultado NIR, en absorbancia	85
Figura 5.8 Equipo Insion, en absorbancia.....	85
Figura 5.9 Equipo ARCOPIX, en transmitancia	86
Figura 5.10 Equipo Avantes, en transmitancia.....	86
Figura 5.11 Resultado NIR, tras siete mediciones	87

Figura 5.12. Parámetros de correlación.....	87
Figura 7.1 Página web Insion para descarga de Software SPECview 7.1.21.....	90
Figura 7.2 Aplicación Software SPECview 7.1.21.....	90
Figura 7.3 Software necesario para NIR Insion 1.7.....	91
Figura 7.4 Drivers para NIR Insion 1.7.....	91
Figura 7.5 Instalación de la aplicación.....	92
Figura 7.6. Comprobación, reconocimiento de software	92
Figura 7.7. Aplicación SpecView, puerto COM	93
Figura 7.8 Interfaz gráfica SpecView	93
Figura 7.9 Página oficial Raspberry PI.....	94
Figura 7.10 Win32 Diskmanager	95
Figura 7.11 Resultado final instalación Raspbian Jessi	95
Figura 7.12 Página oficial de descarga Windows IoT	96
Figura 7.13 Proceso de instalación en Raspberry PI 3	97
Figura 7.14 Reconocimiento de IoT Dashboard a Raspberry	97
Figura 7.15 Interfaz gráfica Windows IoT, desde monitor integrado	97
Figura 7.16 Interfaz gráfica Windows IoT, desde PC	98
Figura 7.17 Software necesario para desarrollo en Windows IoT	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Prensado	13
Tabla 2.2 Centrifugado de tres fases	13
Tabla 2.3 Centrifugado dos fases	13
Tabla 2.4. Espectro radioeléctrico entre 750nm y 10^6 nm.	18
Tabla 4.1. Características eléctricas y ópticas	39
Tabla 4.2. Presupuesto de medidor de humedad	40
Tabla 4.3 Comparativa de equipos NIR	43
Tabla 4.4. Comparativas placas Arduino	48
Tabla 4.5. Comparativas modelos de Raspberry PI	50
Tabla 4.6. Pinout del Micro NIR Insion	54
Tabla 4.7. Pinout del datasheet utilizado por Arduino	56
Tabla 4.8. Conexionado a nivel de PIN	58
Tabla 4.9. Comandos Generales	61
Tabla 4.10. Comandos de prueba	62
Tabla 4.11. Comando para la segunda prueba	63
Tabla 5.1 Muestras a medir	81
Tabla 5.2. Profundidad de medida	82

1 CONTEXTO

Este proyecto de investigación surge tras la concesión de la beca Talentum Startups de Telefónica S.A. Gracias a esta beca, me brindó la oportunidad de poder realizar prácticas de empresa en el Grupo de investigación de Robótica, Automática y Visión por computador (GRAV) de la Universidad de Jaén. Más concretamente en la Startup, Integración Sensorial Y Robótica S.L (ISR). Este proyecto comienza tomando como base la tesis doctoral “Aplicación de técnicas sensoriales avanzadas para el control del proceso de extracción del aceite de oliva virgen” del Dr. Diego Manuel Martínez Gila, (1).

2 INTRODUCCIÓN

Actualmente el aceite de oliva ha adquirido una gran relevancia, la cual ha supuesto que sea considerado algo más que un cultivo, sobre todo en Andalucía. En la provincia de Jaén, se puede considerar como la fuente económica principal, para muchas comarcas de la zona. Una de las máximas dentro de la producción de aceite de oliva reside en la búsqueda de calidad enmarcándolo dentro de una marca que lo haga diferenciar del resto de aceite de oliva.

Inicialmente tendríamos que tener en cuenta todos los agentes que intervienen en el proceso hasta la consecución final de un aceite de oliva de calidad. Con este proceso nos referimos al “complejo agroalimentario de los aceites de oliva”, el cual lo componen el conjunto de agentes y de transacciones o intercambios que se producen en la secuencia producción-consumo de aceites de oliva.

Dentro de este proceso se incluyen; las almazaras, industrias extractoras de orujo, refinerías, envasadoras, maquinaria industrial, agrícola, fertilizantes, empresas y sus relaciones, etc.

Por lo que, podemos considerar que la producción de aceite de oliva es un “sector estratégico” incuestionable no sólo por los beneficios sociales económicos, sino también por las repercusiones sociales, culturales y ambientales.

Por la gran importancia que supone dicho sector, como se ha explicado anteriormente, se buscó intentar mejorar dentro de la cadena de producción la fase de extracción para analizar el rendimiento de las muestras obtenidas de nuestro aceite de una forma más precisa y veloz.

Actualmente el sistema utilizado se realiza, mediante la toma de muestras de aceite y orujo, para su posterior análisis en laboratorio, suelen tardar aproximadamente en torno a unas 24 horas. Es un procedimiento bastante costoso, ya que se tiene que externalizar el análisis de dicha prueba. Por lo que, con este proyecto se intentó realizar el análisis en el propio proceso de separación del aceite y el alperujo (agua y hueso de aceituna).

En la mayoría de los casos el proceso de medida del rendimiento graso se realiza en laboratorios en los cuales se recoge una muestra que posteriormente será analizada, dichos análisis obtienen su resultado tras varias horas aproximadamente y se utilizan productos químicos para su análisis, por lo que la técnica NIR, nos ofrece una solución más “limpia”, con el medio ambiente. Ya que el equipo oficial de referencia utilizado actualmente para la realización de análisis de muestras, es el extractor Soxhlet, el cual utiliza como componente químico, éter de petróleo.

Por lo tanto, en este proyecto se va a realizar un estudio de investigación, para el diseño y fabricación de un equipo de medida a partir de un equipo NIR completo, integrando en el mismo, todos los componentes necesarios para su funcionamiento. Los objetivos principales es que sea de bajo coste, compacto, integrado en los propios sistemas de extracción de la industria agroalimentaria, eficaz y con elementos innovadores, que lo diferencie de los ya existentes en el mercado actual. Este proyecto busca la mejora en el sector olivarero, ya que es tan importante para la provincia de Jaén. En los apartados siguientes se describirá detalladamente el sistema NIR (Near InfraRed).

2.1 Antecedentes

De un tiempo a esta parte, la producción de aceite de oliva ha crecido tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, todo esto gracias a los estudios de investigación realizados que han mejorado el sistema de producción del aceite de oliva. Aunque aún queda bastante por realizar, para igualar el avance obtenido en plantas de producción en otros sectores de la industria agroalimentaria.

Para ello en este trabajo se va a desarrollar una de las técnicas consideradas no invasivas, basadas en la espectroscopia en el infrarrojo cercano, materializando dicho trabajo en un sistema compacto que sea capaz de adquirir información a nivel de proceso y en sus distintas etapas.

2.1.1 Aceite de oliva

El aceite de oliva es un producto natural, el cual proviene del fruto del árbol de olivo, la aceituna. El recorrido que realiza la aceituna hasta que se obtiene el aceite de oliva desde su recolección, se inicia en las almazaras.

En dichas almazaras, se realiza la extracción mediante la utilización exclusiva de procesos mecánicos, no existe en ningún momento del proceso la utilización de productos químicos. El resultado del proceso de extracción es un líquido amarillo verdoso, aromático y con un sabor agradable. En el agua es insoluble, y sufre enranciamiento y oxidación cuando entra en contacto con el aire, por lo que hay que preservarlo en un lugar fresco, protegido de la luz, y cerrado.

➤ Usos del aceite de oliva

El aceite de oliva, durante miles de años ha sido utilizado en la producción de la luz como combustible. En la actualidad, este producto es principalmente un alimento muy nutritivo y recomendable para una dieta saludable, se emplea en multitud de usos culinarios (cocer, asar, como adrezo o freír), Además es muy utilizado en otros sectores tan diversos como, elaboración de jabones, industria textil, lubricantes y medicina.

➤ Criterios de calidad

La calidad de un producto puede ser definida como la suma de varias características que hacen que nuestro producto sea clasificado como mejor, igual o peor que otros productos de la misma variedad.

En particular, la calidad del aceite de oliva viene definida por los valores (2), basados en las evaluaciones organolépticas de los mismos, índice de peróxido, acidez, ésteres etílicos de los ácidos grasos, etc.

➤ Grado de acidez

Este parámetro hace referencia a la cantidad de ácidos contenidos en el aceite de oliva. Se representa la medida referenciándolo a 100 gramos de aceite. Normalmente este porcentaje tiene un valor 0%, por lo que el aumento de dicho grado de acidez depende de factores externos, tales como; tiempo de extracción, herbicidas, plagas, etc. En el caso del aceite de oliva virgen extra se considera un nivel máximo el valor de 0.8% (3).

➤ Índice de Peróxido

El peróxido es debido a proceso de oxidación del aceite de oliva. Este producto aparece cuando el aceite entra en contacto con el oxígeno (auto-oxidación o fotooxidación).

Las unidades del índice de Peróxido son de m.e.q O_2 kg^{-1} y para el aceite de oliva virgen debe ser de al menos 20 m.e.q O_2 kg^{-1} .

➤ Absorción ultravioleta

Es un test espectrofotométrico que realiza la medida de la absorción bajo luz ultravioleta. Se expresa como K (coeficiente de extinción), se realizan diferentes valores a diferentes longitudes de onda. Es un indicador de la oxidación del producto especialmente en aceite de oliva refinado.

➤ Perfil sensorial.

Se describe como un conjunto de propiedades organolépticas que pueden ser identificadas por los sentidos (olor, sabor y color).

2.1.2 Planta de producción aceite de oliva

El proceso de producción del aceite se inicia en el patio de la almazara, lugar donde se recibe la aceituna, ésta se deposita en una tolva, que mediante una cinta pasa a la línea de limpieza para quitarle la suciedad (tierra y hojas).

De la línea de limpieza, se pesa y continúa al interior de la nave de la almazara hacia la línea de molturación o trituración. En este proceso, la aceituna se moltura, obteniendo la pasta, la cual está compuesta, como se puede ver en Figura 2.1. Planta de producción por sólidos y líquidos.



Figura 2.1. Planta de producción

PASTA		
SOLIDOS	LÍQUIDOS	
ORUJOS	ALPECHIN	ACEITE

Tabla 2.1 Prensado

Posteriormente, se bate en las batidoras, en el sistema de dos fases, mediante las centrifugadoras se separa el aceite del alperujo, ya que tienen diferente densidad. Como el alperujo, aún contiene cierta cantidad de aceite, se puede separar de nuevo, volviéndolo a meter una segunda vez por la centrifugadora.

Éste es el último paso antes de que se envíe a la orujera, allí se consigue aceite de orujo, mediante la extracción por métodos químicos. Hay otro sistema menos utilizado en la actualidad, que es el sistema de tres fases que se obtiene como producto resultante, aceite, orujo y alpechín.

PROCESO DE CENTRIFUGADO			
3 FASES	PASTA + AGUA		
	SOLIDOS (ORUJO)	ALPECHIN	ACEITE

Tabla 2.2 Centrifugado de tres fases

PROCESO DE CENTRIFUGADO		
2 FASES	PASTA	
	SOLIDOS (ORUJO) + ALPECHIN	ACEITE

Tabla 2.3 Centrifugado dos fases

2.1.3 Rendimiento Industrial en los análisis de aceituna

Para nuestra finalidad, necesitamos realizar la medida del rendimiento graso, con el equipo diseñado, se necesita conocer cómo se obtiene analíticamente. El rendimiento neto de aceite obtenidos en las bodegas es lo que se denomina rendimiento industrial, se obtiene, en relación a los kilos de aceituna que se han molturado.

Podemos calcular el rendimiento industrial, realizando un cálculo sencillo. Conociendo el volumen en Kg de aceite acumulado en la bodega, en relación con el volumen en kilogramos de aceituna molturada.

$$RI_{real} = \frac{kg \text{ aceite bodega}}{kg \text{ aceituna molturada}} \quad (1)$$

Con el Soxhelt y el equipo de Resonancia Magnética Nuclear (RMN), se obtiene en el laboratorio un análisis de aceituna inicial, por el que se determina la cantidad de grasa total que contiene. Este valor no es definitivo, ya que hay que tener en cuenta el porcentaje que se va a perder durante el proceso de molturación en el alperujo.

Dicho porcentaje es lo que se conoce como Índice Corrector, el cálculo de dicho factor es variable según la fábrica o almazara, ya que éste depende de factores tales como; el sistema de extracción utilizado, las condiciones de humedad con las que llegue la aceituna, la variedad de la misma.

Actualmente se está probando con una nueva fórmula para calcular el rendimiento industrial teórico, en la cual se utiliza un índice de corrección, que varía su valor entre [0,087-0,09], obtenido en base a la pérdida de grasa en la molturación, se suele cifrar en torno a un 10% de la materia seca tras dicha molturación.

$$RI_{teórico} = RGT\% - [(100 - RGT - H) * IC] \quad (2)$$

RGT: Rendimiento Graso Total, %

H: Humedad %

IC: índice corrector.

La relevancia que adquiere la medida del rendimiento industrial y el resto de parámetros hace imprescindible, la utilización de equipos de medida en las plantas de producción de aceite, por lo que en el siguiente capítulo se va a detallar los distintos sistemas utilizados actualmente hasta llegar al sistema estudiado en este trabajo.

2.2 Estado del arte

Los sistemas analíticos actuales nos permiten medir con precisión y exactitud el contenido graso que contiene la aceituna, este rendimiento graso, es la relación entre la cantidad de aceite por unidad de peso y la de oliva molturada.

Es uno de los factores más importantes a conocer, para facilitar los intercambios comerciales entre el sector productor y almazara o el transformador. Para dicha medida es necesario utilizar los equipos y la instrumentación adecuada para la obtención de las medidas.

2.2.1 *Sistemas analíticos de medida en laboratorio*

En la actualidad, determinar el rendimiento graso en la oliva, ha sido la primera demanda que el sector olivarero requiere del laboratorio. existen principalmente tres sistemas analíticos para realizar las medidas en el laboratorio; extractor Soxhlet, Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y sistema mediante estereoscopia de infrarrojo cercano (Near Infrared Spectroscopy, NIRS), cada uno con características, ventajas e inconvenientes.

2.2.1.1 *Extractor Soxhlet*

Este es el sistema oficial de referencia, se basa en la extracción con disolventes orgánicos. El extractor Soxhlet, que podemos ver en Figura 2.2. Extractor Soxhlet, consigue la separación de la grasa, de un modo más siempre más completa que la que se puede obtener en la industria, ya que, como resultado comparado con el trujal (4), esta es algo superior.

Este procedimiento tiene como inconveniente que es un equipo bastante delicado ya que en su mayoría está construido en vidrio, necesita disolventes orgánicos y es bastante lento ya que precisa de unas ocho horas aproximadamente para la obtención de los resultados. También necesitaría una persona especializada en química, para realizar las mediciones.



Figura 2.2. Extractor Soxhlet

2.2.1.2 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

Este método analítico calcula el rendimiento graso por Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (5), es una técnica más reciente que el extractor Soxhlet, cuenta como ventajas, su mayor rapidez al realizar medidas, menor contaminación y por lo tanto menor coste laboral, medioambiental y económico. No existen diferencias significativas entre Soxhlet y el RMN, a nivel de precisión en las medidas realizadas sobre muestras de aceite de oliva.

Para el sistema de resonancia Magnética Nuclear, que podemos ver en la Figura 2.3. Equipo RMN, se necesita la aplicación de un campo magnético sobre las moléculas, la creación de dicho campo magnético puede suponer un ligero inconveniente por la utilización de imanes que generen la intensidad requerida y de núcleos susceptibles a tal radiación. Como apreciar en la imagen su tamaño es de dimensiones considerables. En el capítulo siguiente se detallará el sistema es espectrometría NIR.



Figura 2.3. Equipo RMN

2.2.2 Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

La región espectral de infrarrojo cercano fue descubierta por Sir William Herschel Britain (6), en 1800. Descubrió midiendo la temperatura de la región continua a la zona rojiza de un espectro visible, como resultado de hacer pasar la luz solar a través de un prisma, que existía luz invisible más allá del rojo, lo que hoy conocemos como infrarrojo cercano región NIR (Near InfraRed). Pero no fue hasta 1881 cuando Abney E. y Festing (7), documentaron los primeros espectros NIR de líquidos orgánicos en el intervalo espectral de 700 a 1200 nm.

La aparición de los primeros espectrofotómetros comerciales para las primeras aplicaciones analíticas, surgieron en la década de los 50 del siglo XX. En 1954, Wilbur K. W. (8), presentó su trabajo en el cual se registraron espectros de diferentes líquidos orgánicos entre 700 y 3500 nm, asignando los grupos funcionales de la molécula a las diferentes bandas.

El primer impulso importante no fue hasta la década de los 60, cuando K. Norris (9), empezó a usar esta técnica para el estudio de matrices complejas de origen vegetal. Sus trabajos se orientaron en el campo agroalimentario e impulsaron el interés por la espectroscopia NIR.

A partir del año 1970, gracias al desarrollo en el campo de la óptica y electrónica, como consecuencia además de la aparición de nuevos dispositivos de medida permitían el registro de espectros completos con mayor rapidez y reproducibles. El desarrollo en el campo de la informática fue un factor clave ya que daba el acceso al uso de ordenadores con mayores prestaciones a nivel de cálculo y permitían una mayor capacidad de almacenamiento lo cual permitía programar métodos matemáticos por lo cual se podrían obtener información analítica sobre medidas químicas.

2.2.3 Fundamentos NIR

El intervalo espectral del infrarrojo comprende el intervalo 780-10⁶ nm. Según el tipo de fenómeno espectroscópico que provoque la absorción de energía por parte de la materia, esta región se puede dividir en tres zonas:

- Infrarrojo cercano 780-2500 nm (NIR).
- Infrarrojo medio 2500-4·10⁴ nm (MIR).
- Infrarrojo lejano 4·10⁴-10⁶ nm (FIR).

Las distintas absorciones en función de la zona de infrarrojo en la que nos encontremos provienen de; en el caso de cercano es originado por armónicos y bandas de combinación de las vibraciones fundamentales de las moléculas, para infrarrojo medio proviene de las vibraciones moleculares fundamentales y por último para infrarrojo lejano proviene de las rotaciones moleculares.

Región	Intervalo de Absorción	Origen de la Absorción
FIR	4x10 ⁴ -10 ⁶	Rotaciones Moleculares
MIR	2500-40000	Vibraciones moleculares fundamentales
NIR	780-2500	Sobretonos y bandas de combinación de vibraciones moleculares

Tabla 2.4. Espectro radioeléctrico entre 750nm y 10⁶ nm.

Las moléculas son un grupo de átomos, los cuales se han combinado para formar compuestos químicos. Por ejemplo, en el caso del agua (H₂O), contiene dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Por lo tanto, las moléculas son grupos de átomos. Dichas uniones van a vibrar a una determinada frecuencia y cada unión química dentro de una muestra absorberá rayos NIR de una determinada longitud de onda, mientras que otras longitudes de onda serán reflejadas.

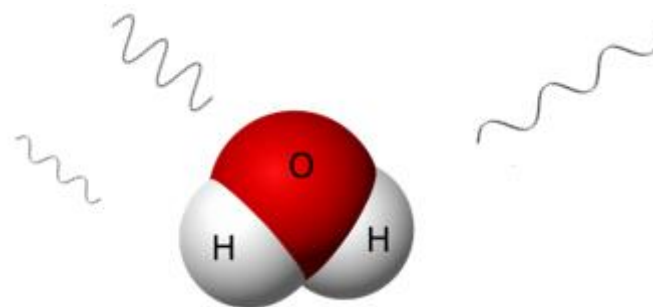


Figura 2.4. Molécula de Agua

Cuando una molécula experimenta absorción de radiación infrarroja aparece un cambio neto en el momento dipolar, es decir se origina un cambio en la medida de la intensidad de la fuerza de atracción entre los átomos, como consecuencia del movimiento de vibración o rotación de dicha molécula.

Se origina un campo eléctrico radiado y un campo eléctrico proveniente de la molécula, debido a los movimientos anteriormente mencionados. En el caso que la frecuencia de radiación y la frecuencia de vibración molecular coincidan, origina una transferencia de energía, que dará lugar a un cambio en la amplitud de la vibración molecular y como consecuencia, obtendremos el fenómeno de absorción de radiación (10).

En el caso que tengamos moléculas homonucleares, (H_2), no se modifica la intensidad de la fuerza de atracción entre los átomos por lo que no existe alteración durante la vibración o rotación, como consecuencia estas moléculas no se absorben en el infrarrojo.

Partimos de la consideración a tener en cuenta, sobre el movimiento de los átomos de una molécula, ya que estos nunca se encuentran totalmente inmóviles, ni siquiera cerca del valor de temperatura cero absolutos. El movimiento de estas puede aproximarse al de un oscilador armónico.

Variando la energía potencial en función de la vibración de los átomos, si los átomos se encuentran en equilibrio la energía potencial se acerca a cero (11), del mismo modo se hace máxima cuando la distancia entre los átomos es máxima o mínima. El movimiento de los átomos depende de la atracción o repulsión de los mismos, dicho desplazamiento se encuentra confinado en el pozo de potencial, donde podemos encontrar los niveles energéticos de los átomos cuantizados, dicho pozo tiene una anchura en nuestro caso de $2x$.

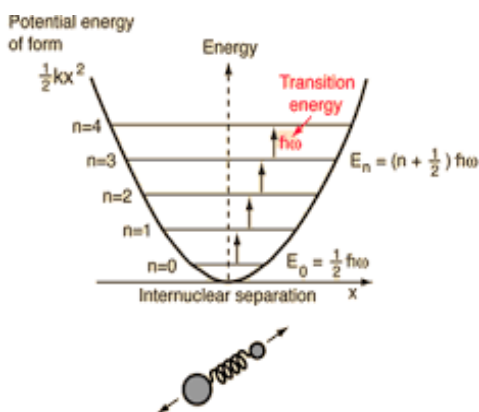


Figura 2.5. Energía potencial en el modelo de oscilador armónico

La energía potencial del enlace definido por un oscilador armónico simple viene dada por la expresión;

$$E = \frac{1}{2} kx^2 \quad (3)$$

k : constante de la fuerza del enlace

x : distancia entre átomos

La frecuencia natural de vibración de un sistema constituido por dos masas unidas por un muelle perfectamente elástico viene dada por:

$$\nu = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2} \right)} \quad (4)$$

ν : frecuencia

k : constante de fuerza

m_i : las masas de cada uno de los átomos.

Las ecuaciones de mecánica clásica no describen el comportamiento de la partícula atómica, ya que no se recoge la naturaleza cuántica de las mismas, para ello necesitamos mecánica cuántica, ya que es la que explica las propiedades de los átomos.

Para el cálculo de los niveles de energía es necesario resolver una ecuación diferencial de segundo orden, denominada la ecuación de Schrödinger para el cálculo de la energía potencial.

Suponemos para la solución de la ecuación que nuestras partículas se encuentran en un pozo de potencial, el cual contiene un conjunto de niveles discretos energéticos. Para cada molécula, existen niveles discretos de energía y las únicas transiciones posibles son entre niveles energéticos consecutivos.

