



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior
de Jaén

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO MECÁNICO DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA PARA LA DISCRIMINACIÓN DE ACEITES

Alumno: Juan Gómez García

Tutores: Prof. D. Diego Manuel Martínez Gila
Prof. D. Cándido Gutiérrez Montes

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Septiembre, 2018



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Don Diego Manuel Martínez Gila y Don Cándido Gutierrez Montes, tutores del Trabajo Fin de Grado titulado: “Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites”, que presenta Juan Gómez García, autorizan su presentación para la defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Septiembre de 2018

El alumno:

Juan Gómez García

Los tutores:

D. Diego Manuel Martínez Gila
D. Cándido Gutiérrez Montes

RESUMEN

La integración de sensores en el proceso de producción del aceite con oliva virgen ayuda a determinar en línea de proceso la calidad de los aceites elaborados y de forma continua y objetiva. Es por ello, que una nariz electrónica compuesta por sensores capaces de reproducir las funciones de una nariz humana podría ser una solución industrial revolucionaria que ayudaría a valorar de forma automática el aceite de oliva.

ABSTRACT

The subjectivity of the olive oil tastings is making more and more machines appear that can help determine the quality of oils in a more objective way, giving a fair value to all the oils. That is why, an electronic nose composed of sensors capable of reproducing the functions of a human nose could be a revolutionary solution that would change the way of assessing olive oil.

Con todo mi cariño y esfuerzo,
a mi familia,
a mis amigos,
a mis profesores.

Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites



Índice general

I	MEMORIA	19
1.	Introducción	20
1.1.	Motivación	22
1.1.1.	Proceso de elaboración del aceite de oliva	23
1.1.2.	Calidad del AOV	26
1.1.3.	¿Qué es una nariz electrónica?	29
1.1.4.	Smart Sensors en la industria 4.0	30
1.2.	Objetivos	33
1.2.1.	Objetivos específicos	33
1.3.	Contexto	34
1.4.	Antecedentes	37
2.	Desarrollo Mecánico	40
2.1.	Diseño de la “Nariz”	40
2.1.1.	Requisitos de diseño	40
2.1.2.	Circuito neumático	41
2.1.3.	Diseño de la cámara de sensores	45
2.1.4.	Caja	55
2.2.	Fabricación	60
2.3.	Análisis térmico de la cámara y caja	65

2.3.1.	Casos a analizar	66
2.3.2.	Herramientas utilizadas	70
2.3.3.	Cámara de sensores	70
2.3.4.	Caja	73
2.4.	Simulación del flujo de aire	76
2.4.1.	Caso de estudio	76
2.4.2.	Resolución del caso	78
2.4.3.	Resultados	83
3.	Resultados	91
3.1.	Prototipo final	94
3.2.	Producto final	97
3.3.	Pruebas con muestras reales	98
3.3.1.	Ensayos de medida	100
3.3.2.	Resultados de la clasificación EVO / VO	102
4.	Conclusiones y trabajos futuros	107
4.1.	Objetivos alcanzados	107
4.2.	Mejoras	108
4.2.1.	Módulo de carga	108
4.2.2.	Flujo de aire controlado	109
4.2.3.	Otros mercados potenciales	109
	Bibliografía	111
II	ANEXOS	113
A.	PLANOS	114

B. CÁLCULOS	122
.1. Cálculo de velocidad del fluido	123
.2. Cálculo del volumen fluido	123
.3. Tiempo de llenado de la cámara de sensores	123
.4. Simplificación para la simulación	124
C. PRESUPUESTO	126
D. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS	131

Índice de figuras

1.1. Producción en España en los últimos años en miles de toneladas	21
1.2. Llegada de la aceituna a la almazara	24
1.3. Salida del aceite de un decanter	25
1.4. Máquina embotelladora	26
1.5. Principales variedades de aceituna	27
1.6. Cata de aceite	28
1.7. Anatomía de la nariz humana	30
1.8. Evolución de la industria hasta la cuarta generación	31
1.9. Esquema 3D de un sistema Smart Sensor	32
1.10. Esquema de industria 4.0 inteligente	33
1.11. Relación entre ISR y GRAV	35
1.12. Relación entre las partes de mecánica, software y hardware.	36
1.13. Relación entre las partes de mecánica, software y hardware.	37
2.1. Esquema de la nariz electrónica en su totalidad	41
2.2. Filtros utilizados para la limpieza del aire	42
2.3. Electtrovalvula modelo VQD11 y racor KGE04	44
2.4. Bomba de vacío	44
2.5. Sistema neumático	45
2.6. Esquema de la cámara de sensores	46
2.7. Primera idea de la cámara de sensores	46

2.8. Esquema de ensamblaje entre sensor, socket y base	47
2.9. Ejemplo de sockets	48
2.10. Distribución de sensores	49
2.11. Impresión 3D del primer prototipo	50
2.12. Ejemplos de piezas fabricadas en arnite	51
2.13. Tapadera de la cámara	52
2.14. Cuerpo principal	53
2.15. Base de sockets	53
2.16. Esquema de los tres componentes	54
2.17. Junta de caucho	55
2.18. Rolec AluCase	56
2.19. Distribución de componentes en la placa	57
2.20. Raspberry Pi 7 Touch Screen Display	58
2.21. Base caja con sus respectivos mecanizados	59
2.22. Prototipo final fabricado en impresión 3D junto con algunos sockets	60
2.23. Tamaño del tocho necesario para la pieza central	62
2.24. Selección de cara inferior del vaciado 2D	62
2.25. Menú de selección de parámetros	63
2.26. Trayectorias de varios procesos	64
2.27. Fagor Alecop Supernova	65
2.28. Transmisión de calor por conducción	67
2.29. Convección natural y forzada	68
2.30. Convección natural y forzada	69
2.31. SDS INFRARED E8	70
2.32. Probeta de aceite a 36°C	71
2.33. Cámara de sensores	72
2.34. Pieza de arnite utilizada para los test	72

2.35. Pieza tras ser calentada	73
2.36. Raspberry Pi	74
2.37. Fuente de alimentación	74
2.38. Caja en funcionamiento	75
2.39. Ejemplo explicativo de la ecuación de continuidad	77
2.40. Simplificación de los sensores para la simulación en CFD	79
2.41. Volumen fluido del interior de la cámara	79
2.42. Volumen fluido mallado	81
2.43. Ventana 1 del menú de control	81
2.44. Ventana 2 del menú de control	82
2.45. Menú secundario avanzado	82
2.46. Menú secundario de turbulencia	83
2.47. Gráfica de velocidad 1	84
2.48. Gráfica de temperatura 2	85
2.49. Gráfica de temperatura 2	85
2.50. Gráfica de presión 2	86
2.51. Gráfica de velocidad 2	86
2.52. Gráfica de velocidad 3	87
2.53. Trayectoria de partícula inferior	88
2.54. Trayectoria de partícula superior	88
2.55. Geometría formada por los sensores	89
2.56. Mejora para la entrada de flujo	90
3.1. Cámara de sensores 1	92
3.2. Cámara de sensores 2	92
3.3. Cámara de sensores 3	93
3.4. Montaje de caja	94
3.5. Prototipo 1	95

3.6. Prototipo 2	95
3.7. Prototipo 3	96
3.8. Prototipo 4	96
3.9. Prototipo 5	97
3.10. Renderizado de Nariz Electrónica	98
3.11. Nariz electrónica en funcionamiento	98
3.12. Ensayo 1	101
3.13. Gráfica de un aceite EVO en función del tiempo	101
3.14. Huella de una muestra de aceite EVO	102
3.15. Matriz de confusión 1	103
3.16. Matriz de confusión 2	103
3.17. Matriz de confusión 3	104
3.18. Matriz de confusión 4	105
3.19. Matriz de confusión 5	105
3.20. Matriz de confusión 6	106
4.1. Cata de vino	110

Índice de tablas

1.1. Producción en España en los últimos años en miles de toneladas	20
1.2. Valores asociados a distintas calidades de aceites en catas y laboratorios . .	28
2.1. Tabla de sensores	49
2.2. Conectores necesarios	58
3.1. Muestras Oliva Virgen Extra	99
3.2. Muestras Oliva Virgen y Lampante	100

Definiciones y Abreviaturas

- **CAD** – Siglas de Diseño Asistido por Computador (Computer Aided Design).
- **PCB** – Siglas de Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board).
- **ENose** – Término utilizado para hacer referencia a la nariz electrónica.
- **CNC** – Siglas de Control Numérico Computarizado.
- **Gcode** – Tipo de lenguaje de control numérico utilizado para implementar las operaciones de la CNC.
- **Vórtice** – Remolino de viento o aire que avanza rápidamente. También conocido como centro de torbellino.

Parte I

MEMORIA

Capítulo 1

Introducción

El sector del aceite de oliva es un sector cada vez más competitivo y trata de obtener los mejores resultados en sus productos. Es clave, por tanto, que existan actividades de investigación dedicadas de lleno a optimizar los procesos de producción y analizar la calidad de los aceites.

Todo comienza desde el olivo. Éste da el fruto de la aceituna, que se recoge posteriormente para hacer lo que realmente interesa, el aceite de oliva. En España existe una producción de aceite de oliva muy importante a nivel mundial, suponiendo entorno a un 45 % de la producción.

PRODUCCION					
	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
OCTUBRE	8,8	30,5	22,7	9,7	28,0
NOVIEMBRE	169,7	157,6	260,5	93,5	206,0
DICIEMBRE	592,2	427,5	606,5	457,1	425,6
ENERO	483,0	160,2	364,2	527,3	404,0
FEBRERO	300,1	37,8	114,4	155,9	155,8
MARZO	207,9	19,5	26,0	37,4	18,5
ABRIL	14,5	3,2	3,6	4,5	15,0
MAYO	5,3	5,9	5,4	5,2	2,6
JUNIO					
JULIO					
AGOSTO					
SEPTIEMBRE					
	1.781,5	842,2	1.403,3	1.290,6	1.255,5

Tabla 1.1: Producción en España en los últimos años en miles de toneladas

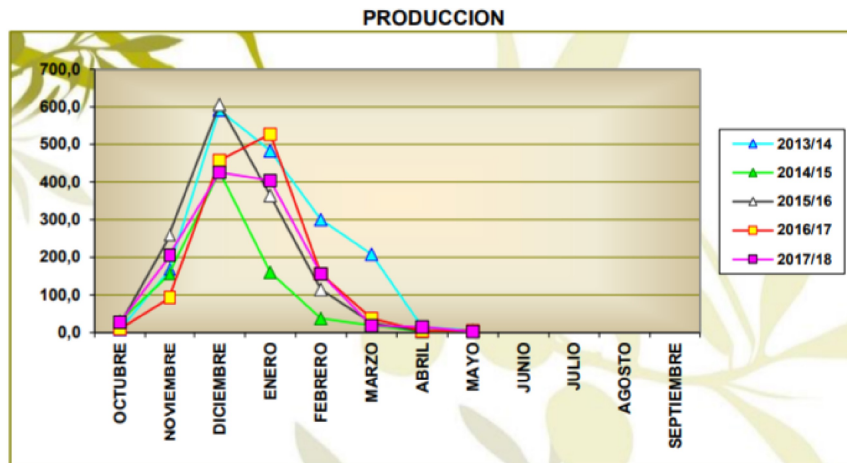


Figura 1.1: Producción en España en los últimos años en miles de toneladas

En concreto en la provincia de Jaén, a día de hoy, se produce una cantidad que supone el 41.43 % de la producción nacional. Esto da a lugar a que la investigación en este sector sea particularmente importante en esta provincia, por todo lo que supone para la economía y la cultura jiennense. Y es una realidad, aunque parezca extraño, que hay una escasa automatización a día de hoy en las almazaras, lo que significa que existe todavía un enorme potencial para el desarrollo de sistemas automatizados aplicados a este sector.

Con este propósito, es necesario desarrollar nuevos sistemas capaces de dar información del aceite en su proceso de elaboración en tiempo real. Así, se podrá tener un control mucho mayor del producto, y obtener un aumento tanto en niveles de calidad como en volúmenes de producción, ya que habrá procesos que se pueden mejorar gracias a estos sistemas.

Los trabajos desarrollados en este TFG están alineados con el concepto de Industria 4.0y particularmente con el concepto de "SmartSensors", que trata de ayudar a obtener el mejor producto posible, mediante el desarrollo de aplicaciones basadas en la obtención de datos mediante sensores, capaces de recoger y analizar muestras e incluso en algunos casos actuar directamente sobre el proceso en cuestión.

En este trabajo se va abordar el diseño mecánico de un dispositivo que será capaz de

analizar la calidad del aceite que se están produciendo, mediante sensores que reaccionan ante los componentes volátiles de estos, es decir, sensores de gas. Éste trabajo de fin de grado, forma parte de un trabajo conjunto con los compañeros Manuel Hernandez Cleedera y Arturo López Riquelme, quienes han desarrollado la parte hardware y software respectivamente.

1.1. Motivación

Con el paso del tiempo, la industria alimentaria se está poniendo al día con la introducción paulatina de la automatización de sus procesos en fábricas. Esto es algo que está marcando la diferencia entre las marcas, pues ahora lo que se necesita es una productividad máxima, así como una diferenciación de clase de producto. Una de estas industrias es la del Aceite de oliva. Cada vez vemos más oferta de aceites de alta calidad, pero todos diferentes. La pregunta es, ¿quién o qué determina la calidad de estos aceites? Pues bien, a día de hoy son los maestros de almazara, en la parte de producción, y los laboratorios químicos, posteriormente, quienes determinan la calidad de un aceite. De esta forma, el maestro solo puede basarse en su experiencia y criterios, así como los laboratorios trabajan, posteriormente a la producción, con muestras.

Por tanto, el objetivo de la nariz electrónica es poder dar un apoyo al maestro en la almazara, dando información online del producto que se está elaborando. Esto no quita, que posteriormente se necesiten hacer análisis químicos del producto que determinaran factores más específicos. Además existen los paneles de cata, los cuales determinan también los tipos de aceite, pero siempre dentro de un marco subjetivo.

Además, la instalación en línea del proceso de un e-nose puede ayudar a detener algunas situaciones de fraude. Por ejemplo, cuando la aceituna llega a la almazara esta puede ser vendida por el cosechador a un precio superior al que merece el producto, como a un precio menor, si el operario de almazara no ofrece un precio justo.

Antes de entrar más en profundidad es necesario entender, aunque sea brevemente, como es el proceso de elaboración del aceite de oliva.

En todas las fases del proceso se intenta mantener un control exhaustivo de él, bien para poder producir el aceite que se desee o, visto de otra forma, para saber exactamente qué producto se está obteniendo.

Esto motiva también a que un proyecto tan innovador como el de la nariz electrónica se realice en la Universidad de Jaén, que apuesta claramente por la mejora del sector del aceite de oliva.

1.1.1. Proceso de elaboración del aceite de oliva

El proceso comienza con la recogida de la aceituna en el campo, pero como realmente lo que importa en este caso es la elaboración en la almazara, pasaremos directamente al punto en el cual el agricultor lleva su producto a la misma.

En primer lugar la aceituna se deposita en los patios de recepción, en donde la aceituna cae por unas tolvas directamente a una cinta transportadora. En este momento ésta contiene hojas, tierra o cualquier otro tipo de elemento que puede haber en el campo. Aunque pudiera parecer algo tan simple como vaciar un remolque cargado de aceitunas, este paso se convierte en el primer punto de catalogación del producto, pues antes de soltar la aceituna hay un operario que se encarga de determinar el tipo de aceituna que se ha recogido, para así enviarla a una cinta u otra, lo que conlleva aceites de distintas calidades. Esta clasificación se hace en función de la variedad, el grado de maduración y del estado sanitario de la misma. Es un operario el que realiza esta operación. En la Figura 1.2 podemos ver este momento.



Figura 1.2: Llegada de la aceituna a la almazara

De aquí, se pasa al deshojado, despallado y lavado para quitar todo lo que no queremos que contamine el aceite. Este proceso se hace a través de ventiladores y agua. Una vez ocurre todo esto, no deben pasar más de 48 horas entre el lavado y el molido, ya que la aceituna podría fermentar y provocaría defectos en el aceite.

Una vez está la aceituna limpia podemos comenzar con el molido. La molienda tiene por objeto la rotura de los tejidos de las aceituna, donde se aloja la materia oleosa y debe realizarse con la mayor uniformidad. Para ello se someten las aceitunas a la acción de molinos trituradores. La masa de aceitunas trituradas está formada por una fase sólida (trozos de huesos y pulpa) y fases líquidas de distintas densidades (gotas de aceite y alpechín en fase continua).

Después de esto viene el batido que consiste en amasar lentamente y de forma continua la masa obtenida en la molienda, favoreciendo la rotura de la emulsión agua-aceite. Este se suele hacer a temperaturas no mayores de 30°C. Este proceso debe llevarse a cabo de forma que permita el mayor contacto posible entre las gotas de aceite, sin provocar emulsiones que luego dificultan el proceso de extracción. Existen dos tipos de batidoras: las verticales y las horizontales.

- Batidora vertical: son batidoras cilíndricas en las que el eje de la batidora gira en torno a un eje perpendicular a la base de la batidora. Una diferencia que posee

frente a las horizontales también se encuentra en las paletas, las cuales suelen ser de mayor diámetro.

- Batidora horizontal: de forma semicilíndrica, son las más comunes en la actualidad. Las paletas giran alrededor de un eje paralelo a la base de la termobatidora. Suelen encontrarse en las almazaras batidoras de dos a cuatro cuerpos, permitiendo la circulación de la masa en cascada.

Por último se tendría que separar las fases que son el aceite , el apechín y el orujo. Estas son la fase oleosa, la fase acuosa y la fase solida respectivamente. Para ello se somete la masa ya batida a un proceso de centrifugación en un decanter que gira a un elevado número de revoluciones($\simeq 5000$ rpm). La fuerza centrífuga y la diferencia de densidades de las diferentes fases permiten su separación.



Figura 1.3: Salida del aceite de un decanter

Después de esto vendría la fase de almacenamiento y embotellado del aceite. En la mayoría de los casos, este proceso está automatizado. Consistiría en una máquina de embotellado como la de cualquier otra fabrica (figura 1.4).



Figura 1.4: Máquina embotelladora

1.1.2. Calidad del AOV

Como es de imaginar, el Aceite de Oliva Virgen (AOV) es clasificable, y no se trata de un proceso sencillo. Como es obvio, la calidad de un producto nos da la posibilidad de diferenciar unos de otros. Es necesario hacer hincapié en la diferencia entre la calidad y el tipo de aceite. El tipo de aceite viene determinado, en mayor medida, por la variedad de la aceituna. Existen en torno a 260 variedades distintas en todo el mundo. Unas son más utilizadas para la producción de aceite y otras para aceituna de mesa. Por tanto, dos aceites hechos con dos variedades distintas, siguiendo el mismo proceso de elaboración, no serán iguales.

En la siguiente imagen, podemos observar algunos ejemplos de las variedades más utilizadas para la elaboración de aceites.



Figura 1.5: Principales variedades de aceituna

Un aceite de oliva se puede considerar de buena calidad si partimos de una buena materia prima, es decir, aceitunas en buenas condiciones y recogidas en su mejor momento. Además, es necesario también un correcto tratamiento de la misma o, dicho de otra forma, sería llevar a cabo un correcto proceso de elaboración en el cual el producto sea controlado en cada fase del mismo. Todo ello incide a la hora de catalogar un aceite, pues tanto el estado de la aceituna como las condiciones del proceso afectan al sabor y olor (parámetros organolépticos). Actualmente esta catalogación se llevó a cabo a través de laboratorios acreditados, mediante análisis químicos.

En concreto un aceite de oliva virgen extra es, dentro de las calidades de aceite de oliva, la más alta que puede adquirir un aceite. Éste debe cumplir dos condiciones para calificarse de esta manera: una de carácter químico, resumido en porcentaje de acidez y otra de carácter organoléptico, es decir, de sabor y aroma, que se determina actualmente mediante catas llevadas a cabo por expertos.



Figura 1.6: Cata de aceite

Las catas constituyen una parte fundamental del proceso de elaboración de los aceites, ya que son en gran parte las que asignan la calidad final de un aceite. Éstas consisten en un conjunto de expertos que prueban muestras de aceite y determinan una serie de factores que influyen en la calidad del mismo. Como se puede observar en la figura 1.6, los recipientes en los cuales se realizan los ensayos suelen ser de color azul o en algunos casos también rojos. Esto se debe a que cuando se hace una cata, se pretende que no influya el color del aceite, ya que muchas veces éste factor no tiene transcendencia en la calidad del producto. Estos ensayos junto con los correspondientes análisis químicos, determinan la calidad de aceite en cuestión. En la tabla 1.2 se puede ver los valores que se asignan a las distintas calidades.

		Aceites de Oliva			Aceite de Orujo-Oliva
		Virgen Extra	Virgen	Oliva (refinado)	
Análisis químico	Acidez libre	$\leq 0,8$	≤ 2	≤ 1	≤ 1
	Peróxidos	≤ 20	≤ 20	≤ 15	≤ 15
	Absorbancia K270	$\leq 0,22$	$\leq 0,25$	$\leq 0,90$	$\leq 1,70$
	Absorbancia K232	$\leq 2,50$	$\geq 2,60$	no definido	no definido
Análisis sensorial	Mediana de defecto	$= 0$	> 0 y $\leq 3,5$	no definido	no definido
	Mediana de frutado	> 0	> 0	no definido	no definido
	Puntuación panel cata	$\geq 6,5$	$\geq 5,5$	no definido	no definido

Tabla 1.2: Valores asociados a distintas calidades de aceites en catas y laboratorios

Pero bien, si se está valorando la calidad de los aceites según la nariz de un catador, es inevitable pensar que se está haciendo una valoración subjetiva, pues pone en valor el juicio de personas entrenadas que dan sus opiniones sobre el producto. Es decir, dos catadores no van a tener una misma valoración sobre un aceite, pues por mucho que quieran ser objetivos, siempre va a influir el pensamiento o los gustos de cada uno. Por ello, es interesante para este sector un nuevo catador capaz de reproducir las mismas funciones que realiza un catador profesional, pero que siempre tenga las mismas referencias y valores. Esto se puede conseguir con la nariz electrónica, una herramienta capaz de desempeñar las funciones de un humano, pero sin dar cabida a la subjetividad, pues siempre tomará los mismos valores sin importar el momento, ni los gustos, ni cualquier otro factor que pudiese influir en la cata.

1.1.3. ¿Qué es una nariz electrónica?

Como su nombre indica, una nariz electrónica, pretende imitar la nariz humana. Ésta sería una definición básica la cual implicaría un “aparato” que fuese capaz de oler. Para ello, puede ser lógico el hecho de usar sensores para desarrollarla. Pero claro, la nariz humana, ¿es solo un órgano que está en la cara de una persona sin más? Es evidente que no. Detrás de un pequeño órgano que tiene dos orificios por los cuales entra el aire hay un cerebro con la misión de determinar qué es cada olor. En la figura 1.7 podemos ver, de forma simplificada, las partes de una nariz humana.

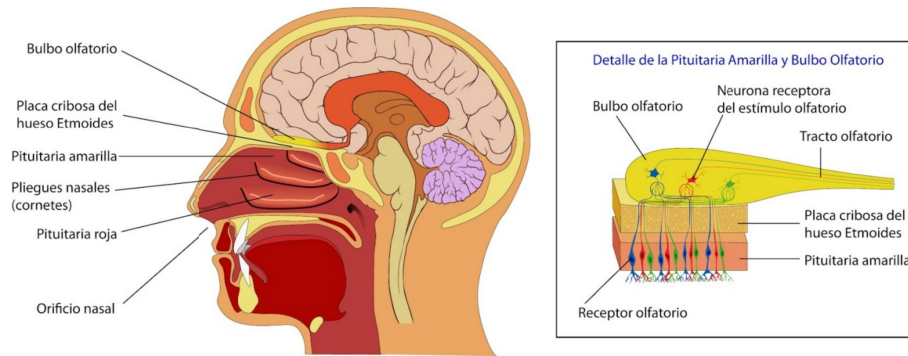


Figura 1.7: Anatomía de la nariz humana

En el caso de una nariz electrónica, el sustituto del cerebro sería un ordenador. Y aquí está la complejidad, conseguir desarrollar un software capaz de igualar al cerebro humano. Esto a día de hoy es imposible, pero sí se pueden desarrollar aplicaciones parecidas, que con menos potencia que un cerebro, cumplan con su objetivo. Esa es la intención de la nariz electrónica, ser capaz de obtener componentes volátiles del aceite de oliva, y mediante parámetros característicos percibibles por los sensores, desarrollar una aplicación que ayude al proceso de valoración de la calidad del aceite de oliva. Para ello, tras desarrollarla hará falta un entrenamiento de la misma, hasta conseguir que sea completamente fiable.

1.1.4. Smart Sensors en la industria 4.0

Es evidente que la sociedad va avanzando y por tanto la industria también. Con el paso de los años, la industria ha ido evolucionando siempre en la dirección de la eficiencia en la producción. Desde la introducción de la cadena de producción de “H. Ford” en 1914 hasta la implementación de robots capaces de desempeñar las mismas operaciones que un ser humano.

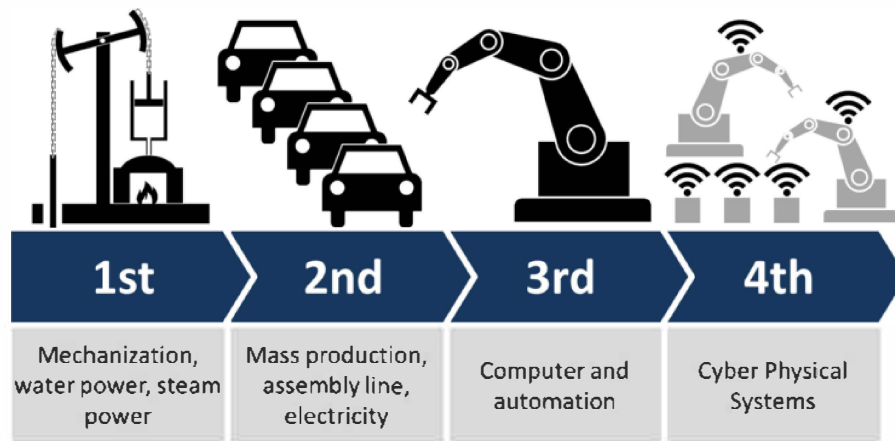


Figura 1.8: Evolución de la industria hasta la cuarta generación

Como se puede observar en la figura 1.8 la última generación industrial es la cuarta. Es también conocida como Industria 4.0 y su definición más simple podría ser implementar el concepto de “Industria inteligente”. Se trata de conseguir fábricas que en el mayor grado posible, sean capaces de funcionar por si solas. Esto puede parecer muy complejo pero puede convertirse en una realidad muy cercana.

Por otro lado, los Smart Sensors son dispositivos preparados para recibir información del medio exterior para posteriormente procesarla y dar información sobre alguna magnitud específica. Para procesar la información hace falta un ordenador, pero no necesariamente ha de estar físicamente junto a los sensores. Ésta es una de las características más significativas de estos sensores. A través de internet se puede tener un sensor ubicado en una fábrica, y tener una empresa externa que se encarga de procesar la información en su instalaciones. En la figura 1.9 podemos observar un esquema de un SmartSensor.



Figura 1.9: Esquema 3D de un sistema Smart Sensor

Un ejemplo muy sencillo podría ser un simple sensor de temperatura y humedad instalado en cada planta de una empresa dedicada a la producción de tomates. Este sensor capta información con una frecuencia determinada sobre las variables de las plantas y manda esta información, a través de una red informática, a un ordenador. Éste, una vez ha recibido los datos, procesa los mismos y mediante un programa informático es capaz de determinar qué le hace falta a la planta, como podría ser añadir agua o añadir hierro. Esta nueva información se devuelve a la empresa de tomates y muestra lo que le hace falta a la planta en una pantalla en la cual el operario puede ver y utilizar la información de los sensores.

