

# DESARROLLO DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE COMPUESTOS GASEOSOS MEDIANTE ESPECTROMETRÍA ÓPTICA DE PLASMA INDUCIDO POR DESCARGA CORONA “PLASMA NOSE”

Proyecto Final Integrador

Octubre - 2019

Autores:

- FERRARA, Leonardo O.

- PUNTORIERO, Luis M.

Tutor:

- Dr. RINALDI, Carlos A.

Co-Tutor:

- Dr. Ing. VOROBIOFF, Juan

Profesor:

- Ing. ROMEO, Marcelo E.



**UNSAM**

UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

Escuela de Ciencia y Tecnología  
Ingeniería Electrónica

## Resumen

En el presente proyecto se desarrolló un sistema de detección de compuestos gaseosos mediante *Espectrometría Óptica de Plasma Inducido por Descarga Corona*.

La primera etapa comprendió el desarrollo de un software dedicado para la aplicación requerida por usuarios de espectrometría de la empresa Argentum Texne emplazada en la Fundación Argentina de Nanotecnología.

Según lo requerido por la empresa, el software solicitado posee una interfaz amigable, específica y con posibilidad de adquirir datos del espectrómetro para su posterior proceso y análisis, y el control de flujo de los gases de muestra mediante un microcontrolador. El mismo se basó en bibliotecas y plantillas proporcionadas por el fabricante del espectrómetro empleado, marca Ocean Optics®.

Posteriormente, se ampliaron las prestaciones del software a la lectura de sensores y control de actuadores para la inyección de la muestra.

Finalmente, se realizaron mediciones de control de calidad de mieles, para discriminar variedades y posibles adulteraciones. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados mediante el software Orange 3® (data mining).



## Contenido

<b>1. Planificación del proyecto</b> .....	<b>4</b>
1.1 Project Charter .....	4
1.2 WBS .....	6
1.3 Diagrama de Gantt .....	9
1.4 Activity on Node (AON) .....	10
1.5 Función de los integrantes del proyecto durante su desarrollo .....	11
1.6 Análisis de riesgos y mitigación .....	11
1.7 Proceso de cierre.....	12
1.8 Costos.....	12
1.9 Cálculo VAN Y TIR .....	13
<b>2. Introducción</b> .....	<b>13</b>
2.1 Descripción general.....	13
2.2 Fundamento teórico.....	13
2.3 Instrumentación .....	14
2.4 Funcionamiento .....	14
<b>3. Software</b> .....	<b>16</b>
3.1 Diagrama de flujo .....	16
3.2 Interfaz gráfica .....	17
3.2.1 Área gráfica .....	18
3.2.2 Información de Espectrómetro .....	18
3.2.3 Buscador de Picos.....	19
3.2.4 Condiciones experimentales .....	19
3.2.5 Controles.....	20
3.2.6 Registro de eventos.....	23
<b>4. Hardware</b> .....	<b>23</b>
4.1 Circuito neumático .....	24
4.1.1 Descripción del circuito neumático.....	25
4.2 Circuito completo (Neumático-óptico-Eléctrico/Electrónico) .....	28
4.2.1 Descripción del circuito óptico-Eléctrico/Electrónico .....	29
<b>5. Ensayo</b> .....	<b>33</b>
5.1 Protocolo de ensayo.....	33
5.2 Mediciones .....	34
5.2.1 Discriminación de mieles de diferente origen.....	34
5.2.2 Discriminación de miel pura y adulteraciones .....	36
5.3 Análisis de datos.....	37
5.3.1 Descripción del método PCA.....	38
5.3.2 Configuración de Software Orange3® .....	39
5.3.3 Resultados .....	40
<b>6. Conclusiones</b> .....	<b>43</b>
<b>7. Anexo: Código</b> .....	<b>44</b>
7.1 Autodetección de puerto COM para Arduino .....	44
7.1.1 Autodetección e inicialización de puerto al que se conecta el uC (C#) .....	44
7.1.2 Definición de la función AutodetectArduinoPort().....	44
7.2 Botón “Inicio” .....	46
7.3 Botón de “Guardar”.....	47
7.4 Botón “Muestra” .....	48
7.5 Comunicación con Arduino .....	49
7.6 Código Arduino:.....	51
<b>8. Agradecimientos</b> .....	<b>54</b>
<b>9. Fuentes</b> .....	<b>54</b>

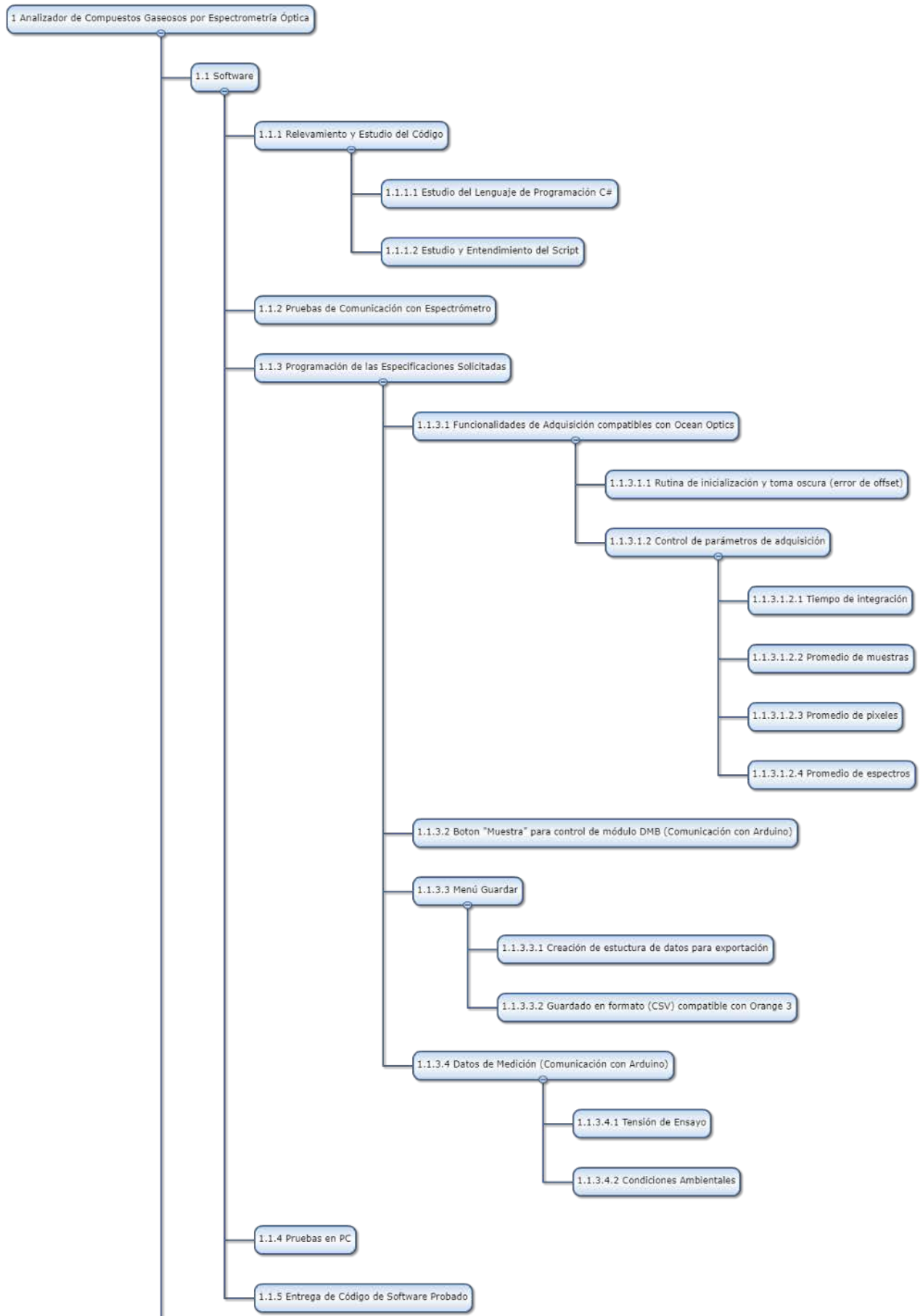
## 1. Planificación del proyecto

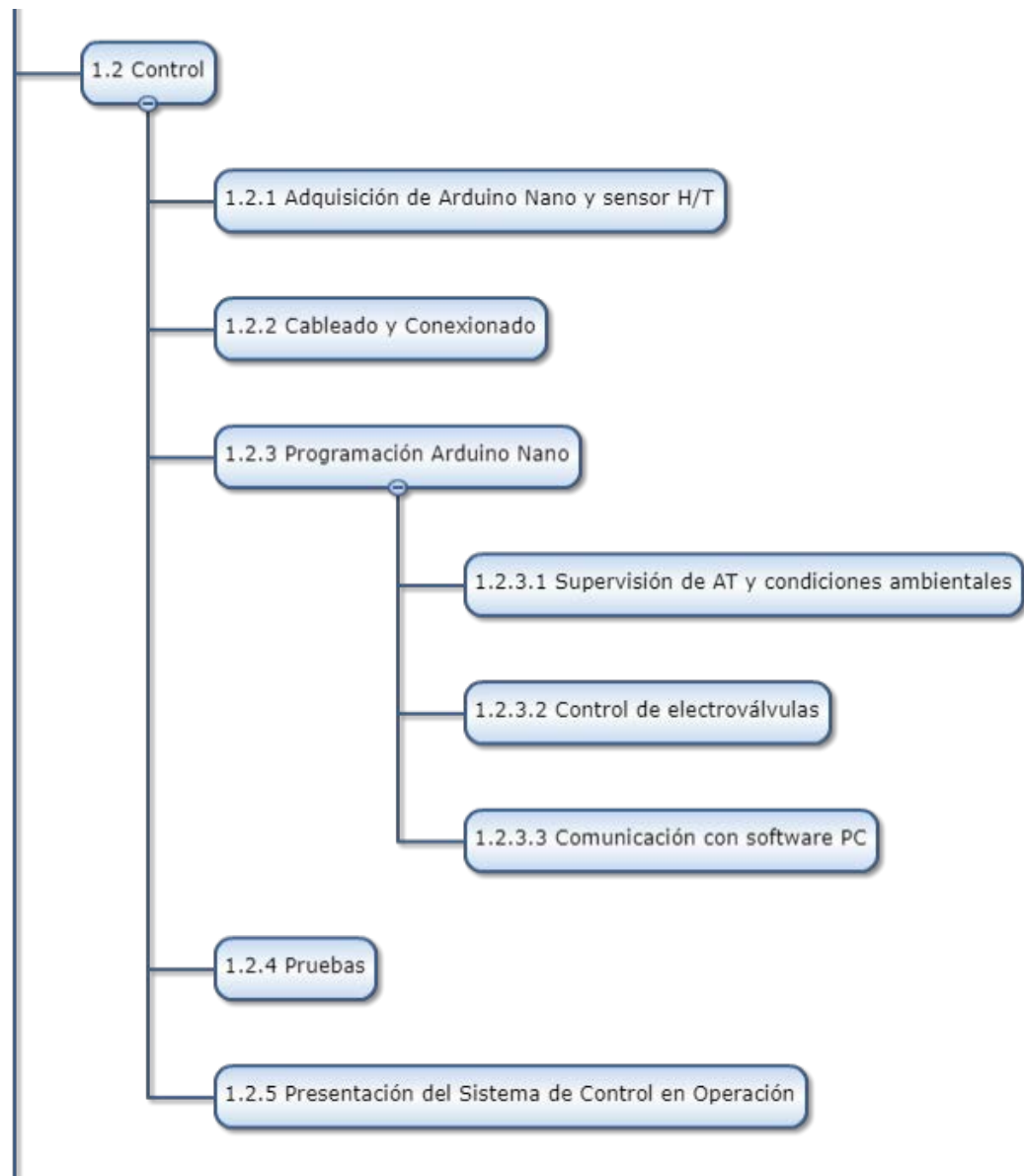
### 1.1 Project Charter

ACTA DEL PROYECTO	
<b>Fecha:</b>	<b>Nombre Proyecto:</b>
Octubre de 2019	Desarrollo de sistema de detección de compuestos gaseosos mediante Espectrometría Óptica de Plasma Inducido por Descarga Corona "Plasma nose"
<b>Áreas de conocimiento/procesos:</b>	<b>Áreas de aplicación (Sector/Actividad):</b>
Procesos: Iniciación, Planeación, Ejecución, Control y Cierre. Áreas: Alcance, Tiempo, Costos, Adquisiciones.	Sector: I+D Actividad: Servicio de Detección de Compuestos Gaseosos de Aplicación General
<b>Fecha de inicio del proyecto:</b>	<b>Fecha tentativa de finalización del proyecto:</b>
21 de Noviembre de 2018	Octubre de 2019
<b>Objetivos del proyecto (general y específicos)</b>	
Objetivo general	
- Desarrollo de Sistema de Detección de Compuestos Gaseosos por Espectrometría Óptica.	
<b>Objetivos Específicos:</b>	
- Desarrollo de software integral para adquisición de datos y control automático de accionamientos del sistema.	
- Desarrollo de sistema microcontrolado para operación y señalización de circuito electro-neumático.	
<b>Justificación o propósito del proyecto (Aporte y resultados esperados)</b>	
El proyecto constituye un aporte para la empresa <i>Argentum Texne</i> , emplazada en la Fundación Argentina de Nanotecnología. El Sistema de Detección de Compuestos Gaseosos tiene aplicaciones tanto científicas como industriales. Las mejoras propuestas contribuirán en hacer su uso más amigable y ampliar sus capacidades de aplicación y de análisis de datos.	
<b>Descripción del producto o servicio que generará el proyecto</b>	
El producto final será un Sistema de Detección de Compuestos Gaseosos por Espectrometría Óptica controlado y automatizado vía software mediante interfaz USB.	
La aplicación permitirá el control y supervisión de los parámetros del sistema, tales como:	
- Sensado de alta tensión aplicada para generación de plasma.	
- Sensado de condiciones ambientales de ensayo.	
- Control y señalización de apertura de electroválvulas para el ingreso de muestra.	
- Control de parámetros de muestreo del espectrómetro Ocean Optics®.	
- Almacenamiento de los datos recopilados para posterior análisis.	
Descripción de los entregables:	
- Sistema en Funcionamiento.	
- Código del software desarrollado.	
- Planos eléctricos/electrónicos/neumáticos del Sistema.	
- Informe de ensayo y resultados	

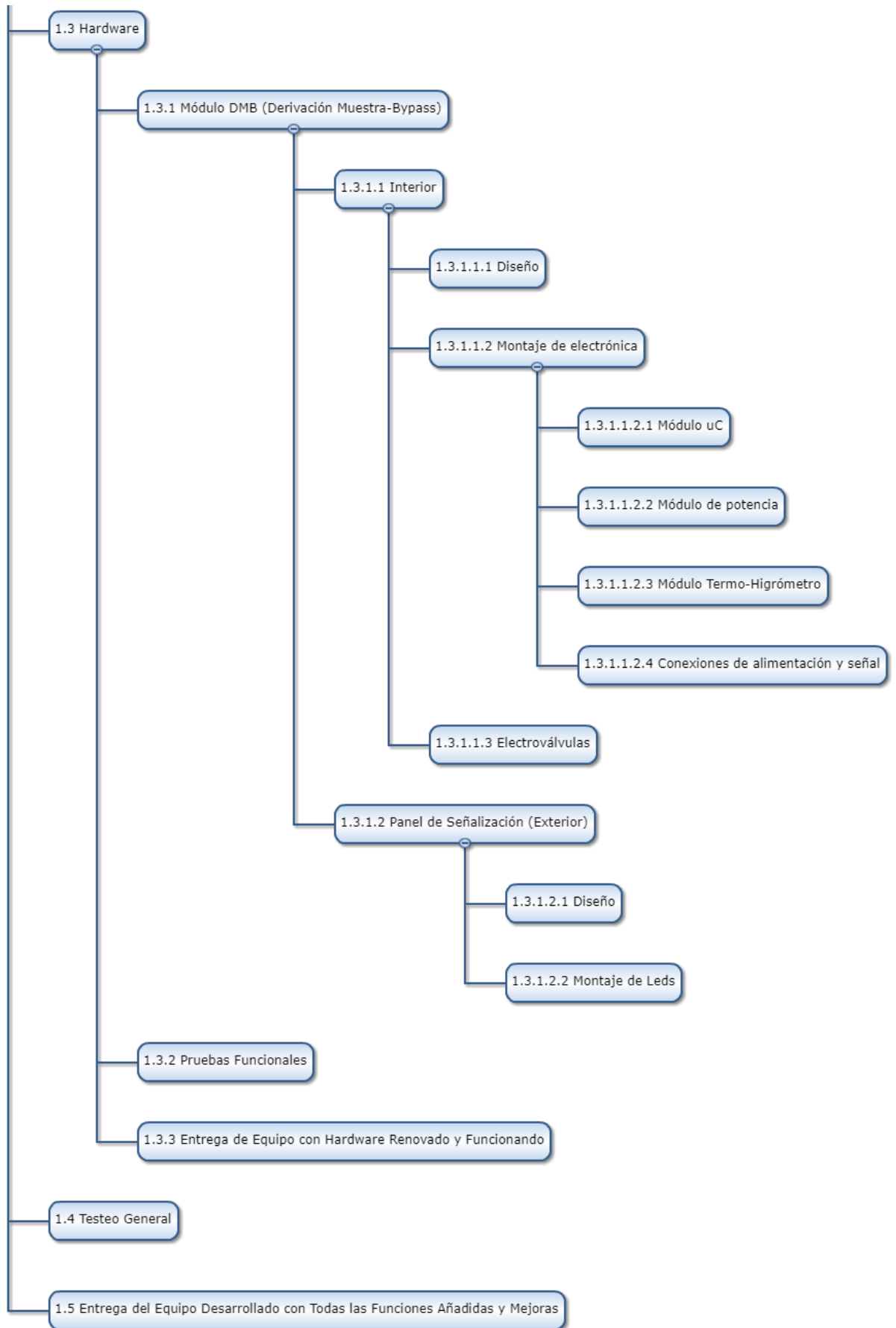
<b>Supuestos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los recursos de financiamiento se encuentran disponibles por parte del solicitante.</li> <li>- El proyecto cuenta con aval de las autoridades del laboratorio y la Universidad Nacional de San Martín.</li> </ul>
<b>Identificación de Grupos de Interés (Stakeholders)</b>
<p>Involucrados Directos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laboratorio de Sensores y Actuadores de la Comisión Nacional de Energía Atómica (Ref.: Dr. Ing. Juan Vorobioff)</li> <li>- Empresa <i>Argentum Texne</i> (Ref.: Dr. Carlos A. Rinaldi)</li> </ul> <p>Involucrados Indirectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresas Clientes de la empresa <i>Argentum Texne</i>.</li> <li>- Laboratorios u otros organismos que requieran de los servicios del Laboratorio de Sensores y Actuadores</li> </ul>
<b>Patrocinador (Sponsor)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Universidad Nacional de San Martín (Ref.: Ing. Marcelo E. Romeo)</li> </ul>