La energía vibracional, resolviendo ecuaciones cuánticas es:

$$E_{\text{vib}} = \left(n + \frac{1}{2} \right) h\nu \quad (5)$$

n : Número cuántico vibracional (0, 1, 2, 3...)

h : Constante de Planck

ν : Frecuencia de vibración.

Con la combinación de las ecuaciones (4)(5), se obtiene la expresión de la energía vibracional de una molécula diatómica teniendo en cuenta su naturaleza cuantizada:

$$E_{\text{vib}} = \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \quad (6)$$

Este modelo, oscilador armónico, no tiene en cuenta que cuando dos átomos se acercan existe una repulsión entre sus núcleos en sentido contrario al movimiento, lo cual implica una mayor energía potencial.

Mientras que cuando los átomos se separan la distancia interatómica se acerca a la de rotura del enlace, por lo que disminuye la energía potencial. Por lo tanto, nuestro modelo se acercaría más al comportamiento de un oscilador no armónico.

En la siguiente Figura 2.6. Energía potencial en oscilador armónico (- -) y no armónico (-), se puede observar que las curvas energéticas del oscilador armónico y no armónico son muy parecidas en sus niveles bajos, por lo que se deduce que las moléculas tienen un comportamiento armónico entorno la posición de equilibrio.

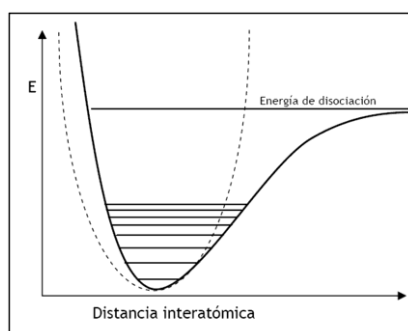


Figura 2.6. Energía potencial en oscilador armónico (- -) y no armónico (-)

La expresión de la energía vibracional (6), corregida con términos que explican la anarmonicidad de las moléculas se expresa como vemos en (7). Los valores y e y' son las constantes de anarmonicidad, las cuales a medida que aumenta n pueden ser ignoradas.

$$E_{\text{vib}} = \left(n + \frac{1}{2}\right) h\nu - \left(n + \frac{1}{2}\right)^2 h\nu y - \left(n + \frac{1}{2}\right)^3 h\nu y y' \dots \quad (7)$$

n : Número cuántico vibracional (0, 1, 2, 3...)

h : Constante de Planck

ν : Frecuencia de vibración

En el caso del modelo no armónico, los niveles no están igualmente espaciados, es decir a niveles más altos de energía el incremento de energía en la zona superior de la gráfica es menor.

Las transiciones energéticas permitidas no se observan solamente para la banda fundamental ($\Delta n = \pm 1$), sino que también se observan transiciones $\Delta n = \pm 2, \pm 3$, cuyas bandas se denominan sobretonos o armónicos y aparecen a mayores longitudes onda de la región NIR.

El origen de las bandas en el infrarrojo cercano es el mismo que para las bandas de infrarrojo medio: una molécula absorberá radiación NIR si la energía de la radiación se corresponde a la diferencia energética entre 2 niveles vibracionales, además se produce un cambio en el momento dipolar de la molécula.

A diferencia del infrarrojo medio, en la zona NIR no aparecen las bandas de las vibraciones fundamentales ($\Delta n = \pm 1$) sino que aparecen las absorciones debidas a los sobretonos y a las bandas de combinación.

- Este tipo de transiciones aparecen en la región del infrarrojo medio (MIR). En las cuales el incremento de energía necesaria para pasar de $n=0$ a $n=1$ (banda fundamental), es de:

$$E_1 - E_0 = h\nu(1 - 2y) \quad (8)$$

- Este tipo de transiciones aparecen en la región del infrarrojo cercano (NIR). En las cuales el incremento de energía necesaria para pasar de $n=0$ a $n=2$ (primer sobretono), es de:

$$E2 - E0 = hv(1 - 3\gamma) \quad (9)$$

- Este tipo de transiciones aparecen en la región del infrarrojo cercano (FIR). En las cuales el incremento de energía necesaria para pasar de $n=0$ a $n=2$ (segundo sobretono), es de:

$$E3 - E0 = hv(1 - 4\gamma) \quad (10)$$

Las bandas de combinación son debidas a variaciones simultáneas de la energía de dos o más modos de vibración, las cuales dan lugar a una frecuencia resultante como combinación lineal de las frecuencias fundamentales que interaccionan.

$$V_{comb} = m_1v_1 \pm m_2v_2 \pm m_3v_3 \quad (11)$$

m : Números enteros

v_i : Frecuencias de las transiciones que contribuyen a la banda de combinación.

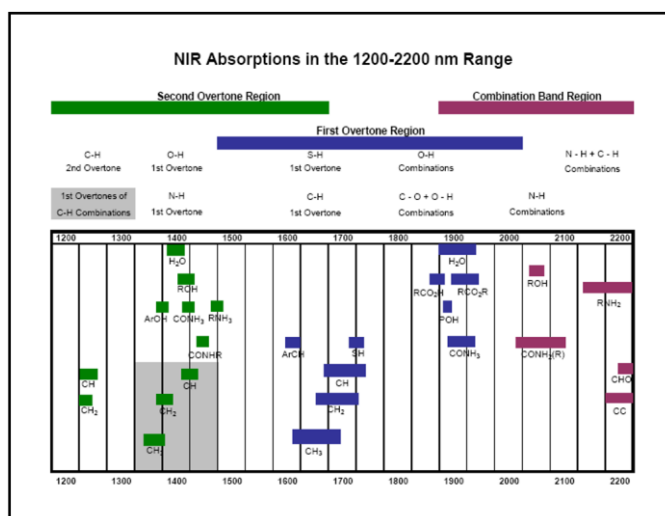


Figura 2.7. Asignación de bandas NIR a grupos orgánicos

Las bandas más frecuentes en NIR son debidas a enlaces que contienen átomos con diferencias de peso molecular importantes, de manera que se aumenta la anarmonicidad del enlace. Algunos ejemplos son de C-H, N-H, O-H, como podemos ver en Figura 2.7. Asignación de bandas NIR a grupos orgánicos.

2.2.4 Componentes del equipo NIR

Un espectrofotómetro NIR consta de forma básica de: selector de longitud de onda, fuente de radiación, lugar de análisis de muestra y un detector.

2.2.4.1 La fuente de radiación.

Dispositivo que genera un haz de luz suficiente para irradiar la muestra. Es más utilizado es la lámpara halógena de filamento de tungsteno con ventana de cuarzo, la cual proporciona un espectro continuo en la región de 320nm o 2500nm. Otras fuentes de radiación que pueden utilizarse son los denominados LED's, (*Light Emitting Diodes*), que puede llegar a emitir hasta 1600 nm.

Las fuentes halógenas necesitan un sistema de selección de longitudes de onda, sin embargo, en los LED's no es necesario. Pero en nuestro caso la medida que nos ocupa nos hace necesario la utilización de lamparas halógenas, ya que queremos medir en el rango más amplio (900-1700nm).

2.2.4.2 Sistema de selección de longitudes de onda.

Dentro de los equipos NIR de aplicación general, es necesario obtener un buen nivel de sensibilidad, para ello es necesario un sistema de selección de longitudes de onda capaz de:

1. Ancho de Banda estrecho respecto al ancho de banda que está midiendo.
2. Debe ser preciso y exacto para la longitud de onda analítica.

En función del dispositivo utilizado para la selección de longitudes de onda, los instrumentos NIR pueden ser clasificados en sistemas dispersivos o no dispersivos. Podemos distinguir dos tipos de selectores de longitudes de onda, dispersivos y no dispersivos.

2.2.4.3 Selectores de onda dispersivos.

Para los dispersivos, los sistemas más utilizados son los monocromadores para la selección de longitud de onda, están compuestos por un conjunto de colimadores de los haces de entrada y salida, más un elemento dispersante.

Siendo esta la parte más fundamental del sistema, permitiendo la descomposición del haz incidente por efecto de interacciones constructivas y destructivas.

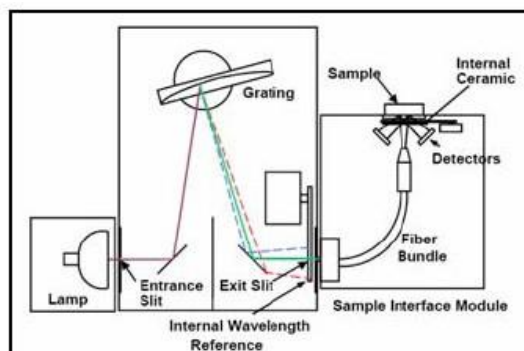


Figura 2.8. Sistema de selección de longitudes

2.2.4.4 Selectores de onda no dispersivos.

Los equipos no dispersivos son los más utilizados, porque tienen una gran variedad de sistemas de selección es elevada. Se pueden utilizar instrumentos de filtros convencionales, tales como; filtros optoacústicos (AOTF, Acousto-Optic Tunable Filter) e instrumentos de transformada de Fourier (FT). Dichos filtros convencionales utilizan un elemento semitransparente entre la fuente de radiación y la muestra, dicho elemento permite el paso de algunas longitudes de onda.

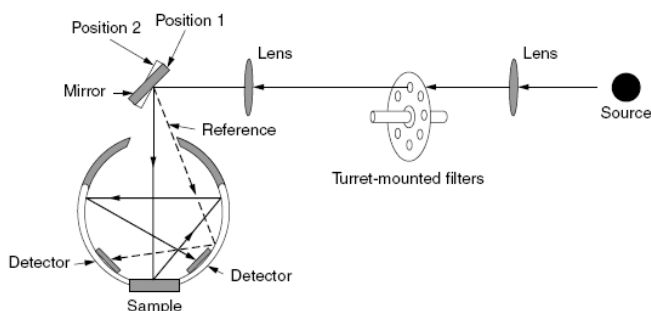


Figura 2.9. Sistema de filtros para la selección de longitudes de onda

Podemos encontrar filtro de dos tipos uno denominado de absorción y otro de interferencia. Los primeros los filtros de absorción no realizan son inocuos para determinadas longitudes de onda, mientras que para los filtros de interferencia se utilizan los filtros Fabry-Perot, basados en los fenómenos de interferencia óptica causados al atravesar determinados materiales con diferentes características, como, por ejemplo, índices de refracción y grosor.

2.2.4.5 Compartimento de la muestra.

La principal ventaja de la espectroscopia NIR es la facilidad que presenta para analizar muestras de distinta naturaleza. Es adaptable ya que no requiere de un pretratamiento de las muestras, permite realizar medidas en función de las necesidades del momento.

Existen tres modos de medida o registro dentro de la espectroscopia NIR; transmitancia, reflectancia y transreflectancia.

- Modo transmitancia

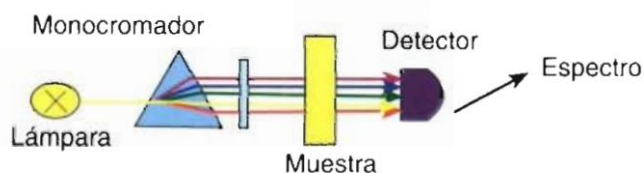


Figura 2.10. NIR por transmisión

En este modo se pueden realizar medidas en; gases, líquidos y semilíquidos. Para ello el haz de luz atraviesa la muestra hasta el detector. El proceso de absorción de la radiación se define a través de la ley Lambert-Beer. La relación de ambas medidas se describe;

$$A = \log \frac{1}{T} = \log \frac{P_o}{P} = abc \quad (12)$$

A: Absorbancia de la muestra;

T: Transmitancia;

P_0 : Intensidad de la radiación incidente
 P : Intensidad de la radiación transmitida;
 a : absortividad molar
 b : camino óptico
 c : concentración.

Podrán obtenerse variaciones en la ley anteriormente descrita, debido a causas, tales como; reflexión y/o dispersión, interacciones de cualquier índole, etc.

- Modo reflectancia.

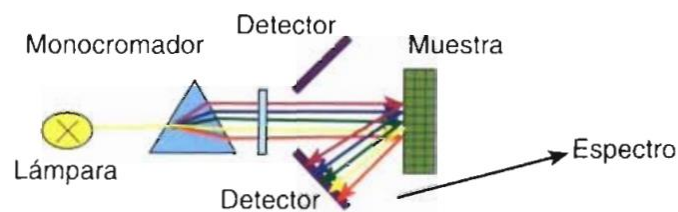


Figura 2.11. NIR por reflectancia

Las medidas por reflectancia pueden realizarse sobre sólidos y semisólidos, el haz emitido por la fuente es reflejado por la propia muestra y el detector lo recoge.

La reflexión de la radiación puede producirse de dos modos; especular y reflectancia difusa. Ésta primera no aporta información sobre la composición de la muestra, la reflectancia especular sigue las leyes de Fresnel, por lo que solo contribuye al ruido. La reflectancia difusa tiene lugar en todas las direcciones como consecuencia de los procesos de absorción y dispersión.

En el caso de encontrarnos con materiales con un coeficiente de absorción bajo, lo cual provoca que refleje la longitud de onda incidente y cuando la penetración de la radiación es grande en relación con la longitud de onda, predomina la reflectancia difusa.

Por la complejidad que conlleva el análisis del proceso de reflectancia difusa, encontramos aproximaciones sobre dicho análisis, entre las que destacan Kubelka-Munk (12).

Se utiliza por lo tanto una expresión empírica que la relaciona la concentración y la reflectancia relativa, muy similar a la ley anteriormente descrita de Lambert-Beer.

$$A = \log \frac{1}{R} = a'c \quad (13)$$

A: Absorbancia aparente

$$R = \frac{R_{muestra}}{R_{referencia}} \quad (14)$$

R: Reflectancia relativa

a': Constante de proporcionalidad

c: Concentración

- Modo transreflectancia.

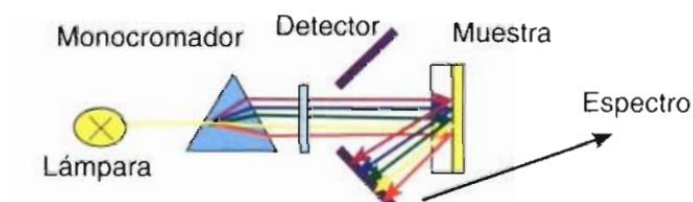


Figura 2.12. NIR por Transreflectancia

Tenemos finalmente un modo intermedio que se ocupa de las medidas de líquidos y semilíquidos. Este modo combina reflectancia y transmitancia. Para este modo tenemos parte de la luz incidente se refleja y otra parte atraviesa la muestra, para ser reflejada por un material colocado en la cara opuesta de la muestra, siendo recogida por el detector.

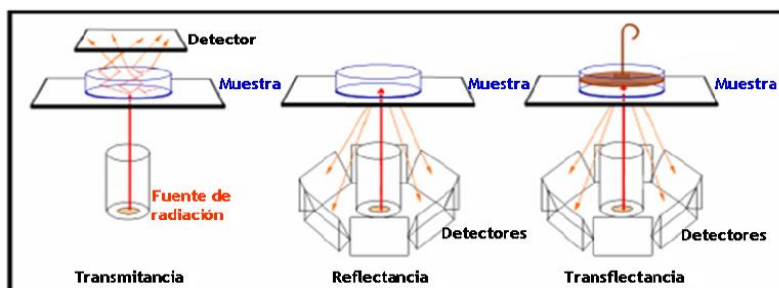


Figura 2.13. Esquema de las 3 configuraciones de registro de espectros NIR

2.2.4.6 Detector

En espectroscopia NIR los detectores más utilizados están fabricados con semiconductores, tales como; InGaAs, InAs, PbS, InSb, Si, etc. El detector que más se utiliza en la actualidad y que cuenta con una sensibilidad entre 900 y 2600 nm, es PbS. Pero en nuestro caso, ya que vamos a utilizar para realizar medidas por transmisión en sólidos, el detector más utilizado es el de Arseniuro de Indio y Galio (InGaAs), que es funcional en el rango de 600 a 1900nm. En la siguiente figura podemos ver la posición del detector en función del modo en el que se esté trabajando.

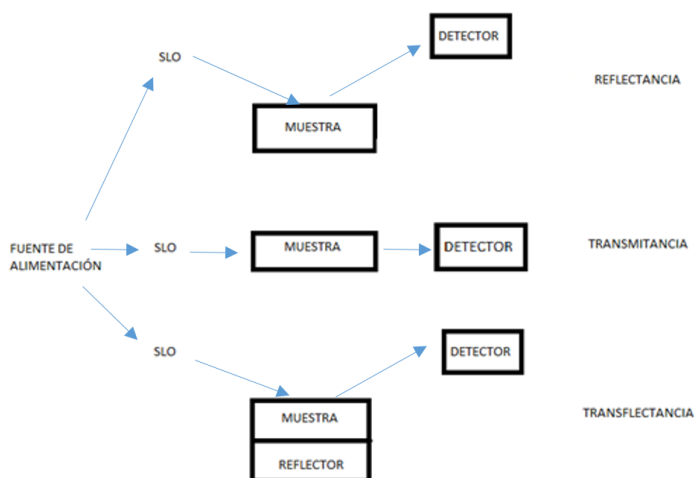


Figura 2.14 Diseños instrumentales en espectroscopia NIR

2.2.5 Aplicaciones NIR en la industria

En la actualidad la espectroscopia NIR aplicada al sector industrial, está en plena expansión, debido a las numerosas ventajas que ofrece frente a las técnicas tradicionales en la industria mediante procesos químicos, que se utilizan para medir la calidad final del producto terminado.

Algunas de las ventajas que se pueden destacar, son las siguientes;

- Analiza muestras sólidas, líquidas y gaseosas.
- No necesita preparar la muestra previamente y el proceso es instantáneo.
- No necesita usar disolventes y por lo tanto no genera residuos
- Coste reducido.
- Podemos obtener información física y química de la muestra.
- Es una técnica no invasiva ni destructiva.
- Permite el análisis en la propia línea de producción.

La técnica NIR, permite a través de un único conjunto de espectros, determinar multiparámetros, estableciendo calibraciones paralelas. La gran variedad de muestras que se pueden ser analizadas unido a los avances tecnológicos, han hecho que su aplicación haya crecido en los diferentes campos.

Vamos a ver algunos de la aplicabilidad de la técnica NIR en la industria. Las primeras aplicaciones de la espectroscopia NIR fueron en el campo agroalimentario (13) (14), las principales aplicaciones en dicho campo iban dirigidas hacia la determinación de la humedad, grasas, contenido en fibra y proteínas. También se ha aplicado a otros productos como la leche y sus derivados, determinándose de nuevo la proteína, el lactato, la humedad, la lactosa, la grasa, y las cenizas (15).

Otras medidas han sido obtenidas del mismo modo con el NIR, tales como; del grado del alcohol en cerveza, licores destilados o vinos, nivel de cafeína en café y té, azúcar, acidez en zumos. En este caso, para dichas medidas es necesario utilizar el equipo NIR en modo transmitancia o transflectancia (15).

En otro sector como el petrolífero, es necesario reducir costes en el proceso realizado en las refinerías. Los autores Larrechi et al. explican en (16), algunas consideraciones para el uso de la estereoscopia NIR aplicado a la determinación de propiedades de productos utilizados en la industria petroquímica. Estos autores consideran que con la técnica NIR, se pueden determinar los hidrocarburos, nafta, etileno, viscosidad entre otras características.

Otros autores a tener en cuenta que realizan una clasificación diferente son Blanco et al. determinan propiedades físicas como la viscosidad a distinta temperatura y su composición química, (17).

En la industria textil también es usado, en la identificación de textiles, humedad y control del proceso, encontramos desarrollado su uso en un trabajo de Cleve et al (18), en el cual presenta una gran variedad de aplicaciones en la industria textil.

Un sector que está cobrando especial importancia principalmente en la actualidad es el sector vinculado con el medio ambiente. Por lo que una aplicación de gran relevancia es la utilización de una metodología espectroscopia NIR en equipos portátiles para la medida del grado de contaminación debido a aceite de motor en el suelo (19).

Aplicado al ámbito de la medicina, el uso de la espectroscopia NIR, permite realizar diagnósticos, sin métodos quirúrgicos. Es una técnica con un gran potencial. Permite determinar en tiempo real; la saturación de oxígeno y el índice de oxigenación en cualquier tejido. Permite una aplicación directa en medicina, para identificar isquemia, medida de flujo sanguíneo, detección de tumores, entre otras aplicaciones (20).

Incluso en el campo de la cosmética encontramos aplicaciones, como en los casos desarrollados por Blanco et al. en el cual se desarrolla el control de calidad de una base cosmética la cual consiste una mezcla de parafinas (21).

Los productos fabricados en la industria farmacéutica están muy regulados por organismos nacionales e instituciones internacionales como son; Agencia Española de medicamentos y productos sanitarios (AEMPS) (22), European Medicines Agency (EMA) (23), y la International Conference on Harmonisation (ICH).

Para la regulación de la industria farmacéutica la espectroscopia NIR permite una rápida aplicación en el control de dicha industria, ya que permite la identificación de materias primas, su riqueza y parámetros físicos del preparado, antes de su uso para la fabricación de los mismo. Las técnicas utilizadas hasta el momento requieren más tiempo y trabajo, por lo que son más laboriosas. En Blanco et al se desarrolla el uso de la espectroscopia NIR en la industria farmacéutica (24), a nivel cuantitativo y cualitativo.

Actualmente se está avanzando en el campo del análisis de muestras, combinando espectroscopia infrarroja y las técnicas de visión por computador. Utilizando para ello la imagen química, dichas imágenes permiten identificar espacialmente y cuantitativamente las características químicas en una muestra. Obteniendo en este proceso un “esquema cartográfico” de un producto químico.

Mediante la combinación de espectroscopia infrarroja y a través de la imagen química, obtenida a través de las técnicas de visión por computador. Podemos obtener información espacial y espectral, la cual proporciona la identificación de las propiedades microscópicas y macroscópicas de una muestra.

En un solo pixel se puede registrar un amplio intervalo de longitudes de onda. Se obtienen con una sola medición, un análisis rápido, robusto y fiable de los datos NIR (25).

3 OBJETIVOS

En la industria moderna, es un desafío obtener productos de la máxima calidad, además se establecen unos estrictos criterios que se deben cumplir bajo la normativa vigente. Este proceso, conlleva unos costes elevados, inversión de tiempo y de trabajo, del mismo modo se desechan productos que encarecen los costes de producción. Si pudiésemos evitar estos costes obtendríamos un alto nivel de rendimiento en el producto final.

Es necesario para continuar con el proceso industrial, utilizar métodos de análisis sencillos, fiables, rápidos y con menor coste de análisis, por eso la espectroscopia NIR es una técnica que reúne todas las cualidades anteriormente citadas, la ventaja de este método frente a los actuales se va a detallar en los siguientes capítulos. Para poder discernir lo que se ha realizado en este trabajo vamos a diferenciar entre los objetivos específicos y generales.

3.1 Objetivos generales

En este trabajo fin de grado se propone la realización de un equipo capaz de mejorar el rendimiento industrial, reducir el tiempo de análisis de las muestras e integrarlo en la cadena de producción del aceite de oliva. Para ello se proponen los siguientes objetivos generales:

- Equipo de dimensiones reducidas

Uno de los objetos consiste en la búsqueda de hardware que cumpla con las especificaciones necesarias para nuestras medias, y reduzca su dimensión lo máximo posible, con lo cual, se dotará al equipo de mayor versatilidad, ya que podría ser configurado para realizar diferentes tipos de análisis, en múltiples sectores de la industria.