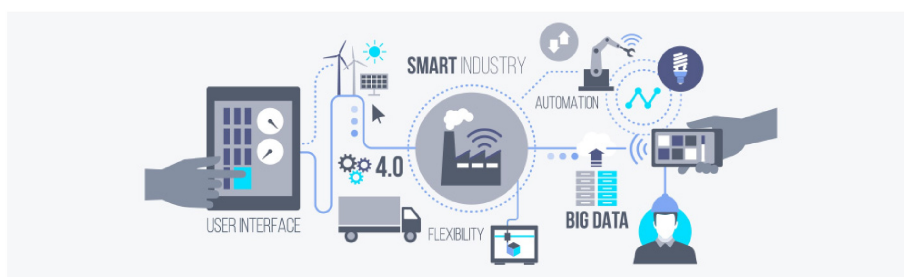


Figura 1.10: Esquema de industria 4.0 inteligente

Si relacionamos ambos conceptos, resulta una conexión muy interesante. Estamos hablando de tener una fábrica capaz de adaptarse, es decir, podría, por ejemplo, funcionar cada día de una forma diferente en función de varios factores que se podrían determinar en función del tipo de industria. Es por eso que una nariz electrónica, de la misma forma que se ha planteado el ejemplo de los tomates, podría aplicarse a una almazara.

1.2. Objetivos

El objetivo general de este Trabajo Fin de Grado es diseñar un dispositivo **competitivo** en el sector industrial, capaz de **diferenciar las calidades de los aceites** y que pueda ser totalmente **integrado en el proceso de producción**.

Está claro que esta nariz debe de suponer un gran cambio en las líneas de producción del aceite y si a esto se le suma obtener un producto muy competitivo y que obtiene resultados muy favorables, estamos hablando de algo que puede suponer un gran cambio para este sector, como es el del aceite de oliva.

A su vez existen unos objetivos específicos que no se pueden dejar pasar por alto.

1.2.1. Objetivos específicos

A parte de los anteriores objetivos generales citados, la nariz ha de cumplir unas pautas relacionados con la parte mecánica de la misma.

- **Diseñar una cámara contenedora de los sensores que van a usarse**

- **Diseñar una caja que contenga todos los componentes de la nariz y que sea capaz de aguantar en el ambiente de una almazara.**

- **Diseñar un sistema neumático que conecte todos los puntos que sean necesarios de la nariz.**
- **Realizar un análisis térmico de la cámara de sensores y la caja en su conjunto.**
- **Realizar una simulación del flujo por el interior de la cámara.**

1.3. Contexto

La Universidad de Jaén está muy implicada con el sector del aceite de oliva, por lo que muchos de sus proyectos de investigación tienen su fundamento en el aceite de oliva. En concreto, el Grupo de Investigación de Automática, Robótica y Visión por computador de la Escuela Politécnica Superior de Jaén desarrolla muchos proyectos que tienen que ver directamente con ello.

Se han abordado proyectos orientados tanto hacia el ámbito de la olivicultura, como es el caso del “Mosquero Inteligente”, y también proyectos que tratan con la elaiotecnia como por ejemplo la “Clasificadora de aceitunas por visión por computador”

A su vez, existen empresas externas a la Universidad de Jaén que también desempeñan un papel muy importante para este sector. En este caso se trata de ISR (Integración Sensorial y Robótica), una empresa que nació del grupo anteriormente nombrado, y que como no puede ser de otra forma, tiene una relación de colaboración muy importante con el mismo.



Figura 1.11: Relación entre ISR y GRAV

Entre ISR y GRAV existe un trabajo conjunto hacia el desarrollo de aplicaciones directamente relacionadas con el olivar jiennense. Son múltiples los proyectos que se llevan a cabo de manera colaborativa como es el caso de la nariz electrónica, objeto de este trabajo fin de grado.

Por otra parte, como ya ha sido comentado anteriormente, este proyecto, es una parte, dedicada al diseño de la parte mecánica, de otras dos que se encargan del desarrollo de la parte electrónica software y la electrónica hardware.

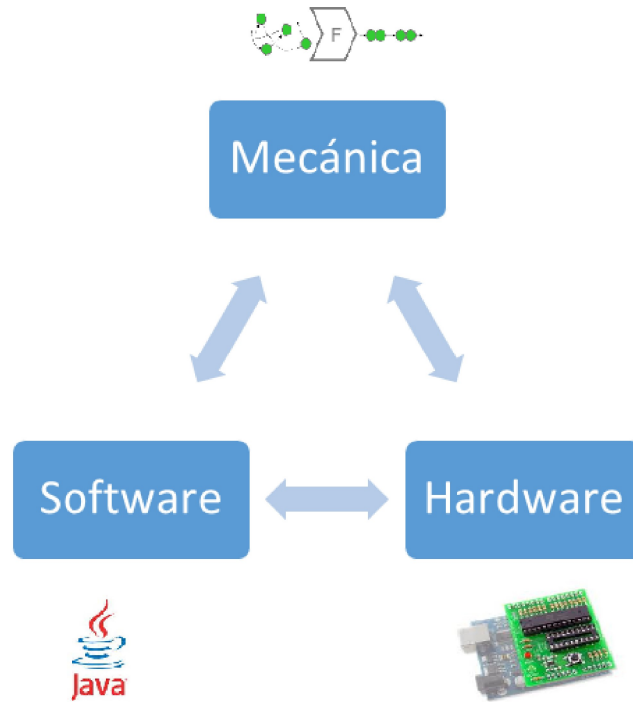


Figura 1.12: Relación entre las partes de mecánica, software y hardware.

Cabe destacar que es indispensable el enlace entre estas tres partes (figura 1.13), pues no sería posible ninguna sin las otras.

- **Mecánica**

Consta del diseño mecánico del conjunto completo de la nariz, así como los diferentes estudios que sean realizados para evaluar el funcionamiento de la misma. Esta parte es la que es el objeto de este Trabajo Fin de Grado.

- **Electrónica software**

En este bloque se desarrolla toda la parte informática que conlleva la nariz. Constará de varias partes en las se pueden encontrar la interfaz de usuario, la adquisición de datos etc. Todo esto se realizará con el lenguaje JAVA. Esta parte la desempeña el compañero Arturo López Riquelme.

- **Electrónica hardware**

Este bloque contendrá toda la parte de componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento de la nariz. A parte de componentes básicos como pueden ser la pantalla de usuario o fuente de alimentación, se desarrollarán los diseños y fabricación de algunos componentes, como pueden ser la pcb de los sensores o la de los relés. Esta parte la llevará a cabo el compañero Manuel Hernández Cleedera.

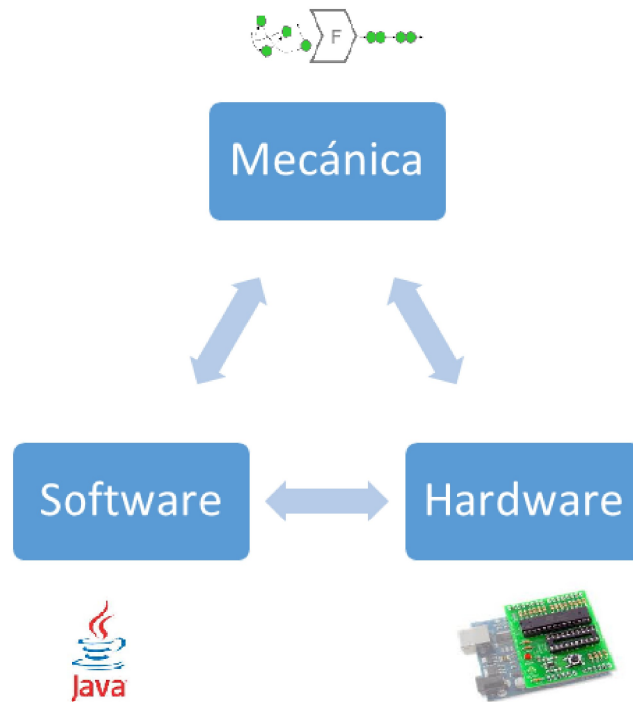


Figura 1.13: Relación entre las partes de mecánica, software y hardware.

1.4. Antecedentes

Los orígenes de la nariz electrónica se remontan a los años 60, cuando la compañía “Bacharach Inc.”, construyó un dispositivo conocido con el nombre de “Sniffer”, el cual constaba de un solo sensor de gas. En la década de los 80, surgen dos grupos de investigadores, en la Universidad de Warwick en Gran Bretaña y en el Argonne National Laboratory (ANL)

en Estados Unidos.

Krishna Persaud y George Dodd, realizaron la primera publicación relacionada con las narices electrónicas en 1982 (Persaud y Dodd, 1982), orientaron sus estudios en entender los procesos del olfato biológico, utilizando un conjunto de sensores semiconductores de óxidos metálicos, y luego ampliaron su investigación a sensores basados en polímeros conductores, mientras que, el otro grupo propuso un aparato para detectar, identificar y medir una amplia variedad de productos químicos y mezclas transportadas por ferrocarriles, barcos y camiones.

Posteriormente en Japón se comienza a investigar la frescura de los pescados utilizando matrices de sensores MOX (sensores semiconductores de óxido metálico). Por lo tanto, en los tres continentes se inició el desarrollo de la tecnología de matrices de sensores olfativos en los años 80 (Stetter y Penrose, 2001). Es precisamente en esta época cuando el concepto de nariz electrónica como sistema inteligente aparece realmente. Una de sus primeras y más populares definiciones es la de Gardner y Barlett (Gardner y Barlett., 1999): “Instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos”. Todos estos avances han dado lugar a la fabricación comercial de narices electrónicas. La mayoría de las narices electrónicas diseñadas hasta la fecha son para uso comercial, algunas otras son utilizadas por los gobiernos para seguridad, y otras son usadas en equipos hospitalarios.

A día de hoy existe un importante número de aplicaciones y las más corrientes hasta el momento se refieren a las clasificaciones de olores y aromas referidos a alimentos y bebidas, unas veces cuantificando y otras midiendo frescura o madurez.

En cuanto a lo que soluciones comerciales se refiere, ya existen equipos capaces de detectar la intensidad de olores. Algunos de ellos son matrices de 20 resistencias polímeras

u óxidos metálicos pero ambos necesitan un sistema de PC por separado par calibrar y obtener los datos.

Las aplicaciones más clásicas de las Narices electrónicas se han orientado a la alimentación y bebidas, como por ejemplo el vino. Las narices electrónicas para vinos han sido muy estudiadas, ya que las catas en ese sector existen desde hace años atrás.

Capítulo 2

Desarrollo Mecánico

En este capítulo se va tratar el proceso seguido para el diseño mecánico de la nariz electrónica en su totalidad.

Para este proyecto es necesario analizar y cumplir con algunas de las normativas vigentes en el sector agroalimentario, así como con algunas relacionadas con el diseño mecánico. Para el diseño se ha utilizado el programa Autodesk Inventor, un software CAD con el que ha sido posible realizar el total de los componentes 3D que tiene la nariz electrónica. Para analizar el flujo de aire que pasa por la cámara se ha utilizado Autodesk CFD.

2.1. Diseño de la “Nariz”

La nariz consta de tres partes fundamentales: circuito neumático, cámara de sensores y caja. El conjunto de estas tres partes hace posible que la nariz cumpla correctamente sus funciones. Es en esta sección en donde se hablará de ello.

2.1.1. Requisitos de diseño

Partiendo de los objetivos comentados anteriormente, se ha seguido una línea de diseño basada en ellos. Por tanto los requisitos principales son:

- Obtener un producto capaz de funcionar sin deteriorarse en el ambiente que engloba a una almazara
- Obtener un producto de bajo coste.
- Obtener un producto lo más optimizado posible en cuanto al proceso de fabricación.

2.1.2. Circuito neumático

El circuito neumático conectará principalmente la nariz electrónica con el punto de extracción del flujo de aire a analizar, así como con aire limpio. Para empezar, es necesario hacerse una idea de como se integra este sistema en la nariz electrónica. En la figura 2.1 podemos observar un esquema de la nariz en su totalidad, en el cual podemos identificar el circuito neumático.

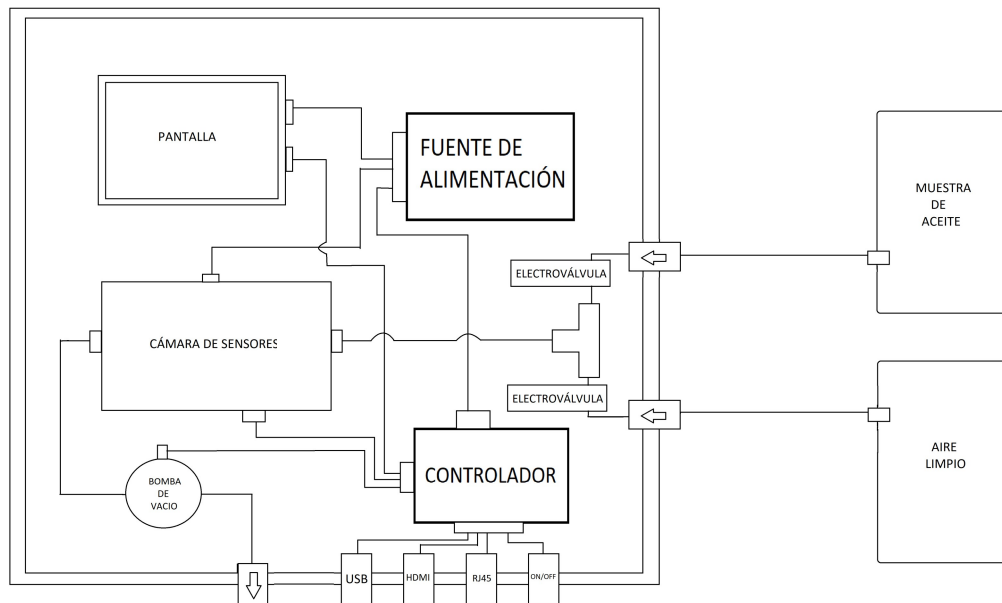


Figura 2.1: Esquema de la nariz electrónica en su totalidad

Su labor es la de llevar aire con los volátiles del aceite de oliva, y por tanto ha de ser un circuito que está preparado para este tipo de flujo. El flujo proviene del gas que produce

el aceite al salir del decanter, por lo que es aire caliente. Esto ha de tenerse en cuenta a la hora de elegir los materiales.

Para este sistema se decidió ubicar una bomba de vacío tras la cámara de sensores. Esto condicionó la elección de las electroválvulas.

Como podemos observar, a primera vista se observa que este sistema neumático extrae aire de dos depósitos. Estos hacen referencia al punto de extracción del aceite y el otro al punto del cual se extrae aire limpio para la limpieza de la cámara. En un principio este segundo depósito simula la recogida de aire del exterior y su posterior tratamiento mediante el cual se mejora la calidad con diversos filtros como son los de carbón activo o deshumidificadores.



Figura 2.2: Filtros utilizados para la limpieza del aire

Éste aire nos servirá para limpiar la cámara antes de cada test. Es decir, el procedimiento

a seguir es el siguiente:

- 1.- Se inicializa el test con un limpiado de la cámara de sensores.
- 2.- Tras un tiempo determinado comienza a extraer aire del punto en el que se encuentra el aceite.

De esta forma conseguimos que antes de cada prueba, la cámara se encuentre limpia de posibles partículas que hayan podido quedar del test anterior.

Para conseguir un sistema mediante el cual se extrae flujo de dos sitios diferentes pero que han de pasar por el mismo sitio se utilizan dos electro-válvulas y un divisor de flujo. En el caso de las electro-válvulas su misión es la de dejar pasar el aire de un lado u otro. Para ello se utiliza un modelo de electro-válvula que trabaja en vacío de cuatro vías y dos posiciones, de la marca SMC. Para el control de éstas se utilizan unos relés que hacen que estas se activen o desactiven. Éstos a su vez van conectados a la controladora. Anteriormente, se eligió otro modelo, pero a la hora de probar su funcionamiento, se comprobó que no funcionaban en régimen de vacío, por lo que no eran válidas para este proyecto.

Para los racores, hay que utilizar unos con diámetro interno de 4 mm. Por ello se utilizaron los modelos KGE04, que son de conexión rápida, lo que hace que sea aun más flexible, contando con que la nariz va a moverse por diferentes sitios de la almazara.

Otro factor a considerar es que los tubos que conecten este sistema han de ser lo más cortos posibles ya que no queremos perder información por el camino, a parte de que no hay una gran potencia en la bomba como para poder salvar una gran pérdida de carga.

El circuito neumático en si consta de una bomba, 2 racores de entrada a la nariz, 1 racor de salida de la nariz al exterior, la cámara de sensores, las electro-válvulas y los correspondientes tubos.



Figura 2.3: Electtrovalvula modelo VQD11 y racor KGE04



Figura 2.4: Bomba de vacío

Para el caso de la bomba se buscaron varias marcas y la que mejor se adaptaba a las necesidades de la nariz era la marca KNF, en concreto la bomba NMP09. Se trata de una micro-bomba de hasta 0.75 l/min, la cual trabaja a un voltaje de 5 V. Se seleccionó esta bomba por su reducido tamaño y caudal, el cual es más que suficiente.

Con todo quedaría un sistema tal y como se puede mostrar en la figura 2.5.

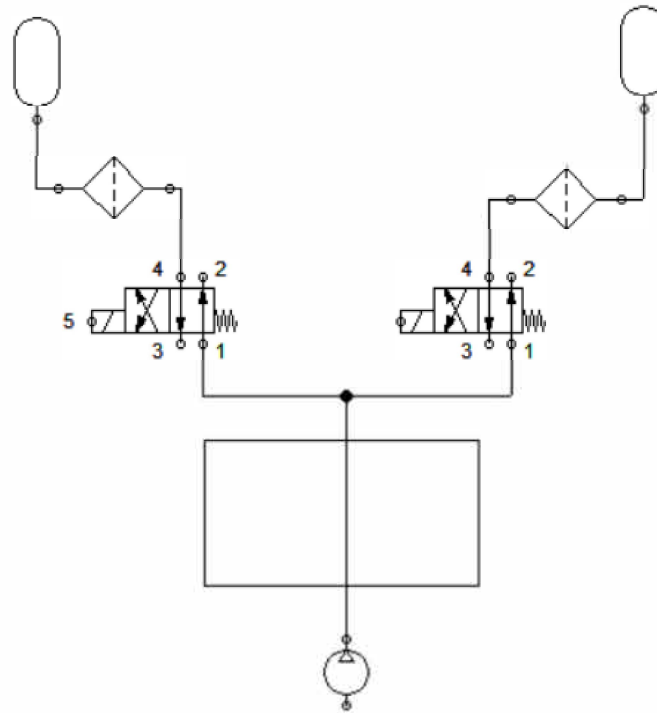


Figura 2.5: Sistema neumático

2.1.3. Diseño de la cámara de sensores

La cámara de sensores (Figura 2.6) es el componente que contendrá en su interior todos los sensores necesarios para obtener los datos característicos del aceite. Por tanto, por su interior, pasará el flujo de aire rico en volátiles procedentes del aceite anteriormente calentado. Esta va a ser realizada en “arnite”, un termo-plástico del que posteriormente se hablará con más detalle.

Partiendo de la base de que deberá ser al fin y al cabo una cámara contenedora de sensores, se diseñó un primer concepto el cual era compacto y tenía unos cerramientos transparentes de policarbonato. Éste contaría con una entrada y una salida por las cuales pasaría el flujo de aire.

Como se puede observar en la figura 2.7, la cámara consta de unos orificios inferiores por los cuales saldrán los cables de los sensores. En este momento, los sensores irían montados en una PCB que se colocaría dentro de la cámara, quedando bloqueada en sus ejes x e y

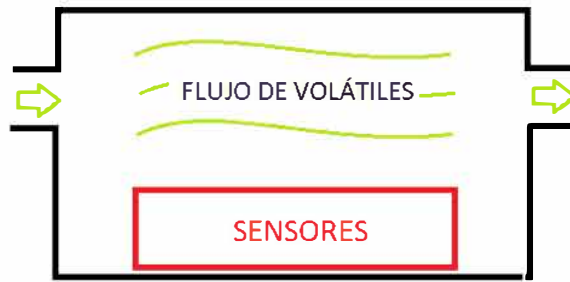


Figura 2.6: Esquema de la cámara de sensores

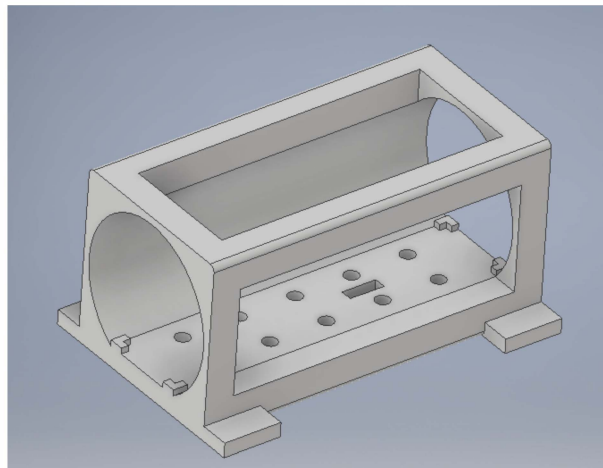


Figura 2.7: Primera idea de la cámara de sensores

(siendo éstos los que forman el plano horizontal) mediante unas sujeciones en las esquinas. Las aberturas lateral y superior tienen la función de poder observar el funcionamiento de la misma, aunque esto estaba pensado para pruebas solamente, ya que una vez esté funcionando en el proceso real no haría falta observar nada para su correcto funcionamiento.

Sin embargo, en este modelo no había una solución útil para conectar el flujo de entrada y de salida. Por ello, se siguió trabajando con el mismo concepto, pero intentando buscar una solución a la compatibilidad de la cámara, con el resto del circuito neumático.

Para poder enlazar el circuito neumático con la cámara habría que saber cómo sería éste, por tanto fue en este momento en el que se decidió usar tubos de 4 mm de diámetro para encauzar el flujo de aire. Es este el elegido por su tamaño reducido, ya

que la cámara ha de tener un tamaño lo más pequeño posible para que sea fácil de manejar y encajar con los demás componentes. Además, el tamaño de 4 mm es una medida estándar en la industria.

Una vez fijado este tamaño de tubo y su correspondiente racor, se puede diseñar ya una entrada y salida de la cámara acorde a estos. En este momento, se decide desde la parte de hardware los sensores que se van a utilizar, y por tanto se implementan ya en el diseño. Éstos irán montados en unos “sockets” los cuales han de ir soldados en la PCB.

Buscando la forma de encajar estos 3 componentes de una forma ágil, se apreció que el contacto de la PCB y sus componentes con el flujo de aire húmedo y caliente no era una buena opción, por lo que se decide colocar la PCB fuera de la cámara. De esta forma esta tarjeta electrónica estará en la parte inferior de la cámara y los sockets, que sí van por dentro, atraviesan el suelo de ésta hasta ser soldados en la placa. Se puede observar un esquema de la misma en la figura 2.8.

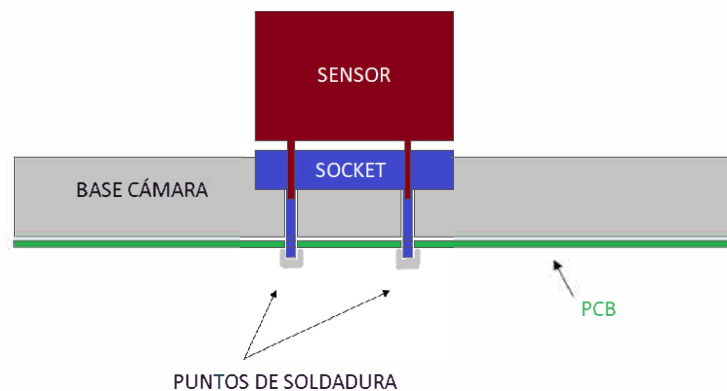


Figura 2.8: Esquema de ensamblaje entre sensor, socket y base

La función de estos sockets es múltiple. Por una parte, actuar de sellador, es decir, éste va sellado a la base de la cámara mediante un cola específica para máquinas alimentarias. Por otro lado, facilita la sustitución de sensores que puedan estar dando malos resultados, ya que los sensores van simplemente encajados. Como añadido, muchos de los sensores tienen la misma huella de patillas electrónicas, por lo que en muchos casos se pueden cambiar unos sensores por otros para hacer pruebas. La figura 2.9 muestra algunos ejemplos

de estos conjuntos de sensores-sockets.

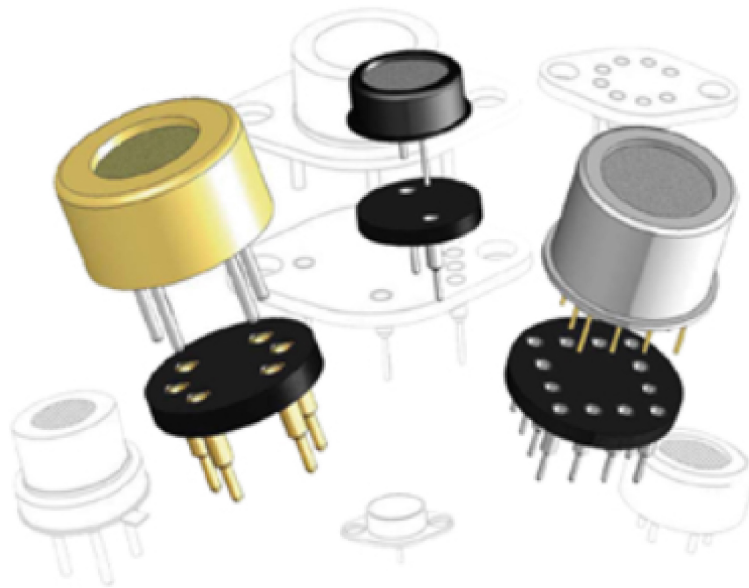


Figura 2.9: Ejemplo de sockets

Los sockets elegidos son de la casa Unitronic, una marca que se dedica a la fabricación de sensores y accesorios como los sockets.

Una vez conocidos los conjuntos de sensores-sockets que se iban a usar en el proyecto, se puede diseñar una base para la cámara de sensores, ya organizada. Para ello se tiene en cuenta el tamaño de los sensores y que tengan una separación entre ellos considerable. En la tabla 2.1 se muestran los sensores que llevará la nariz junto con los respectivos gases que detectan y los sockets que necesitan. La figura 2.10 muestra la distribución de los mismos en la caja.

Sensor	Gas	Socket
SP-31	Solventes orgánicos	R375-0805-01T-XXX-R27-L14
SP-53	Amoniaco. Alta concentración	R375-0805-01T-XXX-R27-L14
SP3S	Calidad Aire. Propósito general	R200-SP03-01T-XXX-R27-L14
TGS 2620	Alcohol	R200-0404-01T-XXX-R27-L14
TGS 2602	Contaminantes Aire	R200-0404-01T-XXX-R27-L14
SK-25F	Oxígeno	R530-0403-02N-XXX-R27-L14
TGS-822	Vapores orgánicos disueltos	R375-0806-01T-XXX-R27-L14
TGS 832	Clorofluorocarbonos	R375-0806-01T-XXX-R27-L14
SB-51-00	Sulfido de Hidrógeno	R200-SP03-01T-XXX-R27-L14

Tabla 2.1: Tabla de sensores

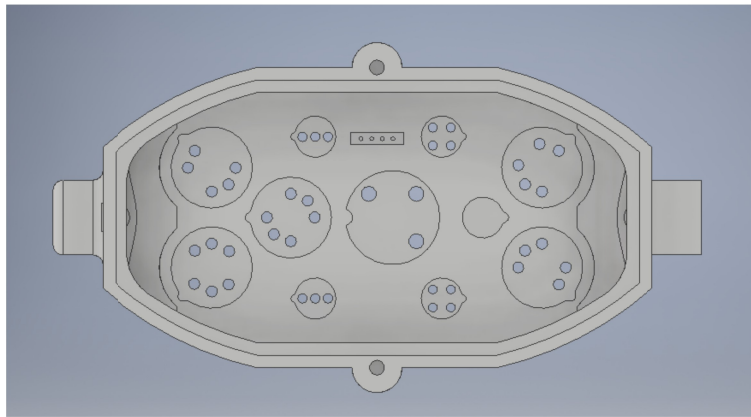


Figura 2.10: Distribución de sensores

Además, ahora se ha añadido una tapadera practicable para facilitar el acceso a su interior para cualquier trabajo de mantenimiento que sea necesario. Ésta va sujeta mediante 8 tornillos de métrica 3. Éste modelo se imprimió en 3D, obteniendo un primer prototipo con el que poder hacer pruebas. Se muestra en la siguiente imagen.