1.2 WBS





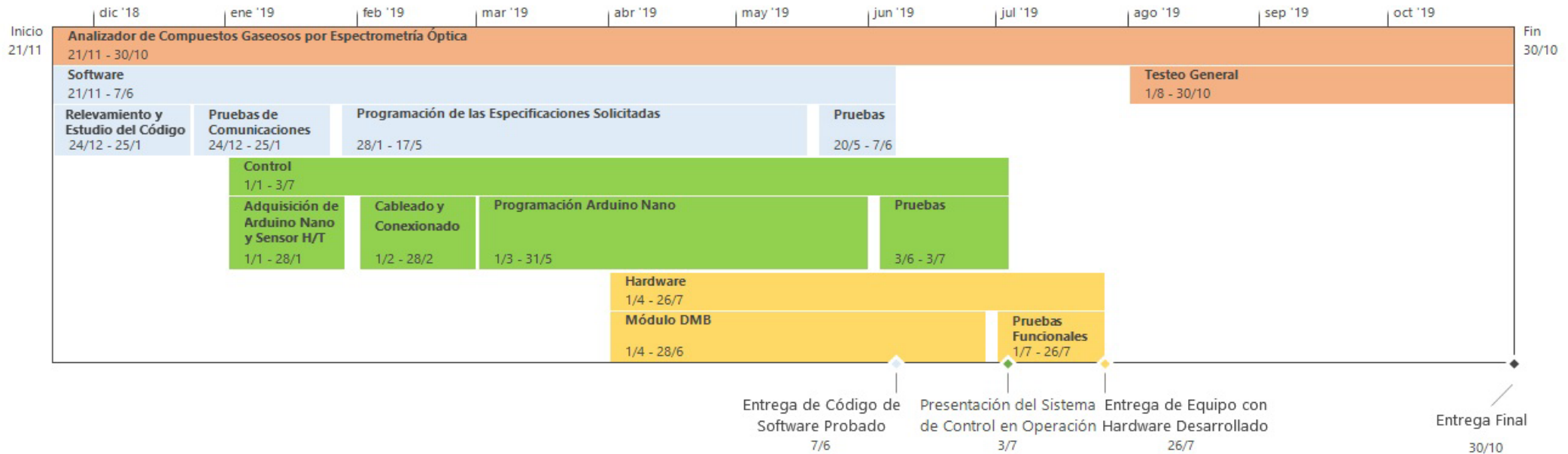
## Proyecto Final Integrador



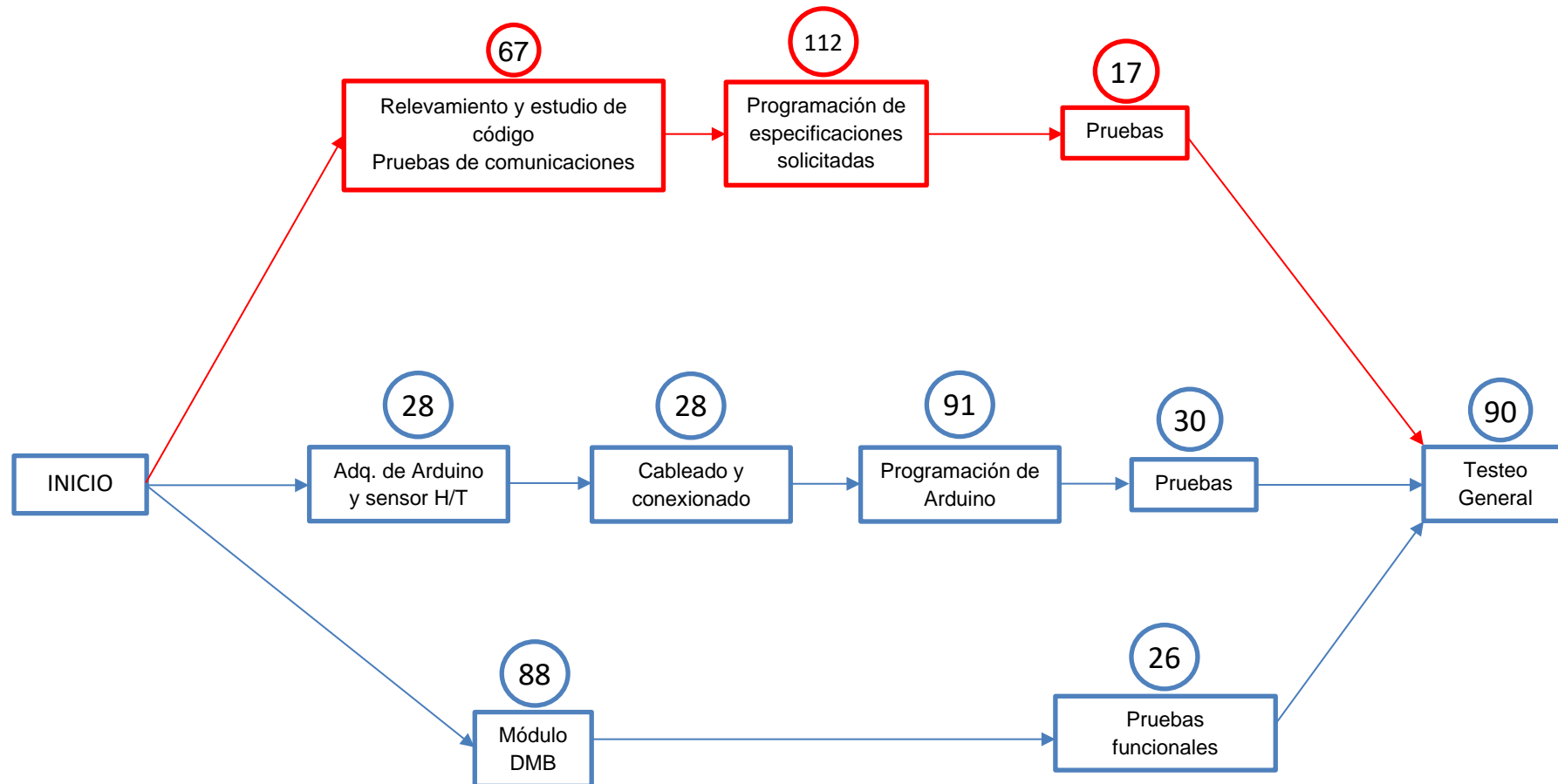


## Proyecto Final Integrador

### 1.3 Diagrama de Gantt



1.4 Activity on Node (AON)



### 1.5 Función de los integrantes del proyecto durante su desarrollo

Durante el desarrollo del presente proyecto, hemos trabajado de manera conjunta, presentando, potenciando y criticando las ideas surgentes como soluciones. Aún así, podemos discriminar ciertas tareas, asignadas de manera independiente para optimizar el tiempo dedicado.

Leonardo Ferrara lideró el desarrollo de la interfaz gráfica del espectrofotómetro e implementó las mejoras y características deseadas por el usuario final.

Luis Puntoriero concentró sus esfuerzos en el desarrollo del hardware, particularmente en el diseño y fabricación del DMB (Módulo derivación Muestra-Bypass).

La comunicación y sincronización entre la interfaz gráfica del software y el hardware de control requirió toda la atención de los integrantes del proyecto junto a los tutores de este, al igual que la puesta en marcha y los ensayos.

### 1.6 Análisis de riesgos y mitigación

- Imposibilidad de utilizar instrumental perteneciente al laboratorio (espectrofotómetro) fuera de éste y de los horarios de disponibilidad.

Mitigación: Cronograma coordinado con miembros del laboratorio.

- Disponibilidad horaria fuera de la jornada laboral.

Mitigación: Cronograma coordinado entre integrantes, acorde a la disponibilidad coincidente.

- Imposibilidad de obtener ciertos componentes importados.

Mitigación: Priorizar el empleo de materiales y componentes disponibles en el mercado nacional en el corto y mediano plazo.

- Aparición de competidores durante el desarrollo prolongado de la solución

Mitigación: Desarrollar una solución con un valor agregado y diferenciado respecto a las soluciones estándar del mercado.

- Inesperada incompatibilidad entre los diferentes módulos a la hora de la integración.

Mitigación: Testeos parciales de compatibilidad entre módulos durante el desarrollo de estos.

### 1.7 Proceso de cierre

#### Aceptación

- Se logró la aceptación del proyecto formalizada por escrito. Todos los entregables cumplieron con el alcance del proyecto, satisfaciendo los requerimientos y la necesidad del cliente.
- Se cede el desarrollo al cliente: Software, Hardware, códigos fuente y documentación.
- Se autoriza la publicación de los resultados en el repositorio de la Universidad Nacional de San Martín.

#### Lecciones aprendidas

- No iniciar el proyecto sin tener claro su alcance.
- Evitar recabar poca, incompleta o incorrecta información sobre los requerimientos para evitar confusiones y retrabajo.
- Asignar a las tareas tiempos reales, cumplibles por el equipo de trabajo.
- No acelerar los tiempos de una tarea si hubo un retraso en la anterior.
- Identificar los riesgos, como ser la disponibilidad de tiempo conjunto entre los integrantes del equipo de trabajo, coordinación de tareas y comunicación con los involucrados en el proyecto.

### 1.8 Costos

A continuación, se detallan los costos de materiales, energía eléctrica y horas hombre empleados en el proyecto.

Cant.	Unidad de Medida	Descripción	Modelo	Costo Unitario	Costo Total
1	unidades	Placa desarrollo Arduino	Nano	350,00	350,00
2	unidades	Electroválvula	3 vías; 3V	500,00	1000,00
1	unidades	Sensor Termohigrómetro	DHT-22	300,00	300,00
1	unidades	Placa relé	1CH 5VDC	200,00	200,00
2	unidades	Jack	5mm	120,00	240,00
2	unidades	Led bicolor V/R	-----	60,00	120,00
2	unidades	Led Rojo	-----	30,00	60,00
1	unidades	Led Verde	-----	30,00	30,00
1	unidades	Caja	-----	150,00	150,00
1	metros	Cable	0,25 mm2	30,00	30,00
4	unidades	Conectores neumáticos	6 mm2	70,00	280,00
1	unidades	Fuente de alimentación	5VDC; 300mA	230,00	230,00
2	metros	Manguera neumática	6 mm2	66,00	132,00
100	horas	HPM COPIME	-----	1400,00	140000,00
30	KWh	Energía eléctrica	-----	4,25	127,50
<b>TOTAL</b>				<b>143.249,50</b>	

Dado que el proyecto no tiene una finalidad comercial de escala, sino que forma parte de una etapa de investigación y desarrollo para aplicación específica, no se ha realizado un análisis económico basado en un modelo de negocios.

## 1.9 Cálculo VAN Y TIR

TNA	33%				VAN	TIR
Períodos	0	1	2	3		
<b>Unidades vendidas</b>	0	1	1	2		
Ingresos	0	100000	70000	160000	<b>\$22.083,15</b>	<b>43,352%</b>
Egresos	143249,50	7000	8000	18000		
Flujo de Capital Neto	<b>-143249,50</b>	<b>93000,00</b>	<b>62000,00</b>	<b>142000,00</b>		

Para la realización de este análisis se tomaron 3 períodos anuales. Si bien el volumen de ventas de este tipo de equipamiento es limitado, pudimos obtener una estimación satisfactoria en los indicadores de factibilidad económica.

Cabe aclarar que, en el transcurso del primer año, el destinatario del equipamiento será la parte mas interesada y que apoya con inversión directa el desarrollo del prototipo funcional, absorbiendo mayores costos. Como contraprestación tendrá la exclusividad de ser el beneficiario de la primera unidad.

## 2. Introducción

### 2.1 Descripción general

El sistema sobre el cual se trabajó fue desarrollado en los laboratorios del Departamento de Micro y Nanotecnología de la Comisión Nacional de Energía Atómica, y es hoy empleado con propósitos industriales en la empresa Argentum Texne, emplazada en la FAN (*Fundación Argentina de Nanotecnología*), con el objeto de caracterizar compuestos gaseosos. Particularmente, en este trabajo, se aplicó al control de calidad de distintos tipos de mieles, analizando sus emisiones gaseosas (headspace).

### 2.2 Fundamento teórico

La técnica de Espectroscopía de Plasma Inducido por Descarga Corona (*en inglés: CDIPS*) se basa en la generación de plasma a partir de una descarga tipo corona a través de un flujo de gas constante. El plasma luminoso está compuesto por una serie de átomos parcialmente ionizados, electrones libres, átomos excitados, moléculas y un gran número de átomos neutrales. La radiación de este plasma provee información acerca de sus propiedades físicas como así también de su composición, densidad de electrones y temperatura. Sin embargo, el comportamiento de las especies emisoras puede correlacionarse con cambios en la densidad de iones y la temperatura de los electrones, permitiendo la cuantificación de dichas especies.

La emisión del plasma es tomada por un espectrómetro de rango UV-visible, obteniéndose un espectro conformado por líneas delgadas y discretas para las especies atómicas y bandas más anchas para las especies moleculares, como el N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, características de los elementos presentes en el plasma.

### 2.3 Instrumentación

El arreglo experimental básico del Espectrómetro por Plasma Inducido por Descarga Corona (CDIPS), es mostrado en la Fig. 1.

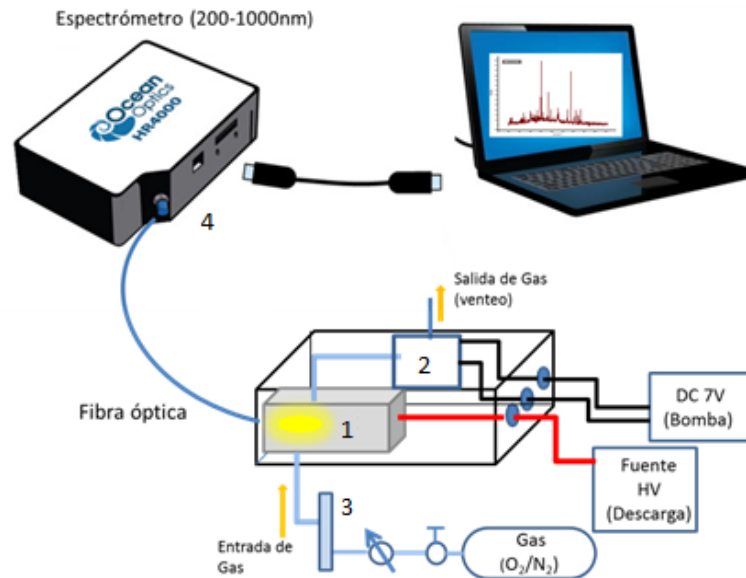


Fig. 1 Arreglo experimental básico

La configuración de este sistema está compuesta por cuatro elementos principales (ver números asignados en Fig. 1):

1. Cámara de plasma.
2. Bomba de vacío.
3. Sistema de suministro gaseoso con control de inyección manual.
4. Espectrofotómetro para adquisición de espectro.