- Equipo de bajo coste

Los sistemas analíticos tradicionales conllevan un elevado coste, como factor indispensable intentamos reducir esta problemática con el diseño de un equipo más económico equiparable a las especificaciones de los equipos comerciales.

- Capacidad de recibir información de un equipo NIRS

Para poder interpretar los datos, necesitamos dotar a nuestro equipo de la capacidad de recibir información. Para ello buscaremos un dispositivo hardware que nos permita capturar los datos recibidos por nuestro equipo NIRS, para posteriormente poder procesarlos e interpretarlos.

- Integración en el proceso de producción.

Integrar nuestro equipo en el proceso de producción, agilizaría una respuesta ante la necesidad de modificar alguna variable o imprevisto que pudiese suceder dentro en la cadena de producción. Al eliminar la externalización del proceso, disminuimos el factor tiempo.

3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos se pretende integrarlo en el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen, en la tubería de decanter, y una batidora, en la que permita realizar medidas “in-situ” del rendimiento graso del alperujo que circula en ese instante.

Para ello inicialmente se tiene que Identificar y seleccionar los componentes hardware que son necesarios para dotar al sistema de toda la funcionalidad descrita, y programar la lógica de control y de comunicaciones del sistema diseñado.

Dentro de este trabajo se ha realizado un estudio para poder completar los objetivos generales anteriormente detallados, para ello se han fijado los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los componentes hardware necesarios

Necesitamos como requisito fundamental para nuestro diseño, conocer los distintivos equipos o dispositivos hardware que podríamos utilizar teniendo siempre en cuenta los objetivos a cumplir, principalmente el económico y las dimensiones.

En un análisis inicial, se han identificado los siguientes elementos básicos: una tarjeta de desarrollo, pantalla para visualización de datos y un equipo Micro NIR.

- Seleccionar los componentes que mejores prestaciones nos ofrecen

Una vez identificados los componentes hardware necesarios, se realizará un estudio de las distintas posibilidades de cada uno. Como requisitos fundamentales, se busca que la pantalla tenga una opción que nos dé posibilidad de mostrar datos gráficamente, la tarjeta de desarrollo debe ser compatible con el resto de dispositivos y el equipo NIR como características imprescindibles, debe de tener dimensiones reducidas y de bajo coste.

- Programación lógica de control.

Para la programación de este sistema se ha utilizado software de código abierto, lo que finalmente se ha convertido en un objetivo de este trabajo, ya que los equipos NIR comerciales utilizan software propio al que no se puede tener acceso. Esto para nuestro equipo NIR se ha convertido en una ventaja para futuros desarrolladores ya que, en nuestro caso, tiene la funcionalidad de adaptarlo y ajustarlo en función de las distintas condiciones o situaciones que pueden variar cuando se realiza la medida.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

Uno de los objetivos como ya se ha explicado anteriormente en este trabajo, consiste en diseñar y desarrollar un equipo de medida que utilice tecnología NIR y que al mismo tiempo pueda ser integrado de un modo que sea compacto y disminuya su coste, comparándolo con los equipos comerciales, que podemos encontrar actualmente en el mercado. El tamaño que ocupan es una de las principales limitaciones de estos equipos ya que no se pueden integrar en la cadena de producción del aceite de oliva, en nuestro caso, se pretende integrar en la tubería de la batidora y en la del decanter.

4.1 Medidor de Humedad mediante Fotodiodos InGaAs

La primera opción que se planteó fue la posibilidad de utilizar Fotodiodos InGaAs, ya que estos funcionan en el infrarrojo cercano, que es la técnica que nos permite medir la humedad, en este caso, sin necesidad de contacto físico con el aceite de oliva. Medir la humedad fue uno de los parámetros que inicialmente se tuvieron en cuenta en vez de la medición del rendimiento graso.

Este diodo gracias a su reducido tamaño permite la integración en la planta de producción, y así poder realizar las medidas in-situ. Los fotodiodos InGaAs PIN, se basan en uniones p-n, en las que se intercala una capa de material intrínseco, para aumentar la zona de deplexión (zona de absorción) y con ello la radiación absorbida. Los portadores en la zona de deplexión son acelerados hacia la zona donde son mayoritarios, por un intenso campo eléctrico, generando una corriente inversa.

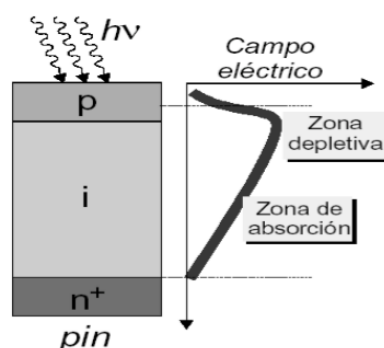


Figura 4.1. Fotodiodo PIN

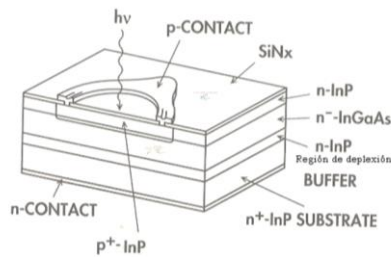


Figura 4.2. Estructura de un fotodiodo

Estos fotodiodos trabajan con luz cercana al infrarrojo, para ello trabajan con un material semiconductor en este caso InGaAs, el cual tiene su rango de funcionamiento entre 1,3 μm y 1,7 μm .

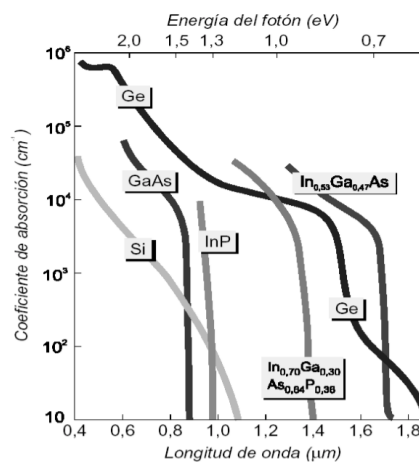


Figura 4.3. Coeficiente de absorción intrínseco

Para este caso, en el que los fotodiodos trabajan como detectores ópticos, se establece una longitud de onda a partir de la cual, los fotodiodos dejan de absorber energía, en nuestro caso ese valor se establece en torno a 1,7 μm .

La longitud de onda utilizada para medir la humedad es de 1,45 μm , fijaremos nuestra referencia con fotodiodos que trabajen a 1,3 (valor máximo de energía de nuestro fotón), la configuración de estos fotodiodos sería para realizar medidas en transmitancia.

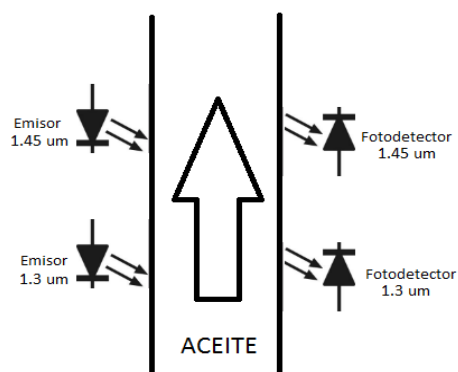


Figura 4.4. Esquema medidor de humedad

Para ello se utilizan dos diodos LED, como los de la Figura 4.5. Fotodiodo Hamamatsu, de infrarrojos para emitir y dos fotodiodos utilizados como detectores ópticos, estos están fijados a las longitudes de onda de 1,3 μm y 1,45 μm respectivamente, separados unos centímetros respecto al eje perpendicular a la tubería, en la Figura 4.4 podemos ver un esquema de los explicado.

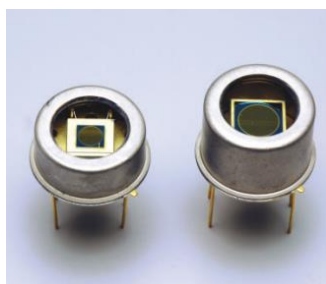


Figura 4.5. Fotodiodo Hamamatsu

Después del análisis realizado de la documentación aportada por los proveedores con los cuales se contactó, comprobamos que era necesaria la utilización posterior de una fuente de refrigeración TEM, la cual no se encontraba incluida en el diseño de inicial, ya que estos fotodetectores necesitan trabajar a una temperatura de -20°C a -10°C , para su correcto funcionamiento y obtener valores de medición precisos. Podemos en la siguiente Tabla 4.1. Características eléctricas y ópticas Los valores para su correcto funcionamiento.

Type No.	Measurement condition	Spectral response range λ	Peak sensitivity wavelength λ_p	Photo sensitivity S		Dark current I_D $V_R=1\text{ V}$		Cut-off frequency f_c $V_R=1\text{ V}$ $R_L=50\ \Omega$	Terminal capacitance C_t $V_R=1\text{ V}$ $f=1\text{ MHz}$	Shunt resistance R_{sh} $V_R=10\text{ mV}$	D^* $\lambda=\lambda_p$	NEP $\lambda=\lambda_p$
	Element temperature											
	($^{\circ}\text{C}$)											
(μm)	(μm)	(μm)	1.3 μm (A/W)	$\lambda=\lambda_p$ (A/W)	Typ. (nA)	Max. (nA)	(MHz)	(pF)	($\text{M}\Omega$)	($\text{cm}^2\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$)	($\text{W}/\text{Hz}^{1/2}$)	
G8605-11	-10	0.9 to 1.67	1.55	0.9	0.95	0.07	0.35	18	150	1500	2×10^{13}	5×10^{-15}
G8605-12						0.3	1.5	4	550	300		1×10^{-14}
G8605-13						1	5	2	1000	100		2×10^{-14}
G8605-15						2.5	12.5	0.6	3500	30		3×10^{-14}
G8605-21	-20	0.9 to 1.65				0.03	0.15	18	150	3000	3×10^{13}	3×10^{-15}
G8605-22						0.15	0.75	4	550	600		7×10^{-15}
G8605-23						0.5	2.5	2	1000	200		1×10^{-14}
G8605-25						1.2	6	0.6	3500	60		2×10^{-14}

Tabla 4.1. Características eléctricas y ópticas

Mediante este sistema de medidor de humedad, además de los diodos LED infrarrojos y los fotodiodos receptores, necesitamos una fuente de alimentación a ± 15 voltios, un amplificador para el detector de infrarrojos, y un controlador de temperatura. Como puede observarse en la siguiente figura.

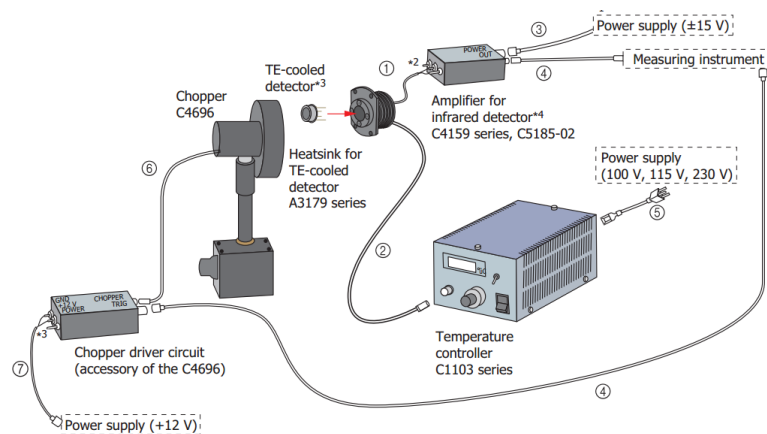


Figura 4.6. Esquema conexión fotodiodo.

Después de realizar el estudio del medidor de Humedad, buscando el menor coste para este dispositivo, y la mayor reducción del espacio posible, no cumple ninguno de estos dos objetivos iniciales. Por lo que, el elevado precio de la fuente de refrigeración, unido al coste del amplificador del fotodetector necesario para el correcto funcionamiento. Conllevan un mayor tamaño y precio, por lo que la implementación de este primer prototipo resulta ser inviable. Como consecuencia se descarta la realización de este diseño. Por lo que, ahora se plantea como segunda alternativa para la integración de un equipo NIR viable.

Dispositivo	Referencia	Precio
Detector fotodiodo PIN InGaAs	G8605	382€ x2
Soporte para fuente de refrigeración	A3179-01	145€ x2
Fuente de refrigeración	C1103-04	1.270€
Amplificador de detector de infrarrojos	C1103-04	1.150€ x2
Emisor LED infrarrojo 1.3	C1103-04	18€ x5
Emisor LED infrarrojo 1.45	C1103-04	18€ x5
Total		4.804€

Tabla 4.2. Presupuesto de medidor de humedad

4.2 Evaluación y selección del equipo NIR Low Cost.

Como segunda opción se planteó un Espectrómetro Micro NIR, que tiene mayor valor añadido, ya que no solo permite la medida de los valores de humedad, sino que añade la posibilidad de obtener valores de los polifenoles y el rendimiento graso (vinculado al rendimiento industrial y rendimiento económico), entre los datos más relevantes.

En esta fase inicial del estudio de viabilidad, se ha realizado un análisis de todos los componentes y sus funciones, éstas ya han sido explicadas en el capítulo anterior, pero en la siguiente figura, podemos ver un ejemplo del conjunto de elementos de un equipo NIR completo. En ella se distinguen los siguientes elementos; fuente de luz, compartimento de la muestra, equipo NIR, un ordenador, sondas ópticas, y un cable USB para comunicar el equipo NIR con el ordenador.

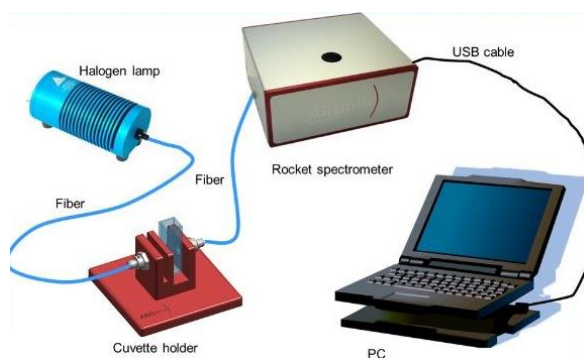


Figura 4.7. Setup Espectrómetro NIR Arcoptix Rocket

El objetivo de esta fase es buscar los componentes hardware que realizando las mismas funciones descritas se puedan interconectar entre sí, sin problemas de compatibilidad, y establecer una comunicación por un puerto serie con una tarjeta controladora que utiliza lenguaje de programación de código abierto. Y conseguir el mismo funcionamiento que un equipo NIR comercial minimizando el espacio que ocupan.

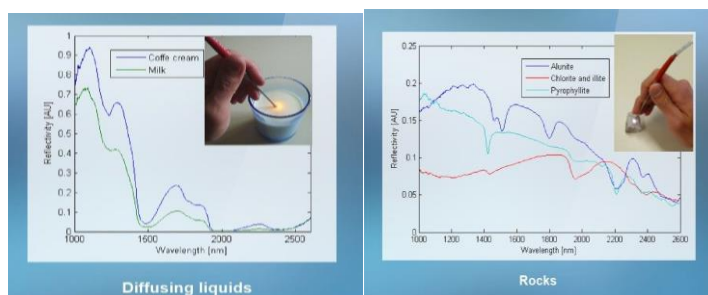


Figura 4.8. Ejemplos Medidas NIR Arcoptix Rocket

Como inconveniente fundamental al que me he enfrentado cuando realizaba dicho estudio de viabilidad, es la opacidad que presentan las marcas que comercializan equipos NIR en la actualidad. En la mayoría de los casos el equipo NIR lo constituye una “caja”, de la que tenemos información básica, sabemos que la integran un banco óptico y una placa electrónica controladora. Las comunicaciones en el interior de un NIR, se realizan a través de código software propietario.

Además, necesitan para la gestión de información, una interfaz gráfica externa para su visualización y un ordenador. Lo cual como ya se ha explicado anteriormente encarece el equipo e imposibilita la opción de integrarlo en una planta de producción de un modo sencillo y económico. Sólo en algunos modelos, presentan una pantalla integrada, pero siguen siendo aún grande para la función que queremos darle y costoso.



Figura 4.9. Espectrómetro NIR BRUKER Tango

Otro factor a tener en cuenta es la conectividad, ya que sólo unos pocos modelos permiten dicha conectividad mediante una comunicación serie UART, por un puerto COM.

Para cumplir los objetivos fijados en este trabajo, en relación a la mejora de calidad en el proceso de producción. Me he puesto en contacto con multitud de proveedores para poder con ello estudiar y analizar, las posibles configuraciones de diseño que podrían utilizarse para fabricar un equipo de medición completo.

Se estudió en una primera fase, la posibilidad de desarrollar un equipo que sólo realizase medidas de humedad, en fases posteriores se introdujeron nuevas alternativas que contemplasen la medida del rendimiento graso en el aceite y orujo de oliva, para ello en el siguiente apartado se realiza un estudio de viabilidad sobre las posibles alternativas.

A continuación, se va a evaluar el funcionamiento de los distintos equipos de similares características, para poder comprobar cuál de ellos, es el óptimo que cumpla las especificaciones de nuestro trabajo.

Uno de los requisitos que debe de cumplir el NIR es que no necesite una fuente de refrigeración ya que esto nos supone el inconveniente de aumentar el volumen del equipo final y el precio del producto. Por lo que necesitamos que el sensor tenga una resolución no muy elevada, para que no sea necesaria la utilización de una fuente de refrigeración de los sensores. Por lo que tenemos que llegar a un valor de compromiso relación cuyo criterio será que el sensor CMOS no supere la resolución total de 256 píxeles.

En la siguiente Tabla 4.3, comparamos las características necesarias para nuestro diseño, atendiendo a los siguientes criterios; dimensión, peso, resolución, necesidad de fuente de refrigeración, precio, etc. Tras la comparativa realizada entre los distintos equipos se ha optado por el equipo que nos da unas prestaciones más equilibradas para nuestro diseño, llegando a una solución de compromiso, entre tamaño y coste.

	Texas Instruments NIRscan™EVM	AvaBench-50-NIR256	AvaBench-75-NIR512	SP SM241 NIR	Insion NT1.7NIR
DETECTOR	DLP2010NIR	HAM NIR 256 1.7	SU NIR512 1.7	Sony ILX511	HAM G8160
RESOLUCIÓN (pixel)	854 x 480	256	512	2048	128
REFRIGERACIÓN	NO	NO	SI	NO	NO
SPECTRAL RESPONSE (nm)	900 - 1700	1000 - 1750	1000 - 2500	900-1600	900 - 1700
PUERTO SERIE	SI	NO	NO	SI	SI
DIMENSIÓN (mm)	115x135x126	100x130x40	177x125x108	140x74x26	69.3x39.6x13.6
PESO (Kg)	0.950	0.875	2.5	0,226	0.162
PRECIO (€)	7570	5950	7999	4184	3500

Tabla 4.3 Comparativa de equipos NIR

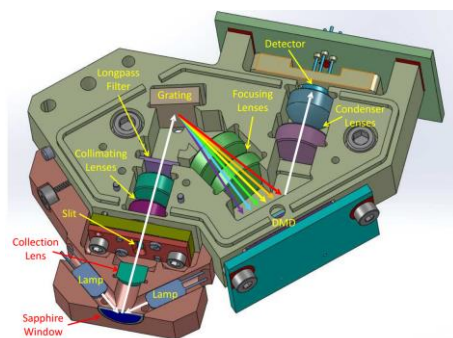


Figura 4.10. Funcionamiento interno de equipo NIR

Tomando como referencia inicial, el espectrómetro micro NIR de Texas Instruments DLP® NIRscan™, cuyo coste es de 8000€, comencé a contactar con los diferentes proveedores que ofrecen micro NIR de semejantes características para poder obtener el equipo de menor coste que se ajustase a las necesidades requeridas.

No es necesario que este equipo incluya integrada la placa controladora de fábrica ya que en nuestro caso no es relevante, lo que sí es importante es poder controlar (lectura y escritura), modificar las opciones de medida, calibración y ajuste, tiempos de integración, cargar valores de referencia, representación de una gráfica por una pantalla integrada, etc.

Para todo esto es imprescindible que tenga la posibilidad una comunicación serie asíncrona mediante el puerto UART.

- Texas Instruments DLP® NIRscan™ EVM

Este Micro NIR es de los equipos más completos, más compactos y con mayores prestaciones, tanto a nivel de comunicaciones como en las especificaciones y resultados de sus componentes electrónicos. En la siguiente Figura 4.11, vemos una imagen del equipo desarrollado por Texas Instruments.



Figura 4.11. Micro NIR de Texas Instruments DLP® NIRscan™ EVM

La resolución del sensor es de 854 x 480 píxeles, lleva una tecnología denominada DLP (Digital Light Processing), desarrollada por Texas Instruments, esta tecnología consiste en la inclusión del equipo de un array de microespejos, dispuestos como una matriz, a través de un dispositivo denominado DMD (Digital Micromirror Device), es un chip semiconductor.

La luz es proyectada a través de este dispositivo hacia el detector. Pero encontramos dos inconvenientes, ambos muy importantes, el primero es que no nos ofrece la posibilidad de realizar medidas continuas en la tubería del decanter o la batidora, ya que hay que extraer una muestra e insertarla de forma manual en el compartimento de medida del Micro NIR. El segundo inconveniente es el precio, que es de \$8499 aproximadamente 7570 €, con este precio no se puede realizar un equipo de bajo coste.

- AvaBench-50-NIR256-1.7 y AvaBench-70-NIR512

Otro de los equipos evaluados son los AvaBench, cuyos proveedores de Avantes nos ofrecieron dos modelos para nuestro prototipo, ambos cumplen con la especificación que le indicamos, respecto al rango de medida ya que comprenden desde 1000nm hasta valores por encima de 1700nm, éste último para nosotros es más que suficiente para nuestras medidas. En la siguiente Figura 4.12, vemos como sería un equipo micro NIR de Avantes.



Figura 4.12. Micro NIR AvaBench-50

El primero AvaBench-50, es el que más se ajusta al criterio indicado, ya que tiene como resolución máxima del detector óptico 256 píxeles, mientras que para AvaBench-75 la resolución es de 512 píxeles, lo cual implica la utilización de una fuente de refrigeración, por lo tanto, encarece el precio final, compromete las dimensiones del equipo. Para nuestras medidas no es necesaria una calidad superior a 256 píxeles.

Ambos dispositivos tienen además el inconveniente de no incorporar la comunicación serie requerida para la transmisión de bits, tipo UART, ya que traen conexión directa con el sensor CMOS, obteniendo los valores de tensión resultantes de cada medida. El precio del primer equipo es de 5950 mientras que para el segundo sería de 7999 euros sin IVA.

- SP SM241 NIR Laser Spectrometer

Este equipo cumple las especificaciones requeridas, por lo que supone una buena solución para nuestro trabajo. En la siguiente Figura 4.13, vemos un ejemplo.



Figura 4.13. Micro NIR Laser Spectrometer

Tiene un detector de imagen Sony ILX511, con una resolución 2048 pixeles, y la posibilidad de realizar conexiones mediante un puerto serie PCI RS232. El rango de funcionamiento en el espectro NIR, es de 900 nm a 1600 nm. El precio de este dispositivo es de \$4,695 aproximadamente 4184 €.