Figura 2.11: Impresión 3D del primer prototipo

Con este prototipo se hicieron pruebas de flujo, sometiendo éste a presiones de entre 0,5 y 1,2 bar para comprobar su estanqueidad. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la existencia de pérdidas de flujo por distintas zonas de la cámara. Estos defectos eran debidos a que la impresión 3D no era de gran calidad y que realmente con una impresión de este tipo no se consigue un acabado perfecto.

De esta forma, se decidió que el siguiente prototipo, si se querían hacer pruebas con sensores y que fuesen realmente representativas, no debía ser realizado en impresión 3D. Por ello se procede a buscar un material adecuado para éste. Se barajaron en un primer momento varios tipos de materiales, siendo los principales metales y plásticos. En el caso de metales, el que tenía más sentido era el aluminio, por su bajo peso y buena resistencia a ambientes difíciles. Sin embargo, al tener que albergar una placa electrónica este material fue descartado porque podía producir contactos electrónicos no deseados. Por tanto se descartan en este momento los metales y por consiguiente el aluminio. En el caso de los

plásticos habría bastantes materiales a considerar, pero al haber conocimientos previos en el laboratorio sobre el arnite, se decide investigar su viabilidad.

Selección de material

El arnite técnicamente conocido como Polietileno tereftalato (PET), es un poliéster termoplástico sobre la base de Tereftalato de Polietileno. Éste cuenta con unas características que se adecuan mucho a las necesidades de la nariz electrónica. Éste material resiste temperaturas de entre 100°C y 120°C, lo cual es más que suficiente para las temperaturas las que trabajará la nariz electrónica, teniendo en cuenta que el aceite estará a un máximo de 50°C.

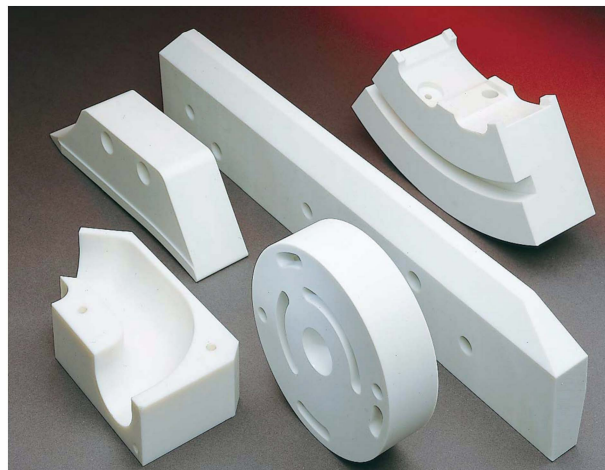


Figura 2.12: Ejemplos de piezas fabricadas en arnite

En el ámbito del mecanizado, es un material muy bueno ya que opone poca resistencia a la herramienta. Por último, cabe destacar de entre sus múltiples ventajas que es un material apto para el contacto con productos alimentarios. Ésta característica es quizás una de las más importantes, ya que debemos asegurar que no haya posibilidad de contaminación del aire en ninguna de las partes que entran en contacto con los volátiles.

Observando las buenas características de este material, y sobre todo su adecuación al los requerimientos de este proyecto se decide seleccionarlo como material para la

cámara de sensores. Éste será mecanizado para obtener dicha cámara.

Desde el punto de vista del diseño se toma la decisión de modificar profundamente el concepto y configuración de la cámara. Anteriormente, ésta contaba con parte superior e inferior. Dos únicas partes que se unían mediante tornillos pasantes. Ahora, pasa a estar formada por tres piezas: la tapadera, con objeto de cerrar la cámara por la parte superior; el cuerpo, cuya función es unir la tapadera con la parte inferior; y la base, donde van insertados los sockets y por tanto los sensores. A continuación se muestran estos tres componentes y en la figura 2.16 se puede ver un esquemático de las tres partes en su disposición de conjunto.

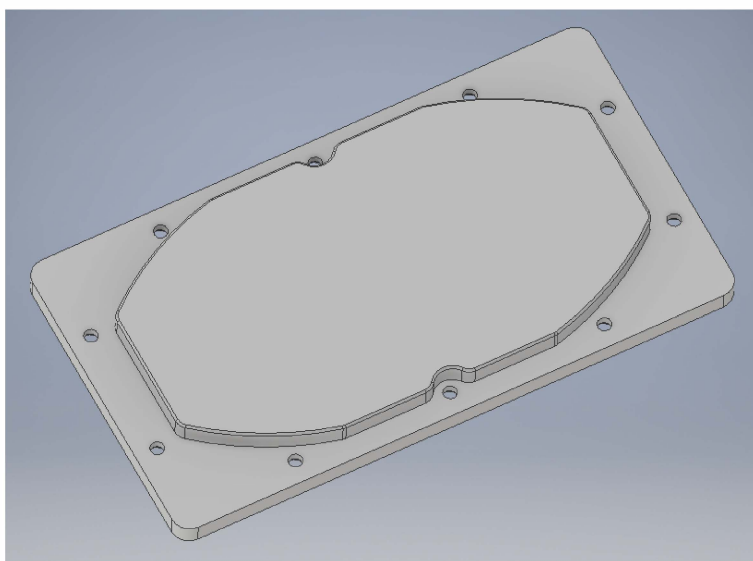


Figura 2.13: Tapadera de la cámara

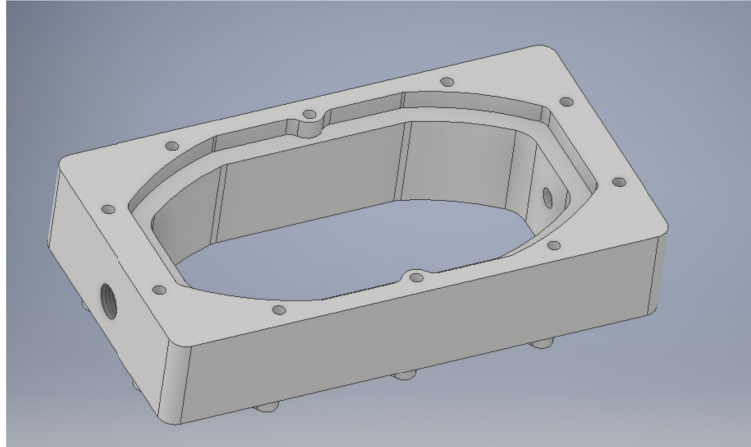


Figura 2.14: Cuerpo principal

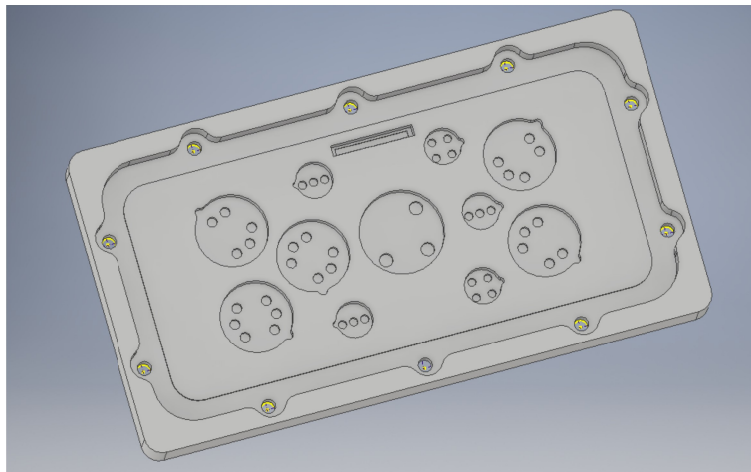


Figura 2.15: Base de sockets

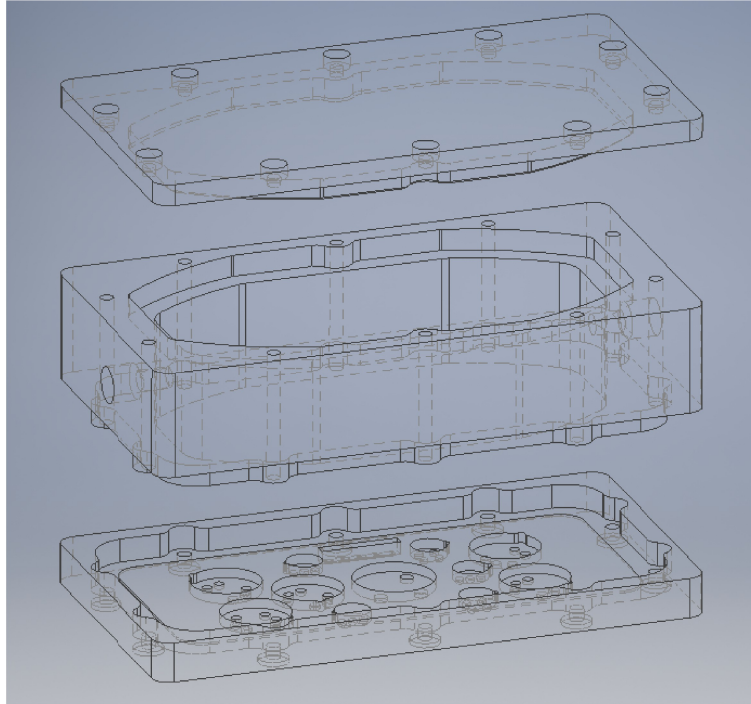


Figura 2.16: Esquema de los tres componentes

De esta forma, facilitamos el mecanizado, del que posteriormente se hablará en más profundidad. Por otra parte, la cámara ha de estar sujeta una vez este funcionando, por lo que hay que buscar una solución para ello. Observando el modelo se decide modificar de nuevo la forma geométrica del mismo para hacerla más simple. Se elimina la forma ovalada y se pasa a una forma rectangular, la cual tendrá que tener más redondeo por haber más aristas vivas. Es en este momento cuando se puede considerar que hay un primer prototipo de la cámara de sensores.

En cuanto al sellado, la cámara cuenta con unas ranuras en las cuales van insertadas unas gomas encajadas. Éstas consiguen que no haya fugas de aire por las juntas entre las tres piezas. Éstas se han diseñado para ser realizadas en una cortadora láser. El material de las juntas es caucho, un material que queda por determinar en las posteriores pruebas, si es adecuado o no para dicho fin.

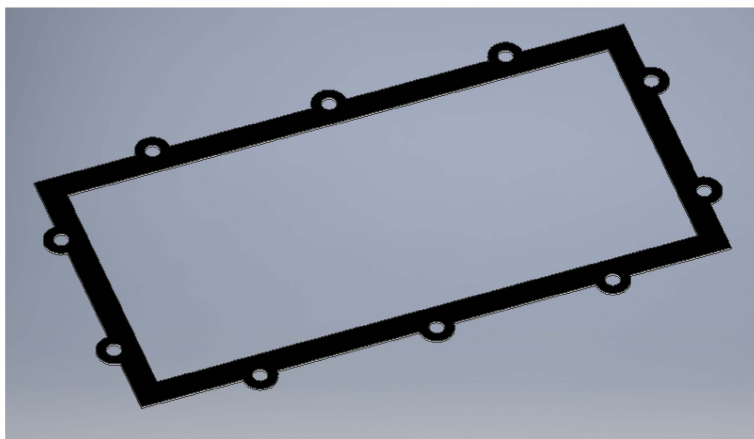


Figura 2.17: Junta de caucho

2.1.4. Caja

Conociendo ya la parte principal que es la cámara de sensores, pasamos a hablar de la caja contenedora de todo lo que incumbe la nariz electrónica, es decir, la parte visible del dispositivo. Ésta contendrá todos los componentes necesarios como son la cámara de sensores, el circuito neumático, la pantalla de interfaz gráfica con el usuario, y toda la electrónica del dispositivo.

En un primer instante se baraja la posibilidad de fabricar la caja, pero se descarta de-bido a presupuestos demasiado altos. Por tanto se buscan soluciones comerciales que se ajusten a las necesidades del proyecto. Anteriormente, en otro proyecto desarrollado por el GRAV, en concreto el proyecto de un infrarrojo cercano (NIR), se utilizó una caja de características muy parecidas a las que se necesitarían en la nariz, por lo que se investiga en la marca comercial utilizada para aquel proyecto hasta encontrar una que cumpliera las necesidades. Éstas se diferenciaban de la del NIR básicamente en el espacio interior necesario. La marca en cuestión es Rolec". El modelo es "AluCase" (Ver figura 2.1.4) que como su nombre indica es una caja de aluminio, ideal para la electrónica industrial. Está fabricada de fundición a presión de aluminio de alta calidad y una de sus principales características es que la caja puede montarse sin que haya necesidad de abrirla, con lo que la electrónica se mantiene protegida. En el

anexo "Hojas de características" se puede ver su hoja de características.

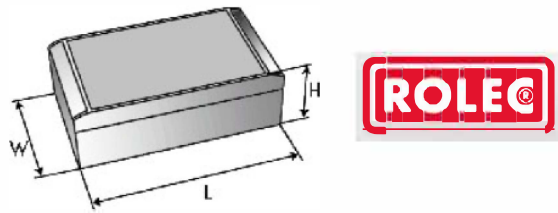


Figura 2.18: Rolec AluCase

En concreto el modelo elegido tiene las medidas de 280x250x120, lo cual es más que suficiente para lo que ha de albergar en su interior. Ésta además cuenta con varios accesorios, entre los que se encuentra una junta conformada de TPE, la cual hace que ésta sea estanca y con la que el fabricante asegura cumplir la norma IP 66. También contamos con una plancha de aluminio de 3 mm la cual va apoyada en el fondo de la caja sobre cuatro apoyos alzados 10 mm del fondo. Sobre ésta se anclarán todos los componentes de la nariz.

Como partimos de una caja que ya es funcional, solo tenemos que adaptarla a nuestras necesidades. Éstas son: contener toda la electrónica, cámara de sensores, salidas de alimentación y otras conexiones, interruptor y la pantalla. En la figura 2.19 se puede ver una imagen en la que se muestra la distribución de los componentes en la caja.

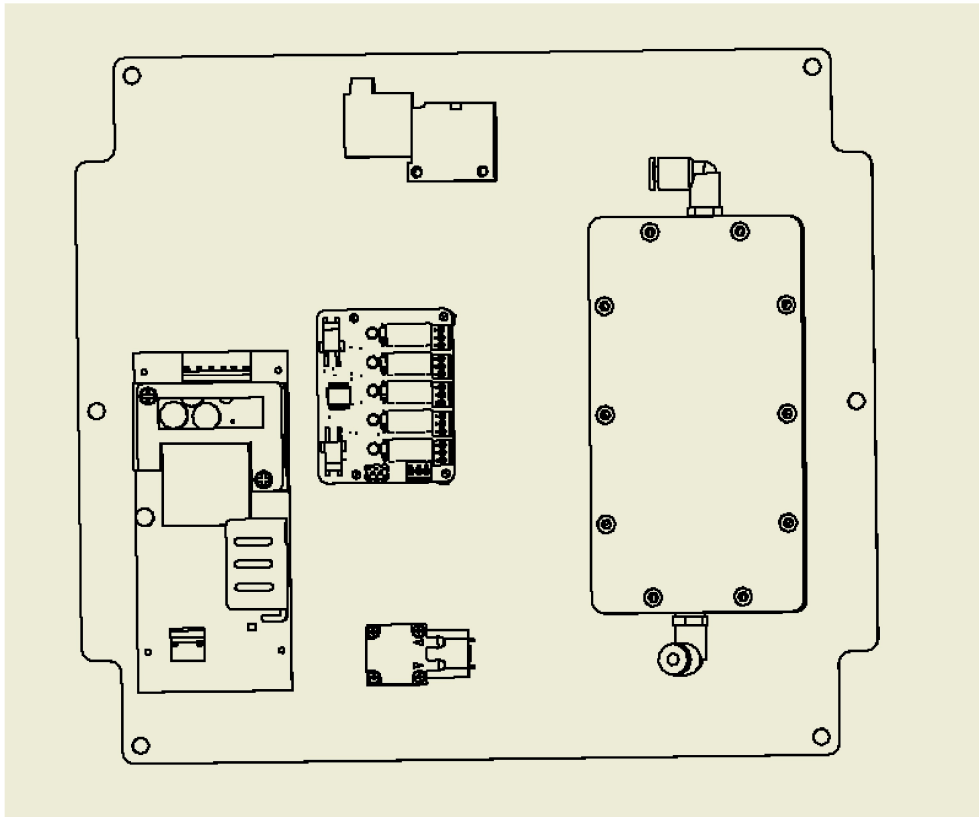


Figura 2.19: Distribución de componentes en la placa

La parte de electrónica hardware consta de numerosos componentes y dispositivos, entre los que se encuentran la fuente de alimentación, los relés, la placa de los sensores, los conectores y un interruptor. Para la mayoría de los componentes es suficiente con el espacio interior disponible pero para otros es necesario mecanizar la caja. Éste es el caso de los conectores de ethernet, usb, alimentación, interruptor y posibles conexiones futuras. Todo estos componentes tienen una sección circular por lo que simplemente hace falta taladrar la caja. En la siguiente tabla se enumeran los conectores utilizados con sus

respectivos agujeros necesarios.

Conector	Sección
Ethernet	21 mm
RJ45	21 mm
Alimentación	18.5 mm
Seccionador	19.5 mm
Futuras conexiones	18.5 mm

Tabla 2.2: Conectores necesarios

Dentro de la electrónica se engloba también la pantalla de interfase con el usuario. Se trata del modelo “Raspberry Pi 7 Touch Screen Display”(ver figura 2.20) la cual tiene un tamaño de 7 pulgadas. Ésta va integrada en la tapadera de la pantalla, por lo que es necesario acometer un mecanizado adicional de la caja. En el anexo “Hojas de características” se pueden ver los planos de la misma.

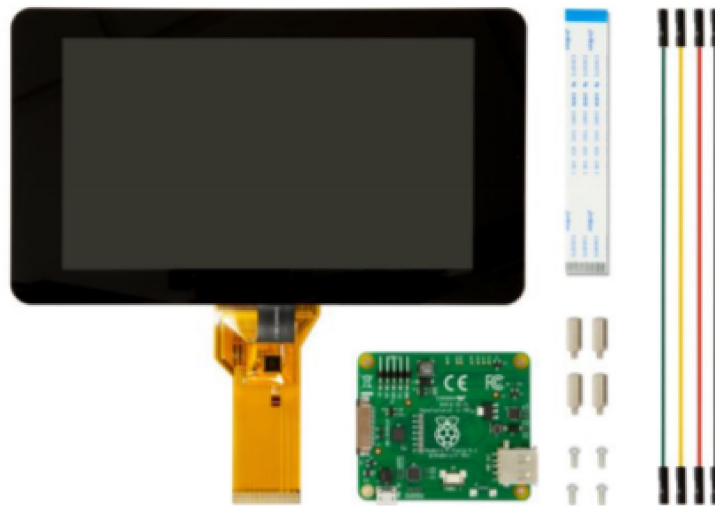


Figura 2.20: Raspberry Pi 7 Touch Screen Display

Para integrar la pantalla se decide hacer un rebaje en la parte superior de la tapadera, para que apoye en sus marcos. Para sellarla, se usará un pegamento especial que asegura

que no puedan entrar partículas al interior. En la figura 2.21 se puede ver un esquemático de la caja y sus componentes. Como se puede apreciar, el conjunto está diseñado de forma que sea fácil su montaje y acceso para mantenimiento. De esta forma se facilitará cualquier recambio o modificación de la misma. Esta es la filosofía de todas las partes diseñadas en la nariz.

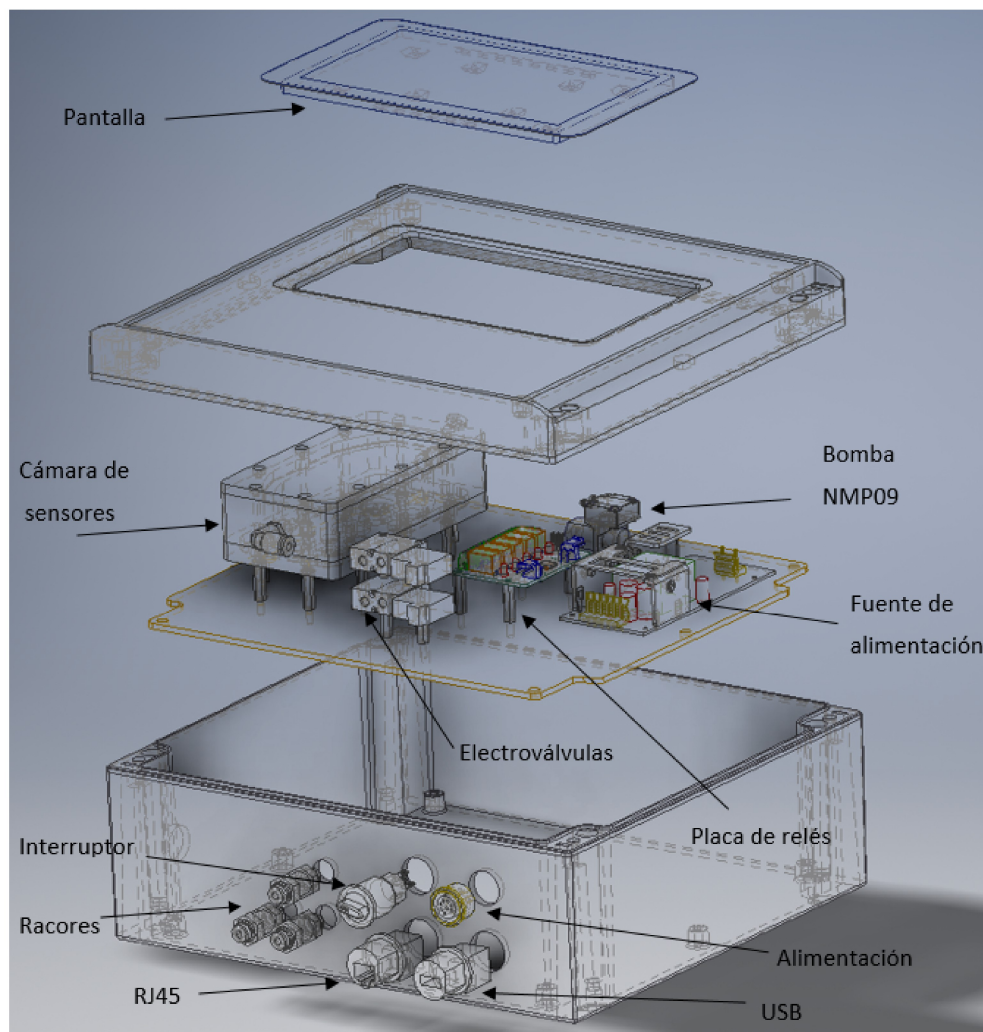


Figura 2.21: Base caja con sus respectivos mecanizados

Como se puede observar, los componentes van insertados sobre la chapa anteriormente mencionada. Ésta tiene varias funciones. La primera será la de facilitar el montaje, ya que permite montar los componentes fuera de la caja y posteriormente introducir el conjunto en ella. Por otra parte, también hace de disipador térmico, extrayendo todo el calor de los

componentes que se calientan como en el caso de la fuente de alimentación. Sobre esto se hablará más adelante en el apartado de transmisión de calor.

2.2. Fabricación

Para la fabricación de todas las partes de la nariz electrónica se han usado varios métodos entre los que se encuentran el mecanizado o la impresión 3D.

Para la cámara de sensores se empezó con una impresión en 3D, obteniendo un resultado bastante alejado de las necesidades del proyecto. El acabado no era muy bueno, pero dentro de lo que era la impresión 3D se podía utilizar, como primer prototipo. Pero el problema principal, fue su falta de estanqueidad.

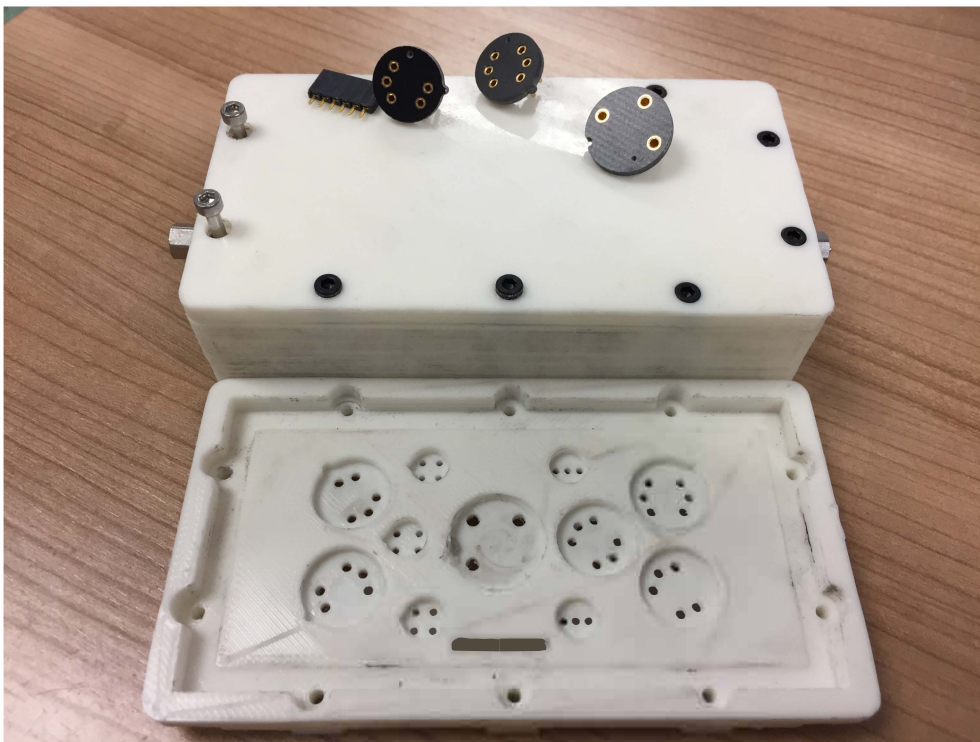


Figura 2.22: Prototipo final fabricado en impresión 3D junto con algunos sockets

Las impresiones 3D proporcionan una forma adecuada para fabricar prototipos iniciales en un proyecto, pero a la hora de obtener un producto útil no siempre es la mejor opción y

eso es lo que ocurre en éste caso. El prototipo obtenido en 3D no funciona correctamente, pues cuando se le hace pasar un flujo interno de aire, se producen numerosas filtraciones a través de las paredes. Estos defectos se deben a la calidad de la impresión y se pueden describir como pequeños agujeros o incluso deformaciones que hacen que el plástico no selle bien entre capa y capa.

Sin embargo, el mecanizado es un proceso que nos asegura un acabado muy bueno y con el material correcto, nos asegura la estanqueidad. Como definición se podría usar la siguiente: “El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión”. Existen tres tipos de mecanizados los cuales son sin arranque de viruta, con arranque de viruta y por abrasión. En este caso se va a utilizar un proceso de arranque de viruta como es el fresado, que se realiza con una fresadora.

Por tanto, se pasó a implementar un “GCode” de la cámara para poder realizar un mecanizado en Arnite. Para ello se usó la extensión “HSM Ultimate” del programa principal de diseño “Autodesk Inventor”. Con éste se puede generar dicho código de una forma más sencilla que escribiendo líneas directamente.