### 2.4 Funcionamiento

La muestra gaseosa ingresa, a través de un circuito neumático, a una cámara de descarga donde se la somete a una alta tensión regulable, ajustada a un valor de 4200 V, generándose así un plasma. La emisión lumínica de este plasma es captada mediante una fibra óptica conectada a un espectrofotómetro que digitaliza los valores de intensidad recibidos para cada longitud de onda.

Este sistema fue modificado con el objetivo de mejorar el control neumático sobre los gases de entrada a través de una interfaz con el software desarrollado a tal fin. El esquema general se muestra en la Fig. 2, donde se pueden ver anexados los siguientes elementos:

5. Módulo DMB.
6. Regulador de entrada.
7. Fuente de nitrógeno.
8. Muestra a analizar.

El Módulo DMB (Derivación Muestra-Bypass), es el encargado de inyectar la mezcla gaseosa (muestra+carrier) o el carrier ( $N_2$ ) a la cámara de plasma.

El regulador de entrada acondiciona las variables neumáticas necesarias para la realización de los experimentos.

La fuente de nitrógeno genera el gas carrier utilizado para arrastrar el headspace (vaporización) de la muestra, caso contrario, limpia el circuito neumático de posibles residuos de muestra y prepara el sistema para una nueva medición.

Todos estos elementos se describirán en detalle posteriormente.

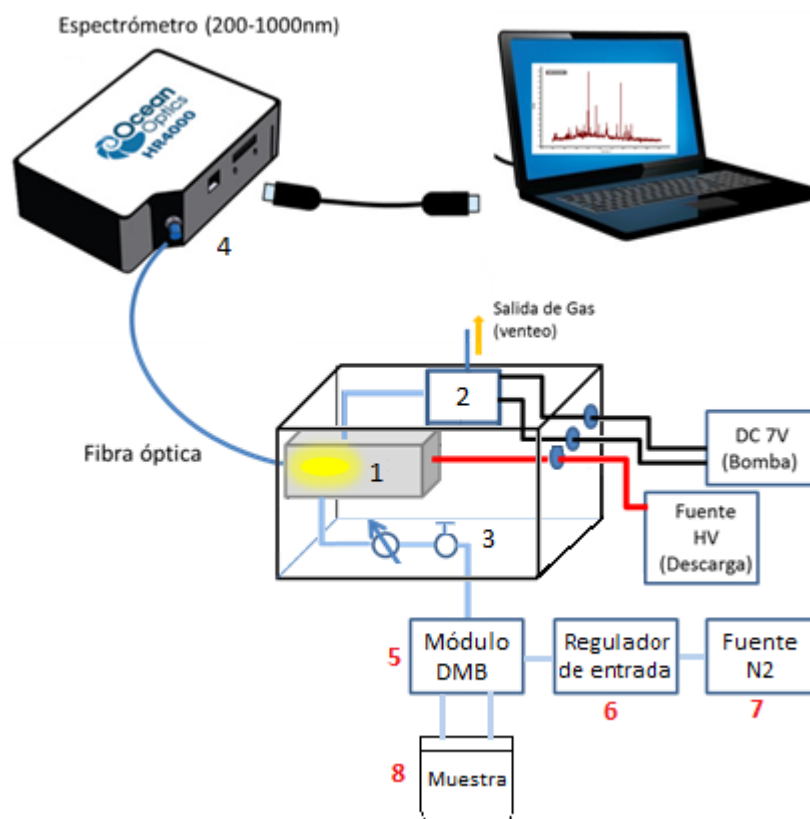


Fig. 2 Arreglo experimental desarrollado

El  $N_2$ , gas portador (*carrier*), una vez acondicionado, ingresa al módulo DMB que lo direcciona directamente a la cámara de plasma, haciéndolo pasar por la muestra u omitiendo la misma de acuerdo al criterio del operador. Esta acción se controla mediante el botón “Muestra” del software.

Los valores obtenidos del espectrofotómetro son interpretados y graficados mediante el software desarrollado, que cuenta con capacidad de muestreo automatizado, ajustable en cantidad de muestras e intervalos de tiempo. Éste también permite la posterior exportación de datos en formatos compatibles con otros softwares de procesamiento.

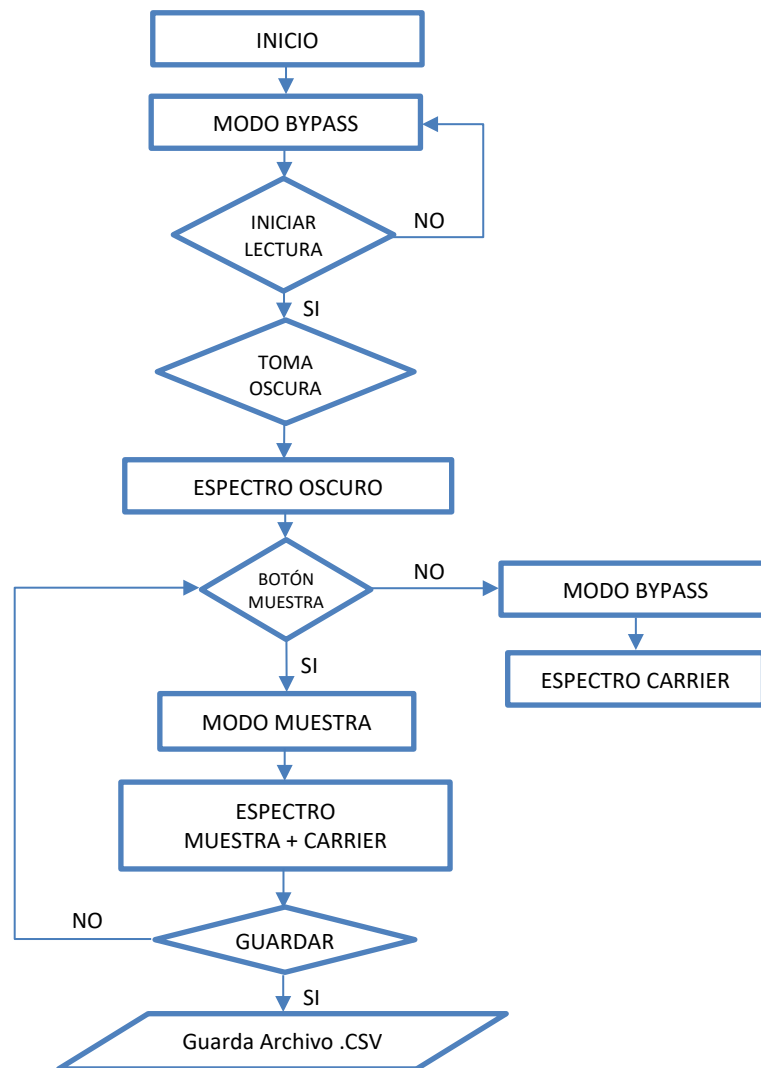
### 3. Software

El software fue desarrollado en el lenguaje de programación C# bajo el entorno Visual Studio, a partir de un software de base y bibliotecas suministrados por el fabricante del espectrofotómetro OceanOptics®.

Se desarrolló una interfaz gráfica, para satisfacer las necesidades de la empresa que hará uso del equipamiento. Asimismo, el software posee capacidad de comunicación con un microcontrolador, con el que intercambia información de campo (Condiciones ambientales del experimento, niveles de tensión en cámara de plasma) y controla el flujo del carrier a través del circuito neumático. Para la comunicación se empleó un algoritmo de “pregunta-respuesta” de característica asincrónica (ver anexo).

#### 3.1 Diagrama de flujo

El funcionamiento principal del programa se puede ver en el siguiente diagrama de flujo.



Al iniciar el programa, el mismo no realiza aún lectura de espectro, y opera por defecto en modo bypass, comunicando al microcontrolador del DMB que haga circular sólo el carrier a la cámara de plasma.



Al presionar el botón "Iniciar lectura", inmediatamente se abre un cuadro de diálogo donde el programa advierte que se hará la toma oscura. En dicha instancia, se debe apagar la fuente de alta tensión u obturar el sensor del espectrofotómetro. Al aceptar la propuesta del programa, se hace la corrección y se muestra el espectro oscuro. Este paso permite la compensación del corrimiento por ruido de fondo, asociado a la excitación del sensor por su propio calentamiento. Se recomienda realizar este paso antes de cada serie de mediciones para minimizar desvíos.

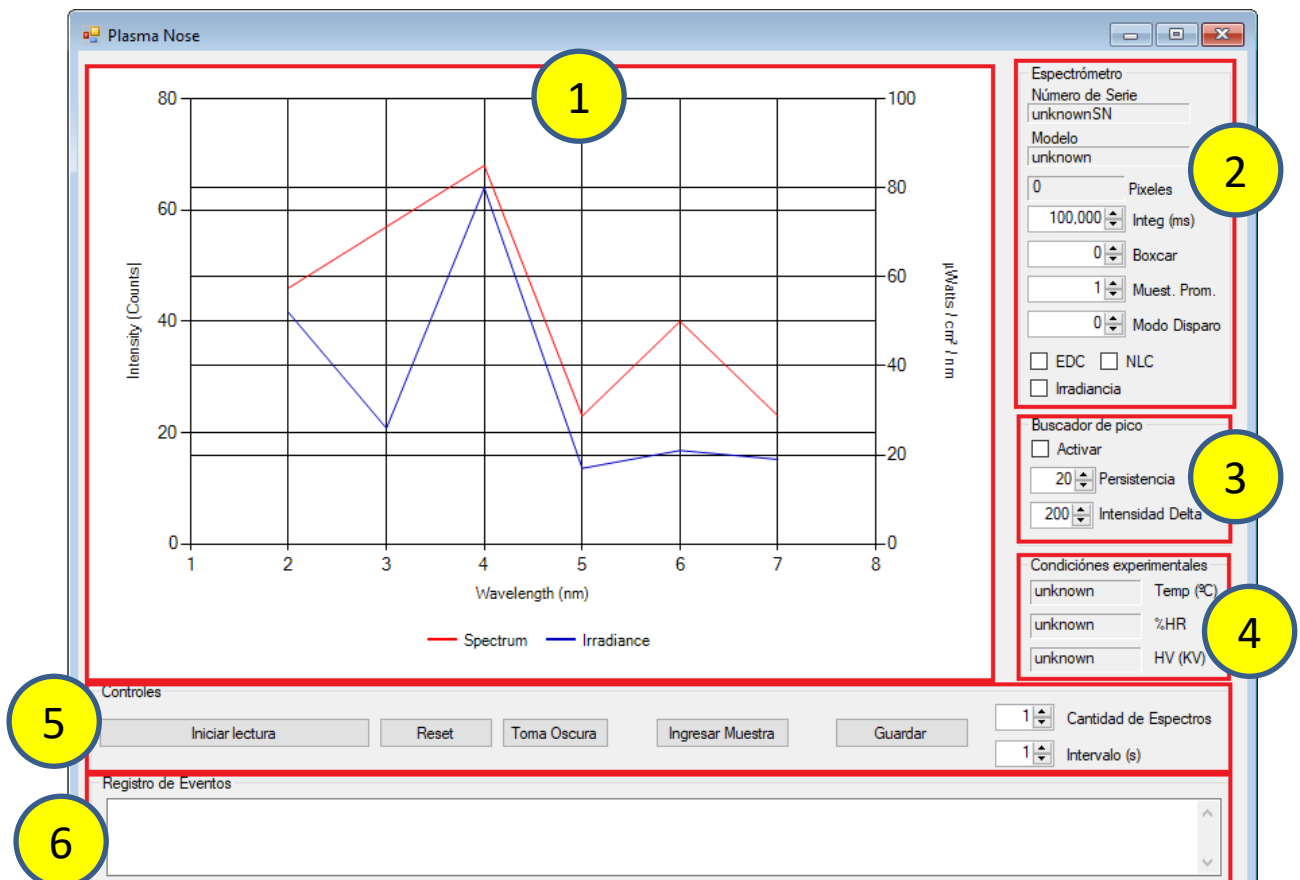
El programa continúa por defecto en modo bypass mostrando en tiempo real el espectro de la emisión recibida por el sensor. Si se activa el generador de plasma, se comenzará a ver el espectro del carrier.

Presionando el botón "Ingresar muestra", se activa el MODO MUESTRA y el módulo DMB habilita el paso del carrier a través del headspace de la muestra. De esta forma, se comienza a visualizar el espectro de la mezcla muestra+carrier.

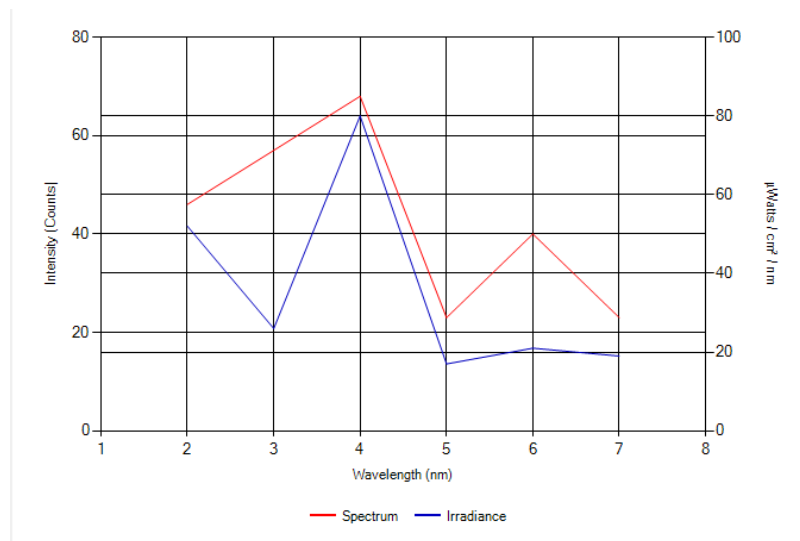
A partir de este momento, pueden realizarse los muestreos, ajustando los parámetros necesarios, y el guardado de los mismos presionando el botón "Guardar". Así se obtendrá una matriz de datos separados por comas (formato CSV).

### 3.2 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica desarrollada consta de 6 módulos.



### 3.2.1 Área gráfica



En esta área se muestra el espectro captado en tiempo real. El mismo se expresa en un gráfico *Intensidad (Cuentas) vs. Longitud de Onda (nm)* en color rojo, e *Irradiancia (Watts/cm²/nm) vs. Long de Onda* en color azul.

### 3.2.2 Información de Espectrómetro

**Espectrómetro**

Número de Serie  
unknownSN

Modelo  
unknown

0      Pixeles

100,000    Integ (ms)

0      Boxcar

1      Muest. Prom.

0      Modo Disparo

EDC     NLC

Irradiancia

En este módulo se indica toda la información relacionada al espectrómetro y sus parámetros de medición:

- 1) Número de Serie
- 2) Modelo
- 3) Cantidad de pixeles activos
- 4) Periodo de integración
- 5) Cantidad de pixeles a promediar (Boxcar)  
Suaviza ruido de alta frecuencia promediando cada pixel con sus adyacentes.
- 6) Cantidad de espectros a promediar  
Mejora SNR promediando múltiples espectros consecutivos

### 7) Modos de disparo:

- a. Normal
- b. Por Software
- c. Sincronizado Externo
- d. Por Nivel Externo (Hardware)
- e. Flanco Externo (Hardware)

### 8) EDC: Electrical Dark Correction:

Sustrae lectura de pixeles ópticamente obstruidos (oscuros) para la corrección de ruido y deriva térmica del sensor en tiempo real.

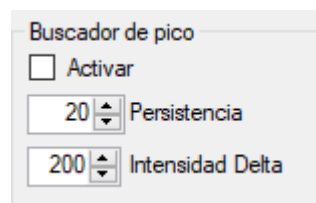
### 9) NLC: Non-Linearity Correction:

Aplica un procesamiento mediante un polinomio de séptimo orden para la corrección de la respuesta de cada píxel al acercarse a la saturación.

10) Irradiancia: Activa el grafico de irradiancia. La irradiancia es la magnitud que describe la potencia incidente por unidad de superficie.

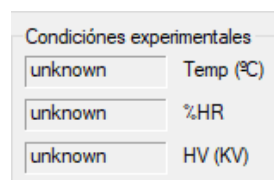
### 3.2.3 Buscador de Picos

Esta herramienta permite identificar picos máximos de la señal detectada correspondientes a las especies gaseosas que emiten el plasma.



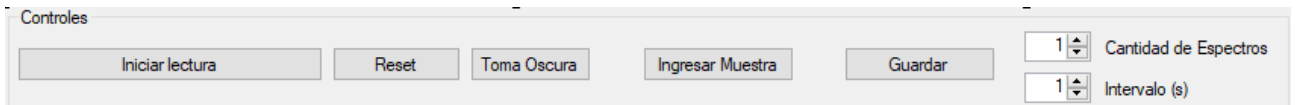
Para ello, se pueden ajustar los parámetros de Persistencia e Intensidad de la señal.