- InSION NT 1.7 NIR

El último equipo estudiado es el Micro NIR InSION, este es el equipo NIR más económico de todos los que se han analizado, presenta las especificaciones idóneas para nuestro trabajo. Vemos en la Figura 4.14, nuestro dispositivo.



Figura 4.14. Micro NIR InSION

Es el único que posee un encapsulado fabricado en aluminio, es el más robusto y compacto de todos hasta el momento. El sensor que utiliza es Hamamatsu, el cual tiene una resolución de 128 pixeles, un valor correcto para la funcionalidad que le daremos.

El barrido de espectro que realiza es en el rango del espectro NIR de 900 nm a 1700 nm, por lo que también cumple con este requisito. Cuenta con una entrada (450 mm/SMA) de la sonda de fibra óptica, como conectividad tiene un puerto serie y un microUSB para la realizar la conexión con el PC, aunque en un principio no era necesario para este proyecto. El precio es de 3500 €, en nuestro caso hemos conseguido una versión de prueba que nos ha facilitado el proveedor de Insion, que es Photon Lines.

4.3 Desarrollo del sistema de control del NIR

Es necesario desarrollar un sistema de control, que nos permita a nivel de hardware y software capturar y procesar toda la información proveniente del equipo NIR. Para ello en este capítulo se explicarán todas las opciones evaluadas para el diseño de nuestro equipo.

4.3.1 Evaluación y selección de tarjeta de desarrollo

En este capítulo se evaluarán las distintas tarjetas de desarrollo existentes en el mercado de bajo coste y con mayor soporte en la comunidad. Como punto de partida, se contempló la posibilidad de utilizar para nuestro trabajo una placa de desarrollo Arduino, ya que es de código abierto y hay una gran comunidad con bastante soporte.

4.3.1.1 Arduino

La placa de Arduino más popular es el modelo UNO, pero esta al disponer de un único puerto COM, sólo se podría establecer una comunicación entre el equipo NIR y la tarjeta de desarrollo, pero se necesita para el testeo al menos dos puertos COM UART con 2 RX y 2 TX para poder utilizar la IDE (interface en Windows), ponerlo en escucha y así poder comprobar que se establece una comunicación correcta. En la siguiente Figura 4.15 podemos ver la placa Arduino Uno.



Figura 4.15. Arduino UNO

La opción de tarjeta Arduino con soporte de más de un puerto UART, es la tarjeta Arduino Mega 2560 que ofrece 4 puertos COM, para nuestro propósito es la tarjeta más adecuada. En la siguiente Figura 4.16 podemos ver la placa Arduino Mega 2560.



Figura 4.16. Arduino Mega 2560

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones Hardware de las tarjetas Arduino MEGA 3560 y Arduino UNO.

	ARDUINO MEGA 2560	ARDUINO UNO
Microcontroller	ATmega2560	AT mega328P
Operating Voltage	5V	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	16	6
DC Current per I/O Pin	20 mA	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	8 KB	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	4 KB	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz	16 MHz
LED_BUILTIN	13	13
Length	101.52 mm	68.6 mm
Width	53.3 mm	53.4 mm
Weight	37 g	25 g

Tabla 4.4. Comparativas placas Arduino

➤ Periféricos necesarios

Para la realización de este diseño, es necesario contar con los siguientes componentes;

- Tarjeta Arduino
- Cable USB
- Monitor y PC
- Teclado
- Ratón
- Fuente de alimentación a través del puerto USB con valor de 5V.
- Cables Jumper macho-macho

4.3.1.2 Raspberry Pi

La segunda alternativa es la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi es un ordenador de placa simple (SBC), Este dispositivo es de código abierto, por lo que no hay limitaciones a la hora de desarrollar un nuevo sistema integrado, y tiene un gran soporte con una amplia comunidad de desarrolladores y programadores para esta plataforma, con diversos lenguajes de programación de código abierto. En la siguiente Figura 4.17, vemos la tarjeta de desarrollo de Raspberry Pi

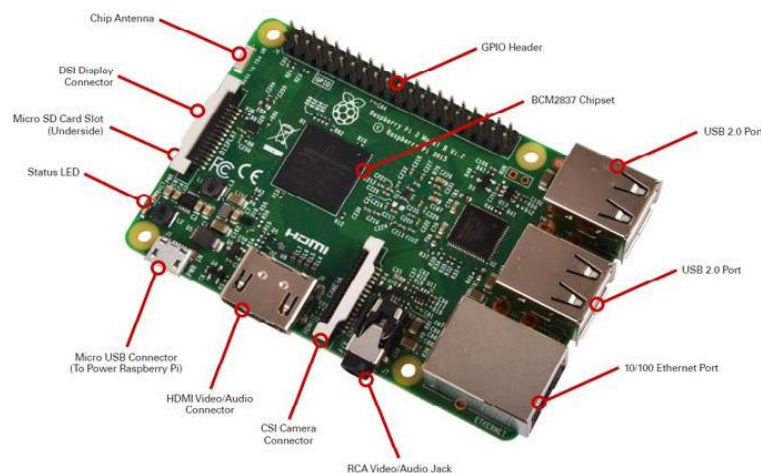


Figura 4.17. Conexiones de Raspberry Pi 3 model B

A continuación, vemos una tabla comparativa con todos los modelos disponibles de Raspberry Pi, en la que podemos ver las características de los mismos.

	Raspberry Pi 1 Modelo A	Raspberry Pi 1 Modelo B	Raspberry Pi 1 Modelo B+	Raspberry Pi 2 Modelo B	Raspberry Pi 3 Modelo B
SoC:	Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + puerto USB)			Broadcom BCM2836 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + Puerto USB)	Broadcom BCM2837 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + Puerto USB)
CPU:	ARM 1176JZF-S a 700 MHz (familia ARM11)			900 MHz quad- core ARM Cortex A7	1.2GHz 64-bit quad- core ARMv8
Juego de instrucciones:	RISC de 32 bits				
GPU:	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, MPEG-2 y VC-1, 1080p30 H.264/MPEG-4 AVC				
Memoria (SDRAM):	256 MiB (comparti dos con la GPU)	512 MiB (compartidos con la GPU) desde el 15 de octubre de 2012		1 GB (compartidos con la GPU)	
Puertos USB 2.0:	1	2 (vía hub USB integra do)	4		
Entradas de vídeo:	Conector MIPI CSI que permite instalar un módulo de cámara desarrollado por la RPF				
Salidas de vídeo:	Conector RCA (PAL y NTSC), HDMI (rev1.3 y 1.4), Interfaz DSI para panel LCD				
Salidas de audio:	Conector de 3.5 mm, HDMI				
Almacenamiento integrado:	SD / MMC / ranura para SDIO		MicroSD		
Conectividad de red:	Ninguna	10/100 Ethernet (RJ-45) via hub USB			10/100 Ethernet (RJ-45) vía hub USB, Wifi 802.11n, Bluetooth 4.1
Periféricos de bajo nivel:	8 x GPIO, SPI, I²C, UART			17 x GPIO y un bus HAT ID	
Reloj en tiempo real:	Ninguno				
Consumo energético:	500 mA, (2.5 W)	700 mA, (3.5 W)	600 mA, (3.0 W)	800 mA, (4.0 W)	
Fuente de alimentación:	5 V vía Micro USB o GPIO header				
Dimensiones:	85.60mm × 53.98mm (3.370 × 2.125 inch)				
Sistemas operativos soport ados:	GNU/Linux: Debian (Raspbian), Fedora (Pidora), Arch Linux (Arch Linux ARM), Slackware Linux, SUSE Linux Enterprise Server for ARM. RISC OS				

Tabla 4.5. Comparativas modelos de Raspberry Pi

El modelo más interesante para realizar este proyecto, es el modelo de tercera generación, tipo B, ya que es la Raspberry PI más reciente, más potente y con mayor conectividad.

La nueva Raspberry Pi 3 está construida con un nuevo procesador BCM2837 ARMv8 Cortex-A53 de 64bits de cuatro núcleos a 1,2GHz de velocidad, mucho más rápido y con mayor capacidad de procesamiento que sus antecesores. Además, la nueva Raspberry Pi 3 integra el chip BCM43143 que la dota con conectividad WIFI 802.11b/g/n y Bluetooth 4.1 LE de bajo consumo y cuenta con administración de energía mejorada que permite trabajar con más dispositivos USB externos. Posee una memoria RAM LPDDR2 1Gb, Conector micro USB para fuente de alimentación de 2,5 A, puerto Ethernet 10/100, conector de vídeo/audio HDMI, conector de vídeo/audio RCA, conector de cámara CSI, 4 x puertos USB 2.0, 40 pines GPIO, Conector de pantalla DSI y ranura de tarjeta microSD.

Los datos más interesantes frente a los modelos anteriores es la inclusión de comunicaciones inalámbricas mediante WIFI 802.11b/g/n y Bluetooth 4.1.

➤ Periféricos necesarios

- Raspberry PI 3
- Monitor HDMI
- Cable HDMI
- Teclado USB
- Ratón USB
- Fuente de alimentación a 5V y 2A
- Tarjeta MicroSD con la Imagen montada

Estos son los periféricos mínimos que hacen falta para poder utilizar la tarjeta Raspberry PI, se pueden ver en la siguiente Figura 4.18

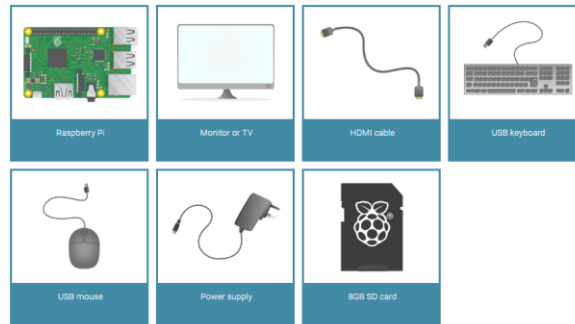


Figura 4.18. Periféricos necesarios para la Raspberry PI 3

Es necesario añadir como dispositivo de hardware una pantalla resistiva de 3,2 pulgadas de resolución 320x240 pixeles, esta resolución y tamaño es lo suficiente, para que se visualicen gráficas y datos relevantes de la medida que realiza el equipo NIR, la conexión a la tarjeta Raspberry Pi se realiza mediante los pines GPIO, por lo que queda muy compacta y bien sujeta a la tarjeta, quedando como un único conjunto unida por la parte superior.



Figura 4.19. Pantalla resistiva 3.2 pulgadas 4DPIDISPLAY

Las Características de la pantalla son las siguientes:

- Pantalla universal 3.2" para la Raspberry Pi.
- Resolución 320x240 QVGA, RGB 65K, Pantalla TFT con el panel de control táctil y resistiva.
- Alta velocidad 48Mhz con SPI a la Raspberry PI.
- Alimentada directamente desde la conexión GPIO de la Raspberry PI.
- Funciona a 25 FPS (cuadros por segundo).
- Tamaño de la PCB: 57.3 x 92.4 x 20.5mm.
- Área de visión de pantalla: 48.60 x 64.80mm.
- RoHS y CE.

Otro dispositivo de Hardware que es un buen complemento en la parte de comunicaciones para la Raspberry Pi es un módulo de GSM, para poder dotarlo de conectividad de internet mediante, una tarjeta SIM de datos móviles, con tecnología GSM.

Este servirá para que en el caso de que una Almazara no tuviese la posibilidad de realizar ninguna comunicación de datos, por WIFI o Ethernet. Esta tarjeta le abriría la opción de poder hacerlo mediante la red de telefonía móvil GSM. Se puede ver el modelo en la Figura 4.20.

Como para el desarrollo de este proyecto se quiere realizar lo más completo posible con todas las posibilidades de comunicaciones que hay en la actualidad, es interesante añadir esta tarjeta en el diseño.



Figura 4.20. Tarjeta GSM SIM800

Las características de la tarjeta GSM son las siguientes:

- Tarjeta GSM con sistema Plug and Play
- Cuatro bandas de trabajo a 850/900/1800/1900 MHz
- 1x Grove interface para ICC
- Altavoz y micrófono Salida/Entrada
- Micro USB para actualizaciones de firmware
- Alimentación por Micro USB a 5V y 2A
- Tamaño de la PCB: 85mm X 56mm X 1.6mm
- Interface : UART
- Baudios : 9600 Bps
- SIM de tamaño Estándar 1FF

4.3.2 Integración hardware

Tras el estudio realizado y la selección de los componentes que vamos a utilizar, en este apartado, se comprobará si son compatibles. Inicialmente se realizarán las conexiones necesarias entre las tarjetas de desarrollo y el equipo NIR, para testear la comunicación.

Para poder explicar cómo integrariamos ambas tarjetas de desarrollo a nuestro equipo Micro NIR, necesitamos conocer cómo funciona éste inicialmente. Para ello utilizaremos el (26), de nuestro equipo. Analizamos el Pinout del Micro NIR de Insion, tal y como se puede ver en la siguiente Tabla 4.6.

Número de PIN	Nombre del PIN	Descripción
1	RES-	Reset
2	TRIG	Trigger (disparo)
3	-	Sin conexión
4	LAMP	Lámpara externa
5	+5 VCC	Alimentación
6	DIGITAL I/O	Entrada/Salida digital
7	TX	Transmisión
8	GND	Tierra
9	RX	Recepción

Tabla 4.6. Pinout del Micro NIR Insion

En la siguiente Figura 4.21, podemos ver la parte posterior de nuestro equipo, para visualizar de un modo esquemático el pinout.

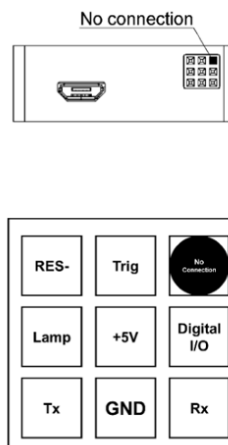


Figura 4.21. Pinout esquemático, equipo Micro NIR Insion

Para una comunicación básica sólo vamos a necesitar usar los siguientes PIN:

- Alimentación VCC a 5V
- Arduino: cable jumper del pin de alimentación.
- Raspberry PI: cable USB.
- Conexión a tierra GND.
- Pin de transmisión, TX.
- Pin de recepción, RX.

4.3.2.1 Sistema de integración tarjeta de desarrollo Arduino

Para la tarjeta de desarrollo Arduino, vemos en la Figura 4.22, como el conexionado desde la tarjeta Arduino hasta nuestro ordenador es a través de una conexión Micro USB, para la comunicación entre la tarjeta y el micro NIR Insion, se realiza a través de comunicación del puerto serie (RX/TX), desde el micro NIR utilizamos una sonda de fibra óptica que mida en reflectancia, la cual tiene dos conectores, uno de ellos se encuentra en contacto con la muestra mientras que el otro está conectado a la fuente de iluminación.

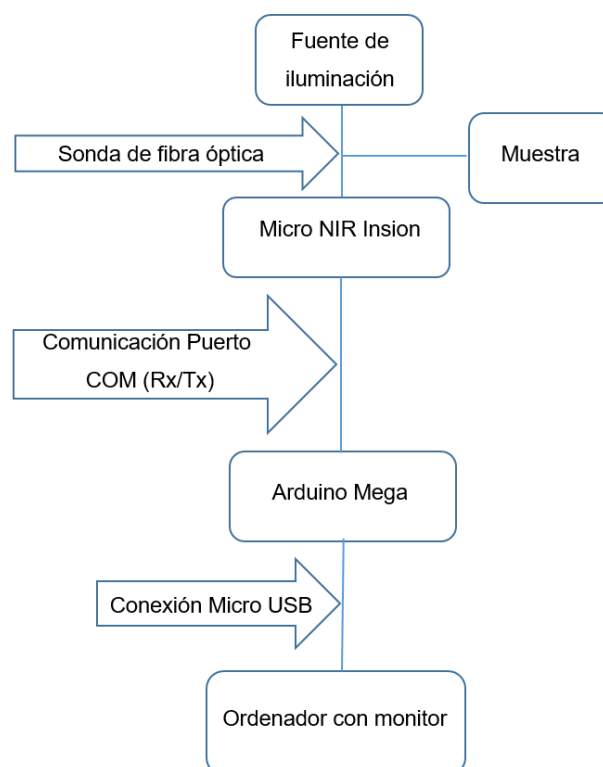


Figura 4.22. Diagrama de conexionado Arduino

En la siguiente Figura 4.23, vemos como se realizaría la conexión completa y un ejemplo gráfico de medida.

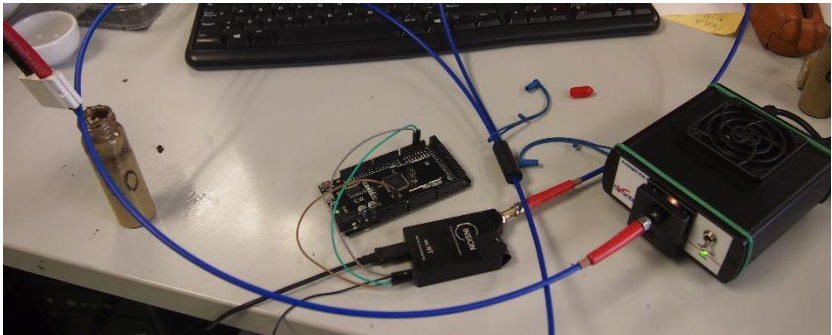


Figura 4.23. Resultado final, Arduino.

En un primer lugar vamos a analizar el Pinout de nuestra placa Arduino, posteriormente se analizará del mismo modo el Pinout de nuestro equipo NIR. Para ello inicialmente debemos conocer el datasheet de la tarjeta RobotDyn MEGA, para localizar el Pinout (27), y así poder hacer las conexiones mediante el cable Jumper macho-macho. En la siguiente tabla se muestran todos los pines utilizados.

Número de PIN	Nombre del PIN	Nombre de mapeo del PIN
2	PE0 (RXD0/PCINT8)	Digital pin 0 (RX0)
3	PE1 (TXD0)	Digital pin 1 (TX0)
30	RESET	RESET
31	VCC 5V	VCC
32	GND	GND
45	PD2 (RXDI/INT2)	Digital pin 19 (RX1)
46	PD3 (TXD1/INT3)	Digital pin 18 (TX1)

Tabla 4.7. Pinout del datasheet utilizado por Arduino

La alimentación general es suministrada por el puerto USB del ordenador, que alimenta a la tarjeta de Arduino, y esta mediante el Pin de VCC alimenta al equipo NIR a 5V, vemos como se realizaría en la siguiente Figura 4.24.



Figura 4.24. Alimentación placa Arduino y Micro NIR.

Una comunicación básica sólo necesita la utilización de los siguientes PIN:

1. Conexión a tierra GND.
2. Alimentación VCC a 5V mediante un puerto Micro USB.
3. Pin de transmisión, TX.
4. Pin de recepción, RX.

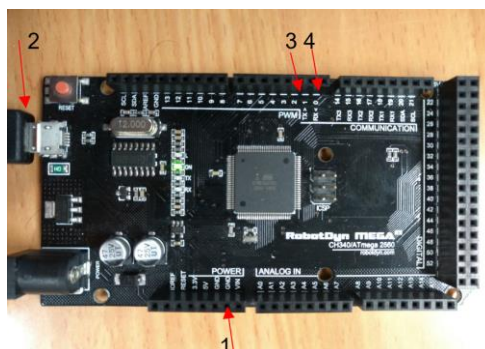


Figura 4.25. Pinout utilizado en tarjeta Arduino

En la siguiente Figura 4.26, podemos ver el resultado final de la comunicación serie, entre la placa Arduino y equipo NIR.



Figura 4.26. Conexión placa Arduino y equipo NIR

La relación de conexión, la podemos ver en la siguiente Tabla 4.8.

PIN NIR	PIN Arduino
7 Tx	0 Rx
9 Rx	1 Tx
8 GND	GND
5 VCC 5V	VCC 5V

Tabla 4.8. Conexión a nivel de PIN

También mediante la conexión USB al ordenador, se va a poder cargar en la memoria flash el programa, con el que a través del modo monitor vamos a poder comprobar que la comunicación se establece correctamente, enviando los comandos al NIR, y nos va a devolver los valores que explicamos en el capítulo de las comunicaciones mediante la consola del programa Specview.

4.3.2.2 Sistema de integración tarjeta de desarrollo Raspberry PI 3

Para la tarjeta de desarrollo Raspberry PI, podemos ver el diagrama de conexión en la Figura 4.27. La comunicación es la misma que para la tarjeta Arduino a diferencia de dos conexiones. Una de ellas, la conexión entre la pantalla táctil de 3,2", que controlaremos con la interfaz diseñada, y la tarjeta Raspberry Pi 3, que utilizará la conexión GPIO, (28). Y la otra diferencia es entre la conexión al Micro NIR desde nuestra tarjeta, ya que se puede realizar mediante el MicroUSB o el puerto serie.

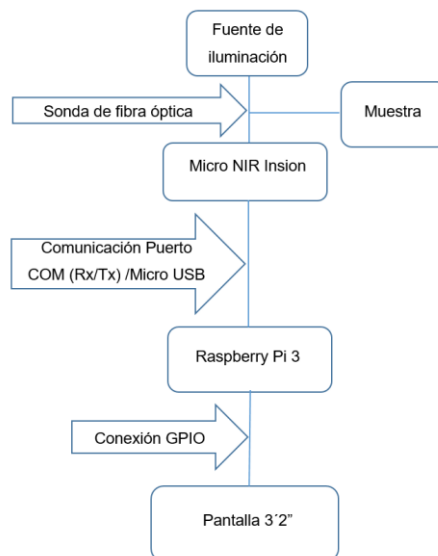


Figura 4.27. Diagrama de conexión Raspberry

En las siguientes imágenes veremos el conexionado paso a paso, como se indica en Figura 4.28.

- 1- Mediante los pines GPIO, conectamos la pantalla táctil.
- 2- Conexión a través del USB, para conectarlo con el equipo Micro NIR.
- 3- Alimentación se realiza mediante Micro USB, con valor de 5 V y 2 A.

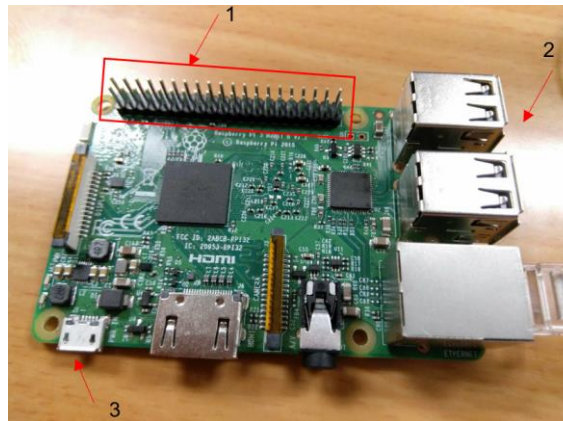


Figura 4.28. Conexionado Raspberry PI

El resultado final se muestra en la Figura 4.29, en la que vemos como nos muestra los datos por pantalla.