La forma de trabajar con esta extensión es bastante sencilla. Partiendo de los archivos diseños de la cámara de sensores, el programa permite ir eligiendo el tipo de operación que se quiere realizar y dónde. Para realizar las tres partes correspondientes de la cámara se usaron tres tochos distintos de material. Por ejemplo, para la pieza central se utilizó un tocho de 150x90x40 mm, lo que supone un sobrante de material de 20 mm en el eje x e y, en cambio en el z solo supone 10 mm. Con estos mismos parámetros se sacan también los tochos de las otras dos piezas. Como se puede observar en la figura 2.23, lo primero que debemos hacer en el programa es indicarle el tamaño, propiedades y centro de coordenadas de la pieza. Como se observa en la imagen, la pieza aparece en gris y por

el exterior de ella, resaltado en amarillo, se puede observar el tocho de material inicial.

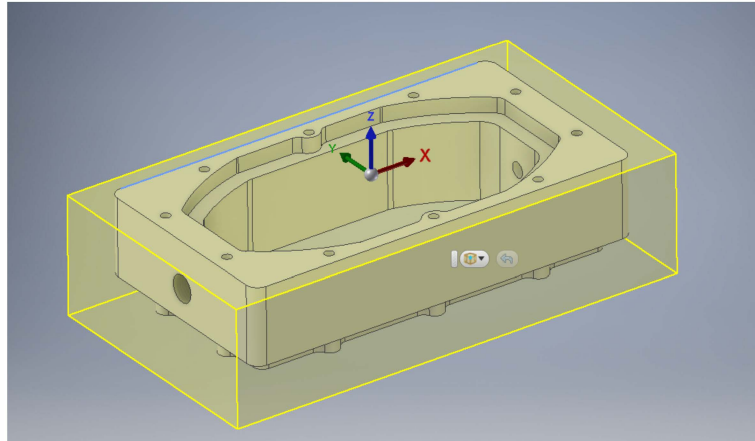


Figura 2.23: Tamaño del tocho necesario para la pieza central

Una vez configurada, pasamos a realizar las operaciones necesarias para dejar un prisma rectangular. Para ello seleccionamos en el menú superior la operación deseada. En este caso seleccionamos un vaciado en 2D para la parte central de la pieza. Una vez seleccionamos esta operación debemos indicarle en que parte deseamos realizarla.

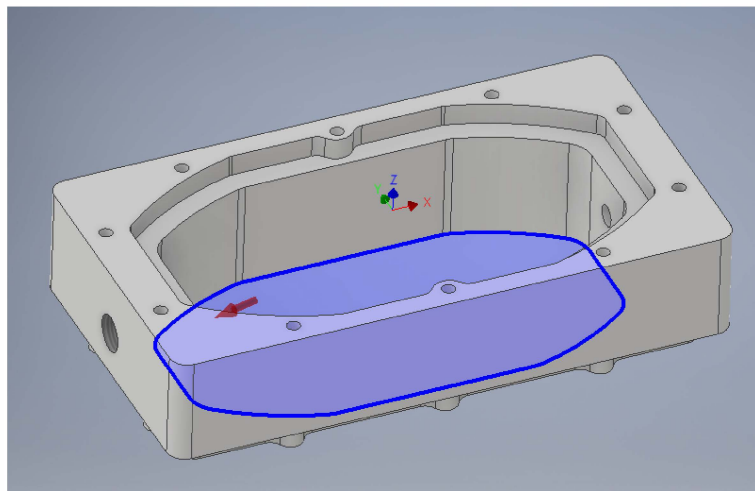


Figura 2.24: Selección de cara inferior del vaciado 2D

A continuación debemos seleccionar la herramienta que vamos a utilizar. Para esta operación usaremos una fresa de 14 mm de diámetro. Ésta requiere de una calibración en la máquina que ya está realizada, por lo que no hay que volver a realizarla. Posteriormente,

es necesario indicarle los parámetros del proceso tales como velocidad del eje, velocidad de superficie, etc.

The image shows two panels from a software interface. The top panel, titled 'Herramienta: #1 - Ø14 mm plano', contains a button labeled 'Herramienta' and a dropdown menu for 'Refrigerante' currently set to 'Relleno'. The bottom panel, titled 'Avance y velocidad', contains a list of parameters with corresponding input fields and up/down arrows:

Parámetro	Valor
Velocidad del eje:	2000 rpm
Velocidad de superficie:	87,9646 m/min
Velocidad del eje de rampa:	2000 rpm
Velocidad de avance de corte:	300 mm/min
Avance por diente:	0,05 mm
Velocidad de avance de entrada:	300 mm/min
Velocidad de avance de salida:	300 mm/min
Velocidad de avance de la ram	100 mm/min
Velocidad de avance de penetr...	100 mm/min
Avance por revolución:	0,05 mm

Figura 2.25: Menú de selección de parámetros

Éstos dependen del material y del proceso, además del acabado que se le quiera dar a la pieza, ya que con parámetros no adecuados la pieza podría salir con acabados más bastos o incluso, si son excesivos, llegar a romper. En la figura 2.25 podemos ver dicho menú.

Una vez tenemos seleccionadas todas las opciones se puede observar la pieza con todas las trayectorias que seguirá la herramienta en el proceso. En la figura 2.26 se puede ver la pieza central con todas las trayectorias necesarias para hacer el vaciado interior y algunas otras operaciones.

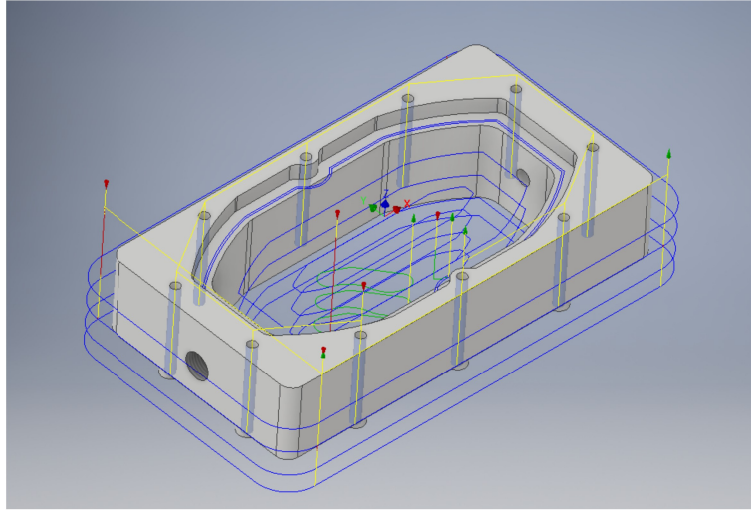


Figura 2.26: Trayectorias de varios procesos

Finalmente solo quedaría generar el código que posteriormente se introducirá en la CNC. La máquina utilizada ha sido la “Fagor Alecop Supernova”(ver figura 2.27). En el anexo “Hojas de características” se puede ver su hoja de características.



Figura 2.27: Fagor Alecop Supernova

El GCode se genera en formato de texto, el cual debemos ejecutar mediante un programa específico de la controladora de la CNC. Una vez introduces el código en la CNC solo queda ejecutarlo.

2.3. Análisis térmico de la cámara y caja

En la nariz electrónica va a haber una producción de calor tanto por parte de los componentes electrónicos como por parte de la cámara de sensores. Por ello, se realizarán varias pruebas para determinar dos cosas: si el material de la cámara de sensores(arnite) es adecuado para la misma y si es necesaria la ventilación forzada de la caja.

Por parte de la cámara de sensores, es evidente que al hacer pasar un flujo de aire caliente, ésta se calentará también. Además, los sensores se calientan hasta temperaturas

considerablemente altas. La cuestión es si el material seleccionado desempeñará su función correctamente. Para ello se han diseñado unos test para comprobar la resistencia térmica de este material.

Por otra parte, los componentes electrónicos se calientan durante su funcionamiento por el efecto Joule, y si no se tiene en cuenta este efecto, la caja podría alcanzar una temperatura muy elevada. Con este ensayo se pretende determinar si es necesaria la refrigeración del dispositivo o no.

2.3.1. Casos a analizar

Lo primero que se debe hacer en un problema de este tipo es identificar qué afecta al caso de estudio en cuestión. En esta máquina podemos observar que existen los tres tipos de transmisión de calor: Conducción, Radiación y Convección. Aunque son tres temas de estudio muy complejos, se explican a continuación de forma reducida.

■ Conducción

La conducción se produce cuando el transporte de calor se hace a través de una sustancia y ocurre cuando dos o más cuerpos entran en contacto, estando estos a diferentes temperaturas. Por las leyes de la termodinámica, el calor siempre irá del cuerpo con más temperatura al de menos. El proceso de transferencia de calor continua hasta que todos los cuerpos igualan su temperatura. Éste proceso se puede explicar median las colisiones de las moléculas de los materiales en cuestión. Cuando dos materiales están en contacto a diferentes temperaturas, las moléculas del caliente se mueven más deprisa y al entrar en contacto con las del frío, que se mueven más despacio, le ceden parte de su energía hasta que se igualan. En la figura 2.28 se puede observar una explicación de este suceso.

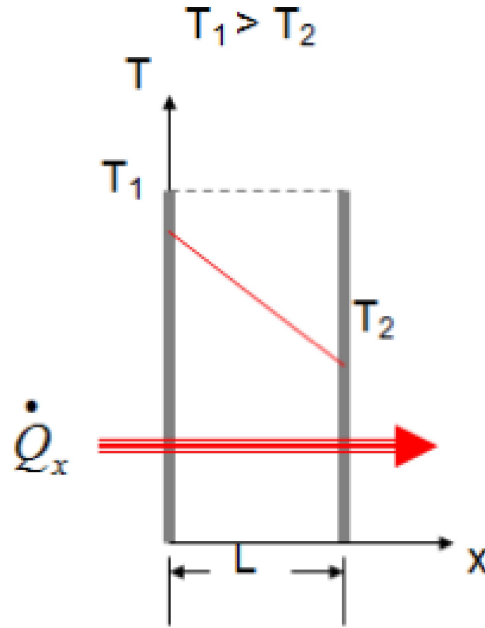


Figura 2.28: Transmisión de calor por conducción

Este modo de transmisión de calor varía en función del material y su estado físico. De esta forma, los sólidos son los que mejor transmiten el calor, siguiéndole los líquidos y por último los gases, que son los que peor conducen. En cuanto al material, los metales son muy buenos conductores, mientras que el aire no. Esta forma de transmisión de calor responde a la ecuación 2.1.

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA}{x} (T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

, donde $\frac{Q}{\Delta t}$ es el calor transmitido por unidad de tiempo, k es una constante de conductividad térmica, A es el área de la superficie en contacto, $(T_1 - T_2)$ es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y frío y x el espesor del material.

■ Convección

La convección es un fenómeno que se da cuando un flujo de cualquier fluido caliente

entra ocupa el lugar del fluido frío. De esta forma se produce una circulación continua del fluido en donde el flujo caliente busca la zona superior y la fría desciende. La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Éste fenómeno responde a la ecuación 2.3:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = h \cdot A_s \cdot (T_s) - T_{inf} \quad (2.2)$$

Donde h es el coeficiente de convección, A_s es el área del cuerpo en contacto con el fluido, T_s la temperatura en la superficie del cuerpo y T_{inf} la temperatura del fluido.

Podemos diferenciar entre dos tipos de convección: Convección natural y convección forzada. En el primer caso el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor. Sin embargo en el segundo caso, el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor. En la figura 2.29 se puede observar un ejemplo comparativo de los dos tipos.

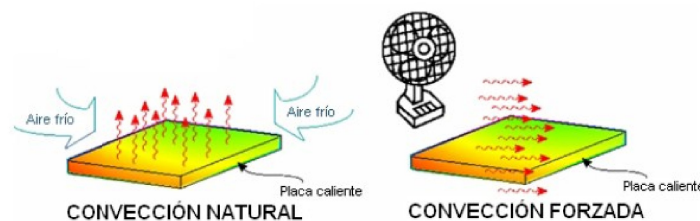


Figura 2.29: Convección natural y forzada

■ Radiación

A diferencia de los dos métodos de transferencia de calor anteriores, la radiación no necesita de la presencia de materia para transferir calor. Dicho de otra forma, la

radiación no precisa de contacto entre la fuente de calor y el receptor, por lo que no se produce ningún intercambio de masa. Un ejemplo claro de radiación es la energía del sol. La radiación se produce cuando los electrones situados en niveles de energía altos caen a niveles de energía más bajos. La diferencia de energía entre estos niveles se emite en forma de radiación electromagnética. Cuando esta energía es absorbida por los átomos de una sustancia, los electrones de dichos átomos "saltan" a niveles de energía superiores. La siguiente ecuación hace referencia al calor que desprende un sólido por radiación.

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (2.3)$$

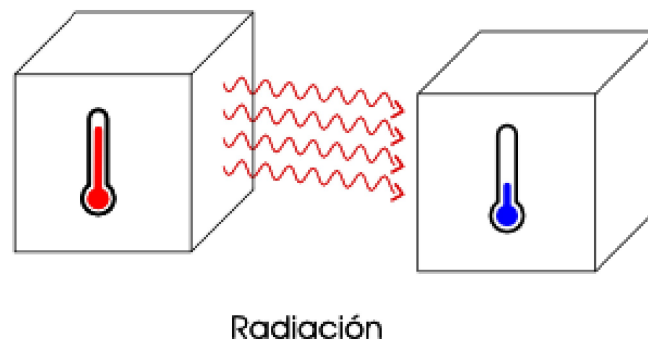


Figura 2.30: Convección natural y forzada

Como se puede intuir en la nariz electrónica afectan los tres tipos de transmisión de calor. Por una parte, en la chapa metálica, en la cual están todos los componentes, existe conducción. Por otra parte, todos los componentes electrónicos y la cámara de sensores desprenden calor por radiación. Y por último, por toda la cámara existe convección.

2.3.2. Herramientas utilizadas

Para este test se usará la cámara térmica SDS INFRARED E8 (ver figura 2.31), la cual nos permitirá realizar fotografías de los componentes y analizar las temperaturas en los diferentes casos.



Figura 2.31: SDS INFRARED E8

Para analizar las imágenes, se utilizara el programa “SAT IR Reporting System” el cual permite ver las imágenes en su formato original.

2.3.3. Cámara de sensores

Como ya se ha comentado anteriormente, en este caso afecta el calor que intercambia por convección el flujo de aire proveniente del aceite caliente y el calor que desprenden los sensores por radiación. Lo primero que se establecerá para este ensayo es que el aceite del que se extrae el flujo de aire estará a 36°C. Para estos test se cuenta con unas probetas de aceite de 13,5 ml llenas de aceite hasta la mitad , por lo que tenemos en torno a 6,75 ml de aceite. Destacar que para este test no se tendrá en cuenta la calidad del aceite.

Conociendo el punto de partida, se comienza estudiando la temperatura a la que pasa el flujo de aire. Para ello se realiza un primer test en el que solo intervienen la probeta de aceite y la bomba. La secuencia a realizar para el primer test será la siguiente:

- 1) Calentar la probeta de aceite a 36°C.
- 2) Introducir el tubo de extracción rápidamente en la probeta caliente.
- 3) Poner la bomba en funcionamiento.
- 4) Medir la temperatura a la salida del tubo.

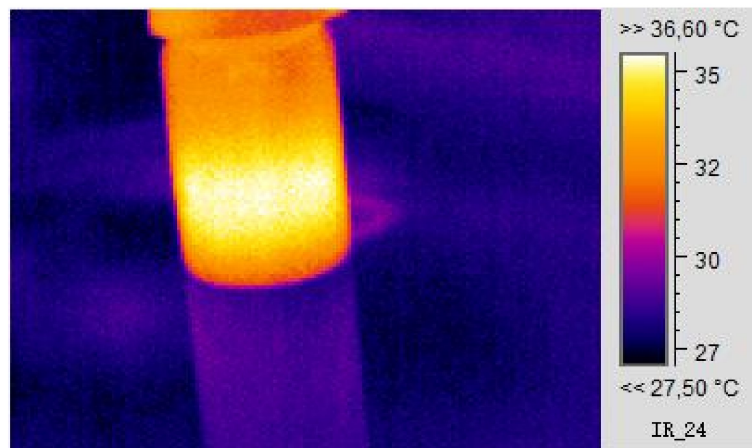


Figura 2.32: Probeta de aceite a 36°C

Esto se realiza cinco veces y determinamos que el flujo de aire entra a la cámara en torno a 30°C. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos.

TEST	TEMPERATURA (°C)
1	30,4
2	30,1
3	29,9
4	30,5
5	30,2

A continuación, introducimos la cámara en el circuito y dejamos funcionando el sistema, sin encender la bomba, durante 15 min para que la cámara se estabilice. Cuando decimos que la cámara se estabiliza es debido a que los sensores han de coger cierta temperatura

para que sus componentes internos se exciten y funcionen correctamente. De hecho, como se puede observar en la figura 2.33 la cámara llega a alcanzar una temperatura de 53° C.

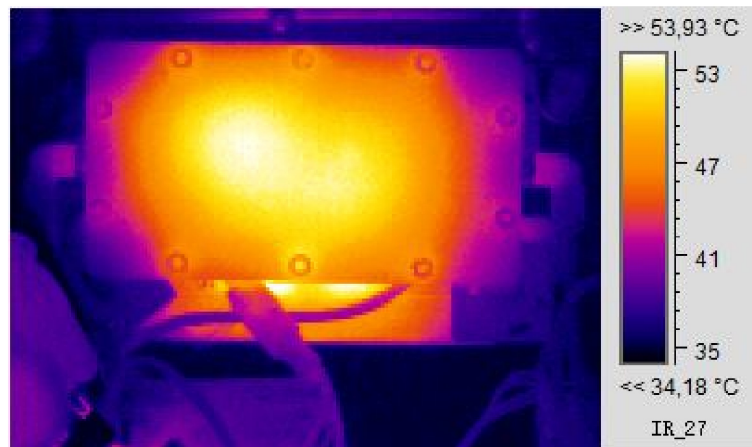


Figura 2.33: Cámara de sensores

En cuanto a la prueba del material, se fabrican probetas arnite con la intención de ver como reacciona ante un flujo de aire caliente caliente. Las piezas tienen la siguiente geometría.

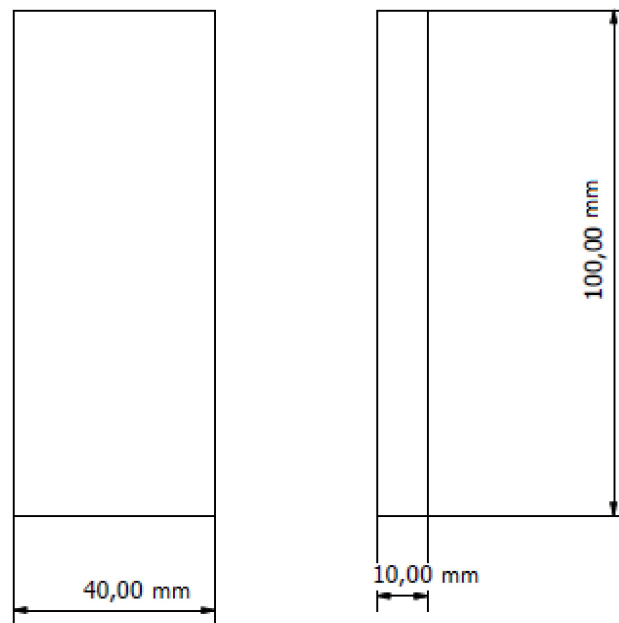


Figura 2.34: Pieza de arnite utilizada para los test

Para evaluar el material, se procederá a calentar la pieza hasta unos 71°, que fijamos como condición extrema de la cámara de sensores, y observamos si desprende cualquier tipo de gas o realiza cualquier tipo de transformación de estado como fundir. Para ello se calienta con una pistola de aire caliente hasta alcanzar dicha temperatura. Como es de esperar la pieza no sufre ningún tipo de anomalía ya que se sabía de antemano, que éste material actuaba muy bien frente a altas temperaturas.

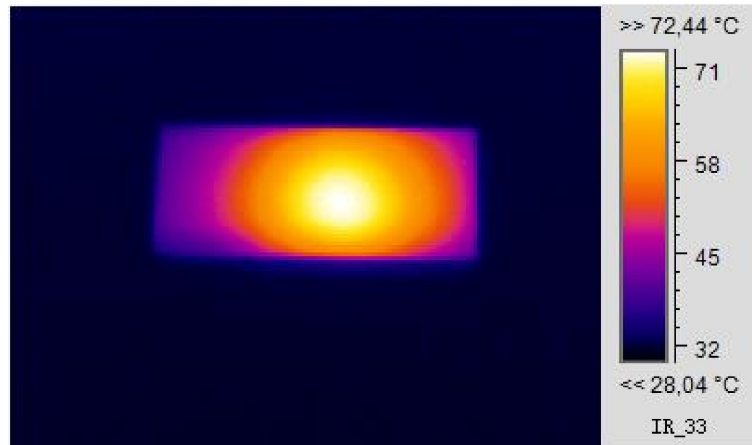


Figura 2.35: Pieza tras ser calentada

2.3.4. Caja

Conociendo ya como evoluciona la cámara de sensores ante el calor, se puede proceder a evaluar todos los componentes dentro de la caja. Por ello se realizan análisis de los componentes que más se calientan: la Raspberry Pi y la fuente de alimentación. Ambos alcanza temperaturas bastante altas, en concreto 48°C y 54°C respectivamente.



Figura 2.36: Raspberry Pi

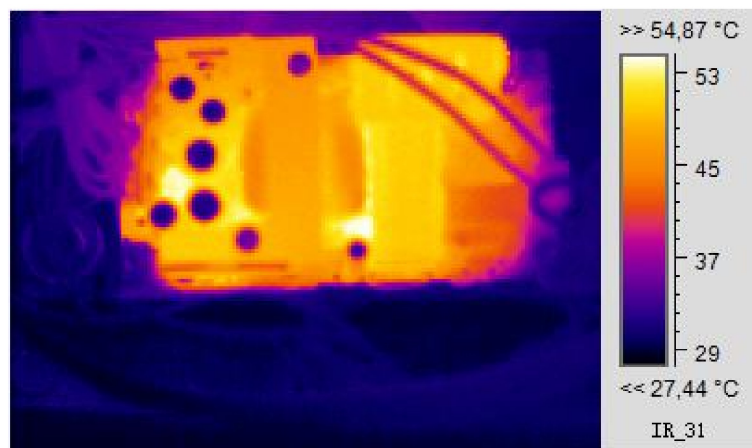


Figura 2.37: Fuente de alimentación

Teniendo ya en cuenta todos los componentes que calentarán la caja se puede pasar a analizar cómo se distribuirá el calor por la misma. Como se comenta anteriormente, se producirá transmisión de calor mediante los tres modos antes explicados. En el caso de la plancha metálica inferior, donde van apoyados todos los componentes recaerá la función de extraer calor de éstos y transmitirlo a la caja para así refrigerar con el exterior. Tanto la fuente de alimentación, como la cámara de sensores están en contacto con ésta. Sin embargo la Raspberry Pi no está en contacto, ya que está en la parte superior, en concreto enganchada a la pantalla.

En cuanto al calor que se emite por radiación se puede considerar que todos los cuerpos del interior desprenden calor.

Finalmente evaluamos la caja en conjunto y analizamos si es necesaria la refrigeración. Para ello dejamos la nariz encendida durante 15 min, de nuevo para que todos los componentes estabilicen, y posteriormente realizamos 5 análisis de muestras de aceite para hacer que el test sea en unas condiciones parecidas a las de trabajo real.

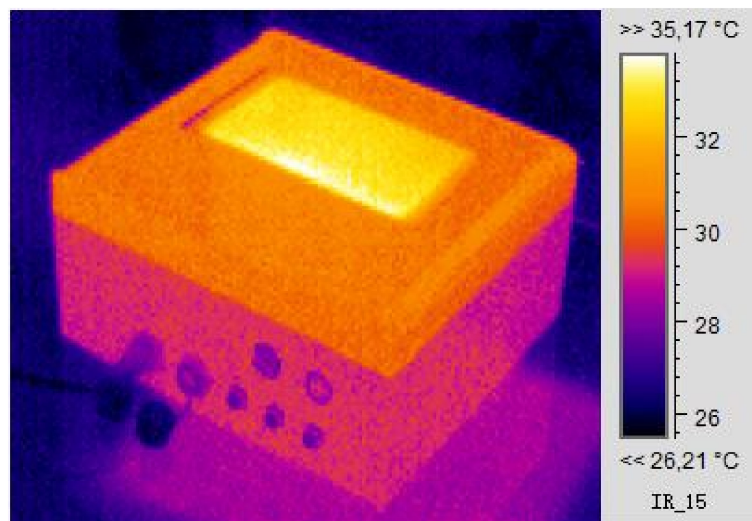


Figura 2.38: Caja en funcionamiento

Como se puede observar en la figura 2.38 la caja se calienta en general hasta los 30°C. Pero, como se puede observar la máxima temperatura no son 30°C sino que se alcanza en el centro de la parte superior de la caja y asciende hasta los 35°C. Ese punto se trata de la pantalla, por lo que es razonable que llegue a esa temperatura, siendo conscientes, además, de que bajo la misma está la Raspberry Pi. Como consecuencia, se puede ver que la tapadera de la caja está más caliente que el cuerpo inferior.

Considerando las temperaturas anteriormente obtenidas se puede concluir que la propia caja hace de disipador térmico tanto en su base con la chapa como con el aire caliente que hay por su interior que está en contacto con las paredes.

2.4. Simulación del flujo de aire

Para evaluar cómo evoluciona el flujo de aire que pasa por el interior de la cámara, se realizará una simulación con el programa “Autodesk CFD”.

Es un caso en el que tendremos en cuenta la presión, temperatura, velocidad del fluido así como otros factores característicos del mismo. Esta simulación utilizará los modelos CAD realizados anteriormente y solo se centrará en la cámara de sensores, que es la parte que realmente interesa. Para comenzar, se comentará un poco más a fondo el caso de estudio.

2.4.1. Caso de estudio

Para esta simulación se va a considerar simplemente la cámara de sensores, así como todo sus componentes interiores. Por ello se tendrá en cuenta la temperatura de los sensores y se aplicará al caso

El comportamiento de los fluidos está gobernado por un conjunto de leyes físicas, las cuales se representan a través de ecuaciones apropiadas. La aplicación de leyes tales como la conservación de la masa, segunda ley de movimiento de Newton y la ley de la Termodinámica, forman la base del análisis del flujo de fluidos a través de una tubería. En este caso utilizaremos como modelo un flujo estacionario, el cual se define como el flujo en donde las variables que lo caracterizan son constantes en el tiempo.

Por tanto, para resolver estos casos es necesario acudir a las ecuaciones correspondientes, como son la de continuidad, la de cantidad de movimiento y la de energía.

■ Continuidad

La ecuación de continuidad se desarrolla a partir del principio general de la conservación de masa, la misma que afirma que la masa dentro de un sistema permanece constante con el tiempo. En el caso de flujo de conductos, muchas veces se puede

aceptar que el flujo es estacionario (Q) y que la velocidad (V) es uniforme en una sección transversal (A); para el cálculo se toma la velocidad media en cada sección, con la dirección del eje del conducto y perpendicular a la sección transversal. La ecuación de continuidad entre dos secciones 1 y 2 de un conducto, se reduce a lo siguiente para flujo incompresible:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = Q \quad (2.4)$$

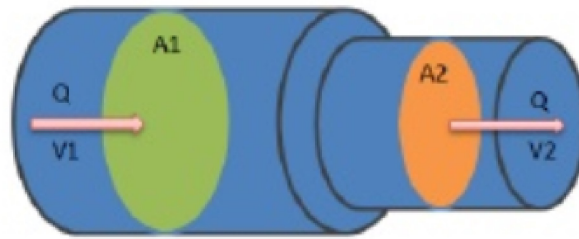


Figura 2.39: Ejemplo explicativo de la ecuación de continuidad

■ Cantidad de movimiento

Siguiendo los mismos razonamientos que en el caso anterior, la ecuación de cantidad de movimiento en forma diferencial será:

$$\sum F = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho V dV + \int_{SC} \rho V (V_r \cdot dA) \quad (2.5)$$

Donde V_r es la velocidad relativa del fluido respecto a la superficie de control. Es decir, la fuerza resultante que actúa sobre un volumen de control es igual a la rapidez de aumento de la cantidad de movimiento lineal dentro del volumen de control, más el flujo neto de la cantidad de movimiento lineal en el volumen de control.