### 3.2.4 Condiciones experimentales



En este módulo se indican las condiciones de Temperatura, Humedad y Tensión de descarga, bajo las que se realiza el muestreo del gas incógnita, medidas en tiempo real.

### 3.2.5 Controles



Desde este módulo se controlan las etapas de la medición (Ver diagrama de flujo). Al presionar el botón de “Iniciar lectura”, inmediatamente se abre un cuadro de diálogo solicitando hacer la “Toma oscura” del instrumento de medición o espectrofotómetro, por lo que debemos oscurecer la fibra óptica del mismo obturándolo ó apagando la generación de plasma (Fig. 3).

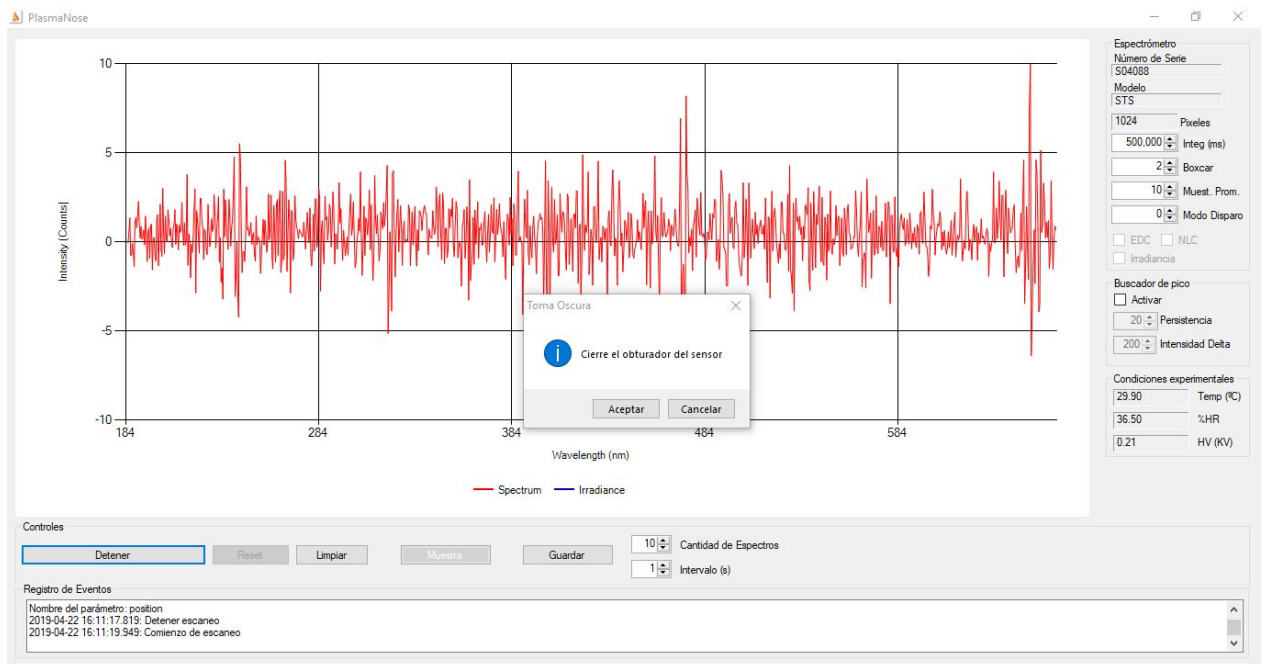


Fig. 3 Cuadro de diálogo solicitando iniciar la toma oscura. Se observa el espectro oscuro.

## Proyecto Final Integrador

Una vez hecho eso, el sistema toma la lectura del espectro oscuro, correspondiente al ruido del sensor del espectrofotómetro, para luego sustraerlo, eliminando así el ruido de fondo (Fig.4).

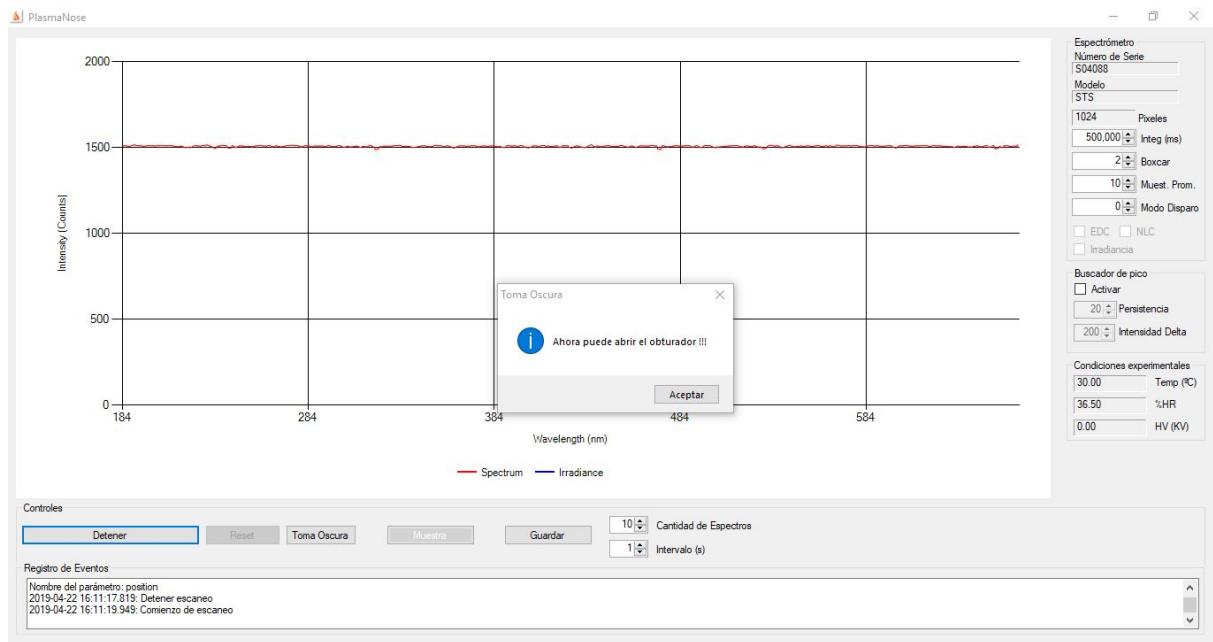


Fig. 4 Cuadro de diálogo indicando la toma oscura satisfactoria. El espectro oscuro ha sido sustraído.

Para ingresar la muestra se deben habilitar las electroválvulas del módulo DMB para permitir el paso de la mezcla carrier+muestra. Estas electroválvulas se habilitan a criterio del usuario mediante el botón "Muestra" (fig. 6).

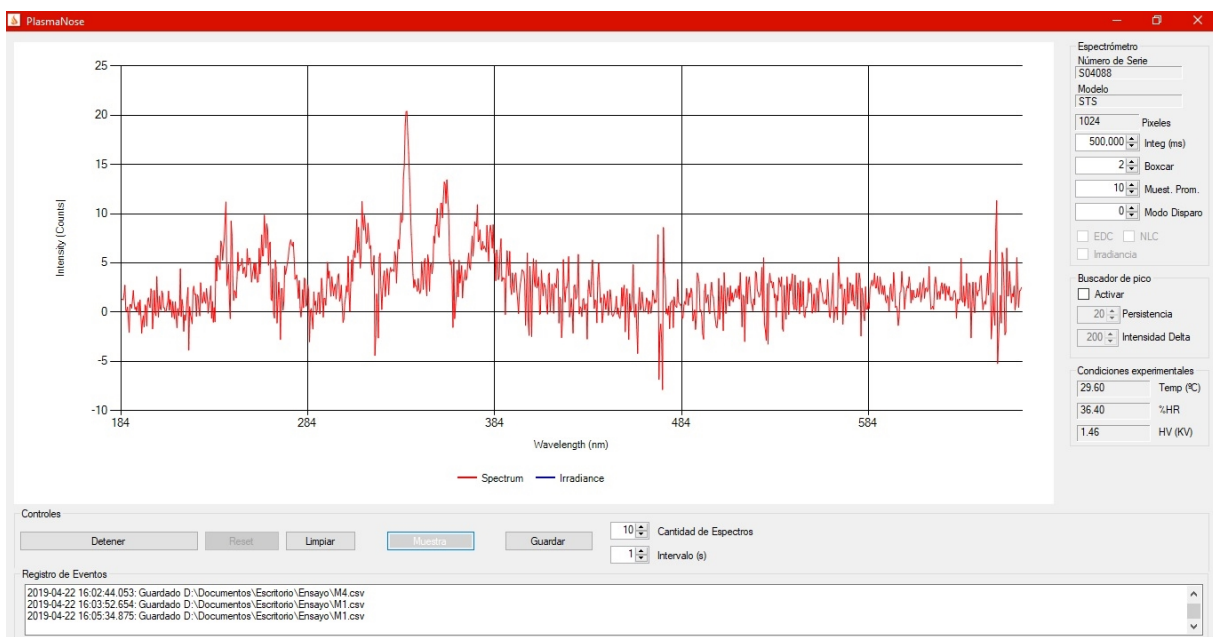


Fig. 5 Botón de muestra inactivo. El módulo DMB se encuentra inyectando sólo el carrier.

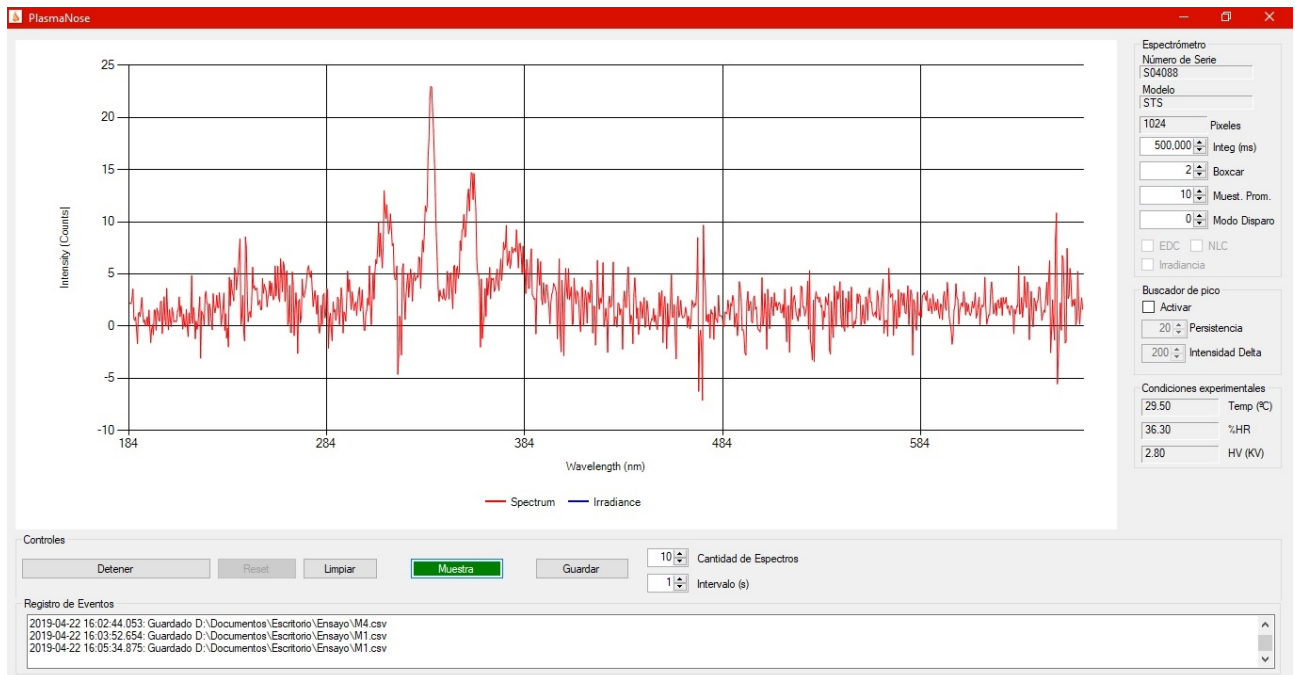


Fig. 6 Botón de muestra activado. El módulo DMB inyecta mezcla de carrier+muestra.

Quando el proceso de ionización de la mezcla carrier+muestra se estabiliza, también lo hace su espectro. En este momento, si se desean guardar los datos para su posterior análisis, se puede preseleccionar la cantidad de muestras a guardar y el intervalo de tiempo entre ellas. Al presionar el botón de "Guardar" (Fig. 7) se registran los datos en un archivo en formato CSV, ordenado y adecuado para el tratamiento con el software Orange 3® (ver apartado 5.3.2).

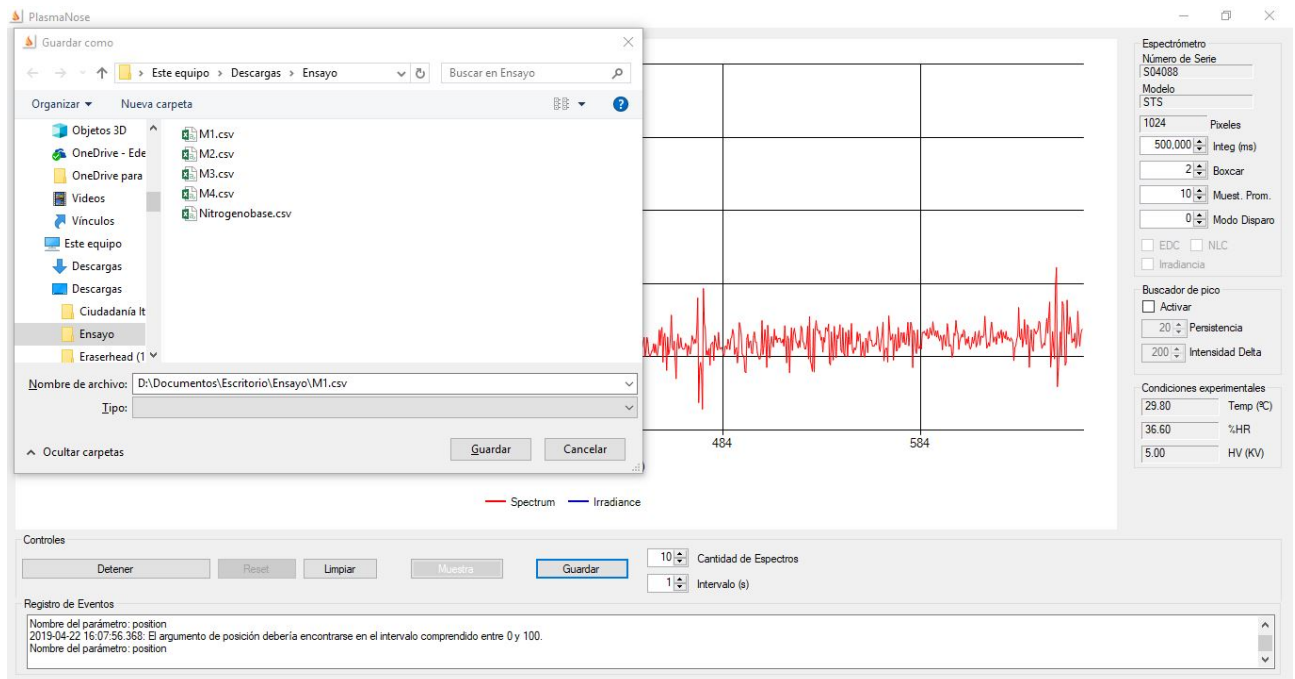
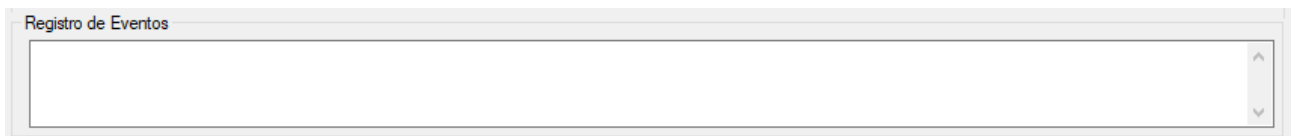


Fig. 7 Cuadro de diálogo para el guardado de los datos en formato .CSV.

### 3.2.6 Registro de eventos

En este módulo se plasman todos los eventos que suceden de la operación del sistema, como ser la “toma oscura”, “inicialización” del espectrómetro, comienzo y detención del muestreo.



## 4. Hardware

Desde el punto de vista del hardware, en el sistema original, el control de ingreso de gases era totalmente manual y no se tenía registro de las variables ambientales de medición.

Acorde a los requerimientos del cliente, esto fue solucionado adicionando un módulo de electroválvulas (DMB) con control mediante software que incluye sensores de temperatura y humedad cuyos valores se muestran en la interfaz gráfica junto con el valor de tensión aplicada en la cámara de plasma.