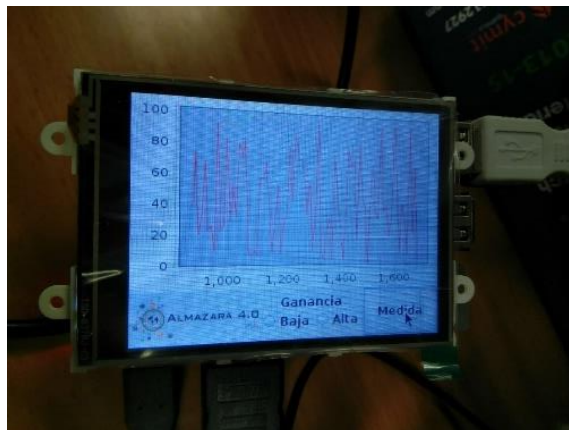


Figura 4.29. Resultado final, Raspberry PI

4.3.3 Evaluación y selección del software.

Se van a comprobar todas las posibilidades que existen para desarrollar la lógica de control de nuestro dispositivo, para ello debemos conocer que, todos los equipos NIR, traen software propio para instalar en ordenadores Windows. Por lo que, todos tienen aproximadamente las mismas prestaciones, en nuestro caso este software no es necesario para el desarrollo del proyecto, pero se ha evaluado, para comparar los resultados con el Software diseñado.

4.3.3.1 Evaluación software Micro NIR

El software que viene incluido con los equipos NIR, es el Specview 7.1.21, pero está protegido, no es código abierto por lo que no se puede programar ninguna funcionalidad o utilidad extra y necesitaría de un PC con sistema operativo Windows para poder funcionar.

En este apartado vamos a realizar las comprobaciones necesarias para verificar la conexión entre PC y nuestro espectrómetro. Partimos inicialmente de una simple comprobación, con la cual vamos a confirmar que el proceso de instalación se ha realizado correctamente.

Para ello, realizamos una medida aleatoria, que podemos ver en la siguiente figura cuyo resultado no es relevante ya que es el espectro de una señal de ruido, como podemos ver en Figura 4.30.

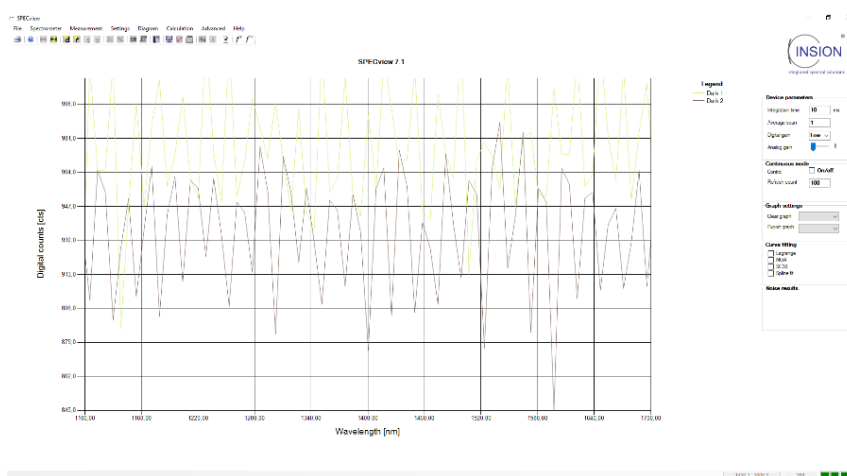


Figura 4.30. Medida de ruido aleatorio

La comunicación con nuestro dispositivo se realiza a través de una interfaz de comandos vía USB. Esta interfaz está diseñada como un puerto COM virtual, similar a un puerto serie. Tenemos habilitados la siguiente lista de comandos por categorías, debido al estándar que utilizan, es necesario utilizar el símbolo “*”, seguidos de las siguientes palabra clave. Algunos de los comandos más significativos para la configuración y testeo de comunicación son los que podemos ver en la Tabla 4.9.

COMANDO	FUNCIONES
*PARAMeter	Obtener y fijar parámetros generales
*CONfigure	Obtener y fijar configuraciones
*INITiate	Inicializar y configurar medidas
*FETCH	Obtener datos previos a las medidas
*READ	Obtener los datos de medida
*MEASure	Empezar a medir y obtener los datos
*CONTRol	Control de componentes periféricos
*CALCulate	Calcular datos desde medidas previas.

Tabla 4.9. Comandos Generales

A partir de aquí vamos a verificar que nuestro equipo NIR recibe las instrucciones que le vamos a enviar desde consola. A través de la interfaz de consola, de nuestra aplicación, la cual nos permite tener un control total sobre el equipo NIR. Vamos a realizar varias pruebas para corroborar que nuestro equipo realiza; mediciones, calibración, variación de parámetros, etc.

Para ello utilizaremos los distintos comandos que nos ofrece dicha consola, comprobando así que recibe órdenes a través de la comunicación serie. Esta forma de comunicación es más interesante, es una comunicación serie mediante una consola por el puerto COM 3, ya que nos ofrece mayor control sobre el equipo NIR. En las siguientes capturas vemos ejemplos de cómo nuestro NIR, interactúa con la consola de comandos, (29).

1. Resultados de la primera prueba.

En una prueba inicial, se han enviado comandos sencillos, para comprobar que la conexión se ha realizado correctamente, en la Tabla 4.10, vemos un ejemplo, sobre la utilización de algunos comandos básicos. Estos comandos nos deberían devolver, la versión del firmware y el modelo.

COMANDO	RESPUESTA	DESCRIPCIÓN
*VERsion? <CR>	SDCM3_INSION VERSION 1.0.2.051015	Versión del Firmware
*IND? <CR>	JETI_SDCM3 g9203	Modelo del equipo

Tabla 4.10. Comandos de prueba

Podemos comprobar a través de pantalla, como utilizando los comandos de la Tabla 4.10, nos devuelve por consola los resultados que esperábamos, podemos verlo en la Figura 4.31.

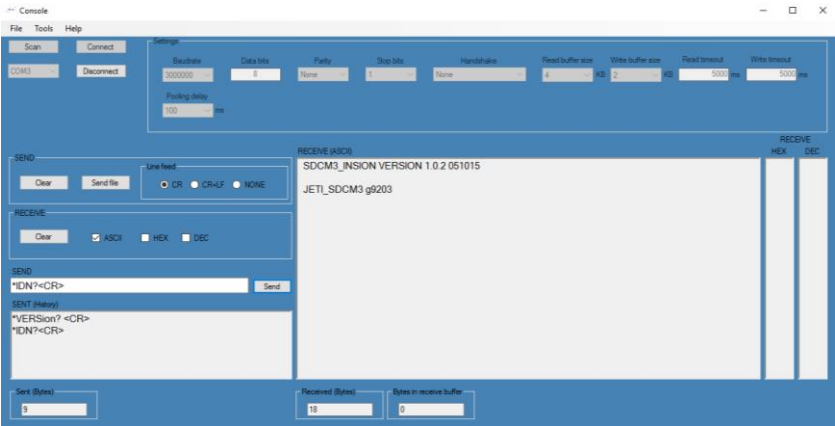


Figura 4.31. Resultado de la prueba

2. Resultados de la segunda prueba.

Del mismo modo que se ha realizado la prueba anterior se realizará una nueva prueba, pero en este caso utilizaremos el comando que se detalla en la Tabla 4.10. El cual nos debería mostrar toda la configuración del equipo NIR.

COMANDO	RESPUESTA	DESCRIPCIÓN
*PARAMeter:ALLPARA? <CR>	*PARAMeter:BAUDrate 115200 ;	Baudios (bps)
	*PARAMeter:TINT 10.00 ms	Tiempo integración
	*PARAMeter:FORMat 5	Tipo de formato de salida
	*PARAMeter:FUNCTion 2	Medida en luz, negro o referencia
	*PARAMeter:FIT0 8.430000e+02	Coeficiente 0 del polinomio de correlación
	*PARAMeter:FIT1 8.200000e+00	Coeficiente 1 del polinomio de correlación
	*PARAMeter:FIT2 0.000000e+00	Coeficiente 2 del polinomio de correlación
	*PARAMeter:FIT3 0.000000e+00	Coeficiente 3 del polinomio de correlación
	*PARAMeter:FIT4 0.000000e+00	Coeficiente 4 del polinomio de correlación
	*PARAMeter:SERNumber 1500236	Número de serie eléctrico
	*PARAMeter:SPNUMber 24086008	Número de serie del espectrómetro
	*PARAMeter:SDELay 200 ms	Retardo en ms
	*PARAMeter:SPLITTime 1000 ms	Intervalo de división
	*PARAMeter:SENSor 121 128 (G9203)	Modelo y pixeles del sensor de imagen
	*PARAMeter:PDAGain 0 (low)	Línea de array de ganancia
	*PARAMeter:OVSAMPLing 16	Sobre muestreo de ADC en bits
	*PARAMeter:PIXBINning 1	Pixel a binario
	*PARAMeter:OFFSet 25 mV	OFFSET en mV
	*PARAMeter:GAIN 1.0	Valor de Ganancia
	*PARAMeter:ADCResolution 16	Resolución ADC en bits
	*PARAMeter:ADCVoltage 2 V	Voltaje ADC en voltios
	*PARAMeter:TEMPCorr 0.00 K	Temperatura
	*PARAMeter:SPIENable 1 (enabled)	Periférico Interface serie habilitado
	*PARAMeter:SPIMODE 0	Periférico Interface Serie modo
	*PARAMeter:SPIMASter 1 (Master)	Periférico Interface Serie maestro
	*PARAMeter:SPIBRate 10000000 Hz	Periférico Interface Serie frecuencia
	*PARAMeter:FASTscan 0 ms	El ciclo del escáner en ms
	*PARAMeter:PRESCan 1	Escaneo previo
	*PARAMeter:LAMPEnable 1 (enabled)	Control de la lámpara
	*PARAMeter:LAMPPolarity 1 (high)	Control de la polaridad de la lámpara
	*PARAMeter:TRIGger 0	Modo de disparo externo
	*PARAMeter:TRSLope 0	Modo de disparo por flanco de bajada
	*PARAMeter:LDCURRENT 40 mA	Corriente del LD
	*PARAMeter:LDLIMIT 80 mA	Limitación del LD
	*PARAMeter:DIRECTion 0	Dirección del sensor

Tabla 4.11. Comando para la segunda prueba

De igual manera, podemos comprobar a través de pantalla, como utilizando los comandos de la Tabla 4.11. Nos devuelve por consola los resultados que esperábamos, podemos verlo en la Figura 4.32.

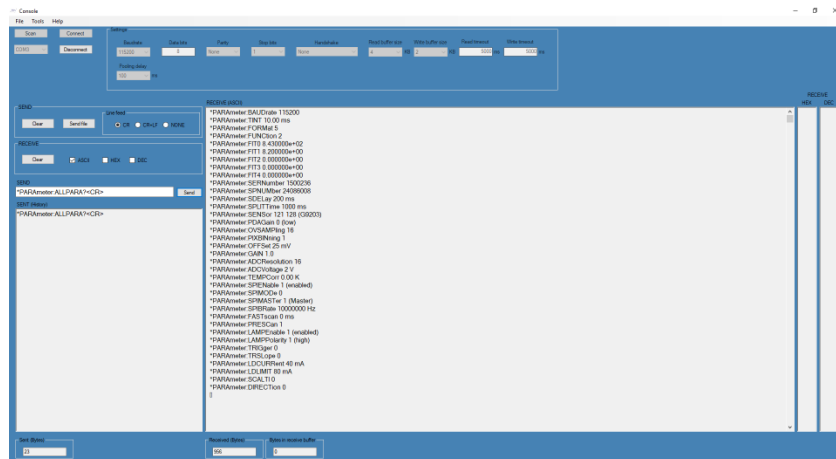


Figura 4.32. Resultado comando general

En la siguiente Figura 4.33, obtenemos los 128 valores numéricos que se corresponden al espectro de 900nm a 1700nm, con un incremento de 6.25 nm, anteriormente representado de modo gráfico en la Figura 4.30. Esta medida, está referenciada respecto a la luz blanca.

Para la obtención de los valores, hemos utilizado la siguiente instrucción; *MEASure:LIGHT 1 1 4<CR> , cuya sintaxis general es la siguiente *MEASure:LIGHT tint av format<CR> . El significado de los argumentos es el siguiente;

- Tint 1 : Tiempo de integración
- Av 1: promedio
- Format 4 : Formato de salida en ASCII

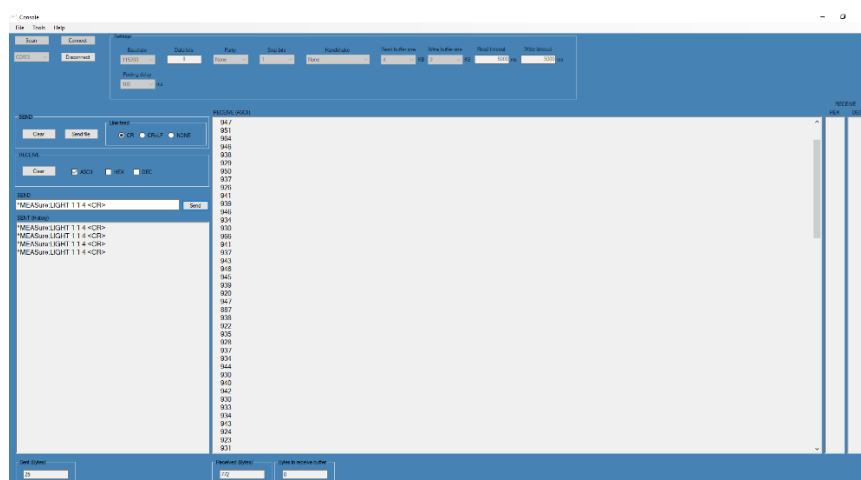


Figura 4.33. Prueba de medida

4.3.3.2 Evaluación software Arduino

Una vez seleccionada la tarjeta Arduino Mega 2560, tenemos que descargar e instalar el IDE (*Integrated Development Environment*) oficial de código abierto de su página web, es un archivo (.exe) Arduino 1.8.3 para Windows 10 de 64 Bits.



Figura 4.34. Página oficial de Arduino

Una vez instalada la interfaz gráfica de Arduino, presenta un aspecto como el que se muestra en la Figura 4.35.

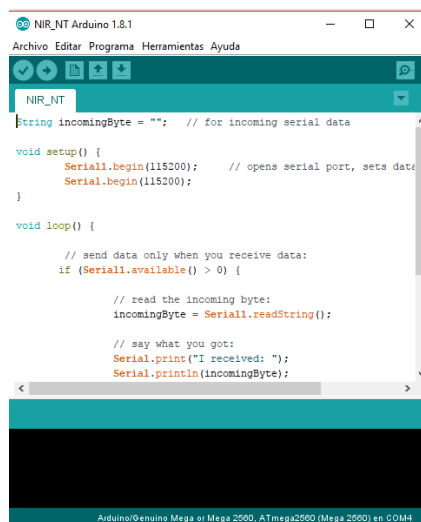


Figura 4.35. Interfaz gráfica de Arduino

En el siguiente paso vamos a conectar nuestra tarjeta con el software de Arduino. Para ello, en el menú superior, buscamos la opción herramientas y una vez en ella, seleccionamos la tarjeta Arduino/Genuino Mega o Mega 2560, tal y como se muestra en la Figura 4.36.

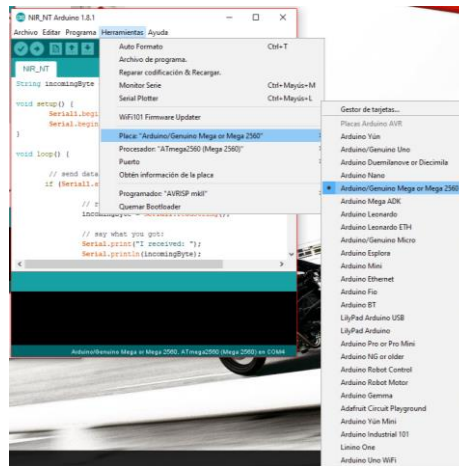


Figura 4.36. Configuración placa Mega 2560

Tras seleccionar la placa de Arduino, debemos saber a cuál de los puertos COM se ha conectado nuestra placa, a través del cable USB al PC, para ello accedemos a administrador de dispositivos, buscamos cuál de los puertos es al que se encuentra conectado y en detalles debemos de tener en la configuración del puerto los baudios a 9600bps. Después de realizar dicha comprobación en el software de Arduino y seleccionamos en el menú herramientas el puerto COM correspondiente a la conexión de la tarjeta, tal y como se muestra en la Figura 4.36.

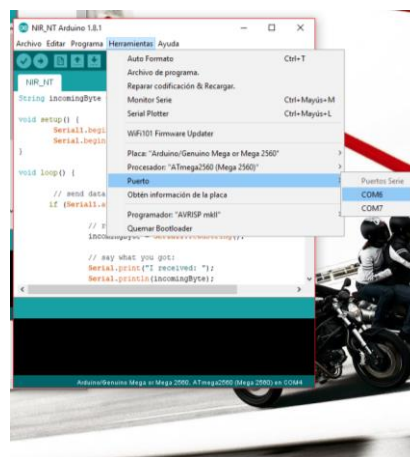


Figura 4.37. Selección del puerto COM

4.3.3.3 Evaluación software Raspberry Pi

Desde la página web oficial de Raspberry (30) .Tenemos la posibilidad de descargar diferentes imágenes de Sistemas Operativos. Estas son todas las opciones de Sistemas Operativos disponibles en la web oficial, Figura 4.38. Realizaremos un breve resumen del software existente para la tarjeta de desarrollo Raspberry.

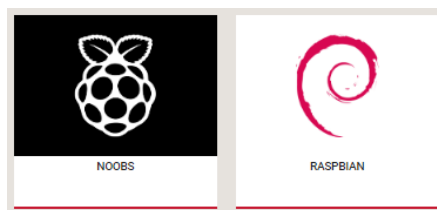


Figura 4.38. Opciones de descarga SO I

- **NOOBS** es un fácil instalador del sistema operativo que contiene Raspbian. También ofrece una selección de sistemas operativos alternativos para descargar a través de Internet e instalados.
- **NOOBS Lite** contiene el mismo instalador del sistema operativo sin Raspbian precargado. Proporciona el mismo menú de selección del sistema operativo que permite Raspbian y otras imágenes para ser descargados e instalados.
- **Raspbian** es la distribución del sistema operativo GNU/Linux oficial compatible. Se puede instalar con NOOBS o mediante la descarga directa de la imagen ISO. Raspbian contiene una gran variedad de herramientas software preinstaladas, aplicadas a la educación, programación y para su uso general. Es compatible con Python, Scratch, Sonic Pi, Java, Mathematica y otros.

La última actualización realizada sobre el entorno gráfico desarrollado por Raspbian para Raspberry PI, se denomina Raspbian PIXEL, Pi Improved Xwindows Environment, Lightweight, esta versión contiene ligeras mejoras en su interfaz gráfica respecto a versiones anteriores, tales como; mejor resolución de imágenes, ventanas mejoradas, iconos más lógicos, nuevo tipo de fuente, además, tendremos la posibilidad de desactivar las conexiones (wifi/bluetooth), programas integrados RealVNC y la primera versión de su navegador web Chromium for PI, y para el caso que nos ocupa tendremos que tener en cuenta que las imágenes comprimidas no pueden ocupar un tamaño mayor de 4 GB.

A continuación, se explica el resto de software que podemos descargar desde su página (30). En la siguiente Figura 4.39, vemos las versiones que se detallan.

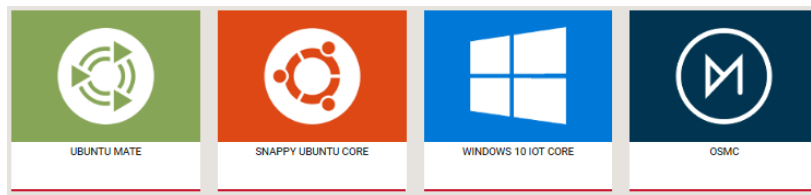


Figura 4.39. Opciones de descargas de SO II

- **Ubuntu MATE** es un sistema operativo estable diseñado específicamente para dispositivos con arquitectura ARM, en concreto para la Raspberry Pi3, es fácil de usar con un entorno de escritorio configurable.
- **Windows 10 IoT Core**, es una versión más limitada de Windows 10, ya que no contaremos con un entorno de escritorio. Ha sido desarrollada para ARMv7, arquitecturas de 32bits. Esta nueva versión de Windows 10 creada por Microsoft, para desarrollo de aplicaciones la cual pretende ser compatible con numerosos dispositivos, además incluye soporte para C#, C++, Node.js, Python y Visual Basic.
- **OSMC** (Open Source Media Center), es un sistema operativo especialmente diseñado para ser utilizado como Mediacenter, de código abierto totalmente gratuito, basado en Raspbian, una distribución de Debian para Raspberry. Incluye, KODI (una aplicación que permite acceder a contenido multimedia), servidor Samba (para acceder desde Windows como si fuese una carpeta compartida) y servidor SSH con la que podemos acceder a Raspberry y mandarle órdenes desde la línea de comandos.

Y, por último, podemos encontrarnos software utilizado en algunos casos para fines educativos como es el caso de PINET, vemos en más detalle el resto de software, Figura 4.40.

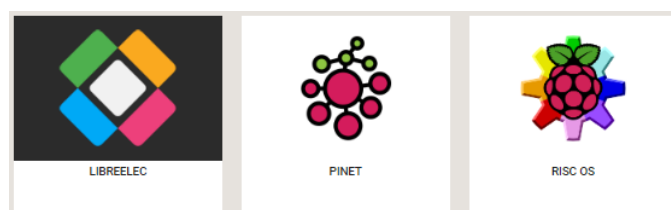


Figura 4.40. Opciones de descargas de SO III

- **LibreELEC**, es una nueva distribución que parte de OpenELEC para crear un centro multimedia, tanto con HTPC como con Raspberry PI.
- **Pinet** es un proyecto libre de código abierto, enfocado como herramienta de aprendizaje en las aulas. Con el cual los alumnos conocen el entorno de desarrollo de Raspberry PI.
- **RISC OS**, es un sistema operativo con escritorio gráfico, para Raspberry Pi, este no está basado ni en Unix, Linux o Windows. Fue desarrollado en Inglaterra para procesadores ARM.

4.3.3.4 Comparación Windows IoT Vs Raspbian

Tras el estudio realizado de los distintos sistemas operativos oficiales, anteriormente detallados, se decidió utilizar para este proyecto los dos que se consideraron más populares y con mayor posibilidad de desarrollo para la aplicación. Que son Raspbian with PIXEL y Windows 10 IoT Core.

Para la edición creada por Microsoft es necesario tener un PC con una versión de Windows, para poder instalar Windows IoT en Raspberry PI. El soporte es bastante más limitado ya que el aporte por parte de la comunidad de desarrolladores es más pobre que para Raspbian. Otro inconveniente es el lenguaje utilizado, ya que utiliza C++, y es necesario trabajar en Visual Basic, este es software bajo licencia, mientras que para Raspbian es código abierto pudiendo utilizar otros lenguajes como Python y Java.

En contraposición, una ventaja que presenta Windows IoT la encontramos en el ahorro de recursos computacionales, ya que la aplicación creada se ejecuta automáticamente cuando inicias el sistema operativo, de esta forma se obtiene el mayor rendimiento de la tarjeta Raspberry Pi, ya que es más eficiente y ligero que Raspbian. Éste al tener un entorno gráfico, consume más recursos y es menos eficaz. Como para este proyecto se requiere el uso de una aplicación exclusiva sería más ventajosa la opción de Windows IoT 10.

Finalmente, tras sopesar las dos opciones se decidió utilizar Raspbian como sistema operativo. En este proyecto no es un factor determinante el uso de recursos por parte del sistema operativo, ya que esta aplicación no requiere de gran nivel de procesamiento.