■ Energía

La primera ley de la Termodinámica para un sistema afirma que el calor QH agregado a un sistema, menos el trabajo W por éste realizado, depende sólo de los estados inicial ($E1$) y final ($E2$) del sistema. La diferencia en los estados del sistema, siendo independiente de la trayectoria del estado inicial al final, debe ser una propiedad del sistema, ésta es la llamada energía interna E . Con las consideraciones para flujo estacionario, la ecuación de energía es:

$$e = gz + \frac{V^2}{2} + u \quad (2.6)$$

Por tanto se han de aplicar estas ecuaciones a nuestro caso. Para ello se utiliza el programa “Autodesk CFD”, el cual es capaz de resolver numéricamente estas ecuaciones y además tiene una gran capacidad para mostrar resultados de una forma muy visual.

2.4.2. Resolución del caso

Para esta simulación lo primero es tener un sólido 3D con el cual poder realizarla. Para ello se utiliza el modelo creado en “Autodesk Inventor”, pero con una modificación. Esta modificación se trata de una simplificación de los sockets y sensores. Esto se debe a que el conjunto de la cámara con los modelos de los sensores reales es un CAD muy complejo para poder simularlo. Esto se resume en que hace falta un ordenador muy potente para poder realizar dicha simulación. Por ello, se simplifican los sensores realizando extrusiones simples como las que se pueden ver en la figura 2.40.

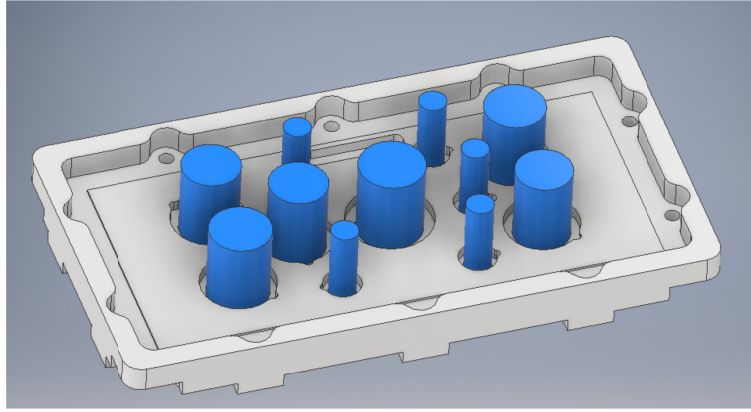


Figura 2.40: Simplificación de los sensores para la simulación en CFD

Esta simplificación supone un error de cálculo del 6.63 %. Éste error hace referencia a la diferencia de tamaño de los sensores reales y la simplificación y aunque no es suficiente, porque se deberían tener en cuenta más parámetros como la forma, permite validar esta simulación. Pueden verse los cálculos en el anexo de cálculos. A éste se le hace primero un análisis de verificación de la geometría para comprobar que se cumplen todas las condiciones. Una vez tenemos cargado la cámara de sensores, es necesario generar el volumen fluido antes de continuar. Para ello seleccionamos las superficies de entrada y salida del flujo y le pedimos al programa que genere un volumen que cumpla las condiciones de contorno dadas por estas dos superficies y todo el interior de la cámara (ver figura 2.41).

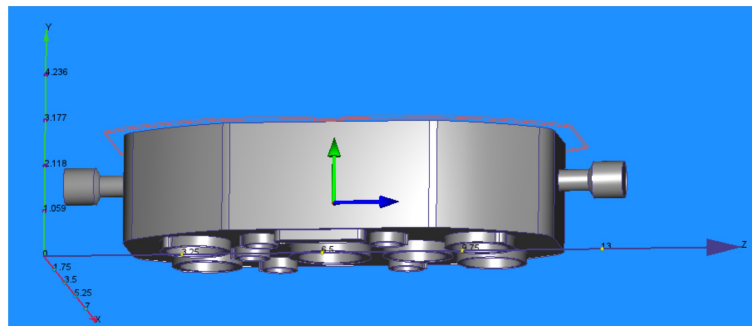


Figura 2.41: Volumen fluido del interior de la cámara

Una vez tenemos generado este volumen podemos comenzar a configurar la simulación.

Configuración de la simulación

Para empezar, se realiza la selección de los materiales, después se determinan las condiciones de contorno y por último se realiza el mallado.

■ Selección de material

Para seleccionar el material también se realizarán aproximaciones. En el caso de el sólido (cámara de sensores) seleccionamos ABS, pues no tenemos la posibilidad de seleccionar PET. La simulación no será totalmente válida, pero al tratarse de una primera aproximación se puede considerar una solución bastante aproximada.

De la misma forma, tenemos el caso del flujo. En el caso real se trata de una mezcla de aire húmedo con volátiles de aceite. Las características de éste no son fáciles de medir pero podemos considerar que los resultados serán muy parecidos utilizando simplemente aire húmedo.

■ Selección de condiciones de contorno

En este caso vamos a utilizar como condiciones de contorno las variables de temperatura, presión y velocidad. Éstas son conocidas gracias a experimentos y algunos cálculos.

La temperatura que vamos a considerar será la obtenida en las pruebas térmicas realizadas en el apartado anterior. Por ello para la temperatura exterior consideraremos 20°C, para los sensores 55°C y para el flujo 30°C.

Para la velocidad, consultamos la hoja de características de la bomba y con unos breves cálculos podemos determinarla. Esos cálculos están indicado en el anexo “Cálculos”. La velocidad que se obtiene es del entorno de 100 cm/s

Para la presión volvemos a consultar la hoja de características y notamos que la presión de vacío máxima es de 550 mbar.

■ Mallado

Por último necesitamos mallar nuestro sólido. Para ello utilizamos el mallador auto-

mático que proporciona el programa y tras seleccionar algunos parámetros se obtiene un mallado aceptable (ver figura 2.42).

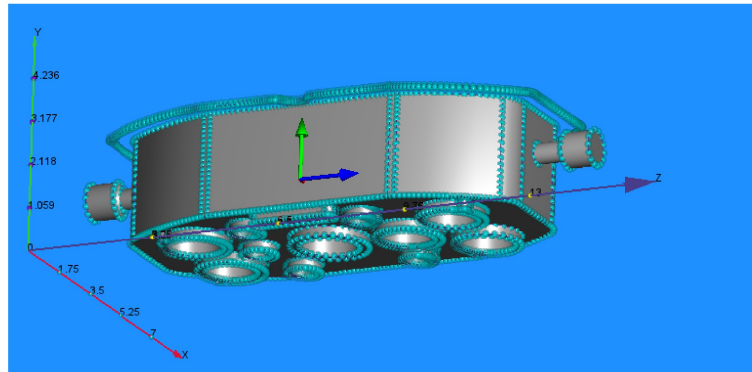


Figura 2.42: Volumen fluido mallado

Inicio de la simulación

Una vez tenemos la simulación configurada pasamos a resolver el caso. Para ello el programa nos pide que indiquemos algunos parámetros relacionados con el control de la simulación y otros parámetros físicos. Como se muestra en la figura 2.43, se selecciona “estacionario” y se realizarán 150 iteraciones, las cuales han de ser suficientes para este caso.

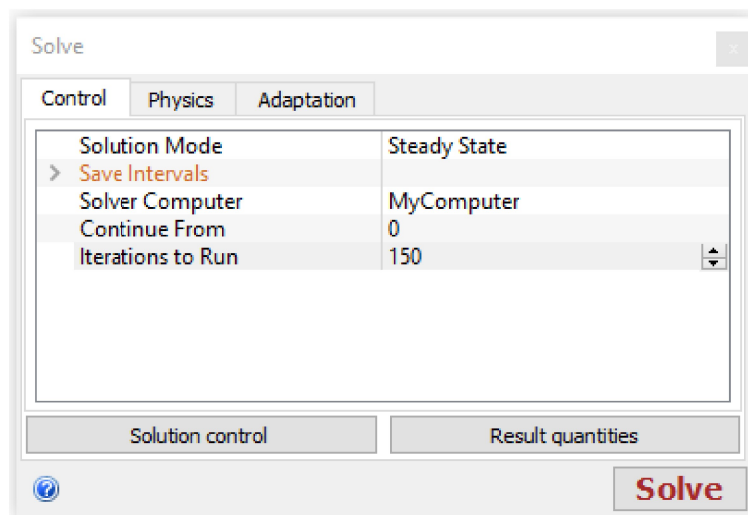


Figura 2.43: Ventana 1 del menú de control

A continuación pasamos a la segunda ventana del menú en donde debemos seleccionar

que hay transferencia de calor, así como que tratamos con un fluido incompresible. Como se puede apreciar en la figura 2.44 debemos seleccionar además que existe radiación y convección forzada.

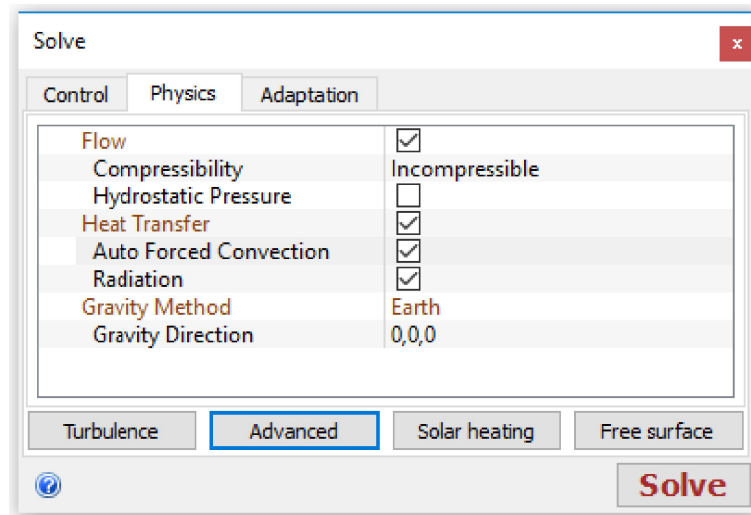


Figura 2.44: Ventana 2 del menú de control

Por último, hay que abrir los menús secundarios de “avanzado” y “turbulencia” (figuras 2.45 y 2.4.2 para señalar que trabajamos con un fluido humedo y el modelo de turbulencia que queremos que el programa utilice.

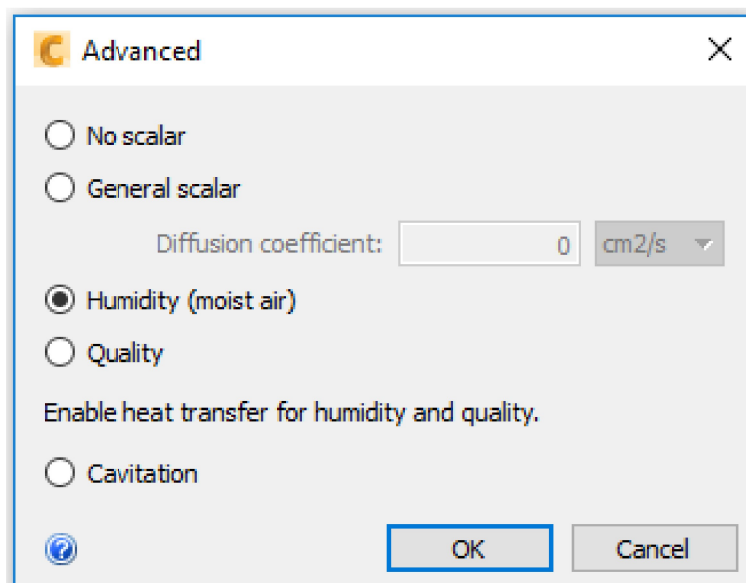


Figura 2.45: Menú secundario avanzado

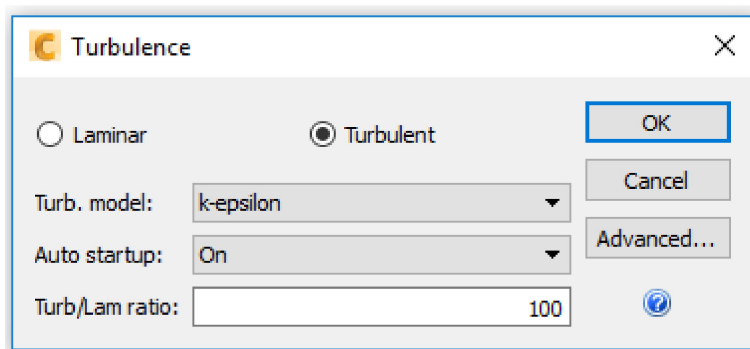


Figura 2.46: Menú secundario de turbulencia

En este caso se ha seleccionado el modelo de K-epsilon, que es el más común a la hora de realizar simulaciones computacionales. Es un modelo basado en dos ecuaciones de transporte. En concreto, este método se enfoca en los mecanismos que afectan a la energía cinética en el régimen turbulento.

De esta forma ya lo único que queda es inicializar la simulación y evaluar y analizar los resultados.

2.4.3. Resultados

Tras realizar la simulación, el programa permite seleccionar los resultados que se quieren visualizar. Por ello, separaremos este apartado en las tres variables principales que queremos estudiar: Velocidad, Temperatura y presión. Además, se analiza por supuesto la trayectoria del flujo. Es importante para comprender los diagramas mostrados que la dirección inicial del flujo es paralela al eje z. Por ello la dirección en línea recta desde la entrada a la salida es esta misma.

Velocidad

Como se comentaba al comienzo de esta sección, partimos de una velocidad dada por el caudal que proporciona la bomba. Sin ver ningún resultado, lo primero que se puede esperar es lo siguiente:

- Si se tiene una velocidad de unos 100cm/s y una cavidad interior de $103,9\text{cm}^3$ (anexo “Cálculos”), es considerable pensar que la velocidad dentro de la cámara va a ser prácticamente nula.

Y efectivamente resulta ser así. Como se puede observar en la figura 2.47 la velocidad a la entrada y a la salida de la cámara son elevadas y en el resto de la cavidad el flujo prácticamente queda quieto.

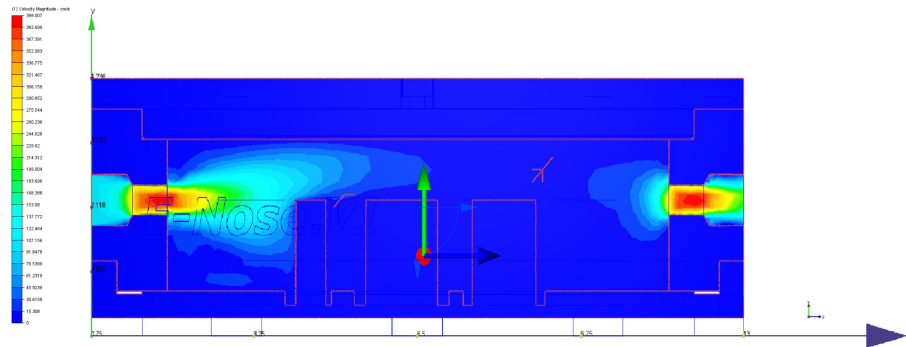


Figura 2.47: Gráfica de velocidad 1

Esto realmente puede ser una ventaja pues de esta forma los volátiles no pasan demasiado rápido por la cámara, lo que facilita el trabajo de los sensores. Por otra parte quizás no es tan bueno a la hora de la limpieza pues significa que no limpia del todo bien.

De todas formas, en cuanto a la velocidad, lo que realmente importa es el tiempo de llenado de la cámara, pues dependiendo de ello se harán los testeos a la hora de trabajar con la nariz. Teniendo en cuenta que el volumen fluido de la cámara es de aproximadamente $103,9\text{cm}^3$, la cámara tardaría en llenarse 10 segundos. Teniendo en cuenta la aplicación de este dispositivos, es un tiempo que está dentro de la normalidad. Puede consultarse en el anexo de cálculos.

Temperatura

En cuanto a la temperatura, inicialmente se puede intuir que el flujo saldrá bastante más caliente de la cámara de lo que entra, debido a que los sensores están a una temperatura muy alta. Y es así, el flujo a medida que pasa por la cámara y por sensores se va calentando. Además lo hace de una forma muy uniforme.

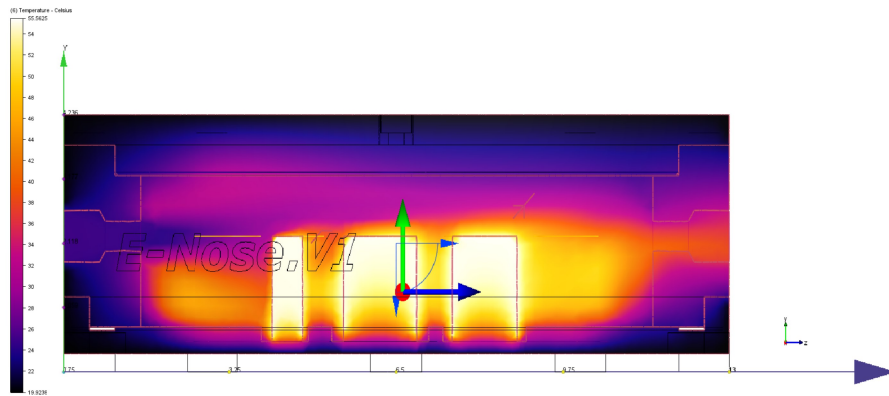


Figura 2.48: Gráfica de temperatura 2

Si realizamos un plano perpendicular a la dirección inicial del flujo o también transversal a la cámara, podemos ver que la distribución de la temperatura sigue siendo homogénea.

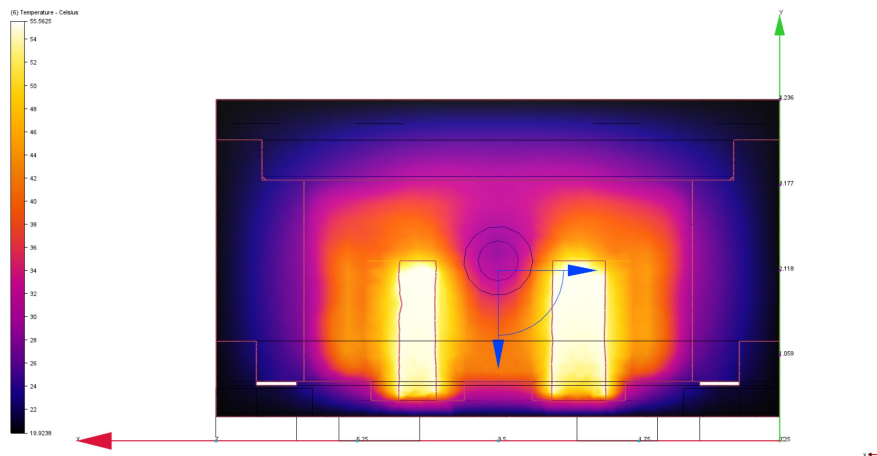


Figura 2.49: Gráfica de temperatura 2

Presión

En cuanto a la presión no hay ninguna anomalía. Como es de esperar, en la sección de entrada aumenta la presión y luego se estabiliza en toda la cámara.

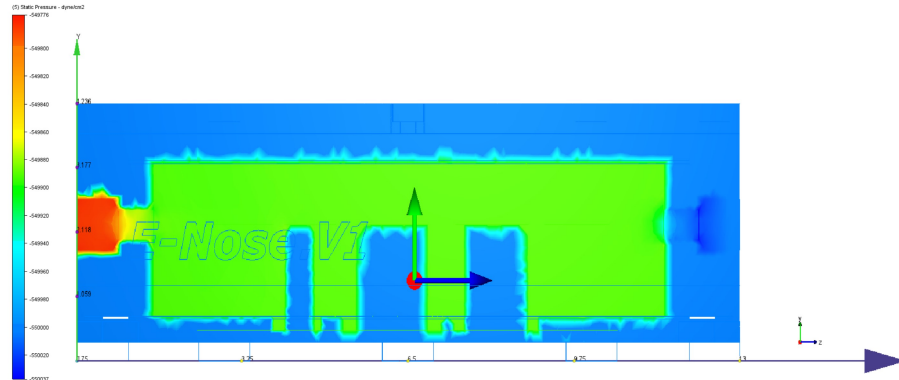


Figura 2.50: Gráfica de presión 2

Trayectoria

Como se puede observar en la figura 2.51, se han seleccionado 18 partículas del flujo inicial dispuestas en forma de anillo y podemos ver como se desarrollan. Como se puede ver, nada más entrar en la cámara se crea un gran vórtice en el cual el flujo comienza a dar vueltas hasta que consigue seguir por el resto de la cámara para llegar a la sección de salida.

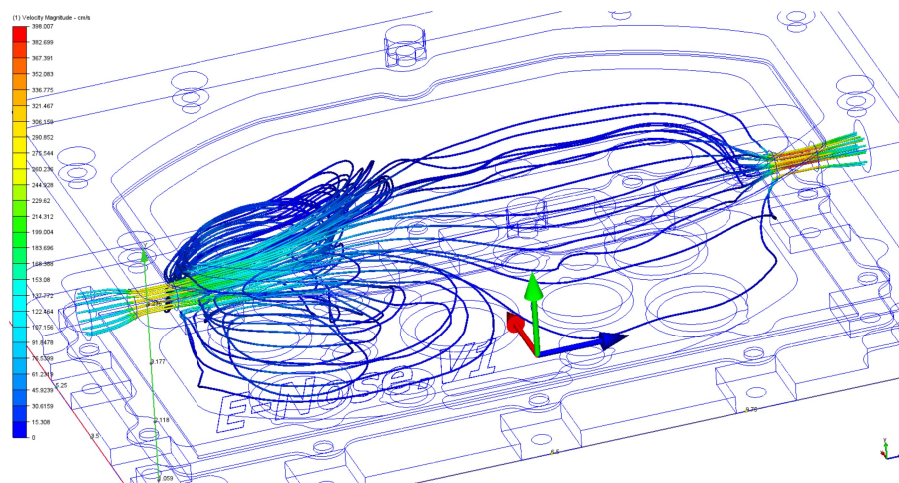


Figura 2.51: Gráfica de velocidad 2

Esto no sería lo ideal, pues lo realmente bueno sería que el flujo se mezclase bien por toda la cámara de manera homogénea. Es por esta razón que se necesitaría mejorar esta trayectoria.

También se puede observar en la figura 2.52 que hay una parte del flujo que no se distribuye de la misma manera que el resto. Esto sería un parámetro que habría que considerar en futuras mejoras de este dispositivo.

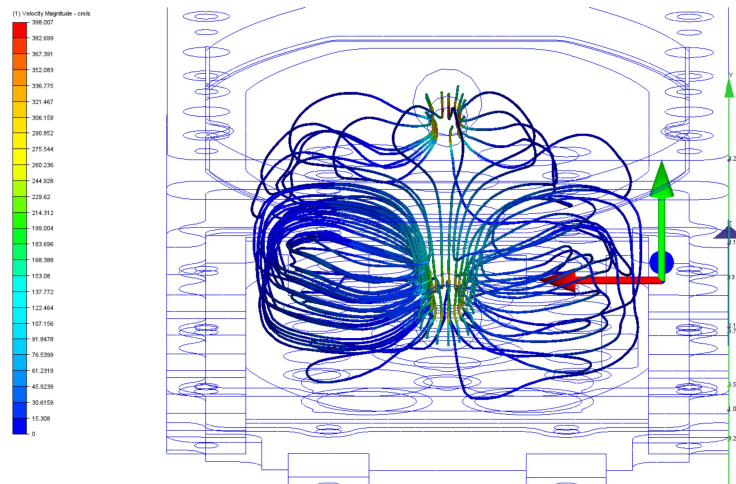


Figura 2.52: Gráfica de velocidad 3

Por esto vamos a simplificar la selección de partículas a una con el objetivo de poder ver exactamente qué trayectoria siguen las partículas inferiores y superiores. Al ser un elemento simétrico se puede seleccionar indistintamente una partícula de la parte derecha o de la parte izquierda. Cuando seleccionamos una partícula de la parte inferior (ver figura 2.53) vemos que la trayectoria que sigue es la de formar una espiral ascendente, por la cual da más de 8 vueltas hasta volver a coger la dirección del eje z . Sin embargo cuando la posición de la partícula es en la parte superior (ver figura 2.54), más corta es su trayectoria porque es más directa.

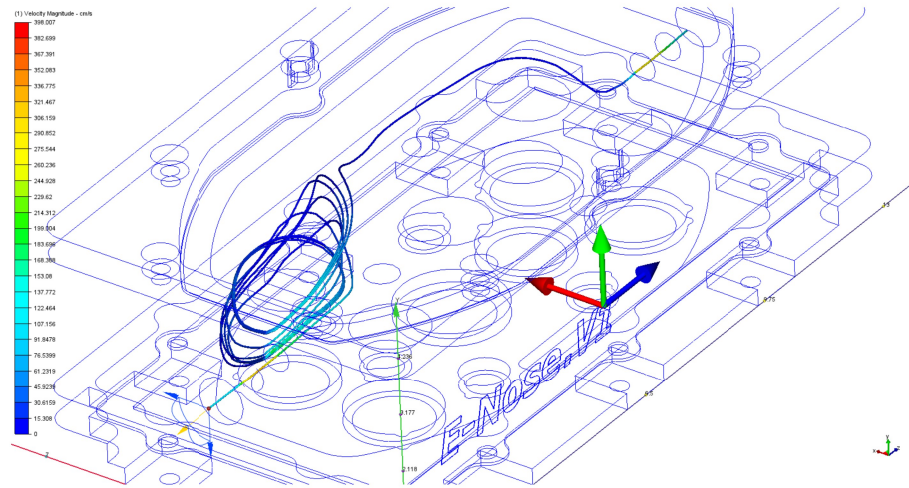


Figura 2.53: Trayectoria de partícula inferior

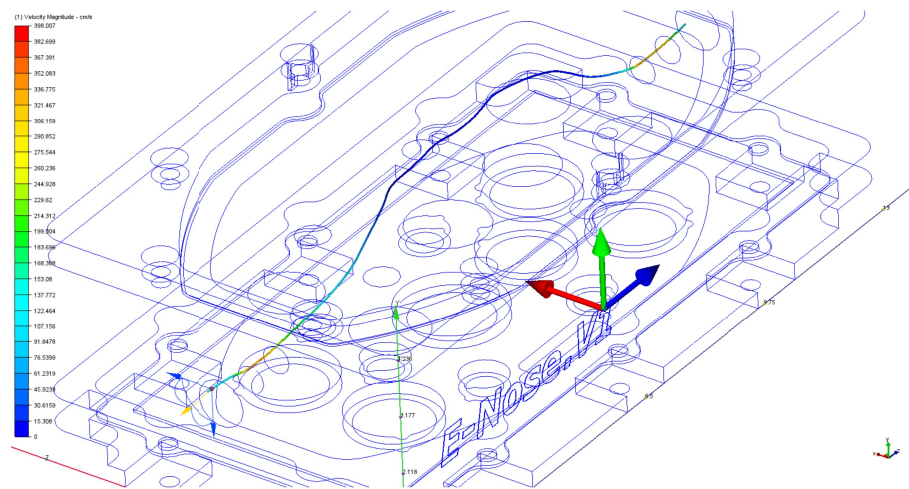


Figura 2.54: Trayectoria de partícula superior

La conclusión que se obtiene después de analizar los resultados es que la causa de este flujo no estable es por la disposición de los sensores. La explicación es la siguiente: cuando el flujo entra a la cámara lo primero que encuentra son dos sensores colocados de forma simétrica respecto al eje longitudinal de la cámara de sensores. A continuación de estos dos, se encuentra otro colocado en la dirección del eje longitudinal. Visto desde la parte superior de los sensores, se aprecia que lo que se forma es un triángulo el cual está forzando el flujo (figura 2.55).