El Hardware consta de un sistema neumático (Fig. 8) y un sistema de control y medición electrónico-óptico. El esquema general del Hardware se puede observar en la figura 13.

## Proyecto Final Integrador

### 4.1 Circuito neumático

A continuación se muestra el circuito neumático general, cuya descripción se detalla en los siguientes capítulos.

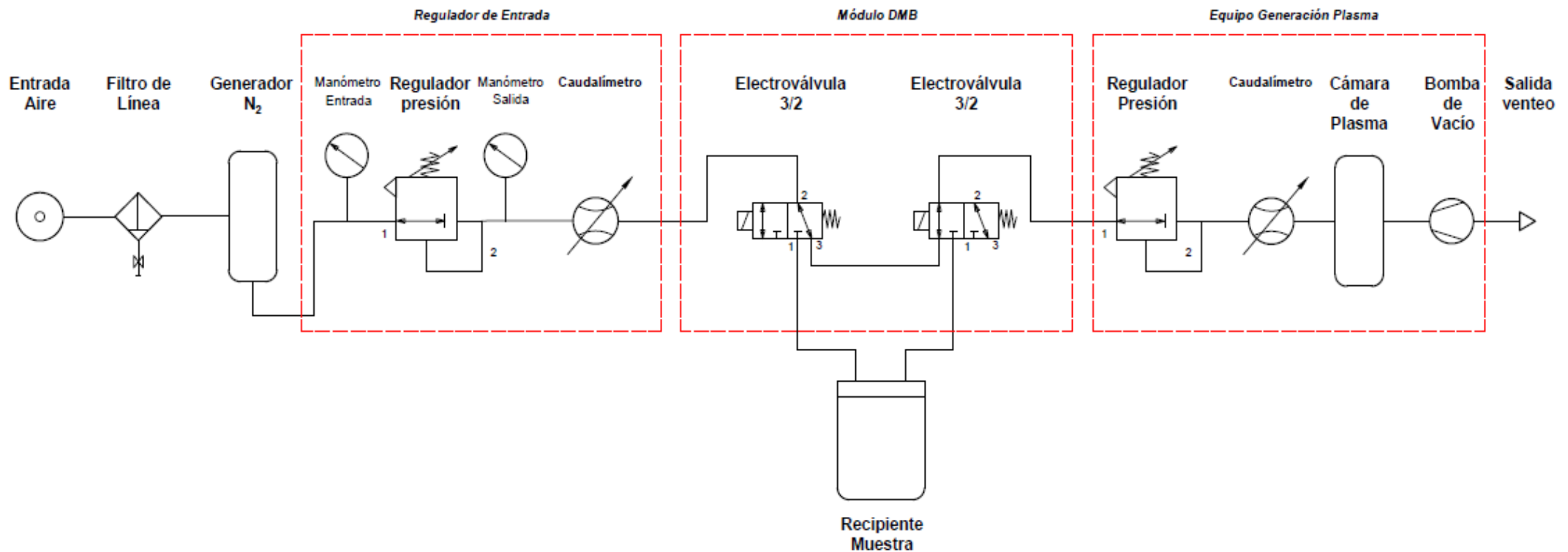


Fig. 8 Esquema detallado del circuito neumático



#### 4.1.1 Descripción del circuito neumático

- 1) El aire, a presión atmosférica, ingresa al equipo generador de  $N_2$ , a través de un filtro deshumidificador. El  $N_2$  presurizado es el que se utiliza como *carrier*.

La Fig. 9 muestra el equipamiento utilizado para la generación de  $N_2$  marca Lemman Instruments, modelo: GC Station. Ajustado a una presión de salida de  $N_2$  de 30 psi.



Fig. 9 Generador de  $N_2$  (Carrier)

- 2) El primer bloque es el Regulador de Entrada, que se conecta al suministro de  $N_2$  y consta de un regulador de presión con manómetros de entrada y salida, y un caudalímetro a bolilla con regulador incorporado para ajustar las variables neumáticas necesarias para el sistema.

La Fig. 10 muestra el regulador de presión de entrada y caudalímetro asociado, ajustados en 5 psi y  $60 \text{ cm}^3/\text{min}$  respectivamente.

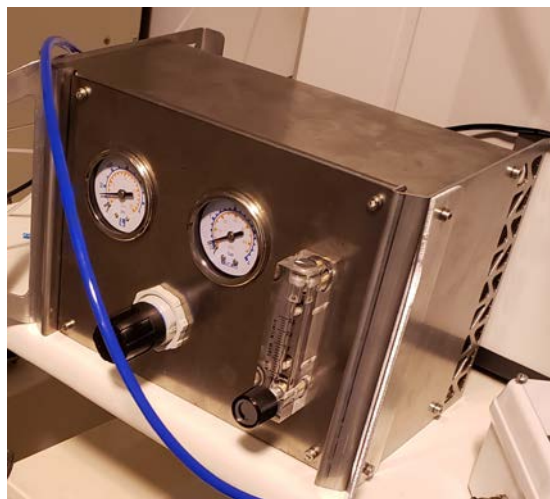


Fig. 10 Regulador de Entrada

- 3) El segundo bloque es el módulo Derivación Muestra-Bypass (DMB), con el que se direcciona el *carrier*, a través de un sistema compuesto por dos electroválvulas, arrastrando el contenido de la muestra a analizar, o bien, omitiendo la muestra y limpiando rastros indeseables dentro de los conductos neumáticos.

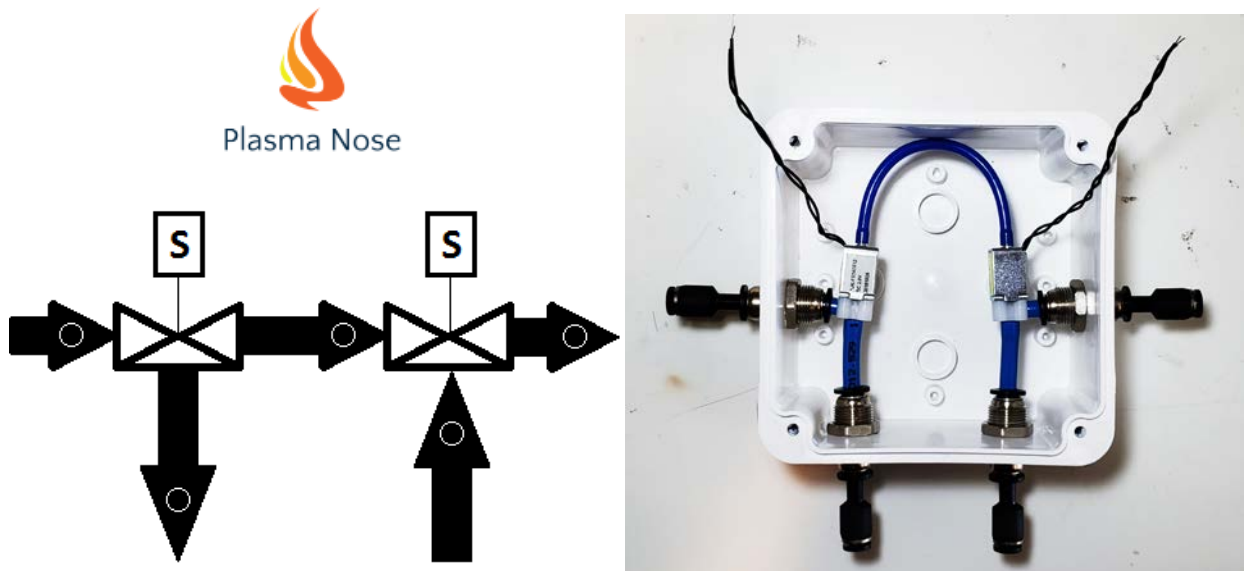
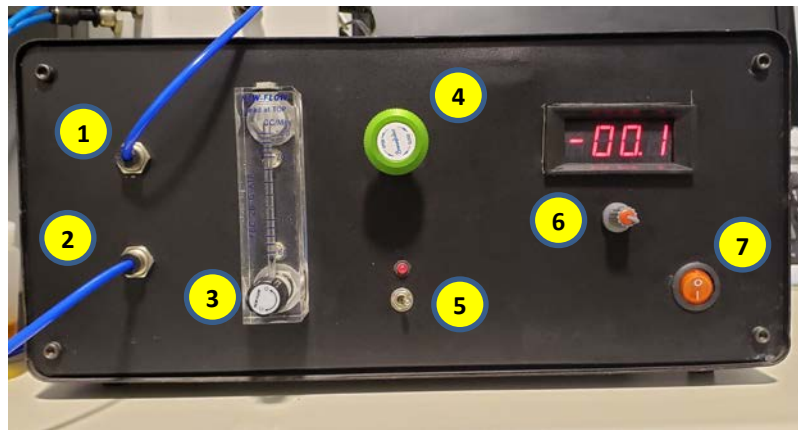


Fig. 11 Izq.: Mímico neumático del módulo DMB (Derivación Muestra-Bypass). Der.: Vista interna.

En la Fig. 11 se muestra el equipo DMB, a la izquierda se observa el diagrama mímico del circuito neumático, que representa físicamente el circuito de la vista interna del equipo observada a la derecha.

- 4) El tercer bloque es el equipo de generación de plasma (Fig. 12), se puede observar que consta de un regulador de presión y caudalímetro para acondicionar, de manera más precisa, las variables neumáticas del gas antes de ingresar a la cámara de plasma. Allí se produce una descarga de alta tensión sobre la mezcla gaseosa (*Carrier* o *Carrier+muestra*) produciendo el cambio de estado a plasma. La emisión de este plasma será captada por el circuito óptico para su análisis. A continuación, se puede observar como la bomba de vacío extrae el gas hacia una salida de venteo.



*Fig. 12 Equipo de generación de plasma*

En la Fig. 12 se muestra el equipo donde se produce el plasma a ser analizado. Se puede observar arriba a la izquierda el ingreso del fluido, la regulación de caudal y de tensión aplicada a la cámara de plasma. Se describe a continuación sus componentes.

- 1) Ingreso de gases
- 2) Salida de venteo
- 3) Caudalímetro con regulación fina. Ajustado en  $60 \text{ cm}^3/\text{min}$ .
- 4) Regulador primario
- 5) Accionamiento de bomba de vacío
- 6) Voltímetro y regulación de alta tensión
- 7) Interruptor de Encendido

En la Fig. 13 se muestra el esquema general del sistema.

4.2 Circuito completo (Neumático-óptico-Eléctrico/Electrónico)

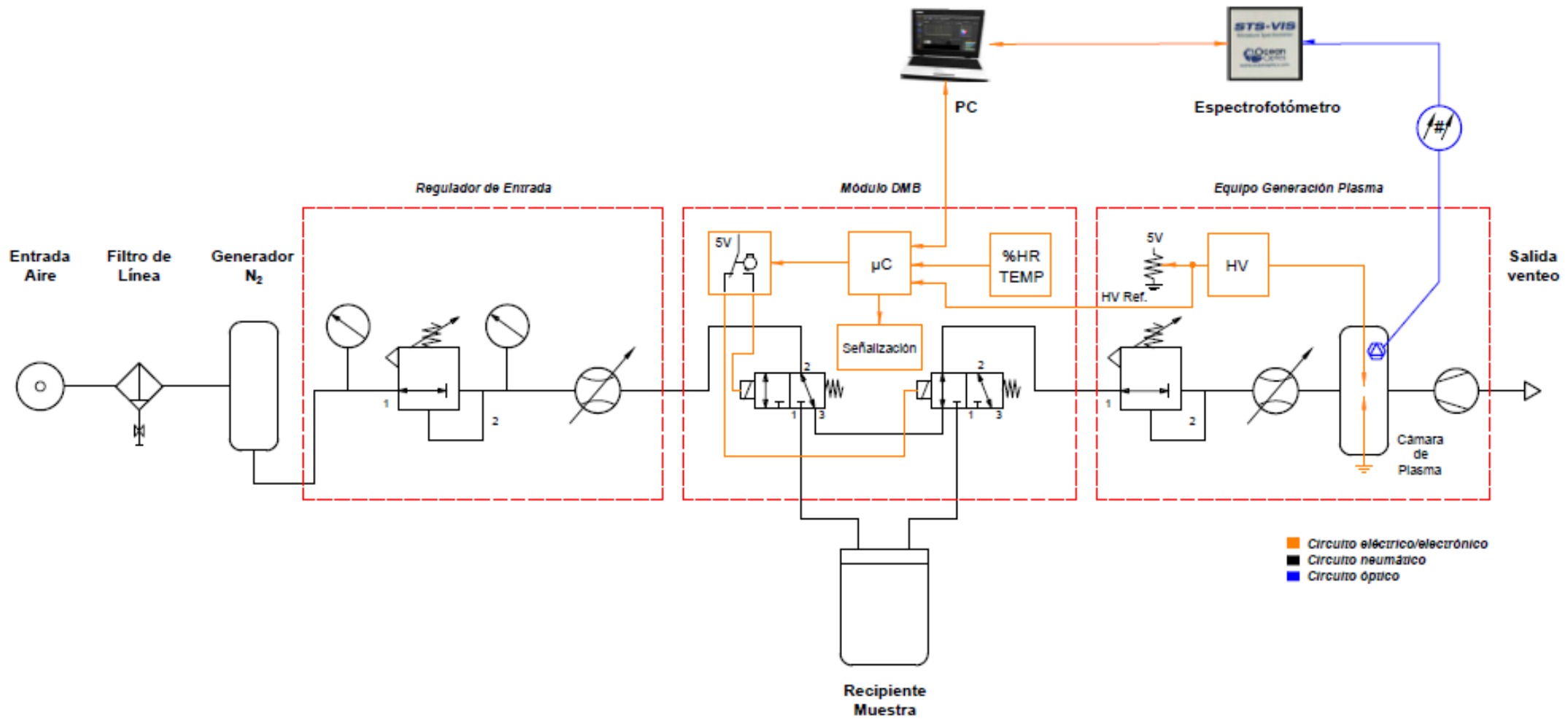
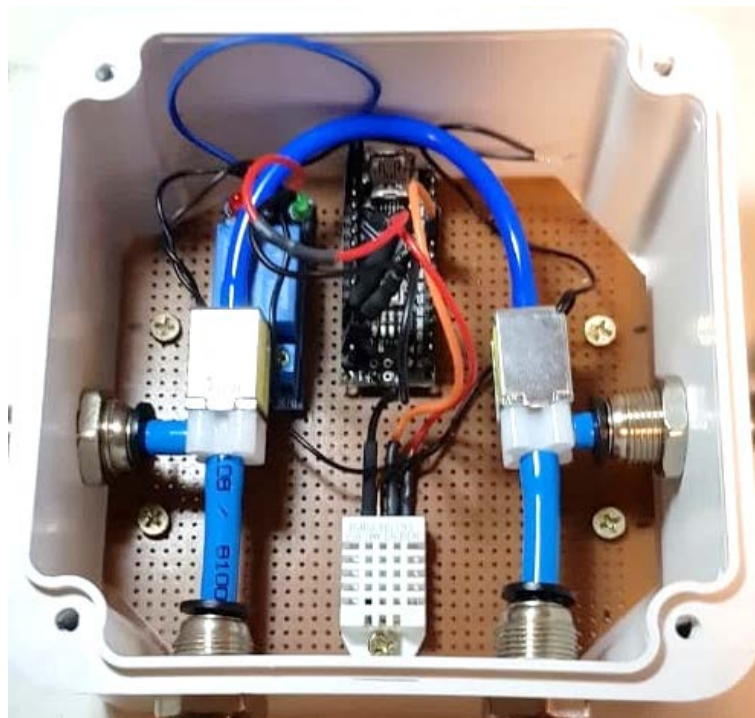


Fig. 13 Esquema completo del sistema (Neumático-óptico-Eléctrico/Electrónico)

#### 4.2.1 Descripción del circuito óptico-Eléctrico/Electrónico

- 1) El módulo Derivación Muestra-Bypass (DMB) es el encargado de conmutar el circuito neumático para que el carrier arrastre el contenido de la muestra, esta acción es encomendada por el usuario, a través del software dedicado. Estas solicitudes son interpretadas por el microcontrolador (uC), que además tiene como tareas, comunicar al software las condiciones experimentales de presión y temperatura, la tensión (HV) aplicada al gas dentro de la cámara de plasma y la señalización luminosa del diagrama mímico del circuito neumático de derivación-bypass.



*Fig. 14 Vista interna del módulo DMB con su electrónica anexada.*

El módulo DMB consta de dos electroválvulas de derivación, controladas por el microcontrolador y un módulo relé 1CH 5VDC. Asimismo, se observa el sensor integrado de temperatura y humedad DHT-22.