Por lo que se priorizó como factor a tener en cuenta, el lenguaje de desarrollo, ya que Raspbian ofrece la posibilidad de utilizar Java y Python, que al ser de código abierto tiene un uso más extendido, compatibilidad con un mayor número de dispositivos y a esto se le añade que podemos encontrar una comunidad de desarrolladores mucho más amplia y con más documentación.

4.3.3.5 Configuración de SO Raspbian PIXEL para Raspberry Pi

Para ello tenemos que realizar la instalación de la pantalla resistiva de 3.2 pulgadas, y la instalación de las librerías utilizadas para el desarrollo de la aplicación. Se detalla este proceso a través de los pasos realizados, para su configuración.

1. Realizar la instalación a nivel de hardware, tal y como se ha explicado en el capítulo 4.3.2.2. La pantalla es colocada en la parte superior Raspberry Pi mediante la conexión de pines GPIO, el siguiente paso es instalar las librerías de la página oficial, para ello, desde el terminal Raspbian nos descargamos el archivo de la siguiente (31) y mediante el comando `$wget`, desde el terminal de Raspbian, lo descargamos de internet.
2. Después cargamos la siguiente configuración en el Kernel, (`$sudo tar -xzf 4d-hats_4-4-34_v1.1.tar.gz -C /`), y este edita de forma automática el archivo `config.txt` para que pueda funcionar correctamente la pantalla.



Figura 4.41. Interfaz Raspbian en pantalla de 3,2”

Inicialmente se propuso utilizar de modo simultáneo el módulo de la pantalla de 3,2 pulgadas y el monitor a través del puerto HDMI. Una vez instaladas las librerías de código necesarias, se comprobó que, si usábamos el módulo, inutilizaba el monitor y viceversa. Por lo que el puerto HDMI creaba conflicto entre ambas opciones. Tras la realización de múltiples pruebas, se solucionó utilizando dos tarjetas microSD con la misma versión Raspbian PIXEL, pero cada una configurada para trabajar con el monitor HDMI o con la pantalla de 3,2 pulgadas, esto permitió poder desarrollar el código en la raspberry con el monitor y el testeo del código se realizó en la versión instalada en la pantalla de 3,2.

3. Una vez configurada la pantalla, necesitamos para programar la aplicación con el lenguaje de programación Python, mediante IDLE (Integrated Development and Learning Environment), se instaló la versión 3 de Python para Raspbian, y después las librerías que se han usado para el programa diseñado.
4. Para descargar Python se realizó desde terminal, con la siguiente instrucción, (sudo apt-get install python3), y para instalar las librerías, también se realiza desde la terminal de Raspbian, para la librería serie es, (sudo apt-get install python-serial) y para la librería time, ya viene por defecto instalada en el paquete de Python.



Figura 4.42. Aplicación Python 3, en Raspbian

Gracias a poder utilizar desde la propia Raspberry Pi el software de desarrollo, nos ofrece la ventaja de poder realizar las pruebas de la aplicación en la propia Raspberry sin tener que utilizar equipos de desarrollo externos.

4.3.4 Desarrollo Software

Una vez que hemos conectado nuestra placa con nuestro equipo NIR, vamos a proceder a realizar el código que nos permita verificar que existe comunicación entre ambos.

Se pretende diseñar un programa que emule la consola de Specview. Por lo que vamos a programar un código, que permita enviar los comandos que reconoce el equipo NIR a través de la consola de comandos a través de las tarjetas de desarrollo.

4.3.4.1 Diagrama de flujo

Para la programación de la lógica de control de nuestro equipo, necesitamos implementar un código, con el cual se pueda conseguir comunicación. Por lo que debe existir un emisor y un receptor, el papel de emisor en nuestro caso lo realizaremos a través de las tarjetas de desarrollo, tanto Arduino como Raspberry. El funcionamiento es equivalente para ambas, aunque varíen el modo de realizarlo. Por lo que, nuestra tarjeta, sea cual sea, realizaran un chequeo inicial, en el cual se comprobará si existe comunicación seria con nuestro equipo NIR. Si la respuesta es afirmativa, se enviará el comando petición de datos (Tx), si el equipo NIR recibe dicha petición, relazará la función solicitada. Finalmente enviará los resultados obtenidos (Rx), los cuales serán interpretados por nuestra tarjeta Arduino o Raspberry y representados para su análisis.

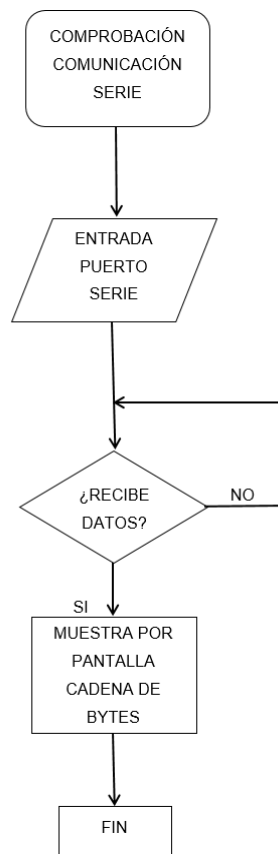


Figura 4.43. Diagrama de Flujo

4.3.4.2 Desarrollo software Arduino

Para verificar que se comunica el NIR con el Arduino, necesitamos que el monitor de Arduino se encuentre en modo escucha. Este programa nos va a permitir tener un control absoluto sobre el espectrómetro (podremos cargar valores, realizar medidas, controlar intervalos de integración, etc.)

Para ello se va a desarrollar el programa con el IDE de Arduino que ya tenemos Instalado y configurado. Lo primero, conectamos el Arduino mediante USB, seleccionamos como periférico de desarrollo la tarjeta Arduino Mega 2560, realizamos un flasheo de la memoria por si contiene algún programa cargado anteriormente.

Podemos observar el diagrama de flujo del código implementado, a través del cual comprobamos si el equipo NIR ha recibido datos (bytes) por el puerto RX, en nuestro código aparece un mensaje por pantalla indicado que se ha recibido y del mismo modo también se muestra por pantalla la cadena de bytes devueltos.

La tarjeta Mega 2560 es totalmente capaz de realizar una comunicación entre el equipo NIR y la propia tarjeta Arduino, pero se requiere de un equipo que sea bastante más complejo a nivel de comunicaciones (WIFI, Bluetooth y ethernet) que nos brinde mayor posibilidad de desarrollo, para poder realizar más pruebas, para elegir la mejor solución para este proyecto.

Debido a que es una tarjeta gestionada por un Microcontrolador con una frecuencia de reloj baja, y con pocos Kb de RAM, tiene bastantes limitaciones a la hora de representar gráficas en una pantalla, o hacer alguna operación de procesado más pesada.

También al sobre coste que tiene la posibilidad de dotarlo de módulos de WIFI, Bluetooth, ethernet, que al final el precio llega a superar otras soluciones de ordenador de placa simple, que cuentan con un microprocesador.

Por esos motivos, se ha descartado seguir desarrollando esta opción como solución final para integrarlo en el equipo MicroNIR, la siguiente opción posible es el uso de una Raspberry Pi, ya que esta es un ordenador completo de reducidas dimensiones y de bajo coste, cuenta con un Microprocesador de cuatro núcleos, 1GB de Ram y todas las posibilidades de comunicaciones necesarias para poder desarrollar un producto final de buena calidad y con múltiples posibilidades de comunicación, más potencia de procesado, y tiene la posibilidad de integrar una pantalla de 3,2 pulgadas para poder visualizar el espectro que vaya generando el equipo NIR.

Un ejemplo de la prueba realizada es una interacción por el puerto TX con el NIR, mediante la consola de comandos del Arduino, le enviamos el comando “ *MEASure:LIGHT 1 1 4 ” para que realice una medida (sin necesidad de incluir <CR>, ya que el código Arduino incluye el retorno de carro en la línea), y a través de la pantalla del monitor de Arduino nos indica el puerto serie por el que ha recibido y la cadena de bytes recibidos, del mismo modo, se pueden hacer modificaciones en el NIR, resetear los valores, indicar los valores de configuración actual, etc. Todos estos comandos están explicados en el capítulo 4.3.3.1. En la Figura 4.44, vemos el ejemplo anteriormente explicado, como recibe datos correctamente.

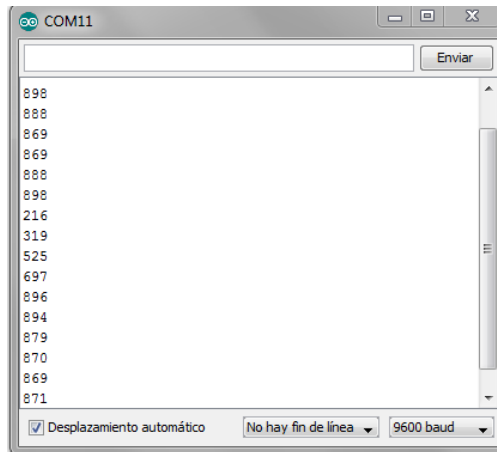


Figura 4.44 Arduino realizando una medida, con equipo NIR

4.3.4.3 Desarrollo software Raspberry PI

Tras la realización del código, y utilizando el programa minicom, hemos comprobado que existe comunicación entre nuestra Raspberry y el equipo NIR, a través del puerto TX/RX de nuestro equipo NIR y del puerto ttyAMA0 de la Raspberry. La única limitación con la que nos hemos encontrado es la imposibilidad de realizar una interfaz gráfica, que a través de Raspberry nos permita controlar desde su display el equipo NIR. Esto es debido a la utilización de Phyton como lenguaje de programación ya que no está desarrollado especialmente, para el diseño de aplicaciones gráficas.

Por lo que como solución se propone desarrollar un nuevo código implementado en JAVA, éste nos permite crear una aplicación con entorno gráfico de forma nativa. Pero tiene el inconveniente de que el IDE de Java (NetBeans), usa un alto nivel de recursos por lo que no se puede desarrollar el código en la propia Raspberry. Tenemos que utilizar una herramienta de desarrollo externa, instalada en un ordenador. En este caso hemos instalado como IDE a Netbeans.

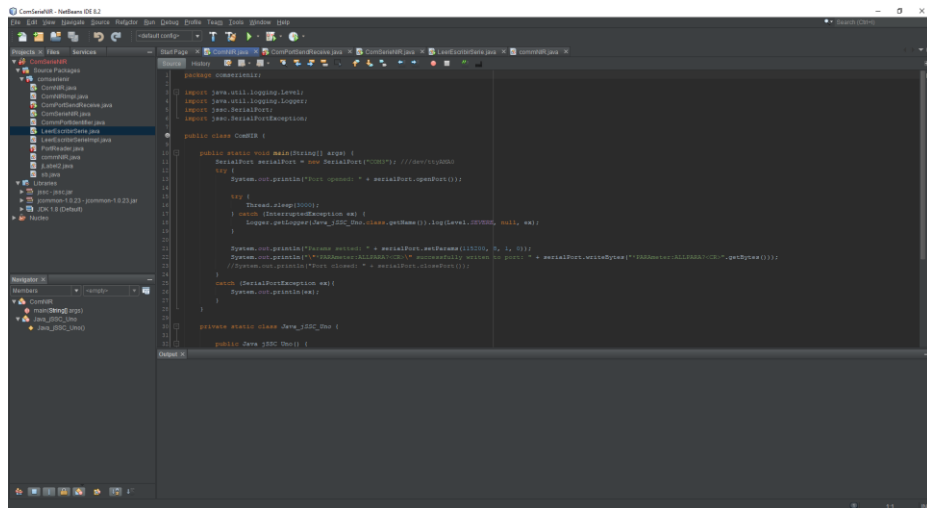


Figura 4.45. Interfaz gráfica Netbeans

Las librerías utilizadas para realizar la comunicación serie son, jSSC-2.8.0 (Java Simple Serial Connector) y jcommon 1.0.23, y para representar la gráfica en la interface, la librería JFreeChart 1.0.19.

En este caso queremos seguir con la misma filosofía que en el código de Python, pero adaptarla a Java, la comunicación se realiza por el puerto serie de la Raspberry tyAMA0 y comunica al puerto TX/RX del equipo NIR, para poder enviarle comandos, para tener el control del equipo NIR.

También, se propone crear una interface gráfica para la aplicación, teniendo en consideración, que la pantalla es de reducidas dimensiones y que el uso principal va a ser para a un operario, o el jefe de planta de la almazara, que no necesita la inclusión de multitud de botones, ni opciones de calibración, ni medidas de referencia, sólo necesitan obtener la gráfica de una forma sencilla

Por lo que debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tener un diseño simple y limpio
- Estar habilitado el control mediante panel táctil
- Incluir botones de ganancia (Alta o Baja) y botón de medida
- Representar el espectro tras realizar la medida

Para el diseño se plantearon varias versiones hasta que se llegó a la que cumplía los objetivos que se requieren. Las siguientes imágenes muestran la evolución, hasta llegar a la versión final.

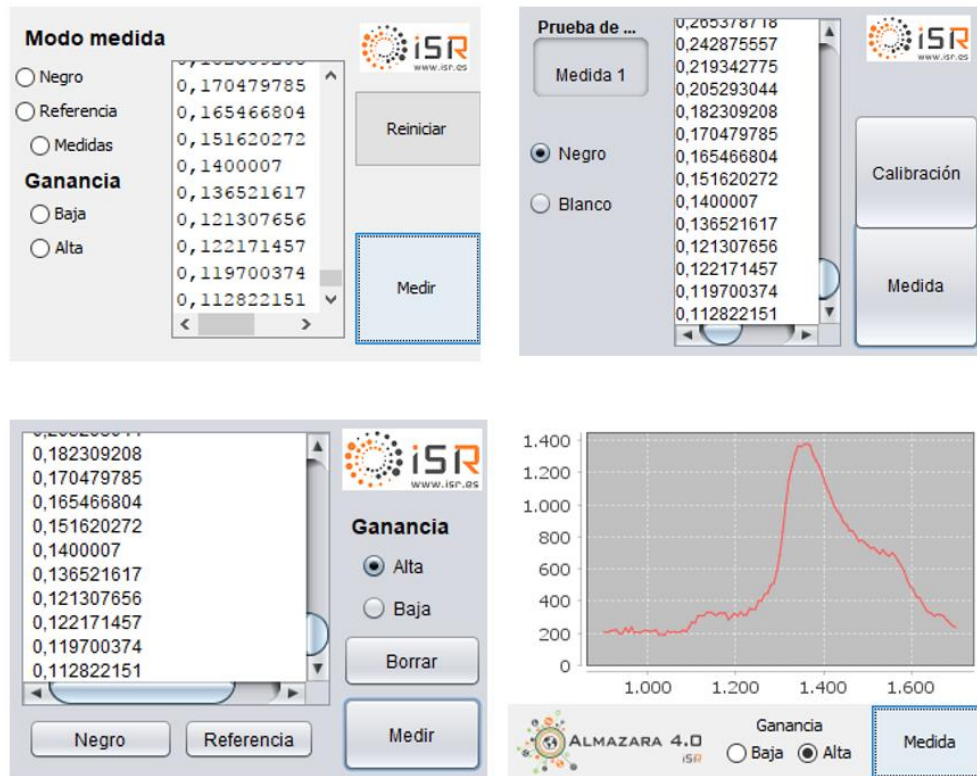


Figura 4.46. Evolución de la interfaz del programa realizado

Como resultado final, podemos observar en Figura 4.47. Interfaz gráfica, versión final muestra por pantalla de la raspberry Pi el código funcionando con la última versión de diseño que se realizó.



Figura 4.47. Interfaz gráfica, versión final

5 RESULTADOS

5.1 Equipo NIR compacto de bajo coste

Nuestro equipo NIR, final es el que se puede observar en Figura 5.1, vemos en detalle en los puntos siguientes, las características obtenidas al finalizar dicho trabajo.



Figura 5.1. Equipo NIR fabricado

➤ Equipo de bajo coste

La principal reducción del coste de este equipo ha sido gracias a la selección del hardware correcto, que en nuestro caso ha sido Raspberry PI, ya que la utilización de éste nos permitía a su vez la integración de una interfaz gráfica, y un “ordenador” de reducidas dimensiones. Con lo cual, teníamos tres requisitos básicos; rendimiento, dimensión y coste.

Del mismo modo la elección del equipo NIR, ha sido determinante para conseguir un equipo que no excediese las expectativas económicas iniciales, ya que el precio final del producto es considerablemente inferior a las alternativas comerciales.

➤ Medición instantánea y continuada en una fase de la cadena de producción.

Hemos conseguido en nuestro proyecto la integración de la tecnología NIR, que nos permite realizar medidas en tiempo real con dispositivos que nos permiten por sus

dimensiones la integración en la cadena de producción, consiguiendo así poder obtener medidas durante el propio proceso de elaboración del aceite de oliva. Podemos ver en la siguiente Figura 5.3, como se incluye el equipo en la máquina de procesamiento de aceite, en este caso.

- Dotarlo de conectividad para poder controlarlo, gestionar y almacenar los datos obtenidos.

La utilización de tarjetas de desarrollo como, en este caso Raspberry PI. Nos ofrece numerosas posibilidades de comunicaciones, tales como; wifi, ethernet, bluetooth, USB y GSM. Opciones que nos permitirá en un futuro añadir prestaciones a nuestro equipo. Para el almacenamiento de los datos, se ha equipado con una tarjeta microSD de 64Gb, ampliable según las necesidades de las medidas realizadas.

- Diseño robusto, compacto e integrando todos los elementos necesarios en un único dispositivo incluida la interfaz gráfica.

Tal y como se puede apreciar en la Figura 5.3, se ha integrado en un espacio compacto. El acabado del diseño se ha realizado con acero inoxidable, muy resistente a la corrosión propia que puede experimentar dicho equipo al encontrarse ubicado generalmente en una alanzara. Para que sea más compacto se ha diseñado como una forma de prisma rectangular, los conectores son los del estándar para fibra óptica SMA. El diseño se ha llevado a cabo, gracias a la colaboración del departamento de mecánica de la empresa ISR.

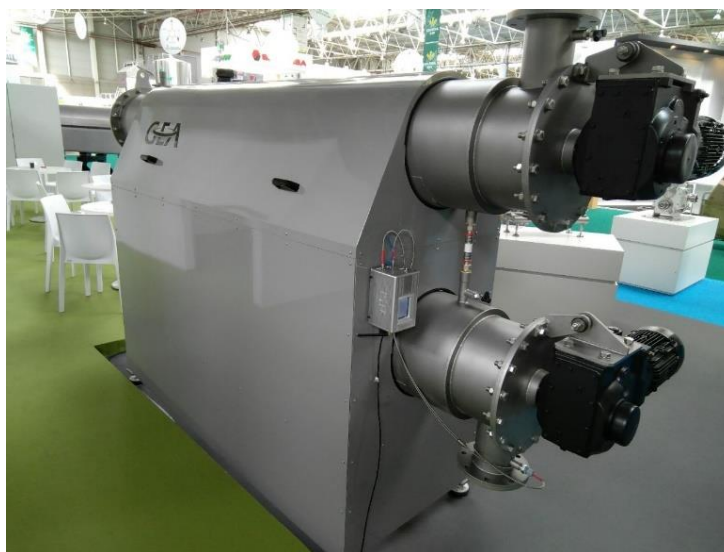


Figura 5.2. Equipo integrado

- Permite control en tiempo real.

Como consecuencia directa de las mediciones instantáneas de nuestro equipo como puede verse en la Figura 5.3 y la representación de las mismas, nos permitirá un control en tiempo real sobre la propia cadena de producción. Ya que podrían realizarse modificaciones en el caso que no obtuvieses los resultados apropiados.

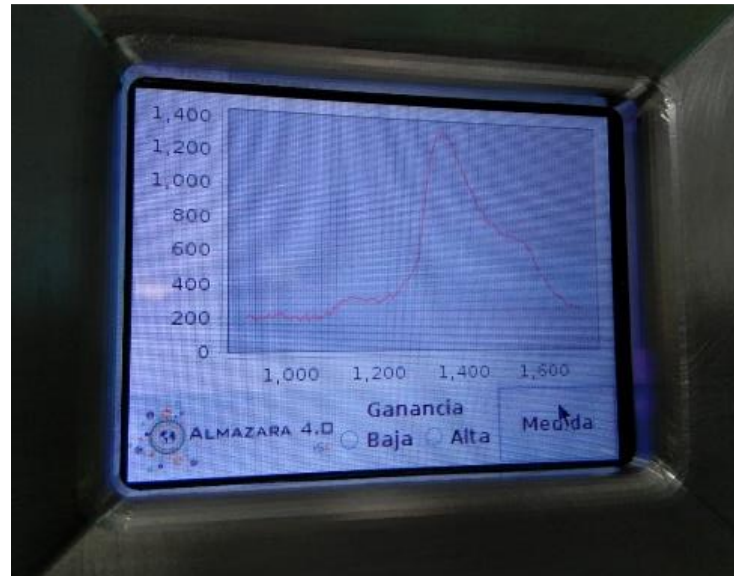


Figura 5.3. Equipo NIR Low Cost

- Evitar costes de procesamiento, no es necesario el uso de componentes químicos ni orgánicos.

El ahorro de costes es uno de los factores más relevantes, ya que, desde la propia implantación del mismo, se está disminuyendo costes de producción. No sería necesario externalizar los análisis del aceite y orujo, tampoco requiere de personal especializado, para realizar el análisis de las muestras.

Del mismo modo se ahorra tiempo de reacción y resolución de incidencias dentro de la propia cadena de producción. Como resultado de este trabajo se ha conseguido un equipo de análisis sencillo, fiable, rápido y con menor coste de análisis.

5.2 Caso de uso: determinación de contenido graso sobre muestras de pasta de aceituna

En este capítulo se quiere evaluar la posibilidad de determinar el contenido graso en muestras de aceite a partir de medidas realizadas con varios equipos. Estas medidas determinaran el grado de precisión de nuestro equipo, para ello en este apartado se aborda el experimento en los siguientes puntos.

5.2.1 Preparación de muestras y procedimiento

Se han adquirido muestras de orujo y aceite de oliva, obtenidas en una Almazara de la provincia de Jaén. El orujo previamente ha sido tratado, por lo que hemos conseguido obtener de él pasta seca sin contenido graso. A partir de dicha pasta realizaremos las mediciones necesarias, variando el valor graso (aceite de oliva), para poder comprobar si los resultados medidos se ajustan a los valores esperados.

El objeto de estudio en nuestro caso es el rendimiento graso, por lo que se van a realizar las mismas medidas con diferentes equipos y así podremos determinar el índice de correlación de nuestro equipo microNIR Insion.

Para poder realizar las medidas, inicialmente debemos preparar las muestras, el primer paso es pesar todas las probetas sin contenido en su interior, ya que tendremos que tenerlo en cuenta cuando obtengamos los resultados. Para la preparación de las muestras hemos ido incrementando 0,5 ml de aceite de oliva, en la base de la pasta de orujo.

En la siguiente Tabla 5.1, se pueden ver el peso que tienen cada una de las diez muestras, separado por el peso de frasco, orujo y la suma de los dos. En la primera muestra, no se le ha añadido ninguna cantidad de aceite, pero a partir de la segunda muestra hasta la décima, se ha ido incrementado 0,5 ml de aceite de oliva.

MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceite (ml)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	1,7
Frasco + Orujo (g)	46,9	52,97	53,11	53,09	53,2	52,93	52,89	53,07	52,93	53,04
Frasco (g)	21,08	20,98	21,17	20,97	21,08	20,97	20,95	21,02	21,04	21,05
Orujo (g)	25,82	31,99	31,94	32,12	32,12	31,96	31,94	32,05	31,89	31,99

Tabla 5.1 Muestras a medir

Para cada una de las muestras se han realizado tres medidas a diferentes niveles de altura. La medida “A”, corresponde con la parte superior de la Probeta, la medida “B” corresponde con la altura media y la medida “C” con el fondo de la probeta.

Puntos de Medición	Superior	A
	Medio	B
	Fondo	C

Tabla 5.2. Profundidad de medida

Por lo que finalmente se han realizado tres medidas por cada diez muestras, por lo que hemos obtenido treinta medidas. Además, para poder descartar algún error, se ha realizado en cada punto (A, B y C), tres medidas por lo que hemos realizado un total de noventa mediciones por cada equipo NIR.



Figura 5.4. Sonda de medida en probeta

A continuación, se enumera la instrumentación utilizada, para las medidas realizadas en el laboratorio. Los equipos NIR utilizados en el Laboratorio para realizar la comparación son los modelos:

- Equipos NIR:
 - Avantes AvaSpec-NIR256-1 con rango espectral de 1000 a 2500nm.
 - Arcoptix FT-NIR Rocket, con rango espectral de 900 a 2600nm.
 - Insion NIR NT, con rango espectral de 900 a 1700nm.

- Fuente de Alimentación
 - Avantes Avaligth Hal-S con rango de espectro eficaz de 360 a 2500nm.
- Sondas utilizadas
 - Ocean Optics BIF200-VIS-NIR con rango espectral de 400 a 2500 nm.

En la Figura 5.5, se muestra a la izquierda el Micro NIR de Insion, en el centro el equipo NIR de Avantes, y la derecha el equipo NIR de Arcoptix. Como se puede observar a simple vista, el Micro NIR, que hemos Integrado en nuestro equipo final, es de muy reducidas dimensiones, por lo que sí que cumple el requisito principal de las dimensiones.

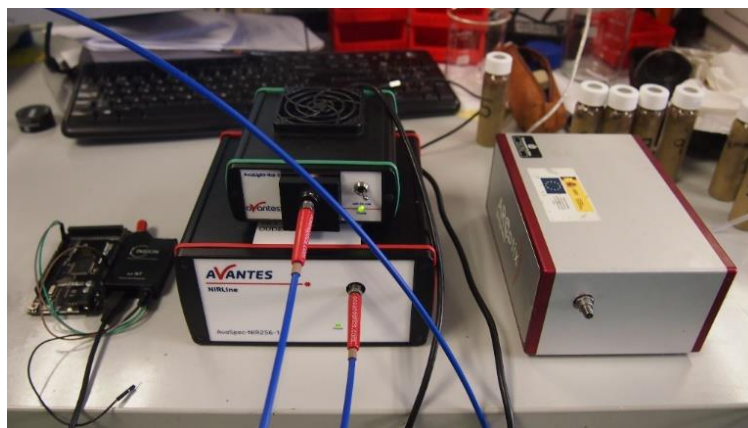


Figura 5.5. Equipo completo de medida

Estos son los equipos con los que se han realizado las medidas de las mismas muestras para poder comparar los resultados y poder evaluar, si realmente el Micro NIR puede competir en calidad con los otros equipos NIR Industriales, y si nos serviría para realizar medidas correctas en el proceso de producción del aceite de oliva.

5.2.2 Realización de medidas

Para realizar las mediciones, en todos los equipos hay que realizar el mismo de procedimiento de medida, siguiendo los siguientes pasos:

- 1 Encender el equipo NIR.
- 2 Encender el ordenador.
- 3 Conexión sondas al NIR, para referenciar medidas.

3.1 Medidas referenciadas a Negro.

- Realizar medida con fuente de luz apagada.

3.2 Medidas Referenciadas a blanco.

- Realizar medida con fuente de luz encendida.
- Sonda en reflexión, en contacto con un Teflón blanco.

4 Medición sobre muestra.

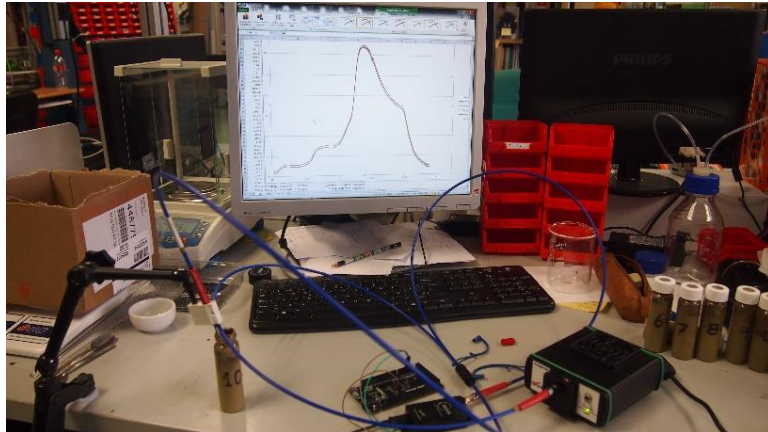


Figura 5.6. Setup de medida NIR Insion

5.2.3 Resultados

Como se ha podido comprobar, el equipo micro NIR de Insion, es totalmente eficaz para realizar las medidas instalado en el proceso de producción, ya que los datos obtenidos, muestra que hay diferencias significativas según se ha variado la cantidad de aceite, y también se han podido cruzar los datos con los otros equipos NIR industriales, para verificar que las medidas son correctas y acordes a las esperadas.

En la Figura 5.7. Resultado NIR, en absorbancia Se obtiene una curva característica del aceite de oliva, de los resultados de medida de la muestra 10, midiendo en absorbancia.

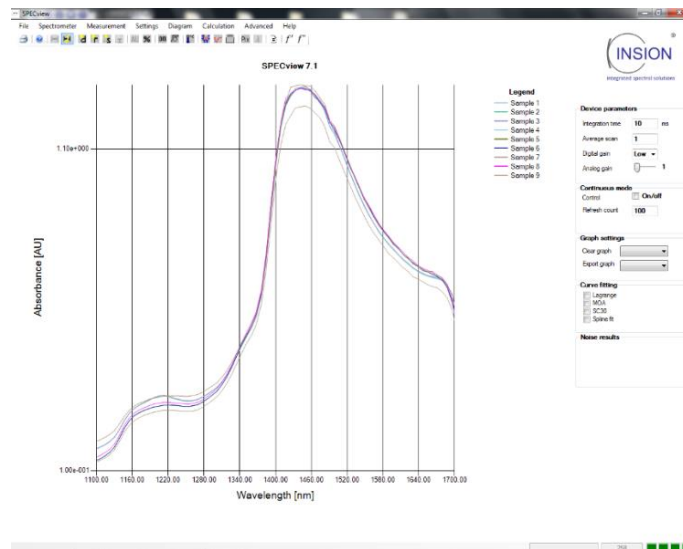


Figura 5.7. Resultado NIR, en absorbancia

Las curvas obtenidas a partir de las medidas realizadas, en los tres equipos son muy semejantes, tenemos que tener en cuenta que la gráfica para nuestro equipo INSION se encuentra en Absorbancia. Podemos ver en la gráfica, que nuestras curvas son las opuestas al resto de los equipos. La conversión de medidas se realiza utilizando la ecuación;

$$A = \log \frac{1}{T} = \log \frac{P_o}{P} = abc \quad (12)$$

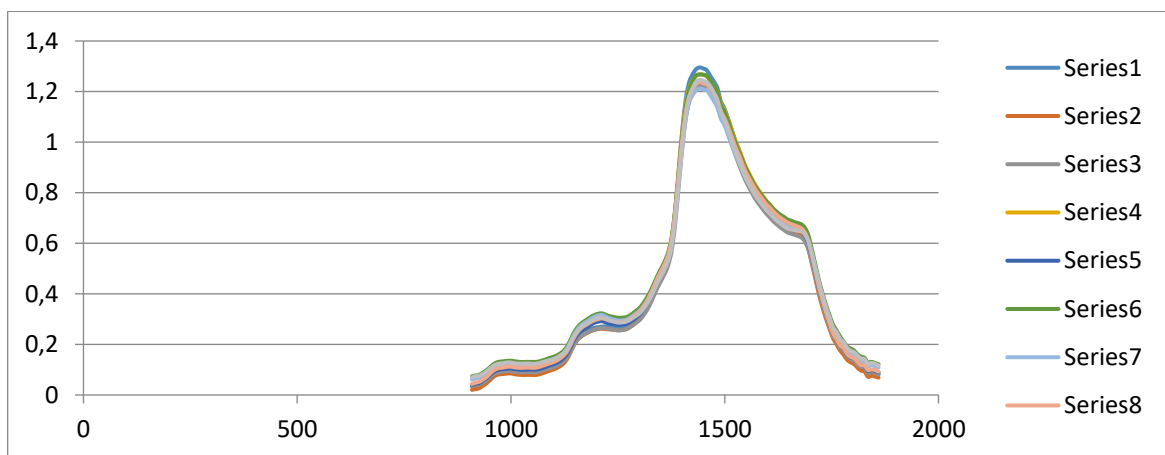


Figura 5.8. Equipo InSION, en absorbancia

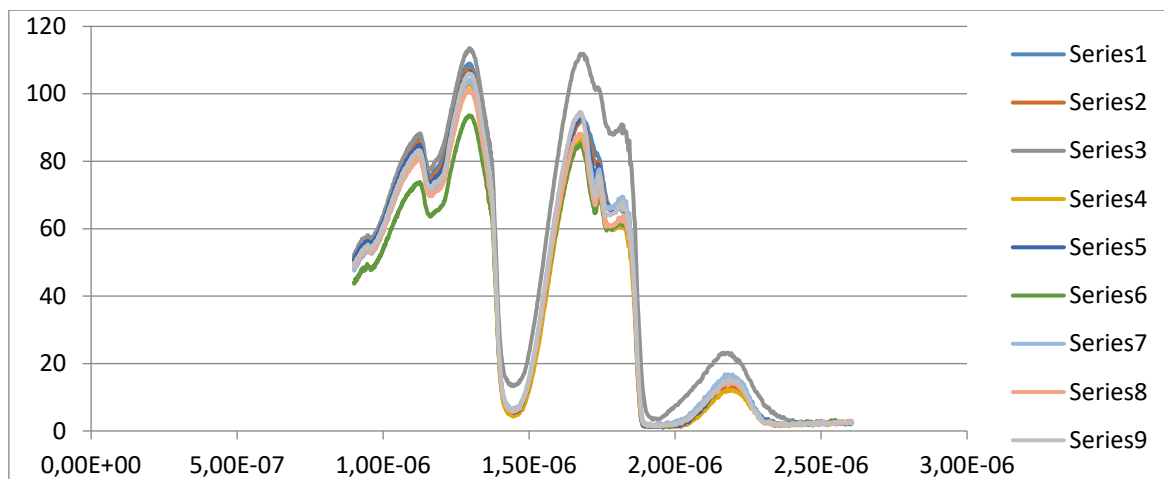


Figura 5.9. Equipo ARCOPIX, en transmitancia

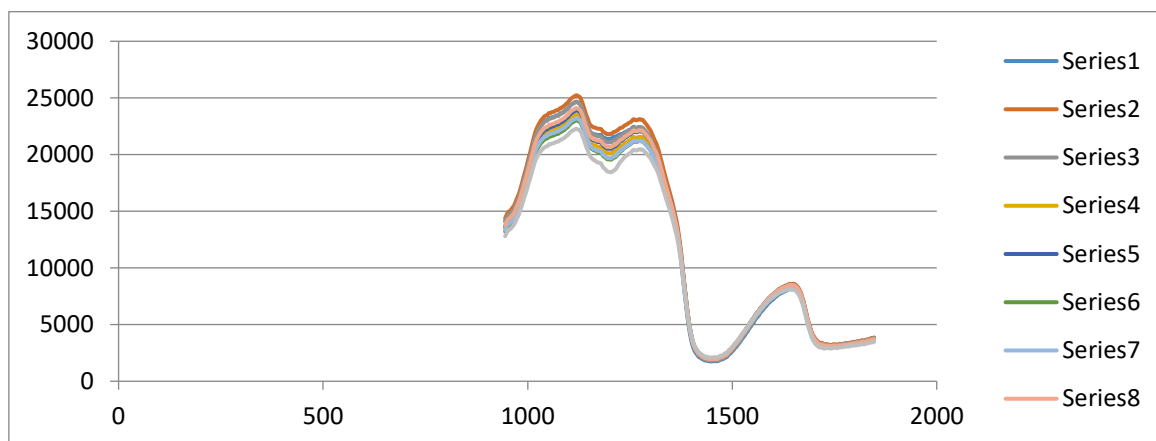


Figura 5.10. Equipo Avantes, en transmitancia

Se han realizado pruebas, para medir el contenido graso en muestras de orujo, sobre materia húmeda. Las medidas se han realizado en reflectancia, conocido el rango de concentración de contenido graso comprendido entre los valores mínimos y máximo del 2.8% y el 8.5% respectivamente. Se realizaron las medidas en idénticas condiciones.

En la Figura 5.11, se obtienen siete curvas, las curvas con una tonalidad más amarillenta se corresponden con las medidas de las que se obtienen niveles más bajos de concentración, al contrario, ocurre con las curvas en las que se aprecia en una tonalidad más oscura (mayor concentración).

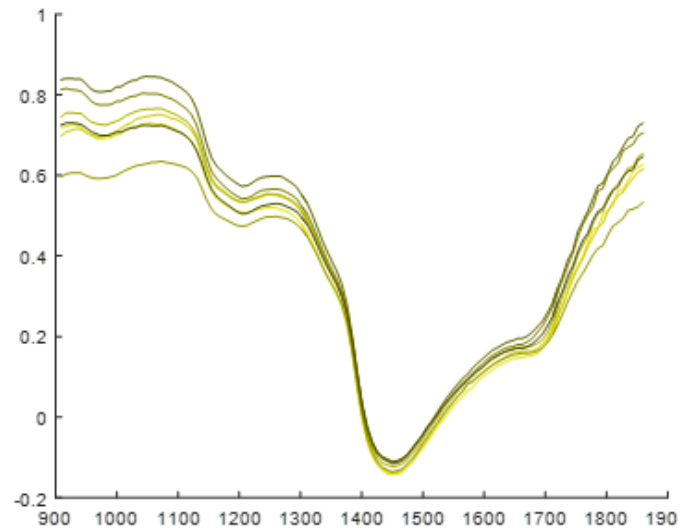


Figura 5.11. Resultado NIR, tras siete mediciones

En la Figura 5.12, se muestran los parámetros correlación y el ajuste lineal RMSE (error cuadrático medio cometido), para las distintas longitudes de onda. Podemos observar que la banda espectral ubicada en torno a los 1409 nanómetros posee una correlación elevada (0.85) y un error promedio de 0.86%.

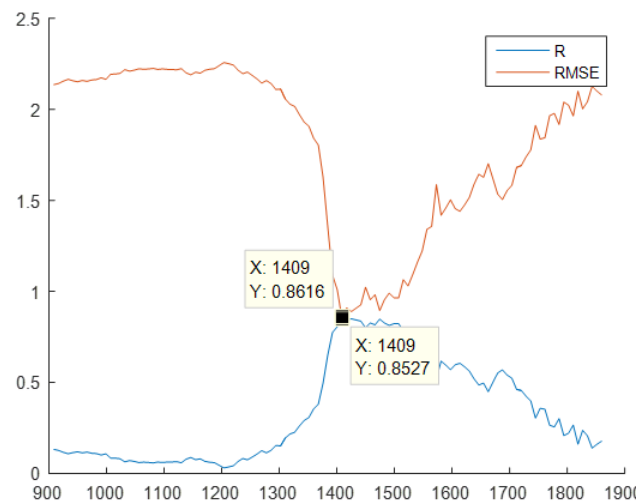


Figura 5.12. Parámetros de correlación

6 CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones generales y líneas futuras

El estudio que se ha llevado a cabo en este trabajo ha estado relacionado fundamentalmente con la aplicación de tecnología sensorial no invasiva y con la presentación de la información capturada, para posteriormente caracterizarla.

Con esto se pretende mejorar el proceso de producción, agilizando el procesado a través de un sistema inocuo para el fruto y para el medio ambiente. Obteniendo prácticamente en tiempo real el rendimiento, para que dentro de éste mismo procesado pueda corregirse algún factor que permite obtener un mayor nivel de calidad a la misma que cantidad, en el producto final.

Recientemente se ha valorado la inclusión de visión por computador, unido a la técnica NIR, para realizar una preselección inicial de los frutos a su llegada a la Almazara, así diferenciar los frutos de más o menos calidad (1). Finalmente, conocer en tiempo real durante el proceso las características del producto final ya que es interesante para poder regularlo con el fin de alcanzar el objetivo de elaboración propuesto.

En base a una de las ventajas que se persiguen con este equipo es la búsqueda de resultados a tiempo real, mediante el análisis del espectro de absorción en la zona de infrarrojo cercano.

Mediante la implementación de metodologías de pre-procesado y análisis del espectro de absorción en el infrarrojo cercano, se ha tratado de inferir características del aceite relacionadas con su calidad y valor nutricional.

Este equipo, se ha diseñado y fabricado deja abiertas líneas futuras de investigación y desarrollo. A nivel de gestión y procesado de datos, ya que se puede trabajar con datos en la nube, control remoto, etc. Tanto el lenguaje de programación como la tarjeta que utiliza permite la configuración del sistema en función de las necesidades, por lo que podría utilizarse en otros campos, fuera de la industria agroalimentaria. Como por ejemplo en el sector farmacéutico, en industrias petrolíferas, o en cualquier otro sector.

Del mismo modo, se pueden aplicar técnicas de procesado de imagen e inteligencia artificial que podrían darle un valor añadido, a través de la precisión y calidad.

7 ANEXOS

7.1 Anexo A: NIR Insion test de funcionamiento

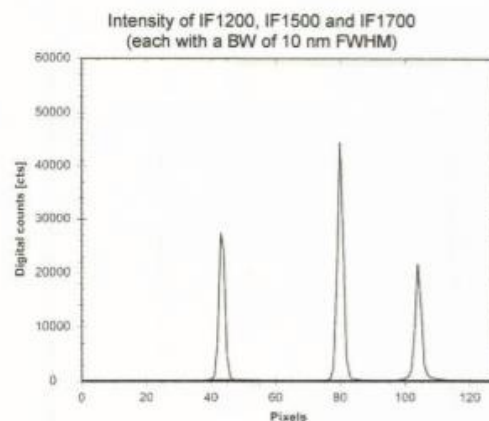
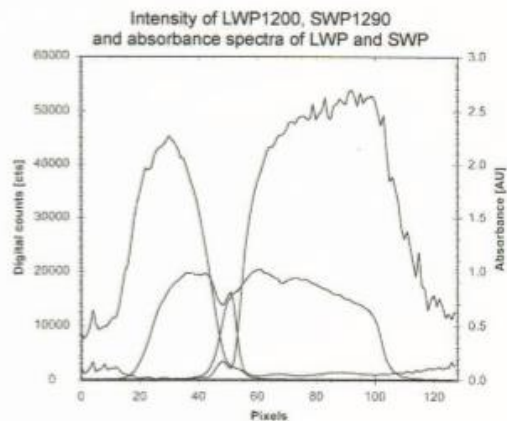
INSION GmbH

1/18/2016 2:25 PM



Spectrometer data sheet P.167.PR.0001

Serial number: P.224/086008 Article number: P.224.BK.0080
 Detector: G8160 Type: System
 Connector: SMA Buchse Fiber length: 0 cm



(Test equipment is based on a white light reference, tungsten halogen lamp at 3300 K, in combination with Si-Filter, straylight attenuation measured with a LWP1200 and SWP1290. Interference filters are specified at 10 nm FWHM.)

2nd order wavelength to pixel calibration based on all used interference filters
 Wavelength = $ax^2 + bx + c$ with x = pixel

a = -0.000550	b = 8.3533	c = 836.9686		
First pixel: 31	(1096.43 nm)	First SC-30 pixel: 18		
Last pixel: 104	(1699.83 nm)	Last SC-30 pixel: 120		
Wavelength	[nm]	1200 nm	1500 nm	1700 nm
Integration time	[ms]	40	40	40
Power	[nW]	20.2	22.1	52.7
FWHM (Monochromator)	[nm]	16.0 (13.2)	16.6 (12.8)	17.7 (15.0)
Sensitivity	[cts/(nW * ms)]	78.9	107.8	23.2
Stray light attenuation (with LWP1200) [dB]:			22.66	
Stray light attenuation (with SWP1290) [dB]:			26.96	
Final inspection result:	PASS			

Proof wavelength [nm]:	1299	Measured wavelength deviation [nm]: 1.66
Defective pixel positions:		
Noise with 2ms [rms]:	8.56	(min/max): 5.73 / 11.56
Noise with 30ms [rms]:	8.63	(min/max): 5.88 / 12.17
Ripple with 30ms [rms]:	14.61	(min/max): 11.64 / 17.36

Test bench no: Q 0894 (1000 905)
 Test section: PO
 Next calibration: 01/2017

Examiner:

Milde

7.2 Anexo B: Instalación Software Specview

En este anexo se detalla el proceso de instalación del software de fábrica de InSION de nuestro equipo NIR. Este software lo ha suministrado en nuestro caso el proveedor de InSION, Photon Lines, se podría descargar de su página oficial.

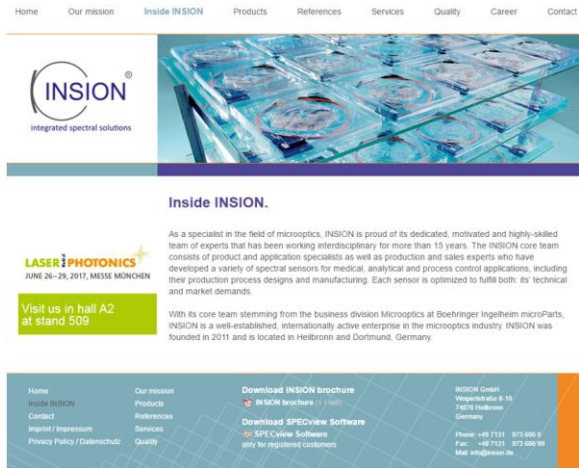


Figura 7.1. Página web InSION para descarga de Software SPECview 7.1.21

En la siguiente Figura 7.2. Aplicación Software SPECview 7.1.21, podemos ver en la carpeta SPECview 7.1.21, que contiene todos los archivos, para su ejecución (librerías .dll y ejecutable .exe) para que funcione sin necesidad de instalación, por lo que es una aplicación portable.