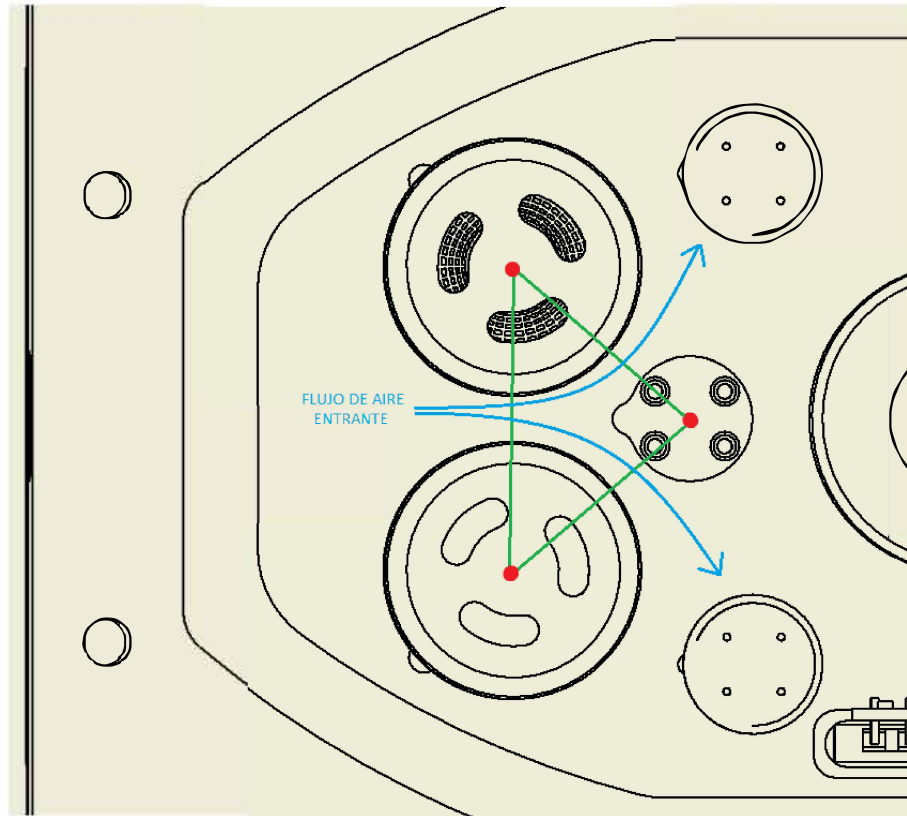


Figura 2.55: Geometría formada por los sensores

A esta conclusión obtenida de la simulación se suman datos obtenidos en los test que justifican aún más el hecho de que sea necesario un rediseño, y es que después de realizar las pruebas con muestras reales se observa que hay sensores que se excitan más que otros, pero se supone que es debido a las diferentes características de los sensores.

Por otra parte, se aprecia que el flujo tiende a ascender, debido a su temperatura. Además, éste choca contra las paredes de los sensores, y sin embargo, los sensores tienen la apertura en la parte superior, por lo que puede que no estén recibiendo el caudal necesario para que el análisis sea totalmente representativo.

Por tanto, se plantea realizar una modificación a la cámara de sensores ya existente. Ésta consistiría en hacer pasar el aire de entrada por once conductos diferentes, destinados cada uno a un sensor en concreto (ver figura 2.56). Además, la entrada de cada

conducto estaría delante del sensor, forzando a que el aire cargado de volátiles entre en el mismo. Todo ésto conlleva rediseñar el sistema neumático, pues podría darse el caso de que la bomba seleccionada actualmente no tuviese la potencia necesaria para salvar las pérdidas producidas por un circuito neumático más complejo.

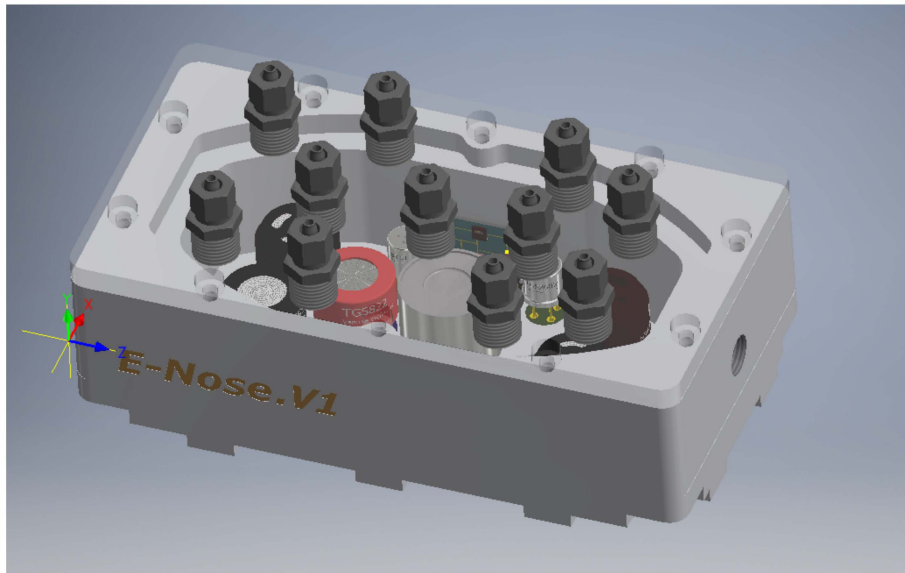


Figura 2.56: Mejora para la entrada de flujo

Ésto sería solo una idea, al igual que podría ser interesante probar cambiar la posición de los sensores. Por ejemplo ponerlos en la tapadera, de forma que la parte abierta del sensor quedaría hacia abajo o ponerlos en las paredes de la cámara. Todo ésto será trabajo que se seguirá realizando posteriormente.

Capítulo 3

Resultados

En este capítulo se mostrarán todos los resultados obtenidos. Se presentará además el prototipo final y el producto final de la nariz electrónica.

Por otra parte se realizarán pruebas de la nariz electrónica con muestras reales y se verificará su utilidad comparando los resultados con este dispositivo sensorial con muestras ya etiquetadas.

Como ya se ha comentado anteriormente, la cámara de sensores es la parte fundamental de este proyecto, ya que es la parte innovadora, pues no se han usado soluciones comerciales, si no que se ha diseñado desde cero para este proyecto.

Como ya se ha comentado la cámara de sensores ha sido realizada en Arnite. Tras su fabricación en la CNC, se montan todos los componentes que van en ella, como son los racores exteriores, los sockets, los sensores y la placa electrónica.

Una vez montados los componentes, se dispone a ensamblar las tres partes de la misma (figuras 3.1 3.2 3.3) y comprobar que no hay fugas de flujo por ninguna junta.

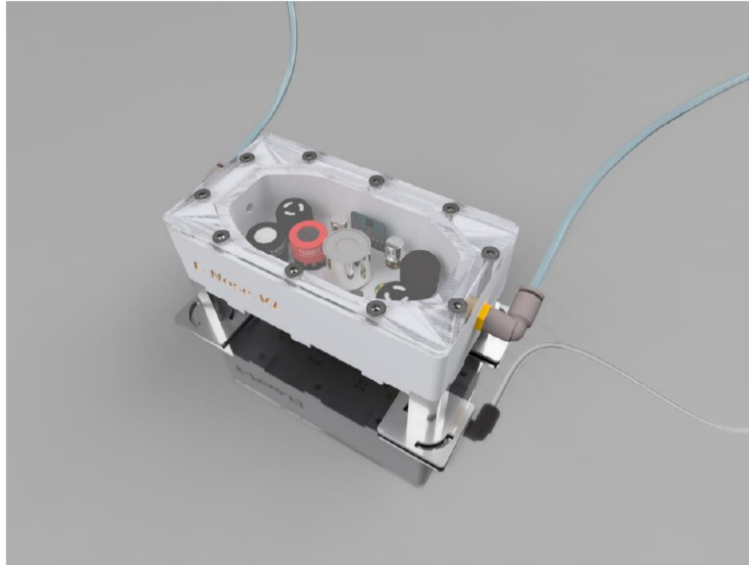


Figura 3.1: Cámara de sensores 1

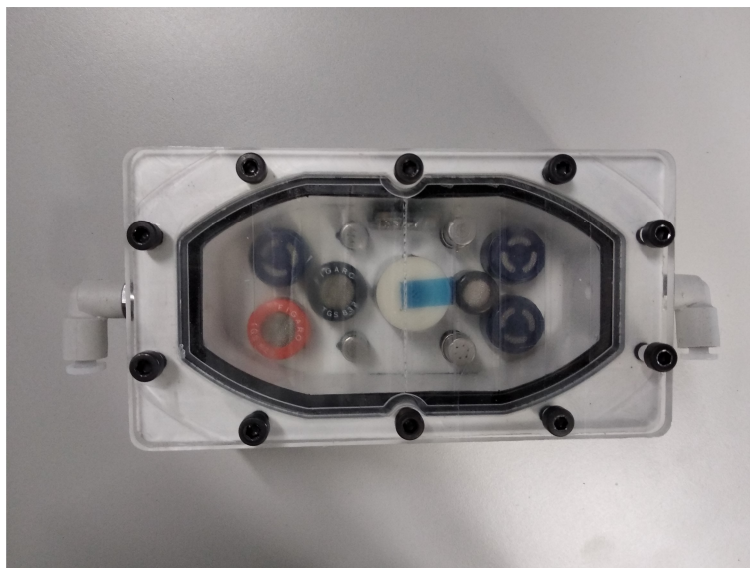


Figura 3.2: Cámara de sensores 2



Figura 3.3: Cámara de sensores 3

Como se puede observar el aspecto de la cámara es bastante bueno y además el acabado del Arnite permite que sea bastante limpia, algo que es necesario en un sector como es el agroalimentario.

En el caso de la caja, tras ser mecanizada, se ensamblan todos los componentes y se comprueba que no hay fallos de funcionamiento. Para ello se introducen todos los conectores correspondientes y la pantalla para comprobar su adecuado encaje.



Figura 3.4: Montaje de caja

3.1. Prototipo final

El prototipo final es un conjunto formado por las tres partes de este proyecto: Mecánica, Electrónica Hardware y Electrónica Software. Se ha tratado de integrar todo de forma compacta y eficiente para que ocupe el menor espacio posible y que su peso no sea elevado. En definitiva se ha intentado cumplir con las condiciones ergonómicas necesarias que requiere una máquina de uso industrial. La máquina además debe poder transportarse fácilmente porque no tiene por qué tener un lugar de funcionamiento fijo. Para el prototipo final se tuvo que hacer un pequeño diseño de un soporte, ya que para las pruebas no se disponía aun de la caja. Además era conveniente, pues de esta forma se podía acceder rápidamente a cualquier punto de la misma por si era necesaria cualquier modificación. Por ello se realizó un soporte en 3D para la pantalla y conectores. De esta forma se pueden realizar ya ensayos con muestras reales. Las figuras 3.20, 3.6, 3.7,3.8,3.9 muestra diversas imágenes de este prototipo.

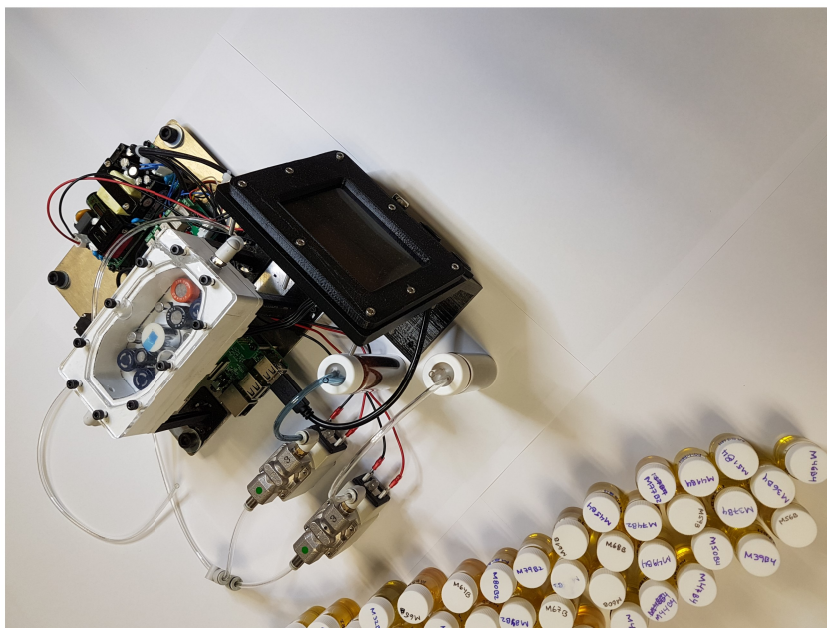


Figura 3.5: Prototipo 1

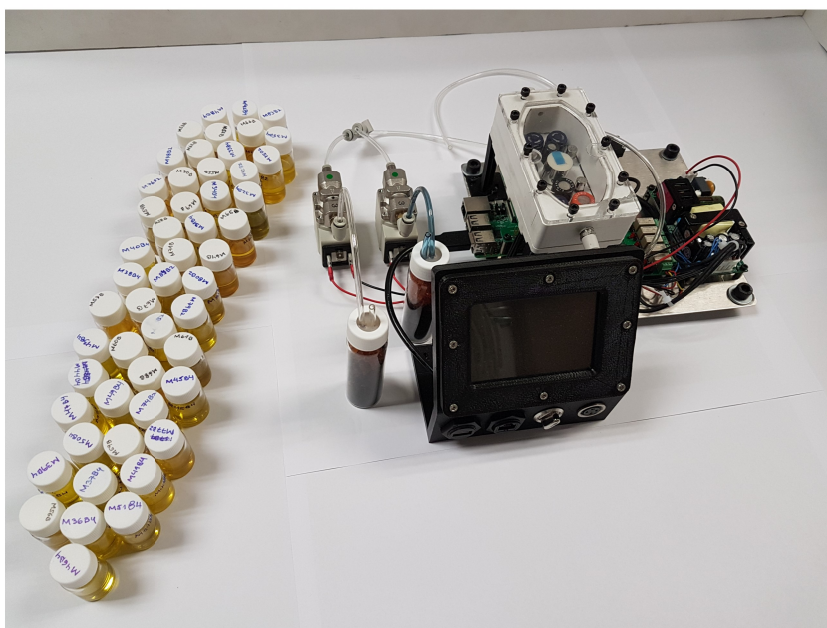


Figura 3.6: Prototipo 2

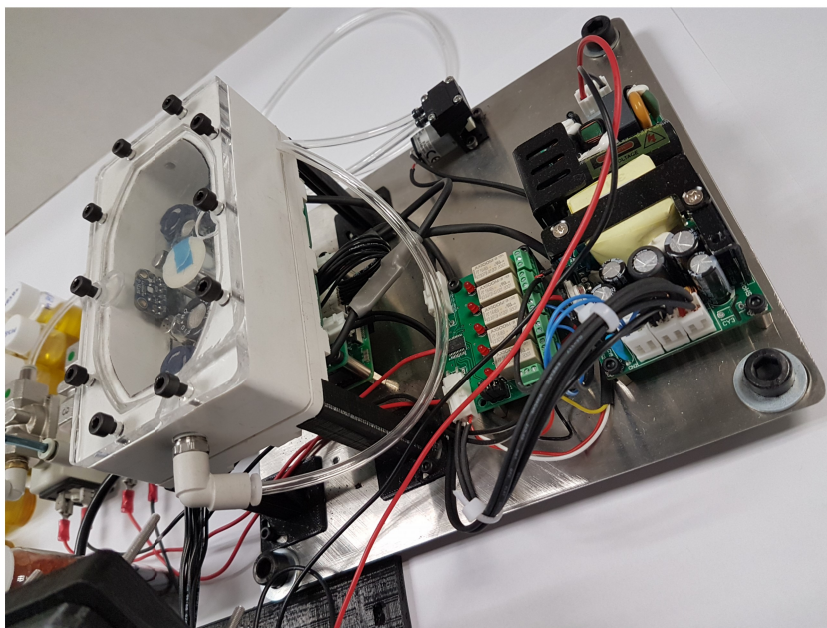


Figura 3.7: Prototipo 3

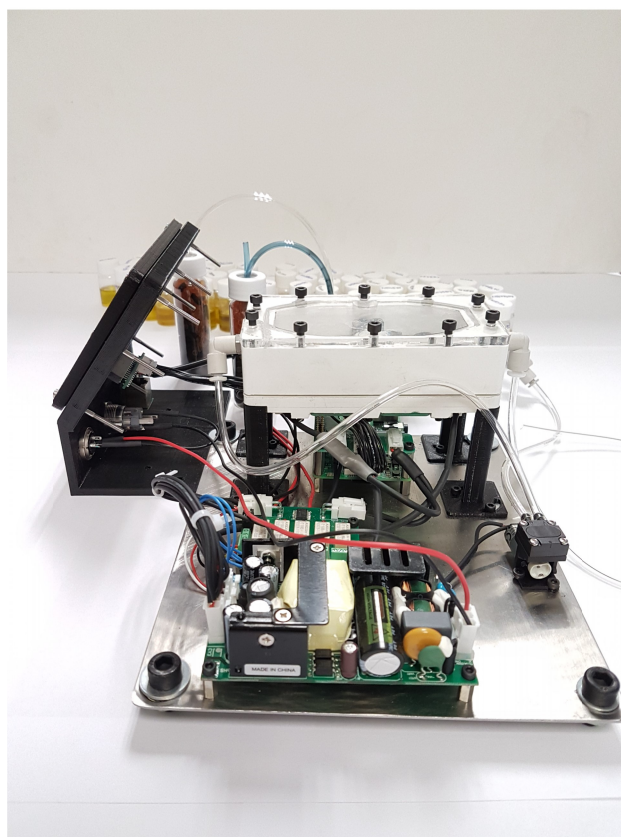


Figura 3.8: Prototipo 4

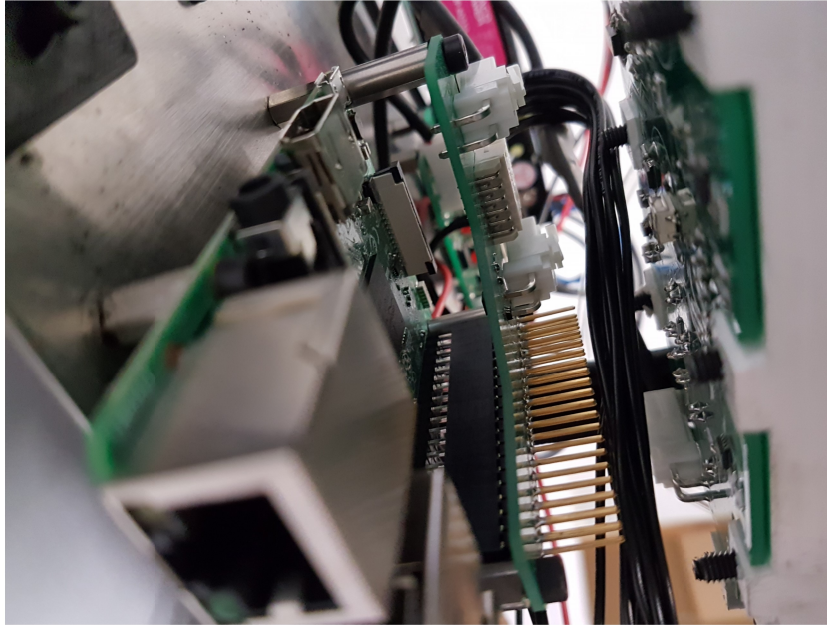


Figura 3.9: Prototipo 5

Con este primer prototipo es con el que se han realizado todas las pruebas que se analizan en el apartado de “Pruebas con muestras reales”. Sin embargo éste no será el aspecto final de la misma. En el apartado que sigue se muestra el producto final.

3.2. Producto final

El producto final es el que se obtiene al ensamblar todos los elementos de la nariz electrónica. Es en este momento cuando se puede decir que se tiene una nariz electrónica operativa. En las imágenes de las figuras 3.10 y 3.11 se puede ver ya una máquina totalmente operativa, la cual pasará a usarse directamente en una almazara.



Figura 3.10: Renderizado de Nariz Electrónica



Figura 3.11: Nariz electrónica en funcionamiento

3.3. Pruebas con muestras reales

Para estas pruebas se utilizarán muestras que ya han sido previamente analizadas y etiquetadas en laboratorios y con ayuda de catas. Se cuenta con 82 muestras de aceites entre los que hay Aceite Oliva Virgen Extra, Aceite Oliva Virgen y Aceite de Oliva Lampante. Todos ellos están contenidos en el mismo tipo de probeta y con la misma cantidad

de muestra.

En el caso de los Aceites de Oliva Virgen Extra se obtiene una hoja en la que se tiene como características los valores de frutado, amargor y picante. Éstos son valores que adjudican los catadores. En la tabla siguiente se pueden ver ordenados por su valor de frutado.

MUESTRA	CATA	FRUTADO	AMARGO	PICANTE
M45	EVO	2.5	3.3	3.8
M46	EVO	2.7	3.3	3.2
M37	EVO	2.8	3.9	3.7
M51	EVO	2.8	3.3	3.3
M38	EVO	2.9	3.5	4
M48	EVO	3	3.2	3.5
M82	EVO	3	3.5	3.8
M81	EVO	3.1	3	3.3
M34	EVO	3.2	4.2	4.5
M27	EVO	3.3	3.9	3.6
M42	EVO	3.3	4.1	4.5
M35	EVO	3.4	3.5	3.4
M71	EVO	3.4	3.4	3.6
M21	EVO	3.5	3.7	3.5
M22	EVO	3.5	3.9	4.4
M24	EVO	3.5	3.6	4.1
M39	EVO	3.5	3.9	4
M66	EVO	3.5	3.6	3.8
M70	EVO	3.5	3.6	3.9
M83	EVO	3.5	3.3	3.5
M23	EVO	3.6	4	3.7
M32	EVO	3.6	3.5	3.5
M33	EVO	3.7	3.4	3.5
M36	EVO	3.7	3.2	3.2
M40	EVO	3.7	3.3	3.5
M50	EVO	3.7	3.2	3.3
M65	EVO	3.7	3.7	3.6
M31	EVO	3.8	3.8	3.5
M43	EVO	3.8	3.2	3.8
M44	EVO	3.8	3.8	3.3
M25	EVO	3.9	3.5	3.7
M26	EVO	3.9	3.6	3.6
M47	EVO	3.9	3.2	3.4
M30	EVO	4	3.8	4
M28	EVO	4.1	3.3	3.4
M41	EVO	4.2	3.6	3.5
M29	EVO	5.5	2.5	3

Tabla 3.1: Muestras Oliva Virgen Extra

En el caso de los Aceites de Oliva Virgen y los Lampantes, aparecen también otros dos

valores referidos a los defectos. Como es de intuir estos dos parámetros no aparecen en los Aceites de Oliva Virgen Extra pues se considera que no tienen defectos.

MUESTRA	CATA	FRUTADO	AMARGO	PICANTE	defecto CM	MEDIA DEF
M53	VOO	2.2	3.8	3.5	avinado-avinagrado-agrio	2.3
M58	VOO	2.7	3.7	4.1	avinado-avinagrado-agrio	1.9
M61	VOO	2	3.3	3.6	avinado-avinagrado-agrio	3.3
M64	VOO	3.2	3.7	4	avinado-avinagrado-agrio	2.4
M67	VOO	1.5	3.2	3.3	avinado-avinagrado-agrio	3.4
M73	VOO	2.7	3	3.3	avinado-avinagrado-agrio	2.5
M77	VOO	2.6	3	3.5	avinado-avinagrado-agrio	2.5
M49	VOO	2.9	3.5	3.8	moho-humedad tierra	
M52	VOO	2.5	3.8	3.9	moho-humedad tierra	2.1
M54	VOO	3.2	3.5	3.2	moho-humedad tierra	1.8
M55	VOO	3.3	3.2	3.7	moho-humedad tierra	1.2
M56	LOO	1.2	3	2	moho-humedad tierra	4.2
M57	VOO	3.8	3.7	3.4	moho-humedad tierra	2
M59	VOO	3.2	3.5	3.8	moho-humedad tierra	2.1
M60	LOO	1.5	3.3	3.5	moho-humedad tierra	3.8
M62	VOO	3.5	3.2	3.2	moho-humedad tierra	1.7
M63	VOO	1.6	3.8	3.9	moho-humedad tierra	3.4
M68	VOO	3	3.2	3.1	moho-humedad tierra	1.5
M69	VOO	3.3	3.5	3.7	moho-humedad tierra	1.2
M72	VOO	1.5	3.1	3.8	moho-humedad tierra	3.3
M74	VOO	3	3.3	3.5	moho-humedad tierra	1.8
M75	VOO	2.5	2.6	3.5	moho-humedad tierra	1.6
M76	VOO	2.7	2.9	3.7	moho-humedad tierra	2.2
M78	VOO	2.8	2.4	3.1	moho-humedad tierra	2.3
M79	VOO	3	2.8	3	moho-humedad tierra	1.3
M80	VOO	2.2	2.6	3.3	moho-humedad tierra	3.3
M84	VOO	3.3	3.3	3	moho-humedad tierra	2.1

Tabla 3.2: Muestras Oliva Virgen y Lampante

3.3.1. Ensayos de medida

Para este ensayo se sigue de nuevo una linea de ejecución para asegurar que todas las muestras son analizadas de la misma manera. Para ello se realiza la siguiente secuencia:

- Encender la nariz 15 min antes del testeo para que se estabilicen todos los sensores y componentes. La intención es que la temperatura llegue hasta la adecuada.
- Calentar la muestra para que los volátiles se exciten y suban a la zona superior del recipiente.
- Limpiar los conductos de la nariz con los filtros previamente instalados durante 60 segundos.

- Pasar el flujo de aire desde la probeta por la cámara durante otros 60 segundos para que la medida sea significativa.

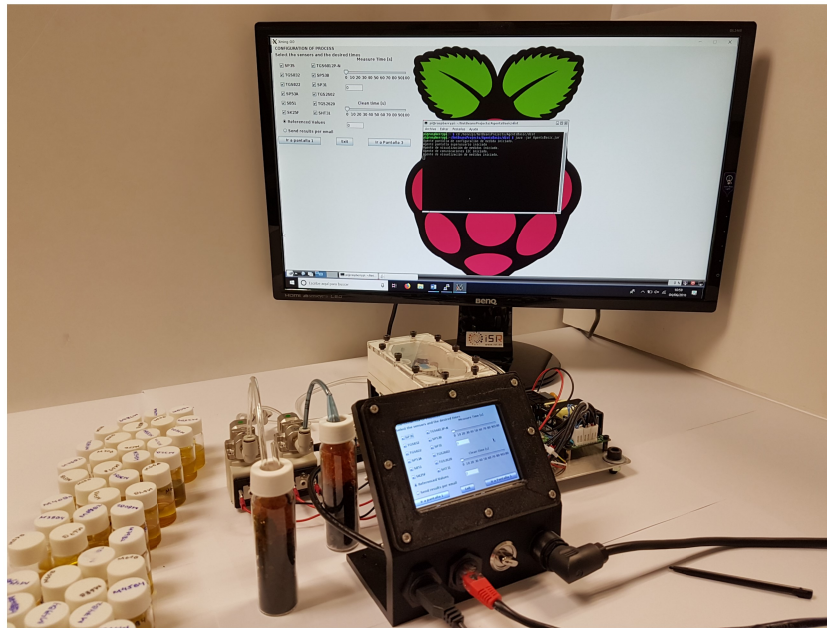


Figura 3.12: Ensayo 1

De esta forma, se realizan los test de todas las muestras obteniéndose datos de cada sensor para todas ellas. Con estos datos, la nariz es capaz de procesar y mostrar una gráfica durante el testeo y además, lo más significativo, elabora una “Huella” que es característica de cada calidad de aceite. De esta forma se puede observar y apreciar su calidad de forma muy intuitiva.