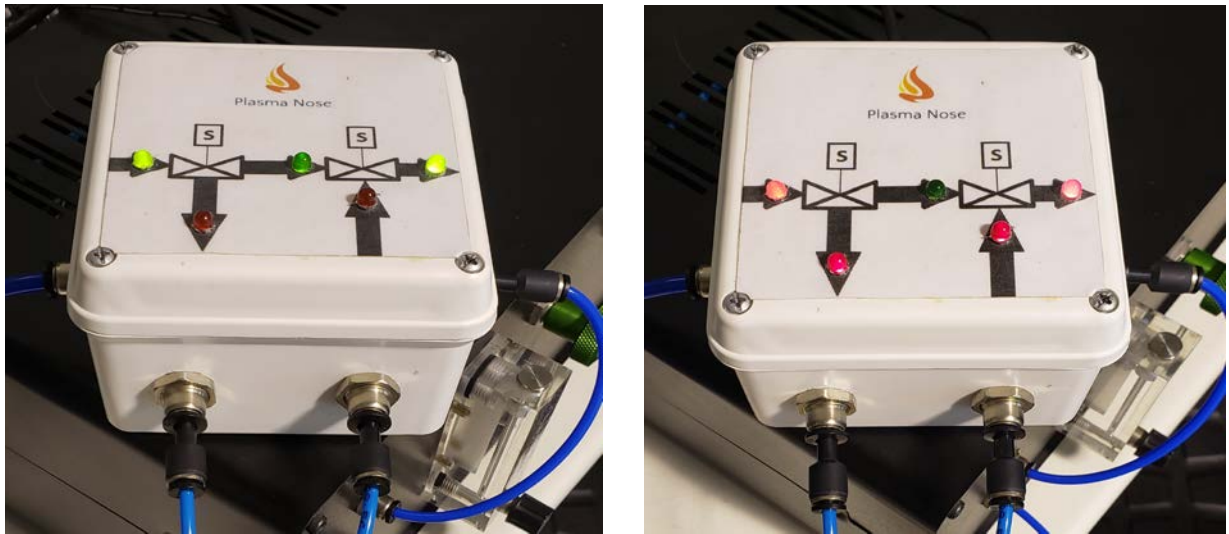


Fig. 15 Izq.: Estado ByPass. Der.: Estado Muestra

En la Figura 15 se observa el mímico del circuito neumático en modo *bypass* (Carrier), y en modo *muestra*. Se diseñó el mímico utilizando el recurso de leds de señalización bicolor para obtener una visualización clara y amigable del circuito activo.

El control del módulo DMB se realiza mediante un dispositivo Arduino Nano. A continuación, se muestra el esquema de conexión (Fig. 16).

- Salidas D3 y D6: Leds "Modo Bypass" (Verde).
- Salidas D4 y D5: Leds "Modo Muestra" (Rojo).
- Salida D13: Actuación de relé de electroválvulas.
- D7: Puerto de entrada de datos del sensor termohigrométrico DHT-22.
- A0: Entrada analógica de tensión de referencia para fuente de alta tensión.

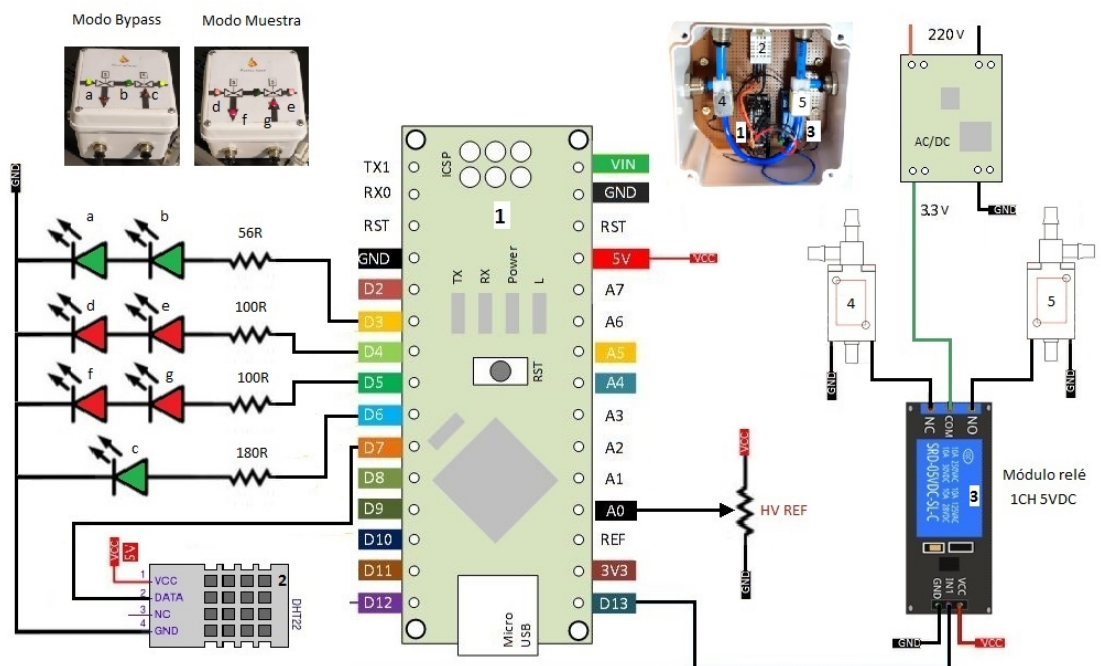
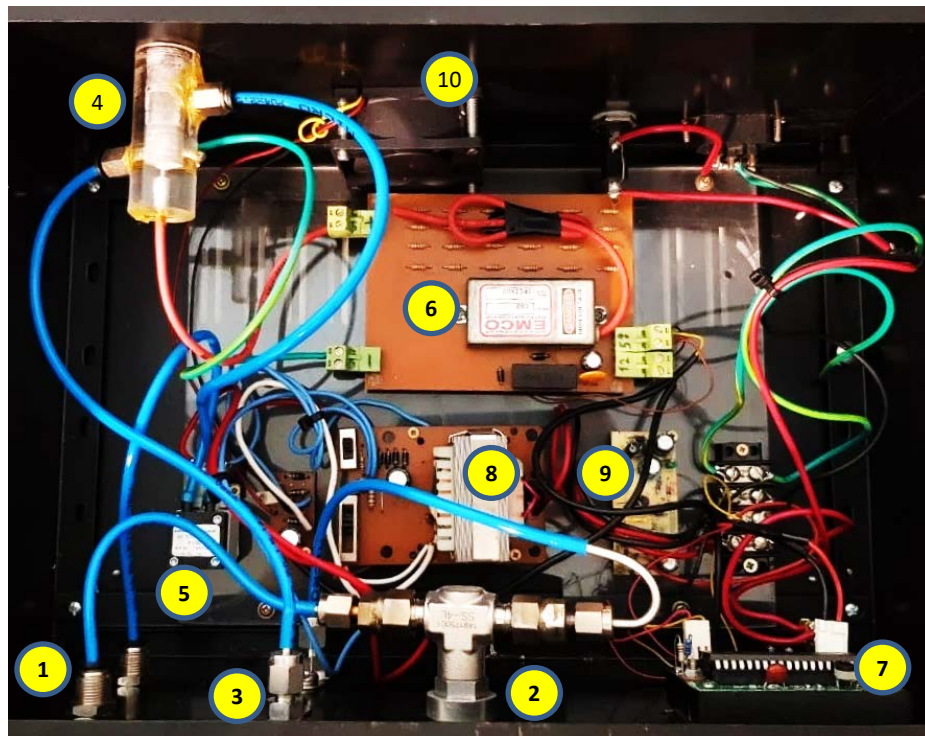


Fig. 16 Izq.: Esquema eléctrico/electrónico módulo DMB



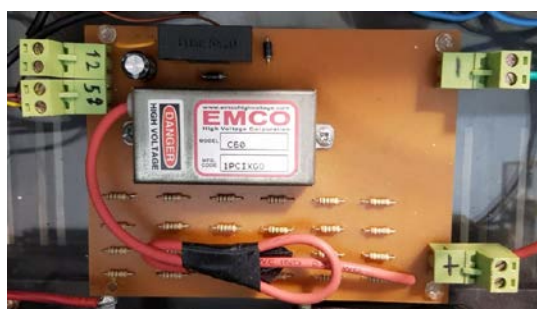
- 2) El equipo de generación de plasma posee un ajuste manual de alta tensión (HV) integrado, a través de una fuente variable regulada con potenciómetro, cuyo valor es observable a través de un display de 7 segmentos y con salida hacia el microcontrolador, para ser mostrada en la interfaz gráfica. Una fibra óptica apuntada en el interior de la cámara de plasma transmite la emisión lumínica al espectrofotómetro, para ser descompuesta en un espectro y transmitirla al software de control.



*Fig. 17 Vista interna del equipo de generación de plasma*

En la vista interna del equipo de generación de plasma de la Fig. 17 se observan los distintos componentes descritos a continuación.

- 1) Conectores de entrada y salida de gases
- 2) Regulador de presión primario
- 3) Caudalímetro con regulación fina
- 4) Cámara de plasma
- 5) Bomba de vacío
- 6) Convertidor DC-DC (6KV máx.). Marca EMCO, modelo C60



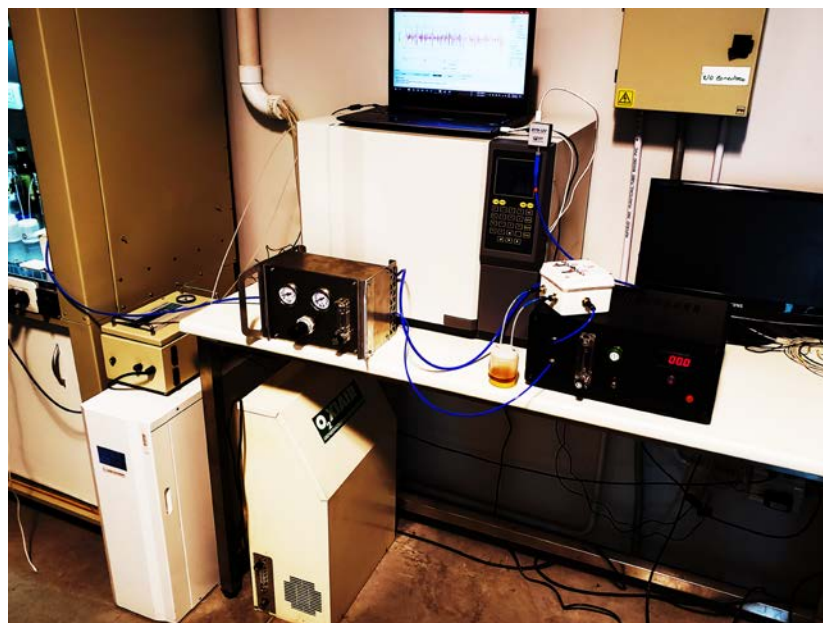
- 7) Voltímetro y control de fuente de alta tensión
  - 8) Fuente BT para alimentación de bomba de vacío
  - 9) Fuente BT para tensión de referencia y control de fuente de alta tensión
  - 10) Forzador de aire
- 3) Espectrofotómetro OceanOptics® STS-UV.



*Fig. 16 Espectrofotómetro para toma de la emisión del plasma y creación del espectro digital*

Se empleó un espectrofotómetro de la marca OceanOptics®, modelo STS-UV. Cabe destacar que nuestro software detecta automáticamente cualquier modelo de la marca en cuestión y también el puerto de comunicación al que éste fue conectado. Este dispositivo se vincula con la cámara de plasma mediante una fibra óptica.

En la Figura 19 se puede ver la composición general del sistema.



*Fig. 19. Fotografía del arreglo experimental*



## 5. Ensayo

Se diseñó un protocolo de ensayo con el que se definió un criterio para realizar mediciones de campo, sugiriendo las variables neumáticas, térmicas, tiempos de circulación y potencial de descarga. El primer protocolo de ensayo se definió de manera empírica y se encuentra sujeto a optimización por parte de especialistas en la materia.

A continuación, se describe el protocolo empleado para discriminar diferentes tipos de mieles y posibles adulteraciones de origen.

### 5.1 Protocolo de ensayo

Para el correcto desarrollo de los ensayos, se describe a continuación el procedimiento normalizado:

- 1) Asegurar una correcta presión de la fuente de gas de entrada (Carrier o gas portador)
  - a. La presión de fuente de 30 psi es reducida, a través del regulador, a 5 psi.
  - b. El flujo del regulador se ajusta a un valor de 60 cm<sup>3</sup>/min.
- 2) Encender Módulo DMB. El estado inicial es “*Modo ByPass*”.
- 3) Antes del encendido de la fuente de alta tensión (HV), permitir la circulación del gas Carrier a través de todo el circuito por un tiempo de 5 minutos para estabilizar el sistema neumático.
- 4) Realizar la Toma Oscura (Cap. 2.2.5).
- 5) Elevar tensión HV lentamente hasta visualizar la formación del espectro característico del nitrógeno. Esto indica que el efecto de descarga corona y la formación de plasma se está realizando correctamente.
- 6) Conectar las vías de entrada y salida del módulo DMB al vial de la muestra.
- 7) Activar el “Modo Muestra” (Cap. 2.2.5) habilitando el paso del gas carrier a través del recipiente de la muestra, “arrastrando” así el headspace (Vaporización de la muestra).
- 8) Permitir esta circulación por 15 segundos, para lograr la homogeneización de la mezcla en la cámara de plasma. Se observarán leves modificaciones en el espectro graficado.
- 9) Presionar el botón “*Guardar*” y elegir un nombre de archivo para comenzar el guardado de los datos del espectro visual.

## 5.2 Mediciones

### 5.2.1 Discriminación de mieles de diferente origen

Luego de finalizados los últimos ajustes y pruebas, se realizaron mediciones de cinco mieles de distintos orígenes y calidades con el objeto de comprobar la selectividad y sensibilidad del sistema. En cada vial se colocaron 35g de muestra.



1-3



2



4



5



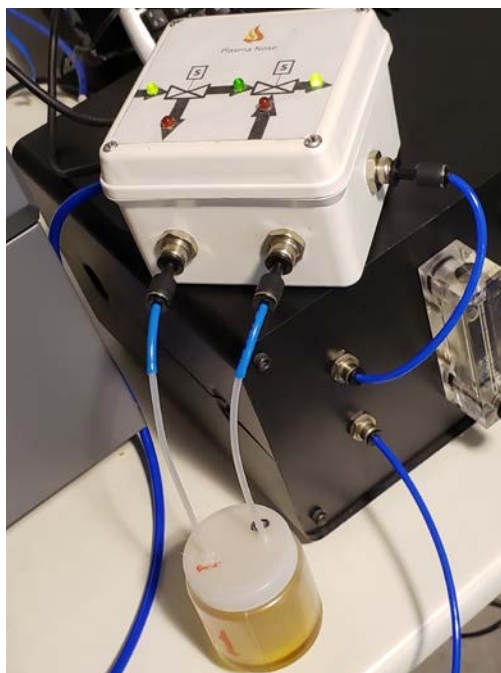
6

Fig. 20: Mieles utilizadas durante el ensayo.  
Muestra 1 y 3 corresponde a alimento a base de miel, el resto de las muestras son mieles puras de diferente origen.



*Fig. 21: Muestras colocadas en viales e identificadas previo al ensayo.*

En primera instancia, se conectaron los viales (recipientes) con las muestras al arreglo experimental, tal como muestra la fig. 22, y siguiendo el procedimiento detallado en el capítulo 4.1, se obtuvieron los espectros de todas las muestras a ensayar.



*Fig. 22: Vial de muestra conectado al módulo DMB.*

## Proyecto Final Integrador

Esto arrojó el espectro característico de cada muestra en cuestión (Fig. 23), se ajustó el software para guardar en un archivo, múltiples promedios de espectros por muestra, distanciados en un período de un segundo.