The image shows a screenshot of a Windows file explorer window. The address bar at the top shows the path '> SPECview 7.1.21'. The main area of the window displays a list of files and folders. The files are listed in a table with columns for 'Nombre', 'Fecha de modifica...', 'Tipo', and 'Tamaño'. The files listed are: Gauss.dll, GDC.dll, Interop.ADOX.dll, Interop.Office.dll, Interop.VBIDE.dll, Microsoft.VisualBasic.PowerPacks.Vs.dll, SPECview 7.1, SPECview 7.1.exe, and ZedGraph.dll. The file 'SPECview 7.1' is highlighted in blue. The file 'SPECview 7.1.exe' is also highlighted in blue.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
Gauss.dll	01/08/2014 9:14	Extensión de la apl...	84 KB
GDC.dll	30/01/2014 9:29	Extensión de la apl...	10 KB
Interop.ADOX.dll	19/01/2016 13:52	Extensión de la apl...	23 KB
Interop.Office.dll	19/01/2016 13:52	Extensión de la apl...	140 KB
Interop.VBIDE.dll	19/01/2016 13:52	Extensión de la apl...	43 KB
Microsoft.VisualBasic.PowerPacks.Vs.dll	26/07/2012 19:41	Extensión de la apl...	264 KB
SPECview 7.1	19/01/2016 13:52	Aplicación	1.637 KB
SPECview 7.1.exe	18/11/2014 11:34	XML Configuratio...	2 KB
ZedGraph.dll	10/01/2014 17:21	Extensión de la apl...	291 KB

Figura 7.2. Aplicación Software SPECview 7.1.21

Una condición necesaria es que se deben tener instalados los drivers para que pueda reconocer el Software del espectrómetro. Como requisitos adicionales, tener instalado en el ordenador la versión de software Microsoft Visual C++ 2012 Redistributable

y .NET 4.0 o superior. La conexión se realiza mediante el puerto MicroUSB del espectrómetro al puerto USB del ordenador. Veremos el proceso de instalación, paso a paso;

- Instalación de aplicaciones necesarias.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
dotNetFx40_Full_x86_x64	30/10/2015 13:51	Aplicación	49,268 KB
vcredist_x64_2012	09/12/2015 10:27	Aplicación	7,019 KB
vcredist_x86_2012	09/12/2015 10:27	Aplicación	6,401 KB

Figura 7.3. Software necesario para NIR Insion 1.7

- Instalación de drivers

Debemos instalar los drivers necesarios para poder establecer la comunicación ente nuestro micro USB y el del ordenador.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
amd64	02/02/2017 9:53	Carpeta de archivos	
i386	02/02/2017 9:53	Carpeta de archivos	
Static	02/02/2017 9:53	Carpeta de archivos	
DPIInst	02/03/2015 12:02	Aplicación	525 KB
dpinst	03/11/2010 13:43	Documento XML	1 KB
DPIInst64	02/03/2015 12:02	Aplicación	1.016 KB
ftd2xx	26/08/2013 9:49	C/C++ Header	38 KB
ftdibus	26/08/2013 9:49	Catálogo de segur...	13 KB
ftdibus	26/08/2013 9:49	Información sobre...	6 KB
ftdiport	26/08/2013 9:49	Catálogo de segur...	12 KB
ftdiport	26/08/2013 9:49	Información sobre...	6 KB
install	29/04/2011 8:50	Archivo por lotes ...	1 KB

Figura 7.4. Drivers para NIR Insion 1.7

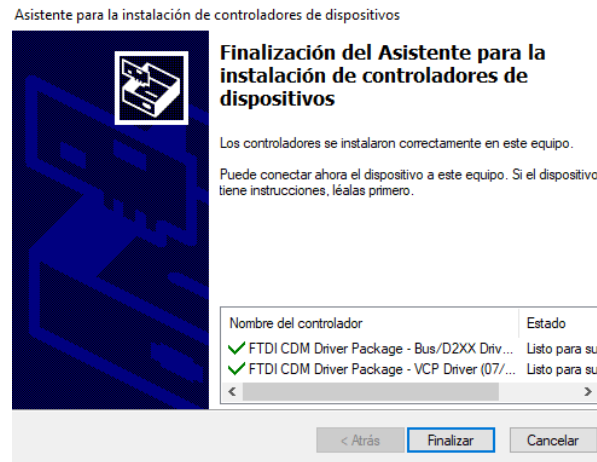


Figura 7.5. Instalación de la aplicación

- Tras la instalación, debemos comprobar nuestro sistema operativo reconoce el microNIR conectado mediante el puerto USB Serial Port (COM3).

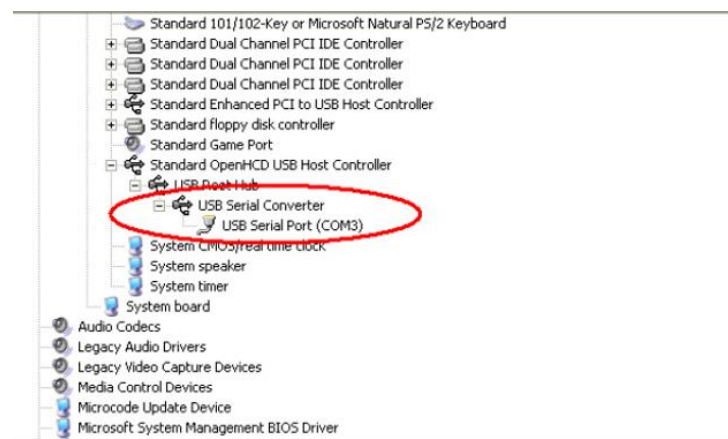


Figura 7.6. Comprobación, reconocimiento de software

- Del mismo modo deberemos comprobar, que reconoce el Software el dispositivo mediante el puerto USB.

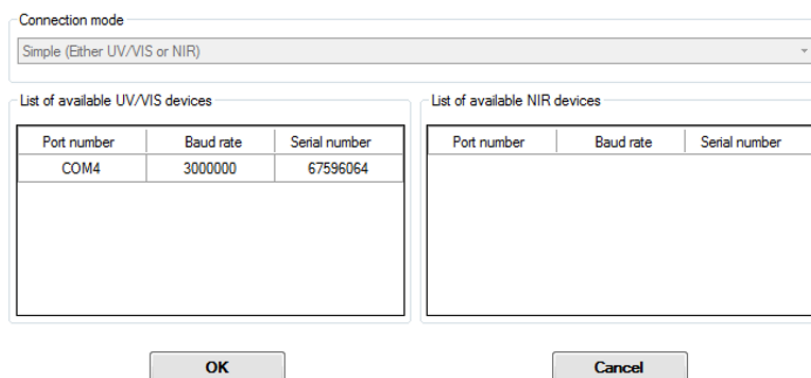


Figura 7.7. Aplicación SpecView, puerto COM

Se puede observar en la figura, que reconoce el equipo, ya que como indica está conectado por el puerto USB COM 4, a una tasa de bits de 3000000 bps, y el número de serie es 67596064. Por lo tanto, podremos empezar a utilizar el equipo microNIR, con el software de fábrica.

En la Figura 7.8, podemos ver la interfaz de usuario, es bastante sencilla e intuitiva. En la parte superior izquierda tenemos el menú, con el que tenemos acceso rápido para conectar y desconectar el equipo, calibrar para realizar medidas, etc.

En la parte central de la ventana, se visualizarán el espectro como resultado de las mediciones. En la parte derecha podremos configurar las opciones de ventana, en este menú podremos configurar, parámetros como; ganancia, tiempo de integración, eliminar gráficas, etc. En la zona inferior de la pantalla, indica el estado en el que se encuentra el espectrómetro.

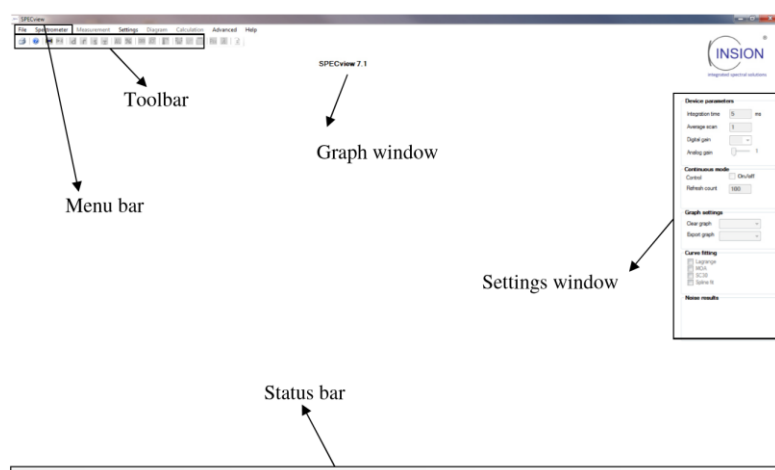


Figura 7.8. Interfaz gráfica SpecView

7.3 Anexo C: Instalación Sistema Operativo Rapsbian.

Para la evaluación de los sistemas operativos, se han instalado para este proyecto las imágenes de Windows IoT y Raspbian. Para poder evaluar ambos sistemas operativos.

Primero debemos realizar la descarga de la última versión, en nuestro caso se ha descargado de la página oficial (32), Raspbian Jessie With Pixel, para la versión Kernel 4.4.

Hemos utilizado esta versión ya que es la que nos permite utilizar la pantalla de 3,2 pulgadas, a través de su interfaz y además Raspbian Jessie LITE, sólo se puede usar mediante un terminal de Linux.

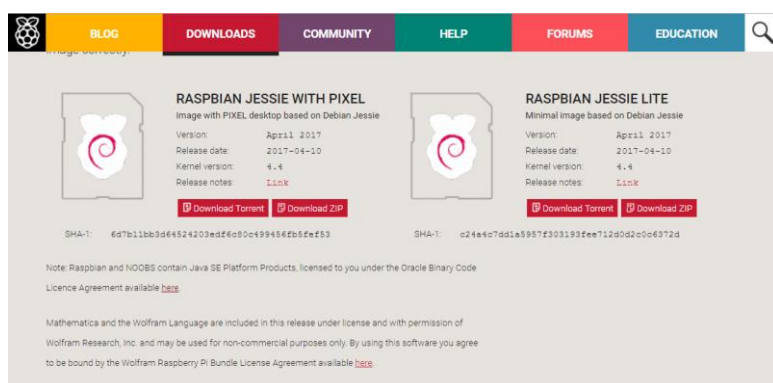


Figura 7.9. Página oficial Raspberry PI

Para la instalación necesitamos una tarjeta SD, con una memoria de almacenamiento de al menos 4GB, en nuestro caso usaremos una tarjeta Micro SD Samsung EVO 32 GB de clase 10.

Tendremos que formatear dicha tarjeta desde nuestro ordenador, en nuestro caso se ha utilizado el programa, “SD Card Formatter 4.0”. Esto nos permite montar la imagen del SO en nuestra tarjeta SD, para montar la imagen hemos utilizado “Win32 Diskmanager”, como podemos ver en la siguiente Figura 7.10 .

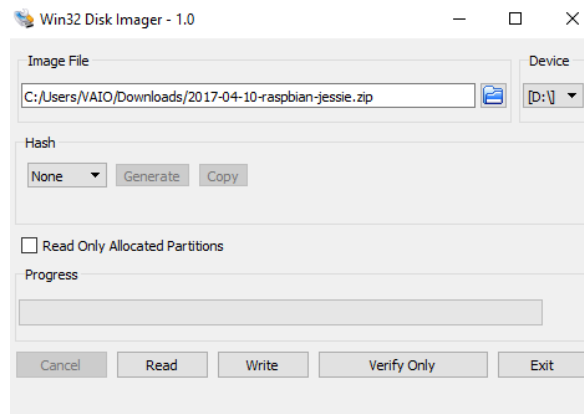


Figura 7.10. Win32 Diskmanager

Para montar dicha imagen, buscamos la imagen descargada Raspbian Jessie, seleccionamos la tarjeta donde se va a instalar y por último pulsamos sobre la opción escribir. Una vez terminado el proceso, ya tenemos la imagen de Raspbian en la tarjeta. Por último, tendremos que insertarla en el slot Micro SD de la Raspberry PI, conectarla al monitor por HDMI, del mismo modo conectamos el teclado, el ratón por USB. Y lo alimentamos a una tensión de 5V y un amperaje de 2 A. Una vez cargado por completo el sistema operativo Raspbian PIXEL, aparece el escritorio de ventanas, como se puede observar en la siguiente.

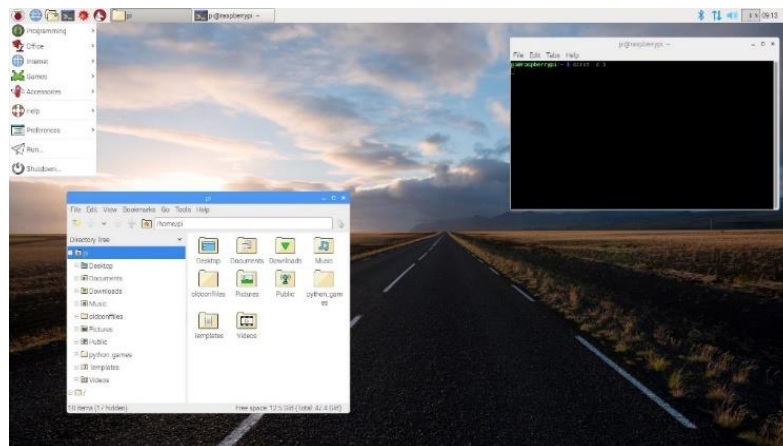


Figura 7.11. Resultado final instalación Raspbian Jessi

7.4 Anexo D: Instalación Sistema Operativo Windows IoT Core

Ahora vamos a instalar la versión de Microsoft, Windows 10 IoT Core, Para ello nos descargamos la última versión de la página oficial, (33). Vamos a utilizar otra tarjeta Micro Sd Samsung de 32 GB de clase 10, la formateamos con el programa “SD Card Formatter 4.0”

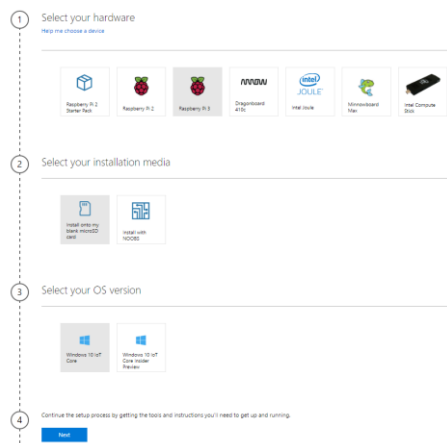


Figura 7.12 Página oficial de descarga Windows IoT

Debemos descargarnos la versión diseñada para la Raspberry Pi 3, una vez descargada, instalamos el archivo ejecutable de Windows 10 IoT Core Dashboard, con la configuración de Raspberry Pi 3, para instalar en una Micro SD y la versión de Windows 10 IoT Core.

Una vez ejecutada la aplicación, en el panel izquierdo seleccionamos las siguientes especificaciones para configurar un nuevo dispositivo:

- 1- En la opción de “Tipo de dispositivo”, debemos seleccionar Raspberry Pi 2 & 3.
- 2- Elegimos el sistema operativo con Windows 10 IoT Core (15063).
- 3- Indicamos la tarjeta donde se hace la instalación de la imagen, debemos seleccionar del desplegable, la unidad D: 29Gb [SD Card], ya que nuestra tarjeta se encuentra en dicha unidad.
- 4- El dispositivo recibe el nombre de miniwinpc por defecto.
- 5- Tras realizar todos los pasos indicados, aceptamos los términos de la licencia, y ya podemos descargarlo e instalarlo.

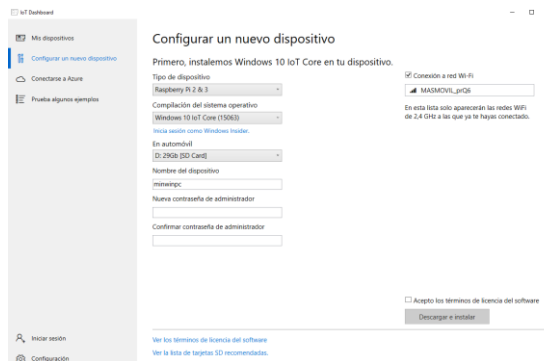


Figura 7.13. Proceso de instalación en Raspberry PI 3

Una vez iniciado y configurada la red del sistema operativo, desde el programa de PC, que se llama IoT Dashboard. Debemos comprobar que se reconoce la tarjeta Raspberry Pi 3, con la IP 192.168.1.111. Es importante tener en cuenta que las credenciales por defecto son “Administrator” y “p@ssw0rd”.

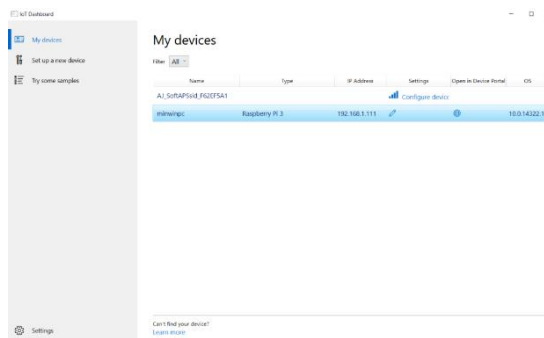


Figura 7.14. Reconocimiento de IoT Dashboard a Raspberry

Una vez que hemos realizado la instalación, podemos ver el resultado final, en la siguiente Figura 7.16, como nuestro equipo nos muestra una interfaz accediendo a través de la conexión SSH. En dicha interfaz podremos realizar la configuración de la tarjeta, instalar aplicaciones, actualizaciones, etc. Y en la Figura 7.15, vemos la interfaz desde monitor de Raspbian por HDMI.



Figura 7.15. Interfaz gráfica Windows IoT, desde monitor integrado

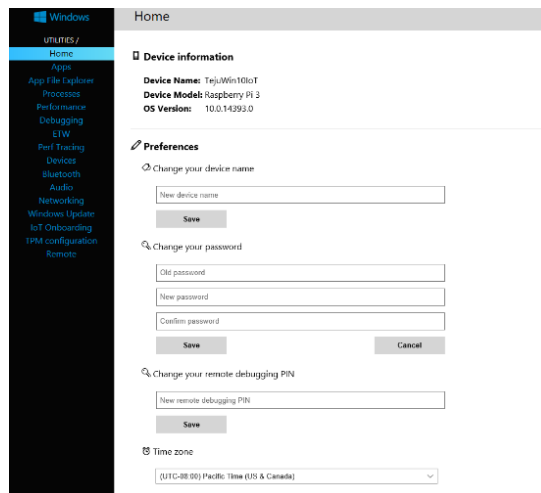


Figura 7.16. Interfaz gráfica Windows IoT, desde PC

Esta versión de Windows 10 IoT, no tiene un entorno de escritorio con ventanas, como si ocurre con Raspbian PIXEL, está enfocado a programar la aplicación de forma externa y meterla en memoria, para que se genere en autoarranque, tiene la ventaja de ser más ligero, y de dedicación exclusiva a una aplicación. Para el desarrollo de aplicaciones es necesario tener instalado el IDE de Microsoft, Visual Studio, Figura 7.17. Software necesario para desarrollo en Windows IoT el cual necesita tener licencia.



Figura 7.17. Software necesario para desarrollo en Windows IoT

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Gila, Dr.Diego Manuel Martínez. *TO THE AUTOMATIC MONITORING AND CONTROL OF THE VIRGIN OLIVE OIL PRODUCTION PROCESS*. Jaén : s.n., 2016.
2. REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) No 1348/2013 DE LA COMISIÓN EUROPEA. 2013.
3. REGLAMENTO (CE) No 1513/2001 DEL CONSEJO. 2011.
4. Nielsen, S. Suzanne. Food Analysis Laboratory Manual. *Food Analysis Laboratory Manual*. s.l. : Springer , 2017.
5. Josep-Nathan, Pedro. *Resonancia magnética nuclear de hidrogeno-1 y de carbono-13*. American States : s.n., 1982.
6. Herschel, Willian. Investigation of the powers of the prismatic colours to heat and illuminate objects. *Investigation of the powers of the prismatic colours to heat and illuminate objects*. 1800, pág. 255.
7. W. Abney, E. R. Festing. On the influence of the atomic grouping in the molecules of organic bodies on their absorption. s.l. : Philosophical Transaction of the Royal Society, 1981, pág. 887.
8. *Near-infrared spectroscopy: I. Spectral identification and analytical* . Kaye., W. 1954. *Sprectochimia* .
9. G. S. Birth, K. H. Norris. An instrument using light transmittance for non-destructive . 1958, pág. 592.
10. D. A.Skoog, F.J.Holler, T.A. Nieman. *Principios de análisis instrumental* . s.l. : 5ªed.,McGraw-Hill, 2001.
11. Ciurczack., W. *Basic principles of Near-Infrared Spectroscopy*. En *Handbook of Near Infrared Spectroscopy Analysis*. 2008.
12. P. Kubelka, E. Munk. *Ein beitrag zur optik der farbanstriche*. . 1931.
13. Ben-Gera, K. H. Norris. Direct spectrophotometric determination of fat and moisture in meat products. s.l. : j. Food, 1964, págs. 7,240.
14. G.S.Birth, K. H Norris. An Instrument using light trasmittance for non destructive measurent of fruit maturity. s.l. : Food Technol, 1958, pág. 592.
15. R.Frankhuizen. NIR analysis of diar products. En *Handbook of Near-Infrared analysis*. s.l. : Taylos and Francis Group, 2008.
16. S. Macho, M. S. Larrechi. . *Near-infrared spectroscopy and multivariate calibration*. 2002.
17. M. Blanco, S. MasPOCH, I. Villarroja, X. Peralta, J. M. González, J. Torres. Determination of pshico-chemical parameters for bitumens using near-infrared spectroscopy. 2001, pág. 434.

18. E. Cleve, E. Bach, E. Schollmeyer. Using chemometric methods and NIR spectrophotometry in the textile industry. 2000, pág. 420.
19. B. R. Stallard, M. J. Garcia, S. Kaushik. Near-IR reflectance spectroscopy for the determination of motor oil contamination in sandy loam. 1996, pág. 50.
20. S. P. Rempel, H. H. Mantsch. Biomedical applications of near-infrared spectroscopy: . 1999, pág. 44.
21. M. Blanco, M. Alcalà, J. Planells, R. Mulero. Quality control of cosmetic mixtures by NIR spectroscopy . s.l. : Anal. Bional.Chem, 2007, págs. 389,1577.
22. sanitarios, Agencia Española de medicamentos y productos. <https://www.aemps.gob.es/>. [En línea]
23. Agency, European Medicines. <http://www.ema.europa.eu/ema/>. [En línea]
24. M. Blanco, J. Coello, H. Iturriaga, S. MasPOCH, C. de la Pezuela. Near-infrared spectroscopy in the pharmaceutical industry. 1998.
25. W. H. A. M. van den Broek, E. P. P. A. Derks, E. W. van de Ven, D. Wienke, P. Plastic identification by remote sensing spectroscopiv NIR imaging using kernel partial least squares (KPLS). 1996.
26. Insion, Integrated Spectral Solutions. Technical Manual SDCM3 Hardware description. 2015.
27. Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>. [En línea]
28. PI, Raspberry. Raspberry PI Compute Module Datasheet. 2016.
29. Insion, Integrated spectral solutions. Technical Manual SDCM3 Software description. 2015.
30. <https://www.raspberrypi.org/downloads/>. [En línea]
31. http://www.4dsystems.com.au/downloads/4DPi/All/4d-hats_4-4-34_v1.1.tar.gz. [En línea]
32. <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>. [En línea]
33. <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/iot>. [En línea]