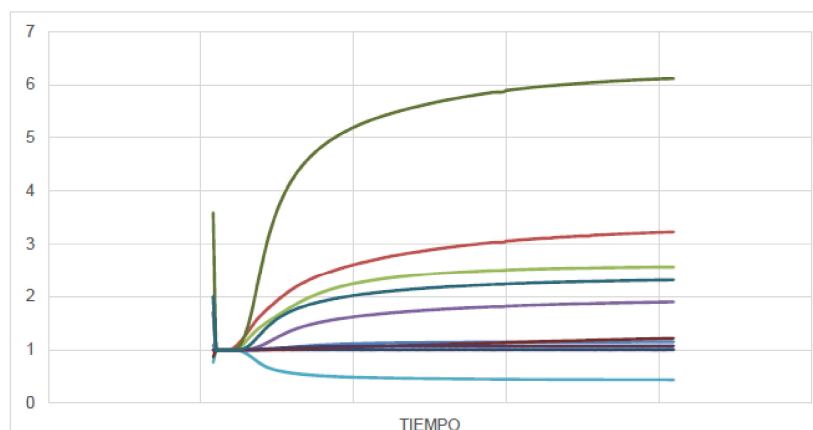


Figura 3.13: Gráfica de un aceite EVO en función del tiempo

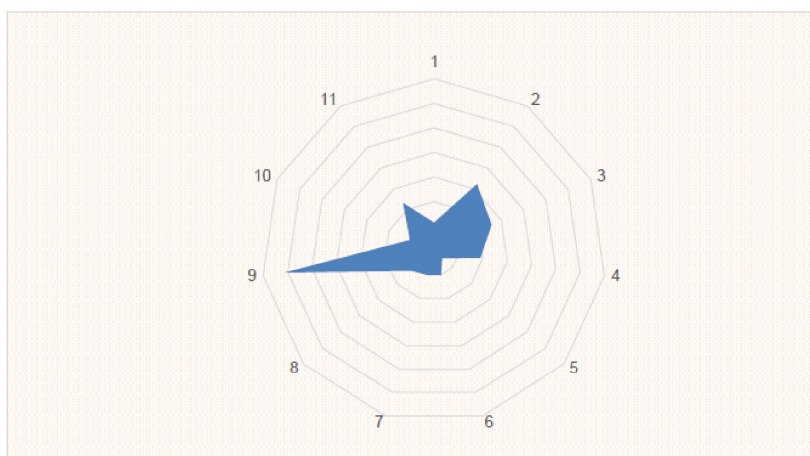


Figura 3.14: Huella de una muestra de aceite EVO

Recopilando todos estos datos, se ha podido realizar un análisis estadístico que ha dado la posibilidad de poder evaluar finalmente con números la eficacia de la nariz. En concreto los datos obtenidos se procesan con el “Classification Learner” de Matlab.

3.3.2. Resultados de la clasificación EVO / VO

Los resultados se muestran en formato de matriz de confusión. La matriz de confusión es una herramienta de visualización que se emplea en el aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real.

Matriz datos finales: Validación cruzada ‘leave-one-out’.

- Mejor resultado con clasificador máquina soporte vectorial: 79,7%

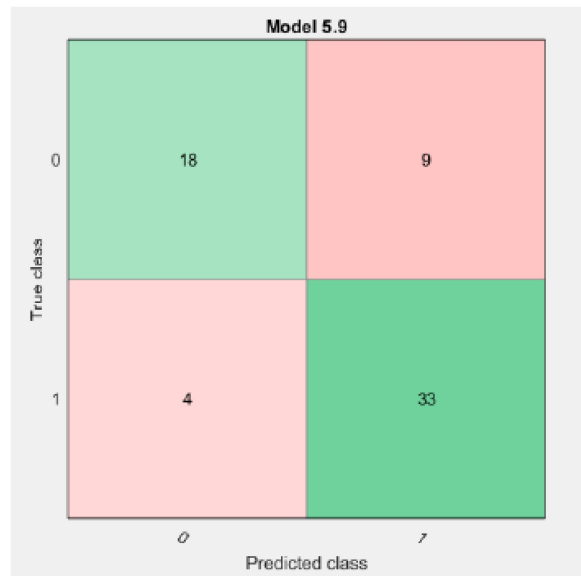


Figura 3.15: Matriz de confusión 1

Matriz datos finales: Validación ‘hold-out’ 60-40.

- Mejor resultado con clasificador máquina soporte vectorial: 84 % de acierto.



Figura 3.16: Matriz de confusión 2

Matriz datos máximos: Validación cruzada ‘leave-one-out’.

- Mejor resultado con clasificador máquina soporte vectorial: 81,3 % de acierto.

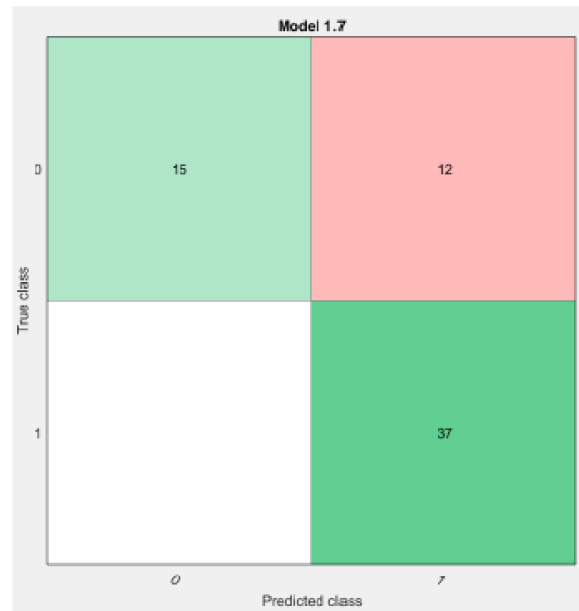


Figura 3.17: Matriz de confusión 3

Matriz datos máximos: Validación ‘hold-out’ 60-40.

- Mejor resultado con regresión logística: 92 % de acierto.

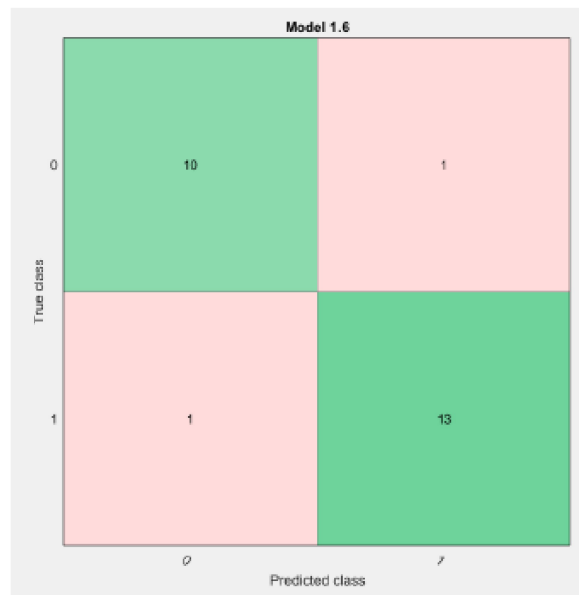


Figura 3.18: Matriz de confusión 4

Matriz datos promedios: Validación cruzada ‘leave-one-out’.

- Mejor resultado con discriminante lineal: 81,3 % de acierto.

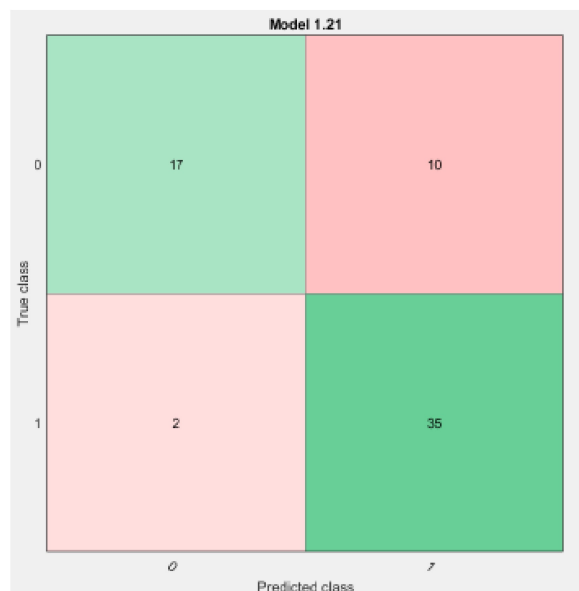


Figura 3.19: Matriz de confusión 5

Matriz datos promedios: Validación ‘hold-out’ 60-40.

- Mejor resultado con discriminante lineal: 84 % de acierto.

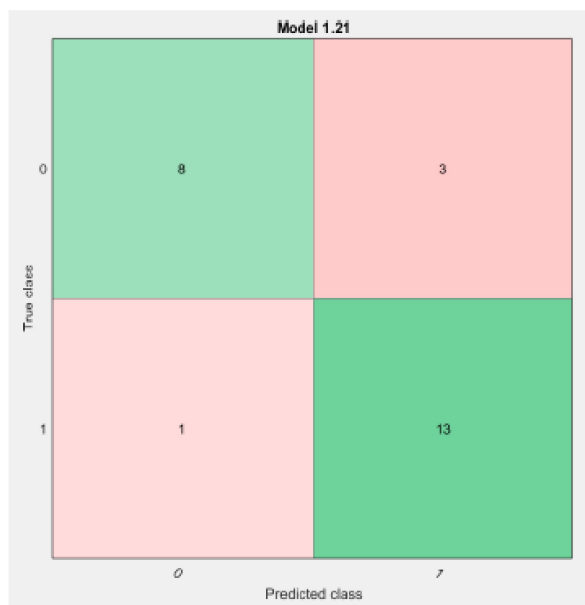


Figura 3.20: Matriz de confusión 6

Los resultados que arrojan las matrices de confusión son realmente buenos tratándose de la primera versión de la nariz electrónica. Como veremos en el capítulo 4, el rango de mejora es aún muy amplio y el camino por recorrer es largo. Por ello, obtener resultados de acierto altos en la primera validación es realmente un éxito.

Destaca el 92 % que se obtiene en la matriz de máximos aplicando la técnica de regresión logística con validación ‘hold-out’. Aun siendo una distinción simple entre dos clases de aceite, EVO y VO, predice la fiabilidad que puede llegar a tener la nariz electrónica en el análisis de las propiedades organolépticas de un aceite.

Capítulo 4

Conclusiones y trabajos futuros

La nariz electrónica ha sido un proyecto que se puede considerar como el comienzo de algo que puede ser una nueva forma de analizar la calidad organoléptica de los aceites de oliva. En esta primera fase se ha conseguido un gran resultado que puede concluir que tanto en mecánica como en electrónica han cumplido su labor, pero es evidente que la nariz necesita ahora una puesta a punto que haga que sea un dispositivo útil en la industria. Por ello, es más que necesario pensar en las posibles mejoras que se podrían desarrollar y que incluso, a día de hoy ya se están llevando a cabo en el GRAV. En este capítulo se reflexionará para determinar si se han cumplido los objetivos fijados y se comentarán las posibles mejoras, enfocadas como es de esperar a la parte de mecánica.

4.1. Objetivos alcanzados

En los comienzos del capítulo de “Desarrollo mecánico” se mostraban los objetivos que pretendían alcanzar una vez se terminase este proyecto. Pues bien, es ahora cuando se debe pensar si ha sido así o no.

- Por una parte podemos decir que en este proyecto se ha conseguido un producto final compacto y en el cual las tres partes fundamentales de él, se han integrado

satisfactoriamente sin ningún tipo de problema.

- Se puede confirmar que la nariz es una máquina totalmente funcional que a día de hoy está dando medidas y se está utilizando en laboratorio para comprobar su eficacia.
- En cuanto a la adecuación al ambiente de una almazara, no se puede concluir nada, pues aun no ha sido testeada en dicho lugar, pero está concertado para esta próxima campaña un paquete de pruebas que puedan generar conclusiones al respecto.
- Esta nariz, sin lugar a duda, será un fuerte competidor para otras narices electrónicas debido a su reducido precio y a los resultados que se están obteniendo.
- La flexibilidad es una característica sin duda de esta nariz. Esto da un margen de maniobra muy grande, algo muy útil en la industria.

4.2. Mejoras

Como cualquier producto del mercado, es necesario estar en constante desarrollo. Esto ocurre con cualquier producto, pero aun más cuando se trata de algo que es innovador. Por ello, es que este proyecto tiene ya varias líneas de trabajo enfocadas a mejorar esta primera nariz electrónica.

4.2.1. Módulo de carga

Este módulo es una parte fundamental para la nariz, pues sería el que se encargaría de recoger muestras de aceite en la almazara. Por ahora no existe una forma automatizada para extraer una cantidad de aceite, por lo que a día de hoy para usarla hay que introducir la entrada de aire directamente a cualquier punto del proceso de elaboración. Pero como es de esperar, no es una solución buena, pues no son medidas que se puedan considerar

del todo válidas. Existen varios factores que no se están considerando como la cantidad de volátiles que se extraen, la temperatura, etc.

Por ello se pretende diseñar un segundo módulo que sea capaz de coger una muestra de aceite, controlar su temperatura y de ahí extraer el flujo de aire que se va a analizar. Además éste tiene también la finalidad de filtrar el aire que se usará para limpiar el sistema.

4.2.2. Flujo de aire controlado

Como se ha observado en capítulos anteriores, el flujo de la cámara de sensores tiene un comportamiento un tanto descontrolado. Si se consiguiese que esa trayectoria fuese una impuesta se podrían conseguir medidas mejores de los sensores. Por ello queda investigar como conseguir que ese flujo se comporte de forma más ordenada, aunque ya se ha adelantado una posible mejora en cuanto a la entrada de flujo.

4.2.3. Otros mercados potenciales

¿Por qué no aplicarlo a otros sectores? Esa es la pregunta que se hizo el equipo tras ver que se estaba obteniendo una máquina que estaba dando unos resultados muy útiles. Existen muchas empresas en la que hay catadores de productos en las que interviene la nariz humana como componente fundamental. Por ello es que esta nariz podría ayudar también a muchos otros sectores como el del vino o los perfumes.



Figura 4.1: Cata de vino

Para ello es necesario desarrollar una nueva cámara que se adapte a las necesidades del vino. O quizás también, aunque más resulte un proyecto más ambicioso, considerar diseñar una nariz que fuese lo suficientemente flexible para que cambiando algunos sensores y ajustando algunos parámetros pudiese ser utilizada en cualquier sector industrial. Para ello habrá que incluir nuevos sensores y por ello una nueva distribución.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

[1] *El sector de Elaboración de ACEITE DE OLIVA: Un estudio multidisciplinar*, Autor: Fernando Burgos Moreno, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Juan Vilar Hernández

[2] *OBTENCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN 2ª EDICIÓN*, Autor: Luis Civantos, Editorial: Agrícola Española, S.A.

[3] *INDUSTRIA DEL PLÁSTICO. PLÁSTICO INDUSTRIAL*, Autor: Richardson and Lokensgard 2003.

[4] *Computational fluid dynamics: a practical approach*. Edición: 2nd ed. Autor: Tu, Jiyuan. Editorial: Waltham, Mass. : Butterworth-Heinemann, 2013

[5] *Procesos de Mecanizados 2ª Edición*, Simón Millán Gómez, Thomson, Parafino.

Artículos

[1] F.J Gutierrez, M.C. Horillo, I. Sayago, L. Arés, M.J. Fernandez y R. Gómez Instituto de Física Aplicada. *Sensores inteligentes. Aplicaciones industriales de sensores olfativos*.

[2] Iveth Moreno, Rony Caballero, Ramón Galán, Fernando Matía , Agustín Jiménez, Universidad de Panamá, *La nariz electrónica. Estado del arte*

[3] H. Ishida, T. Yamanaka, N. Kushida, T. Nakamoto, T. Moriizumi, *Study of real-time visualization of gas/odor flow image using gas sensor array*

Recursos web

[1] www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio

[2] www.internationaloliveoil.org

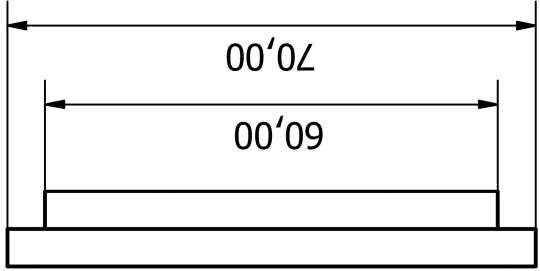
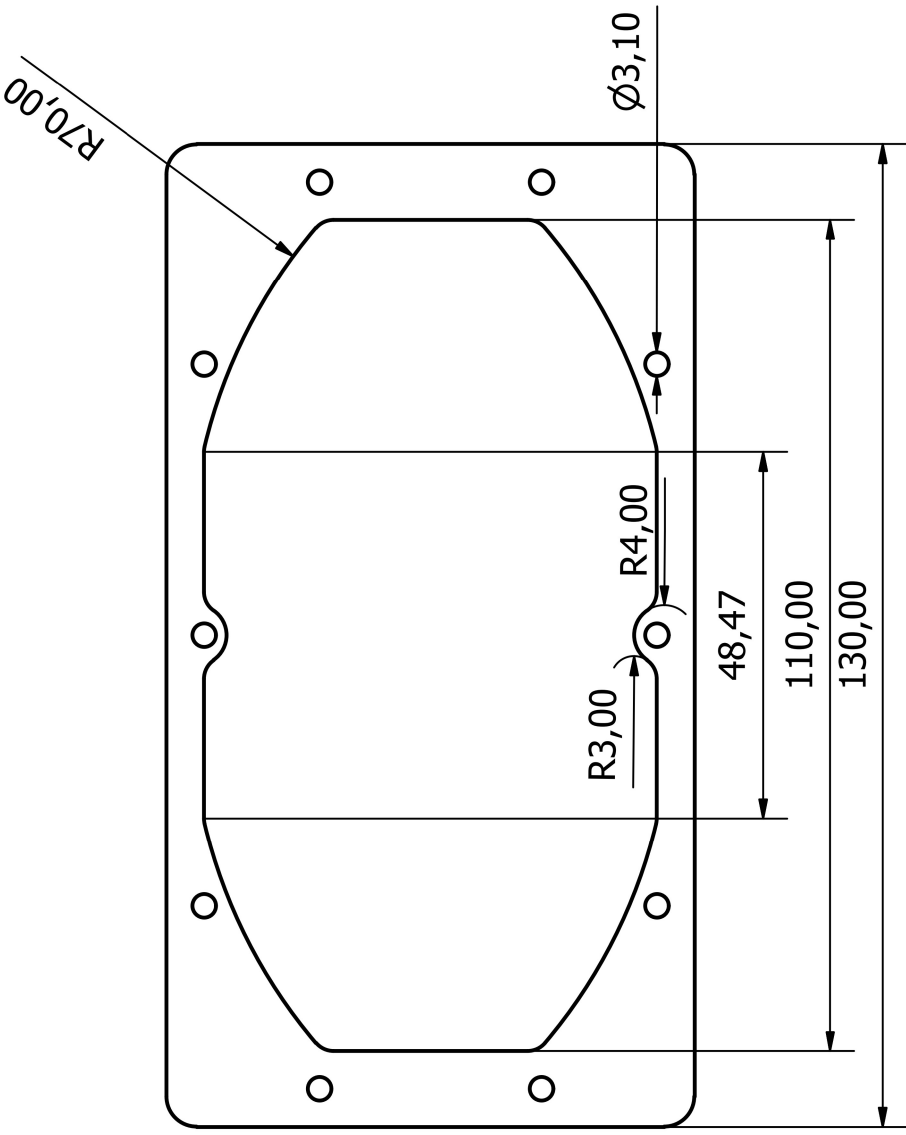
[3] www.infolivo.com

[4] [www. forums.autodesk.com](http://www.forums.autodesk.com)

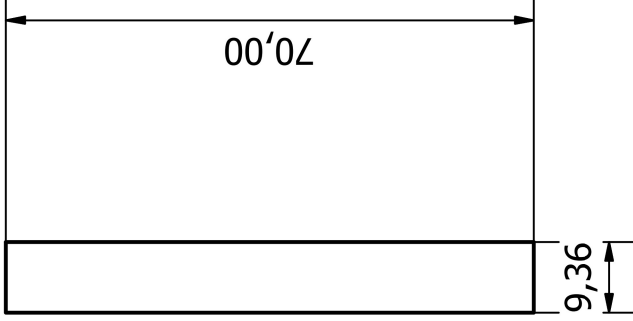
Parte II

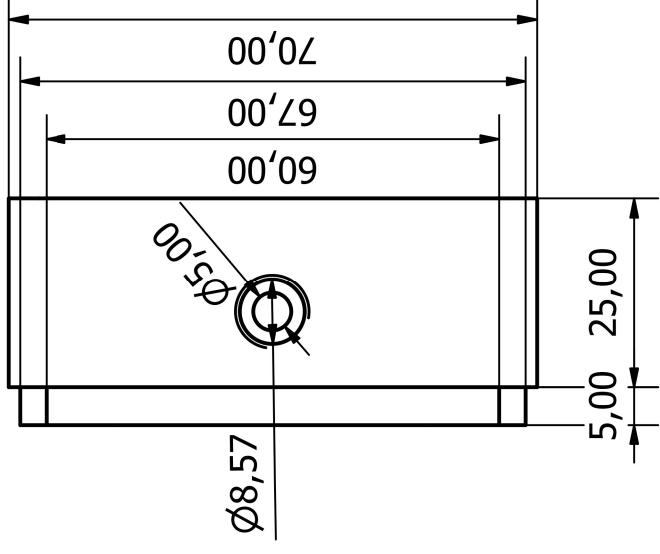
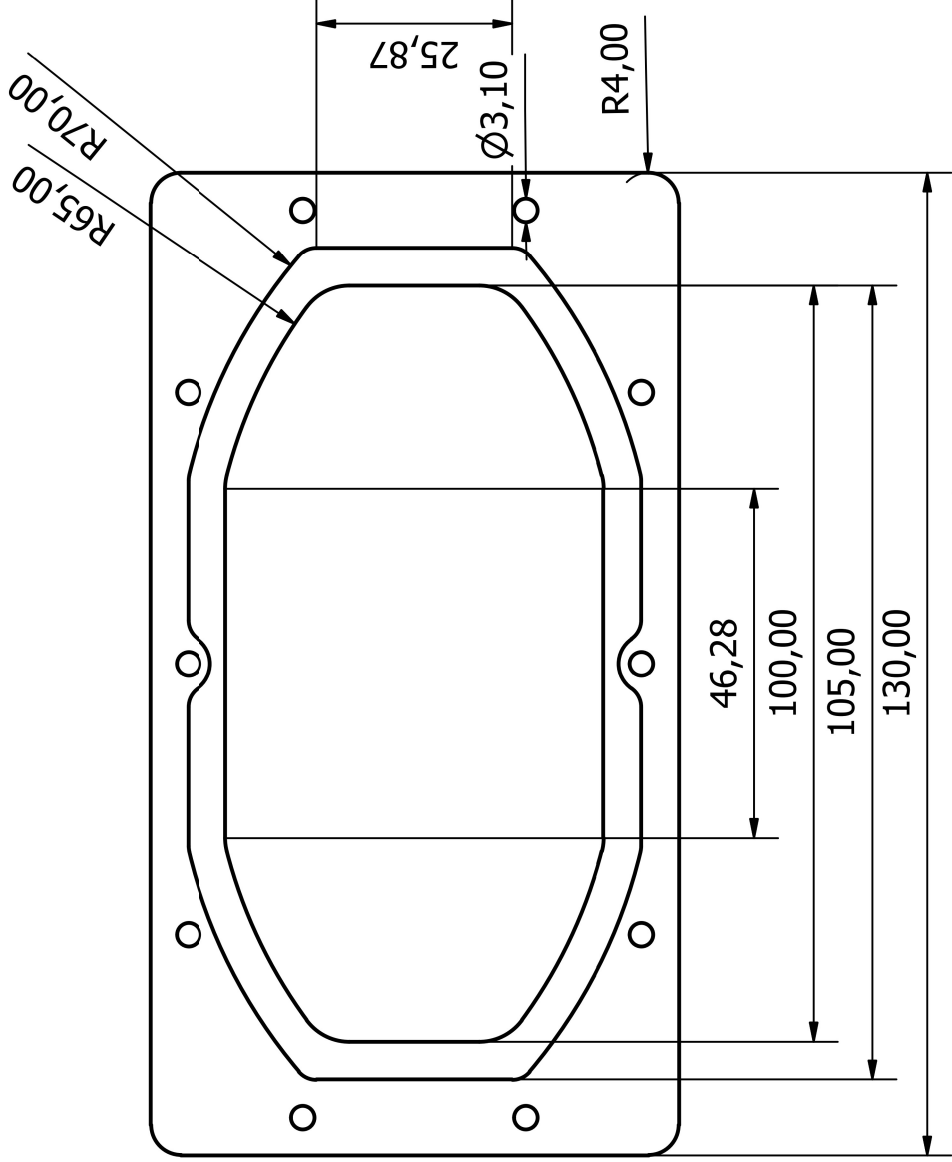
ANEXOS

A. PLANOS

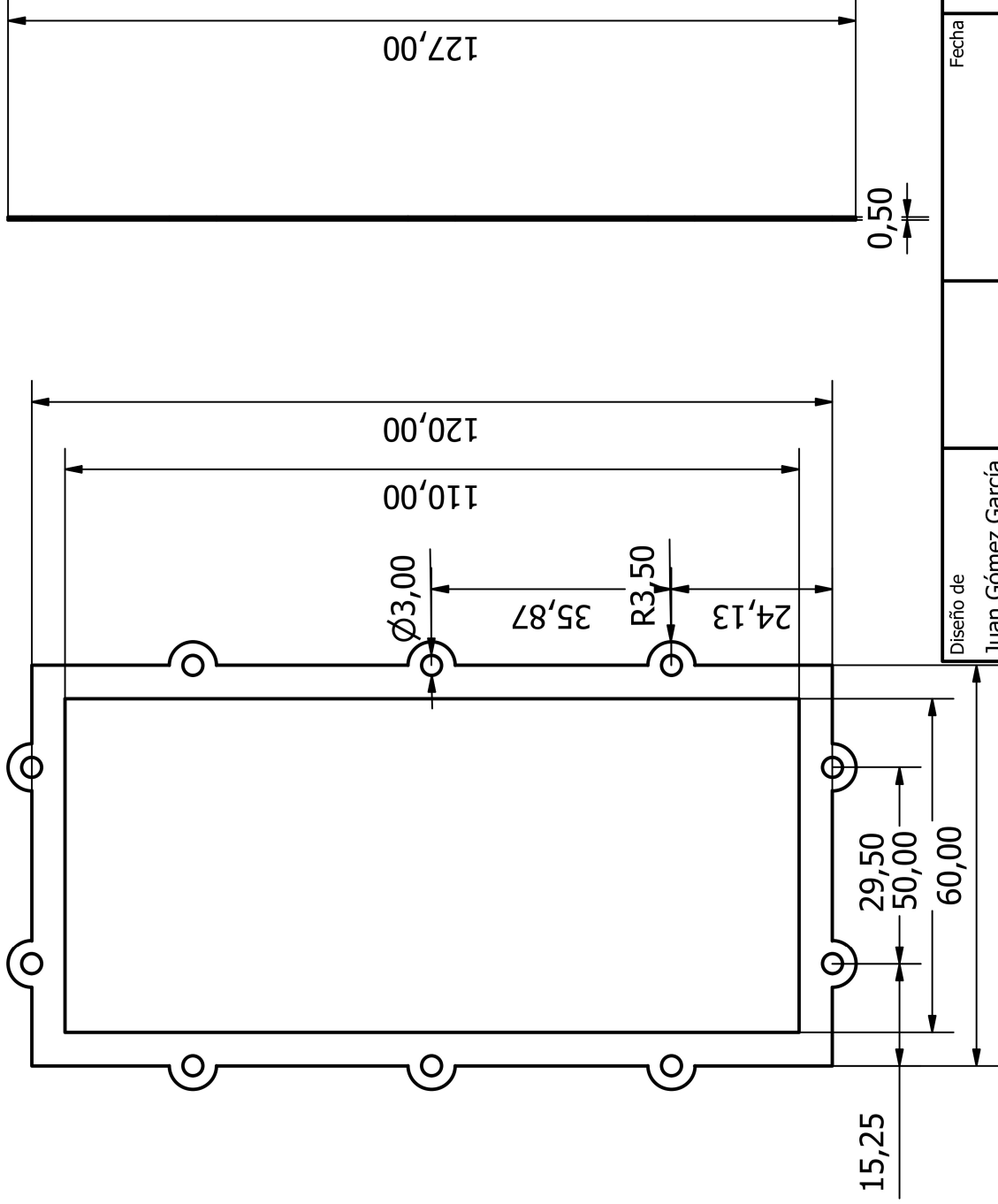


Diseño de Juan Gómez García	Fecha	Fecha	28/08/2018
Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites			
UNIVERSIDAD DE JAEN - EPSJ			Edición 1 / 7