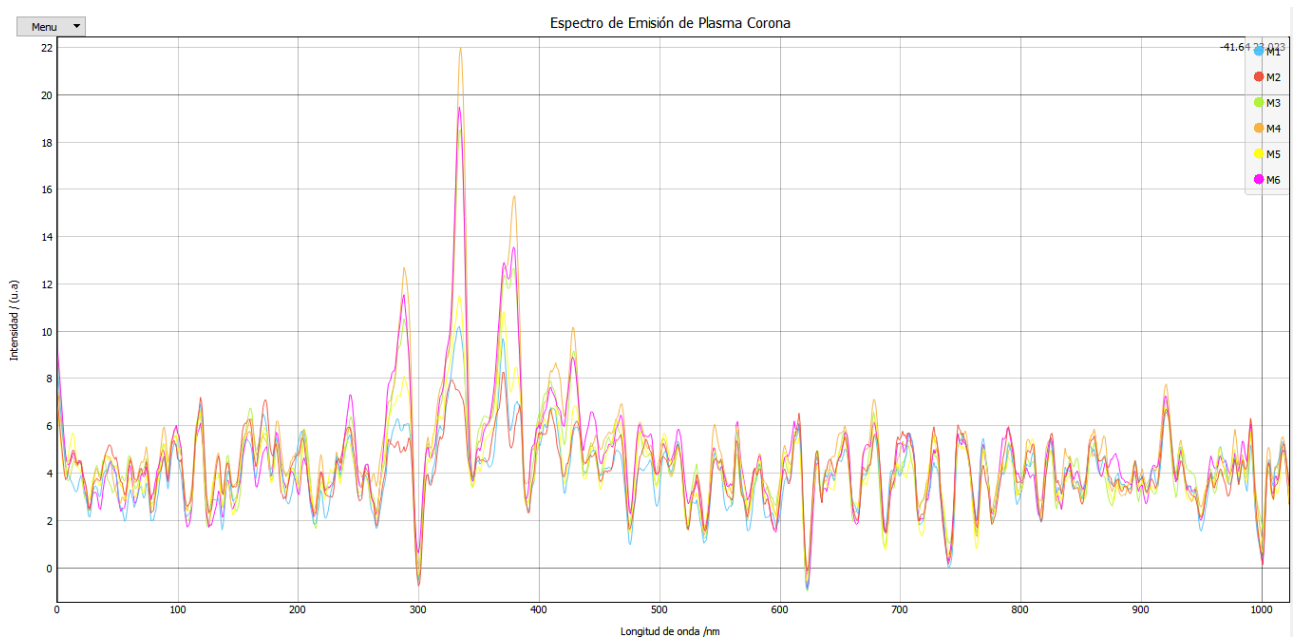


Fig. 23. Superposición de espectros M1, M2, M3, M4, M5 y M6

Como se observa en la Fig. 23, a primera vista, resulta difícil establecer diferencias determinantes entre los distintos espectros como para lograr una correcta distinción entre las muestras. Este problema pudo ser resuelto mediante la implementación de métodos de quimiometría sobre los datos obtenidos.

### 5.2.2 Discriminación de miel pura y adulteraciones

En segunda instancia se realizó una experiencia que consistió en tomar como referencia la muestra M2 (Miel pura) y adulterarla con la muestra M1 (Alimento a base de miel o jarabe).



Fig. 24. A la izquierda, Muestra referencia M2 (Miel pura). A la derecha, alimento a base de miel M1 (Adulteradora de M2).

Se adulteró M2 al 5%, al 10% y al 20% (%m/m) y se obtuvieron los nuevos espectros para cada una de las muestras (Fig. 25).



Fig. 25. A la izquierda, Vial M1 (Adulteradora de M2 (Miel pura)).  
 A la derecha de M1, orden creciente de adulteración de M2 al 5%, 10% y 20%.

### 5.3 Análisis de datos

Como se observó en el gráfico de espectros superpuestos (Fig. 23), a simple vista, el gran conjunto de datos parece no presentar información que permita una correcta clasificación. Estos datos, aparentemente no diferenciables, pueden tener proyecciones distinguibles en un determinado plano conformando por las componentes adecuadas. La Fig. 26 muestra una representación del concepto.

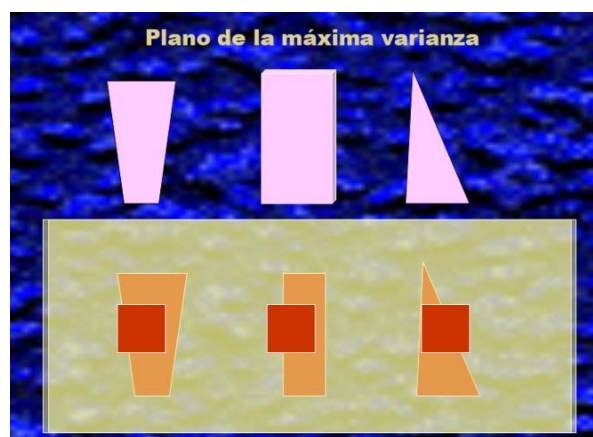


Fig. 26. Figuras diferentes pueden tener proyecciones indistinguibles y sin información (vista superior) y, a la vez, una proyección que permita diferenciarlas en un plano de máxima varianza (vista frontal).



### 5.3.1 Descripción del método PCA

El problema mencionado tiene solución en la utilización del método analítico de componentes principales (PCA). Esta es una técnica utilizada para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables ("componentes") no correlacionadas. Los componentes se ordenan por la cantidad de varianza original que describen, por lo que la técnica es útil para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos.

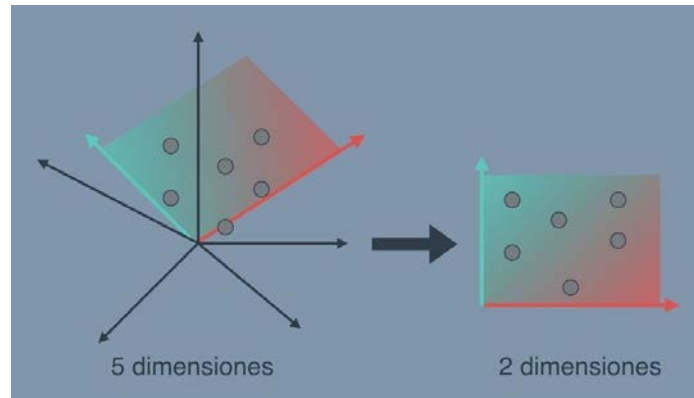


Fig. 27. Análisis de componentes principales - Luis Serrano  
<https://www.youtube.com/watch?v=AniiwysJ-2Y>

Técnicamente, el PCA busca la proyección según la cual los datos quede mejor definido respecto a los demás en términos de cuadrados mínimos. Esta convierte un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas componentes principales.

PCA puede considerarse como una rotación de los ejes del sistema de coordenadas de las variables originales a nuevos ejes ortogonales, de manera que estos ejes coincidan con la dirección de máxima varianza de los datos. Esto maximiza las diferencias numéricas entre los datos, permitiendo una determinación más clara de los mismos en conjuntos dentro de un espacio de componentes.

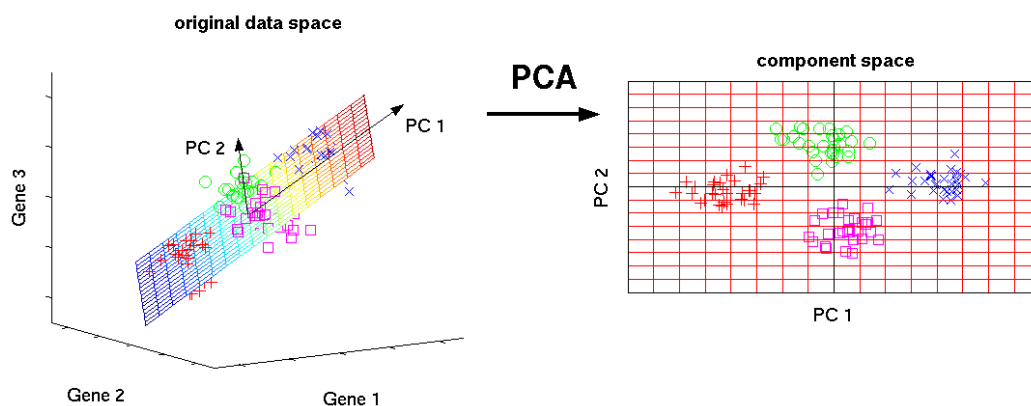


Fig. 28. Ejemplo de transformación lineal en espacio de componentes principales.  
<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/03/practical-guide-principal-component-analysis-python/>

### 5.3.2 Configuración de Software Orange3®

Para la aplicación de PCA, se empleó el software Orange 3®. Esta herramienta permite el acondicionamiento primario de los datos, la ejecución del método deseado para el procesamiento final de los resultados y su exportación de una forma amigable.

Orange 3® permite configurar un espacio de trabajo (workspace) con todos los procesos y análisis deseados.

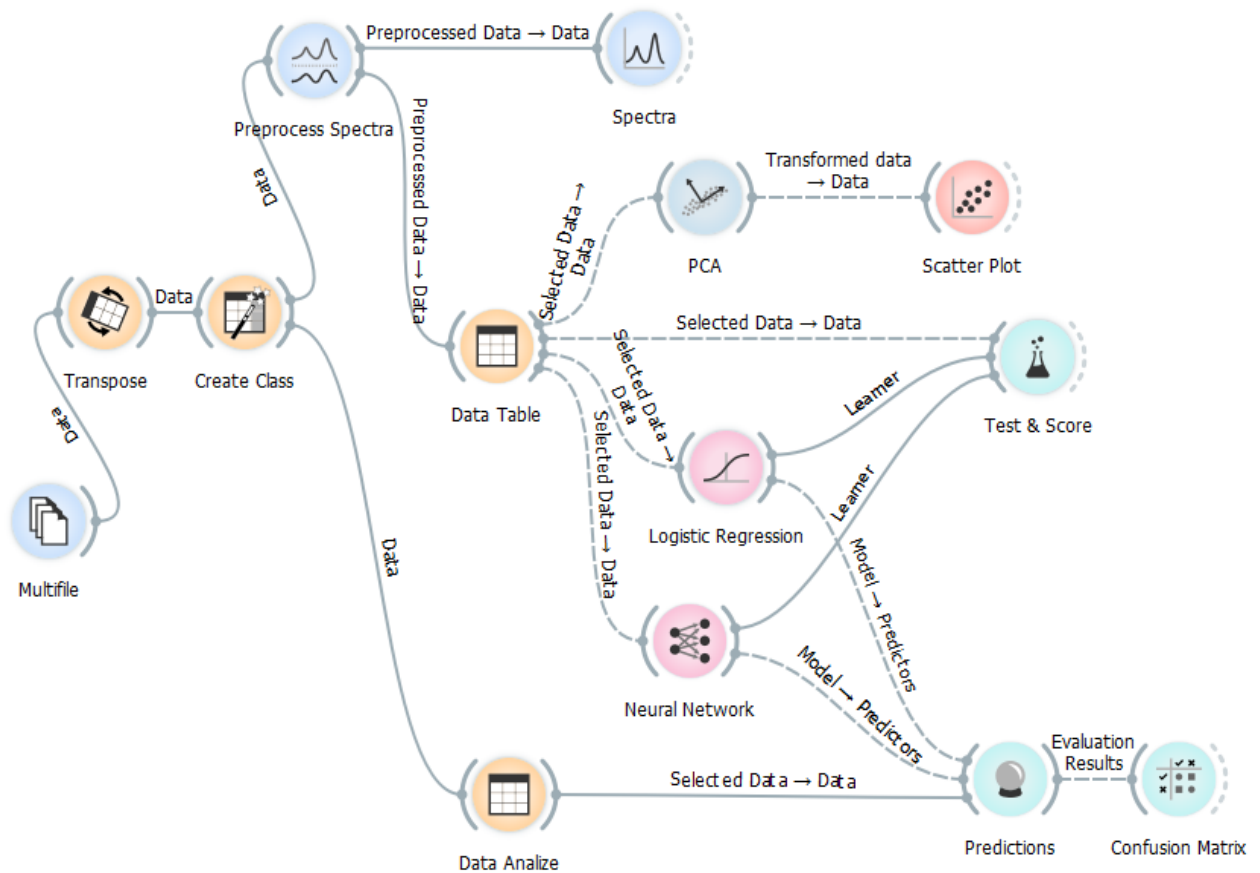
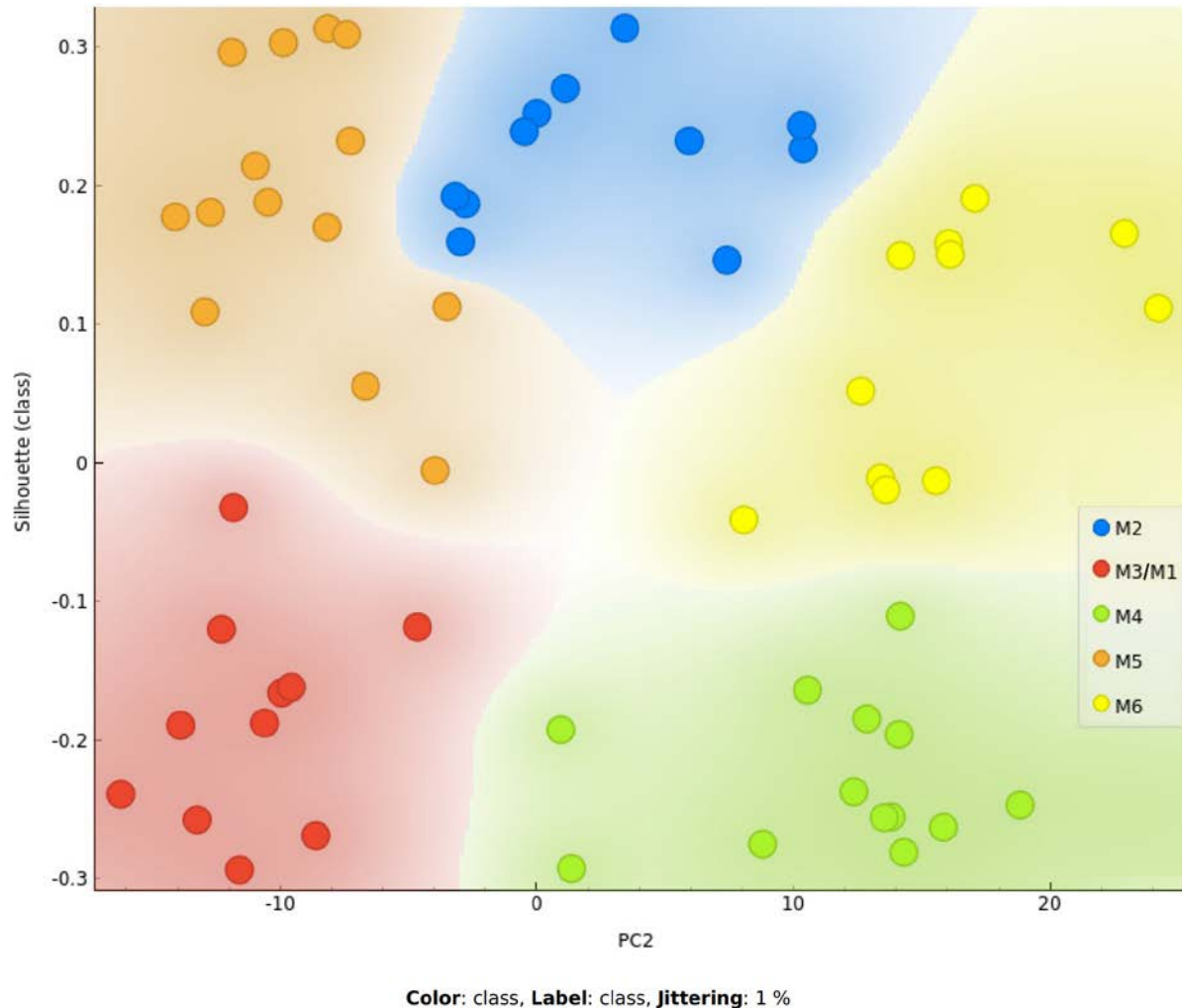


Fig. 29. Configuración del espacio de trabajo en Orange 3®.

### 5.3.3 Resultados

#### 5.3.3.1 Discriminación de mieles de diferente origen

A continuación, se muestran los de las mediciones realizadas en el capítulo 4.2.1, procesados con PCA.



Mieles Puras M2: Tandil, M3: Jarabe, M4: España, M5: Eucalipto, M6: Delta

Fig. 30. Agrupamiento de muestras de mieles de distinto origen.

Se observa la discriminación y agrupación de las muestras por cada tipo de miel. Se adoptó la sugerencia óptima propuesta por Orange3® para la selección de componentes principales.

Se pudo comprobar, repitiendo en reiteradas oportunidades la experiencia, la selectividad y sensibilidad de todo el sistema de manera satisfactoria.



### 5.3.3.2 Discriminación de miel pura y adulteraciones

A continuación, se muestran los de las mediciones realizadas en el capítulo 4.2.2, procesados con PCA.

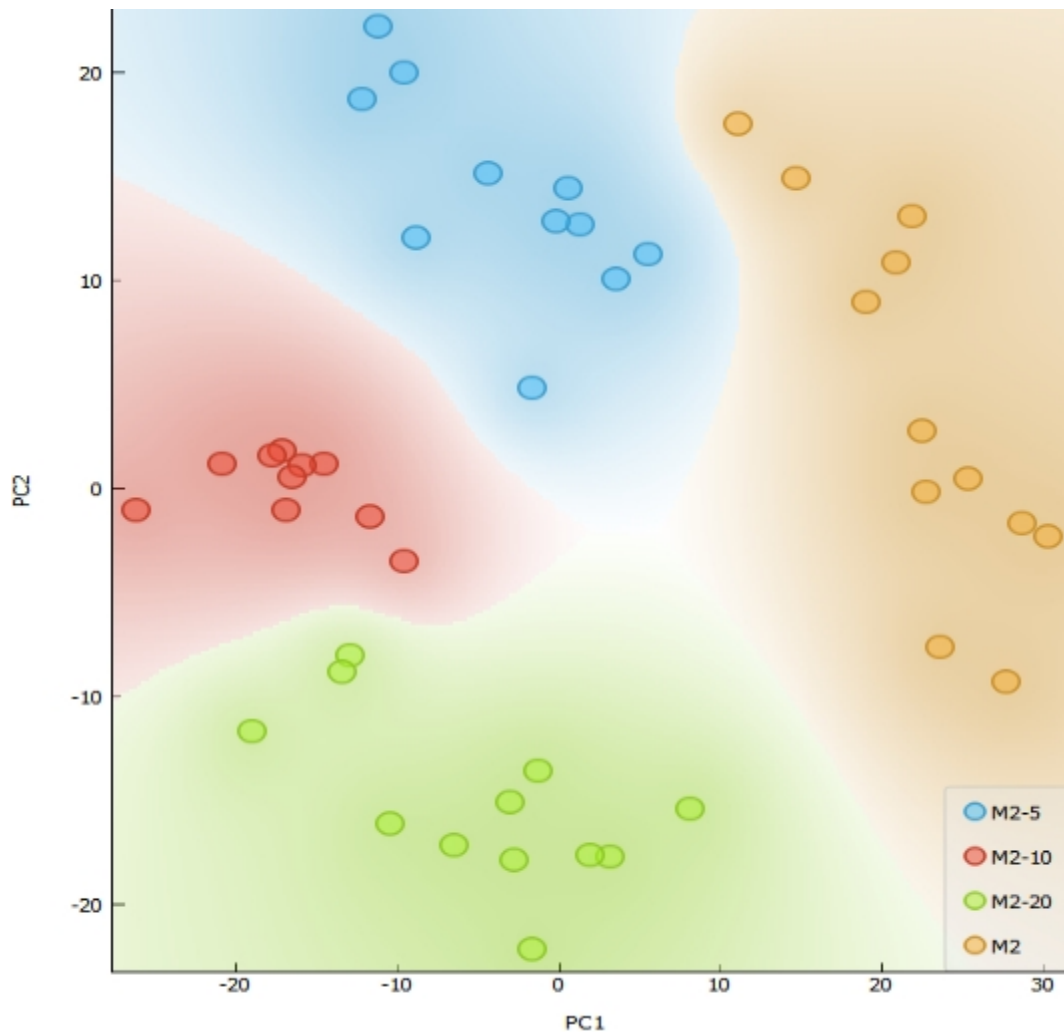


Fig. 31. Agrupamiento de muestras de mieles. M2: Miel pura; M2-5: M2 adulterada en un 5%; M2-10: M2 adulterada en un 10%; M2-20: M2 adulterada en un 20%.

Al igual que en el caso anterior, se observa una correcta diferenciación entre las clases. También puede observarse que la muestra con menor adulteración (M2-5) es la más próxima al conjunto de miel pura (M2) y los grupos se alejan conforme aumenta el nivel de adulteración siendo M2-20 la clase con muestras más distanciadas de M2 y con mayor dispersión.

### 5.3.3.3 Identificación de una muestra aleatoria (Entrenamiento del sistema)

También se realizó una experiencia de identificación. Para esto, se utilizó la herramienta de *red neuronal* de Orange 3®, para entrenar el sistema a partir de las mediciones anteriores.

La experiencia consistió en tomar una medición de una clase de miel al azar y utilizarlo como incógnita.

Los resultados se expresaron a través de una matriz de confusión. Esta herramienta permite la visualización del desempeño de un algoritmo, evidenciando si este presenta confusiones en la identificación de un dato entre distintas clases.

		Predicted				$\Sigma$			Predicted				$\Sigma$
		M2-5	M2-10	M2-20	M2				M2-5	M2-10	M2-20	M2	
Actual	M2-5	NA	NA	NA	NA	0	Actual	M2-5	NA	NA	NA	NA	0
	M2-10	NA	NA	NA	NA	0		M2-10	NA	NA	NA	NA	0
	M2-20	NA	NA	NA	NA	0		M2-20	0.0 %	0.0 %	100.0 %	0.0 %	1
	M2	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	1		M2	NA	NA	NA	NA	0
$\Sigma$		0	0	0	1	1	$\Sigma$		0	0	1	0	1

Fig. 32. Izq: Predicción de una muestra correspondiente a miel pura (M2); Der: Predicción para el caso de una muestra de miel con adulteración del 20% (M2-20)  
 NA: Corresponde a especie no disponible para identificación.

En ambos casos, el sistema demostró la capacidad para identificar correctamente una muestra entre distintas clases.

Cabe aclarar que el desempeño de esta herramienta puede ser superior si se aumenta la cantidad de muestras para el aprendizaje, permitiendo así emplearlo con una mayor cantidad de clases.

## 6. Conclusiones

Se desarrolló un sistema integral de detección de compuestos gaseosos satisfaciendo las necesidades del usuario requirente.

Se consiguió implementar por completo un sistema de adquisición de datos y control de actuadores neumáticos mediante un software de control con interfaz gráfica amigable con el usuario, debiendo dominar para ello, el lenguaje de programación C#. Para la interfaz con el hardware, primó el criterio del usuario, quien exigió la utilización de un microcontrolador con lenguaje de programación amigable, para poder realizar futuras modificaciones por personal no especializado en electrónica.

Se lograron aplicar los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera, plasmándolos en el desarrollo del presente proyecto final integrador.

Por tratarse de un proyecto inédito y de aplicación muy específica, se presentaron diversas dificultades en las distintas etapas del proyecto, las cuales se lograron superar, adquiriendo conocimientos complementarios a nuestra formación

El sistema desarrollado excede en capacidad el uso que se le dio en este trabajo, pudiendo ser empleado en cualquier otro tipo de actividad que utilice las herramientas de análisis de datos que ofrecen los métodos de quimiometría.

El sistema exhibió sus capacidades, mostrando repetibilidad en la toma de muestras, selectividad y sensibilidad esperadas, siendo dichas capacidades constatadas por el requirente.

Quedan las bases sentadas para el desarrollo de los métodos de medición por parte de especialistas en el área de la espectrometría y quimiometría. Debiendo perfeccionar el protocolo de ensayo propuesto en este trabajo como primera aproximación.

## 7. Anexo: Código

En este anexo se muestran algunas de las principales soluciones adoptadas en el desarrollo del software.

### 7.1 Autodetección de puerto COM para Arduino

#### 7.1.1 Autodetección e inicialización de puerto al que se conecta el uC (C#)

```
-----  
private void initialize()  
{  
    string com = AutodetectArduinoPort();  
    port1 = new SerialPort(com, 9600, Parity.None, 8, StopBits.One);  
    try {port1.Open();  
    }  
    catch (Exception ex)  
    {  
        Console.WriteLine("Dispositivo no encontrado.", ex.Message);  
    }  
}
```

-----  
Devuelve el string "com" con el número del puerto al que se conectó Arduino, esta búsqueda la realiza la siguiente función.

#### 7.1.2 Definición de la función AutodetectArduinoPort()

```
-----  
private string AutodetectArduinoPort() // AUTODETECCIÓN DE PUERTO COM  
  
{  
    ManagementScope connectionScope = new ManagementScope();  
    SelectQuery serialQuery = new SelectQuery("SELECT * FROM Win32_PnPEntity WHERE Name LIKE '%(COM[0-9]%'");  
    ManagementObjectSearcher searcher = new ManagementObjectSearcher(connectionScope, serialQuery);  
}
```

```
try
{
    foreach (ManagementObject item in searcher.Get())
    {
        string desc = item["Description"].ToString();
        string name = item["Name"].ToString();
        if (desc.Contains("CH340"))
        {
            string deviceId = name.Split(',')[1];
            return deviceId;
        }
    }
}
catch (ManagementException)
{
    // Do Nothing
}
return "0";
}
```

---

Esta función escanea el campo "Description" dentro de las propiedades de todos los dispositivos serie conectados a la PC buscando la cadena "CH340", inherente al dispositivo correspondiente al Arduino, y devuelve el número de puerto COM asignado por el sistema. Dado que este último dato no se encuentra en un campo exclusivo, debe ser extraído del campo "DeviceId" por medio del análisis de la cadena.

## 7.2 Botón "Inicio"

```

private void buttonScan_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (!scanning)
    {
        logger.display("Comienzo de escaneo");
        btnScan.Text = "Detener";
        buttonReset.Enabled = false;
        scanning = true;
        backgroundWorkerAcquisition.RunWorkerAsync();

        //Adquisicion de datos en 2do plano

        if (MessageBox.Show("Cierre el obturador del sensor", "Toma Oscura",
            MessageBoxButtons.OKCancel, MessageBoxIcon.Asterisk) ==
            DialogResult.OK)
        {
            buttonSaveDark_Click(sender, e); //Guarda el espectro como toma oscura

            MessageBox.Show("Ahora puede abrir el obturador !!!", "Toma Oscura",
                MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Asterisk);
        }
    }
    else
    {
        logger.display("Detener escaneo");
        backgroundWorkerAcquisition.CancelAsync();
    }
}

```

-----

Secuencia de inicio con apertura de cuadros de diálogo para la realización de la toma oscura previa a la adquisición de datos.

## 7.3 Botón de "Guardar"

```
private void buttonSave_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double[,] matrizProm = new double[pixels,10];
    CultureInfo us = new CultureInfo("en-US");
    DialogResult result = saveFileDialogSpectra.ShowDialog();
    if (result != DialogResult.OK)
        return;
    for (int j = 0; j < nmed; j++)
    {
        for (int i = 0; i < pixels; i++)
            matrizProm[i,j] = procSpectrum[i];
        processSpectrum();
        Thread.Sleep(interv*1000);
    }
    string pathname = saveFileDialogSpectra.FileName;
    using (System.IO.StreamWriter outfile = new
    System.IO.StreamWriter(pathname))
    {
        outfile.WriteLine("wavelength , counts");
        for (int i = 0; i < pixels; i++)
        {
            double valor;
            valor = wavelengths[i];
            outfile.Write("{0:0.000}",
            valor.ToString("#.###",CultureInfo.InvariantCulture));
            for (int j = 0; j < nmed; j++)
                outfile.Write("; {0:f2}", matrizProm[i, j]);
            outfile.Write("\n");
        }
    }
}
```

```
logger.display("Guardado {0}", pathname);  
}
```

---

Secuencia de guardado de datos. La aplicación permite un guardado de datos personalizado, mediante el ajuste de los parámetros de “cantidad de muestras” e “intervalo de captura”. Así, se obtiene un archivo en formato de Valores Separados por Coma (CSV) con un encabezado y una matriz de 1024 filas (resolución en longitud de onda) por n columnas, siendo n la cantidad de muestras que se desea guardar. Cada muestra consiste en un espectro (o promedio de espectros).

#### 7.4 Botón “Muestra”

El botón “Muestra” realiza la conmutación de las válvulas del módulo DMB a través del microcontrolador Arduino enviando a éste un carácter, a través del puerto serie, que provoca el cambio de estado de estas.

---

```
private void Muestra_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    if (on == true)  
    {  
        Muestra.Text = "Muestra";  
        Muestra.BackColor = Color.Green;  
        Muestra.ForeColor = Color.White;  
        on = false;  
        port1.WriteLine("A\n");  
    }  
    else  
    {  
        Muestra.Text = "Muestra";  
        Muestra.BackColor = Color.LightGray;  
        on = true;  
        port1.WriteLine("B\n");  
    }  
}
```

---



## 7.5 Comunicación con Arduino

La filosofía de comunicación con la unidad de Arduino es del tipo asincrónica, utilizando el método de “pregunta-respuesta” para la solicitud y recepción de los valores de Tensión, Humedad y Temperatura, adquiridos mediante la unidad.

```
-----  
public void OnTimedEvent(Object source, ElapsedEventArgs e)  
{  
    CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;  
    String v = "";  
    String t = "";  
    String h = "";  
    int nn;  
    port1.WriteLine("V\n\t");  
    nn = port1.BytesToRead;  
    if (nn>0)  
    {  
        v = port1.ReadLine();  
        v = v.Replace("\r", "");  
        Console.WriteLine(v);  
    }  
    port1.WriteLine("T\n\t");  
    nn = port1.BytesToRead;  
    if (nn>0)  
    {  
        t = port1.ReadLine();  
        t = t.Replace("\r", "");  
        Console.WriteLine(t);  
    }  
}
```



```
port1.WriteLine("H\n\t");
nn = port1.BytesToRead;
if (nn>0)
{
    h = port1.ReadLine();
    h = h.Replace("\r", "");
    Console.WriteLine(h);
}
label10.Text = String.Format("{0}", t);
label14.Text = String.Format("{0}", h);
label16.Text = String.Format("{0}", v);
}
```

## 7.6 Código Arduino:

```
#include <Event.h>
#include <Timer.h>
#include <DHT.h>

//Constantes

#define DHTPIN 7 // Pin al que se conecta el sensor DHT22
#define DHTTYPE DHT22 // Define modelo de sensor DHT
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inicializa sensor DHT para funcionar en 16MHz

Timer t;

/*Configuración de pines de salida para LEDS*/
int led_v = 3;
int led_v1 = 6;
int led_r = 4;
int led_r1 = 5;
int rele = 13;

int data;
int chk;
float hum; //Variable para valor de humedad
float temp; //Variable para valor de temperatura

void takeReading()
{
}
```



```
void setup()
{
  /*Configuración de E/S y puertos de comunicación*/
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  pinMode(led_v, OUTPUT);
  pinMode(led_r, OUTPUT);
  pinMode(led_v1, OUTPUT);
  pinMode(led_r1, OUTPUT);
  pinMode(rele, OUTPUT);
  t.every(200, takeReading);
  digitalWrite(led_v, HIGH);
  digitalWrite(led_v1, HIGH);
}

void loop()
{
  t.update();
  if (Serial.available())
  {
    data = Serial.read();
    if(data == 'A') //MODO "MUESTRA"
    {
      digitalWrite(rele, HIGH);
      digitalWrite(led_r, HIGH);
      digitalWrite(led_r1, HIGH);
      digitalWrite(led_v, LOW);
      digitalWrite(led_v1, LOW);
    }
  }
}
```

```
        if(data == 'B') //MODO BYPASS
        {
            digitalWrite(rele, LOW);
            digitalWrite(led_r, LOW);
            digitalWrite(led_r1, LOW);
            digitalWrite(led_v, HIGH);
            digitalWrite(led_v1, HIGH);
        }

        if(data == 'V') // Lectura indirecta de HV con factor de conversión a tensión y envío a puerto serie
        Serial.println(analogRead(0)*0.0048828);

        if(data == 'T') // Lectura de temperatura y envío a puerto serie
        {
            temp = dht.readTemperature();
            Serial.println(temp);
        }

        if(data == 'H') // Lectura de humedad y envío a puerto serie
        {
            hum = dht.readHumidity();
            Serial.println(hum);
        }
    }
}
```

---

## 8. Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de las siguientes personas, que han contribuido con datos importantes, conocimientos e ideas para el desarrollo de este proyecto:

- Al Dr. Carlos A. Rinaldi, quien fue nuestro tutor y guía durante todo el tiempo que duró la realización de este proyecto.
- Al Dr. Ing. Juan Vorobioff, quien fue nuestro guía y principal fuente de consulta en los aspectos técnicos de nuestro desarrollo.
- A la Universidad Nacional de San Martín, por propiciarnos las facilidades para poder llevar a cabo nuestros estudios.
- A la cátedra de Proyecto Final, a cargo del Ing. Marcelo E. Romeo.
- A nuestros familiares, siempre presentes, por el apoyo brindado durante la carrera.
- Al Sr. Javier Rinaldi, quien nos brindó asistencia técnica en el laboratorio.
- Al Periodista de Agencia TSS, Matías Alonso, quién hace mención del presente proyecto en la nota: <http://www.unsam.edu.ar/tss/olfato-electronico/>

## 9. Fuentes

- Corona discharge induced plasma spectroscopy (CDIPS) for quantitative analysis of gas mixtures – 2016.  
*J. Vorobioff, N. Boggio, S. Moncayo, J. O. Caceres, C. A. Rinaldi*
- La espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo – 1986  
*Isabel Sanchez de Rojas, Pilar de Luxan, Moisés Frías*
- Electronic nose and neural network use for the classification of honey – 2004  
*Simona Benedetti, Saverio Mannino, Anna Gloria Sabatini, Gian Luigi Marcazzan*
- Narices electrónicas y sniffers – 2009  
*Carlos A. Rinaldi*
- Ocean Optics - The journey of a photon - From spark to spectra – *Publicación Web*
- Ocean Optics - Laser-induced breakdown spectroscopy - LIBS2500plus – Installation and Operation Manual.
- Ocean Optics - HR2000+ Data sheet
- Ocean Optics – Omni driver programming guide – 2016
- Visual C# How to program, 6th ed. – 2017  
*Paul Deitel, Harvey Deitel*