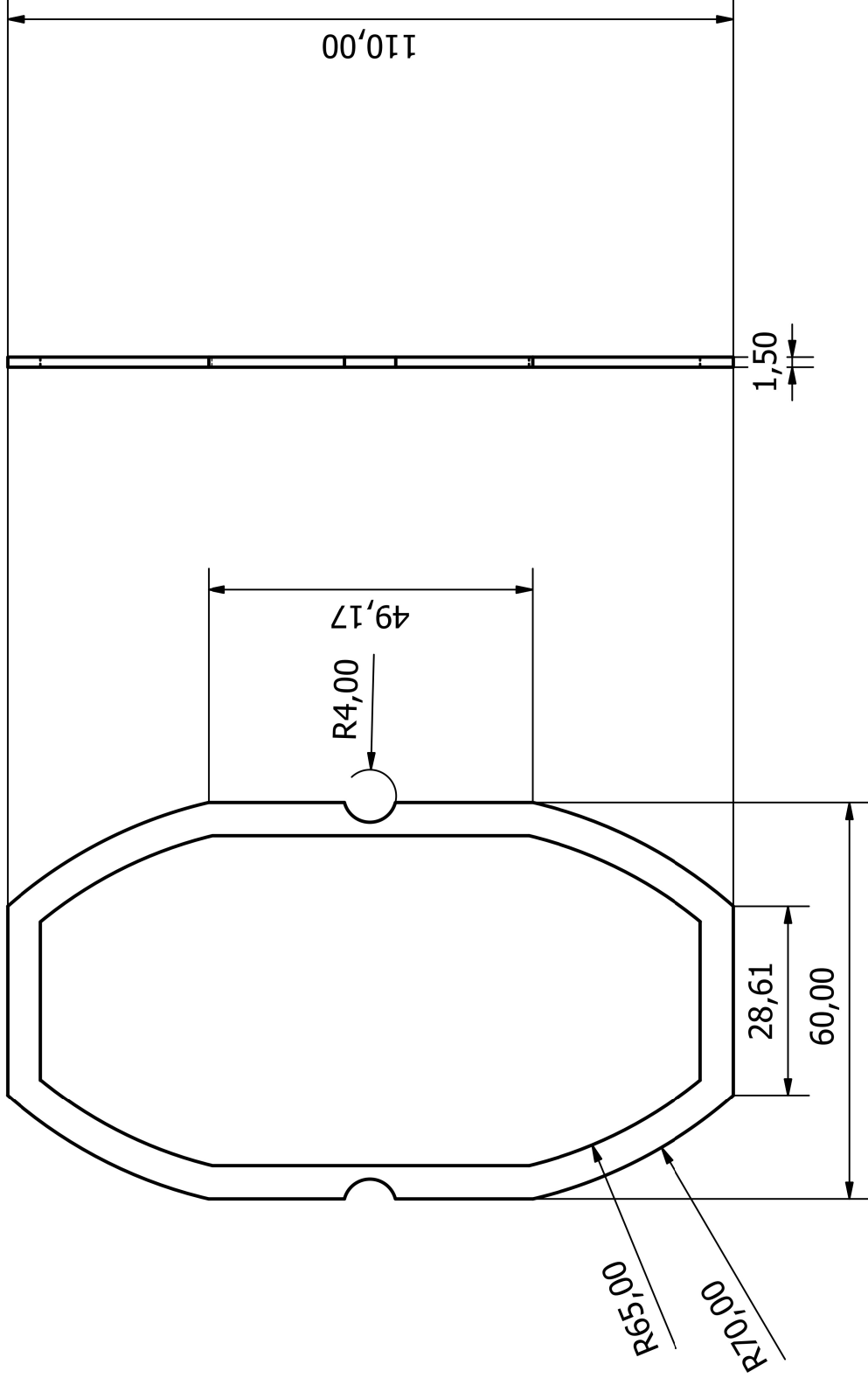




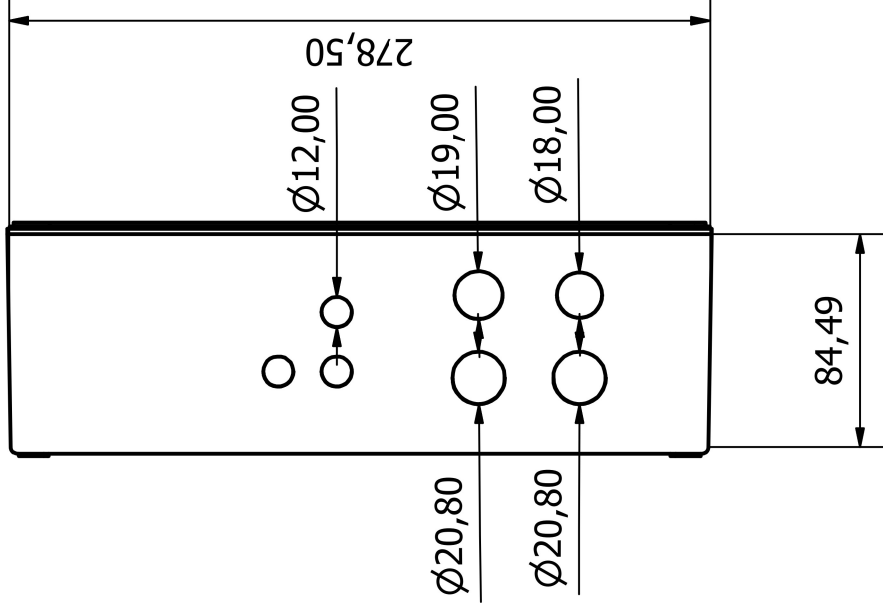
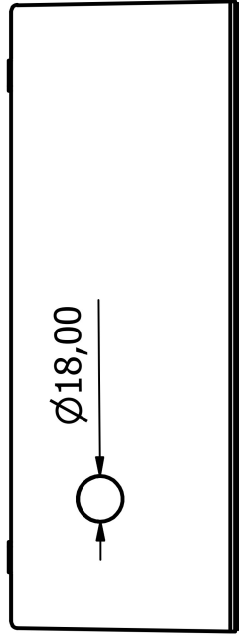
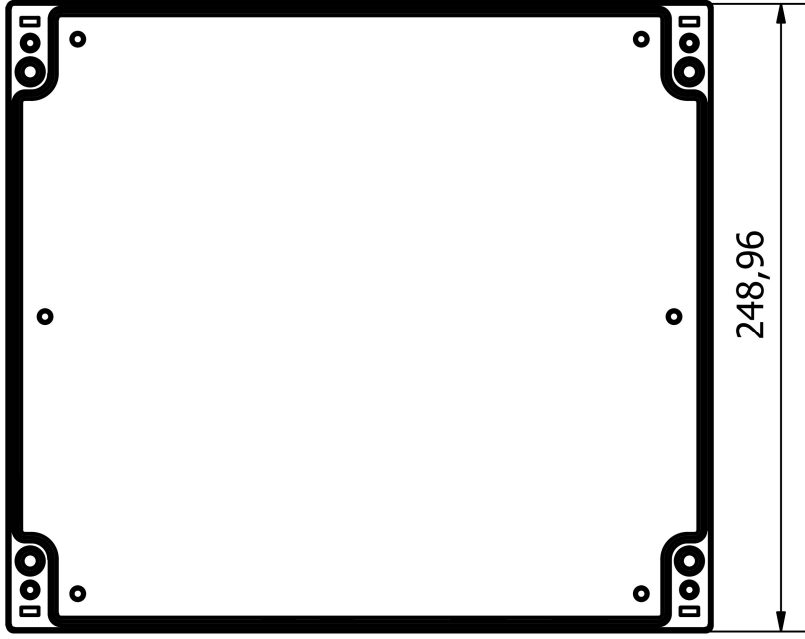
Diseño de Juan Gómez García	Fecha	Fecha	28/08/2018
Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites			
UNIVERSIDAD DE JAEN - EPSJ		Edición	Hoja 3 / 7



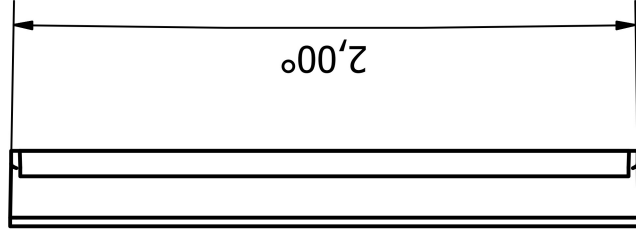
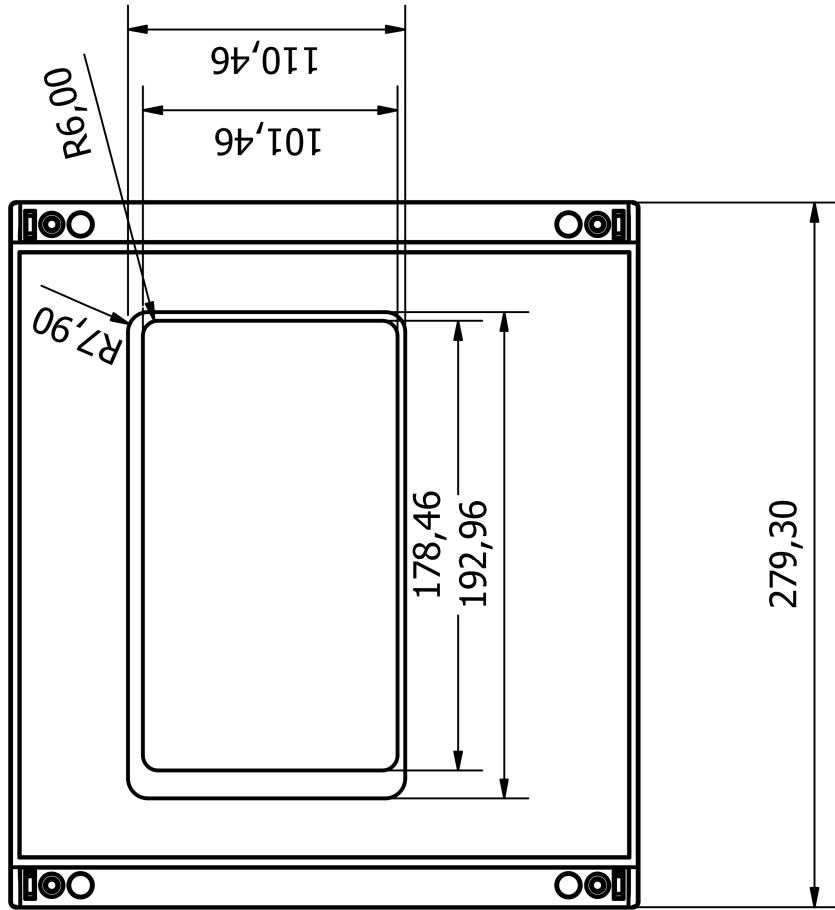
Diseño de	Fecha	Fecha	Fecha
Juan Gómez García		28/08/2018	
Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites			
UNIVERSIDAD DE JAEN - EPSJ		Edición	Hoja
			4 / 7



Diseño de	Fecha	Fecha	Fecha
Juan Gómez García		28/08/2018	
Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites			
UNIVERSIDAD DE JAEN - EPSJ		Edición	Hoja
			5 / 7



Diseño de Juan Gómez García	Fecha	Fecha	28/08/2018
Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites			Edición
UNIVERSIDAD DE JAEN - EPSJ			Hoja 6 / 7



Diseño de Juan Gómez García	Fecha	Fecha	28/08/2018
Diseño mecánico de una nariz electrónica para la discriminación de aceites			
UNIVERSIDAD DE JAEN - EPSJ		Edición	Hoja 7 / 7

B. CÁLCULOS

.1. Cálculo de velocidad del fluido

Para calcularla utilizamos los datos facilitados por el fabricante. El modelo KNF NMP09 tiene un caudal nominal de $0,75l/min$ o lo que es lo mismo $750cm^3/min$. Teniendo en cuenta que el conducto por donde pasará el aire es de sección circular y diámetro 4 mm, se puede determinar fácilmente la velocidad:

$$Q = A \cdot V \rightarrow V = \frac{Q}{S} = \frac{750 \cdot 4}{\pi \cdot D^2 \cdot 60} = 99,47cm/s \quad (1)$$

Teniendo en cuenta los cálculos, aproximamos la velocidad de entrada a la cámara de sensores a $100cm/s$.

.2. Cálculo del volumen fluido

Para calcular este volumen se considera el volumen interior de la cámara de sensores y el volumen de los sensores. Por ello, con ayuda de Autodesk Inventor, obtenemos dichos volúmenes, obteniendo $11,25cm^3$ en el caso de todos los sensores y $115,15cm^3$ en el caso de la cavidad de la cámara. Por ello, se puede aplicar:

$$Vol.InteriorCmara - Vol.Sensores = 115,15 - 11,25 = 103,9cm^3 \quad (2)$$

.3. Tiempo de llenado de la cámara de sensores

Dividiendo el volumen total de fluido que entra en la cámara entre el caudal nominal, se puede obtener el tiempo de llenado.

$$\frac{VolumenFluido}{Q} = \frac{103,9 \cdot 60}{750} = 8,31s \quad (3)$$

Considerando varios factores como que la bomba no trabaje con caudal nominal o pérdidas de carga debidas a los conductos y valvulerías, se puede aproximar a un tiempo de llenado de 10 s.

.4. Simplificación para la simulación

Esta simplificación consiste en sustituir los sensores reales por objetos más simples en lo que a geometría se trata. Es decir, se sustituyen los sensores por cilindros de sección constante y misma altura. La aproximación que se ha realizado da lugar a utilizar tres tamaños de cilindros:

Diámetro cilindro (mm)	Número de sensores sustituidos
12	5
6	5
14	1

Para poder cuantificar esta simplificación, se calcula un error que hace referencia a la diferencia de volumen entre el caso real y el simplificado. Para ello, lo primero que se obtiene es el volumen total de los cilindros:

$$SuperficieTotalDeCilindros = \frac{(12^2) \cdot 5 + 6^2 \cdot 5 + 14^2) \cdot \pi}{4} = 860mm^2 \quad (4)$$

$$V = A \cdot h = 860 \cdot 14mm = 12,05cm^3 \quad (5)$$

Con este volumen podemos calcular ya el error:

$$\frac{12,05 - 11,25}{12,05} = 0,06639 \quad (6)$$

Por lo que se puede decir, la simulación es correcta asumiendo un pequeño error de geometría del 6.63%.

C. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO, DESCOMPUESTOS Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1	ELECTRÓNICA			
A	u HARDWARE			
	Descomposición:			
896-8660	u Raspberry Pi3B	1.00	29.470	29.470
124-9640	u MicroSD 16GB Raspberry	1.00	11.200	11.200
706-6212	u TRACOPOWER TOP 60252	1.00	42.170	42.170
709-4544	u Convertidor A/D 16bits ADS1115	3.00	5.310	15.930
504-5086	u Regulador LDO 10V 500mA	1.00	1.470	1.470
770-9928	u Regulador LDO 3V 800mA	1.00	0.713	0.713
2492376	u Regulador LDO 0.9V 300mA	1.00	0.379	0.379
2328474	u Potenciómetro lineal 100Ohm SMD	1.00	2.200	2.200
901-3737	u Resistencia SMD 47kOhm 1206	1.00	0.008	0.008
901-3733	u Resistencia SMD 10kOhm 1206	29.00	0.008	0.232
223-2344	u Resistencia SMD 3.9kOhm 1206	2.00	0.008	0.016
812-6973	u Resistencia SMD 1.2kOhm 1206	2.00	0.027	0.054
679-2225	u Resistencia SMD 560Ohm	5.00	0.024	0.120
766-1126	u Condensador SMD 100nF 1206	3.00	0.014	0.042
766-1141	u Condensador SMD 1uF 1206	6.00	0.039	0.234
173-4070	u Condensador SMD 10uF 1210	3.00	0.118	0.354
906-0294	u Conector Macho PCB 90° 3 pines	1.00	0.905	0.905
820-1175	u Carcasa conector JST 3 pines	1.00	0.494	0.494
9492038	u Conector Macho PCB 90° 2 pines	5.00	0.120	0.600
630470	u Carcasa conector JST 2 pines	5.00	0.038	0.190
254-6110	u Conector hembra PCB 2x20 2.54mm	1.00	7.020	7.020
825-3514	u Level Shifter I2C TCA9517	1.00	0.876	0.876
509-706	u Transistor Pair BCM857BS	1.00	0.131	0.131
827-0522	u Transistor Mosfet DMG2305UX Canal P	1.00	0.084	0.084
2399203	u Conector Macho PCB 90° 2x6	1.00	0.392	0.392
1830789	u Conector Macho PCB 2x6	1.00	0.385	0.385
1830784	u Carcasa conector JST 2x6	2.00	0.182	0.364
1830725	u Terminal crimpado JST serie PHD	24.00	0.026	0.624
770-9707	u Expansor E/S MCP23008	1.00	1.104	1.104
256-0649	u Relé DPDT PCB 5V	5.00	2.520	12.600
725-9344	u Transistor Mosfet canal N 5.3A	5.00	0.277	1.385
220-4276	u Bloque de terminales PCB 3 vías	6.00	0.832	4.992
1301674	u Perla de Ferrita 0805 1.5kOhm	4.00	0.066	0.264
842-8009	u Diodo Rectificador 1N4001	5.00	0.018	0.090
168-9443	u Diodo LED Rojo orificio pasante	5.00	0.048	0.240
863-2844	u Conector Macho 2x3 PCB jumper	1.00	0.144	0.144
863-2762	u Jumper 2.54mm	3.00	0.093	0.279
2473872	u Raspberry 7" touchscreen	1.00	50.190	50.190
Total cantidades alzadas		1.00		
		1.00	187.945	187.945
B	u SOCKETS			
	Descomposición:			
19683	u R375-0805-01T-433E-R27-L14	3.00	3.980	11.940
19960	u R200-SP03-01T-295V-R27-L14	2.00	3.590	7.180
20030	u R200-0404-01T-01S-R27-L14	2.00	2.170	4.340
20370	u R530-0403-02N-436P55-R27-L14	1.00	4.880	4.880
20683	u R375-0806-01T-433E-R27-L14	2.00	4.190	8.380
22667	u R240-SP04-01T-295V-R27-L14	1.00	4.790	4.790
Total cantidades alzadas		1.00		
		1.00	41.510	41.510
C	u SENSORES			
	Descomposición:			
TGS2620-C00	u GAS SENSOR SOLVENT VAPOUR	1.00	9.900	9.900
TGS2602-B00	u SENSOR VOC	1.00	6.900	6.900
SK-25F	u SENSOR CXIGENO	1.00	28.800	28.800
TGS822	u GAS SENSOR SOLVENT VAPOUR ALCOHOL	1.00	6.700	6.700
TGS832-A00	u SENSOR GASES REFRIG	1.00	13.600	13.600
TGS6812-D00	u SENSOR CATALITICO H2	1.00	15.750	15.750
SP-31-00	u PROPANO Y BUTANO	1.00	35.650	35.650
SP3S-AQ2-01	u AIR QUALITY CONTROL/ AUTOMOTIVE	1.00	23.850	23.850
SP-11-00	u HYDROCARBONS GAS DETECTOR	1.00	35.650	35.650
SP-19-01	u HYDROGEN DETECTION	1.00	35.650	35.650
SB-51-00	u SH2 DETECTOR	1.00	35.650	35.650
Total cantidades alzadas		1.00		
		1.00	248.100	248.100
D	u INTERFAZ EXTERIOR			
	Descomposición:			
111-6761	u Zócalo USB Panel	1.00	15.760	15.760
111-6747	u Zócalo RJ45 Apantallado	1.00	16.120	16.120
125-7926	u Tapón de plástico IP67	2.00	4.570	9.140
261-6180	u Conector Hembra 3 pines Binder	1.00	5.250	5.250
734-5874	u Conector Aéreo Acodado 3 pines Binder	1.00	20.750	20.750

PRESUPUESTO, DESCOMPUESTOS Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
877-1974	u Interruptor Giratorio IP67	1.00	13.870	13.870
707-9450	u Conector Hembra 6 pines panel Lumberg	2.00	8.610	17.220
909-2250	u Conector Aéreo Recto 6 pines Lumberg	2.00	15.620	31.240
Total cantidades alzadas		1.00		
		1.00	129.350	129.350
TOTAL 1.....				606.905

PRESUPUESTO, DESCOMPUESTOS Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2	MECÁNICA			
22046403046567	u BOMBA KNF DC 5V NMP05KPS Total cantidades alzadas	1.00		
		1.00	71.460	71.460
0201567425002	u RACOR KFG2H0425-00 # Racor para conexiones E/S sobre panel exterior - Modelo SMC KGE04-00 Total cantidades alzadas	6.00		
		6.00	13.780	82.680
0201562425106	u RACOR KFG2L0425-01S # Racor acodado para salicas de la cámara de sensores - Modelo SMC KGL04-01S Total cantidades alzadas	2.00		
		2.00	12.110	24.220
0205704254203	u TUBO TH0425N-20 ROLLO # Total cantidades alzadas	1.00		
		1.00	48.440	48.440
0203311216553	u ELECTROVÁLVULA VQD1121-6LO-M5-Q Total cantidades alzadas	2.00		
		2.00	24.300	48.600
0203051661149	u CONECTOR AXT661-14A-10 # Total cantidades alzadas	2.00		
		2.00	2.000	4.000
8AC-2500	u CAJA ALUCASE AC 252 DA 191.250.100 Caja metálica IP67 - Oferta MALLOL ASETYC O18-02466-P3B7X8 Total cantidades alzadas	1.00		
		1.00	152.100	152.100
0101180001	u MECANIZADO DE PLACA MOVIL Mecanizado del cuerpo de la caja metálica para situación de E/S de la Nariz Electrónica. - Oferta CEMTEC ENGINEERING 01-02-180002 Total cantidades alzadas	1.00		
		1.00	46.300	46.300
0102180002	u MODIFICACIÓN DE CAJA PROTECTORA Mecanizado de la tapadera exterior de la caja metálica para colocación de la pantalla. . - Oferta CEMTEC ENGINEERING 01-01-180001 Total cantidades alzadas	1.00		
		1.00	29.300	29.300
00094450	u TORNILLO M4x50 ACERO INOX. Total cantidades alzadas	10.00		
		10.00	0.220	2.200
AG00001	kg MATERIAL PLÁSTICO ARNITE Total cantidades alzadas	1.43		
		1.43	10.500	15.015
PC00001	u PLANCHA POLICARBONATO 148x210mm Total cantidades alzadas	1.00		
		1.00	6.770	6.770
TOTAL 2.....				531.085

RESUMEN DE PRESUPUESTO MATERIAL

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE	%
1	ELECTRÓNICA	606.905	53.33
2	MECÁNICA	531.085	46.67
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		1,137.990	
21% IVA		238.978	
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN		1,376.968	

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de MIL TRESCIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

, 7 de junio 2018.

D. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

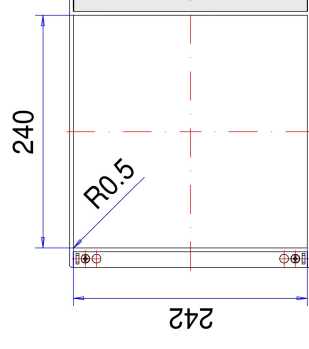
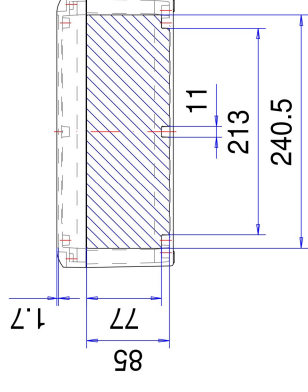
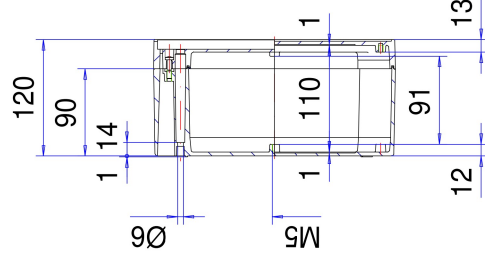
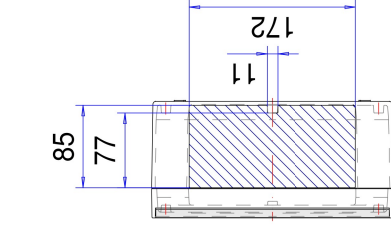
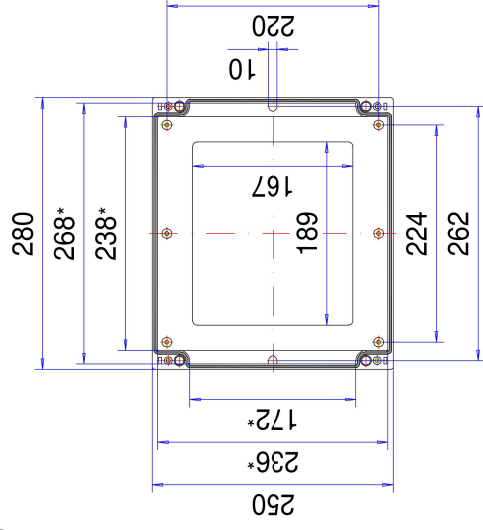
.5. Índice de documentos

- 1.-Hoja de características de la bomba KNF NMP09.
- 2.-Hoja de características de la caja ROLEC AluCase.
- 3.-Hoja de características de las electroválvulas VQD11.

Enclosure series aluCASE

Type: AC 250

Material-No.: 191.250.100



Folie/ Keypad
241.4⁺⁰_{-0.2} x 239.4⁺⁰_{-0.2}

* Please note: Mould slope for casting election, dimensions in the amount of the bottom!

Enclosure material	GD-Al Si 12 (DIN 1725)		Gasket	1x Chloroprene (CR), light grey
Lid screws	4x stainless steel 1.4567 (V2A), captive		Ingress protection	IP66 EN 60529
Assembly screws	5x M5x8, galvanized steel		Weight	2.631 g
Design covers	2x Aluminium, silver anodized		Coating	Powder coating RAL 7040, window grey
Lid supports	2x Polypropylene (PP), window grey		Tolerance	GTA 13/5 DIN 1688-4 (outside dimensions ±0.5mm)

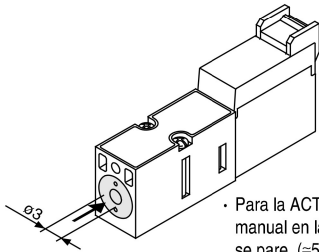
Precauciones

Funcionamiento manual

Advertencia

El actuador conectado se activa por operación manual. Utilice el accionamiento manual después de confirmar que no existe peligro.

Pulsador sin enclavamiento (rasante)

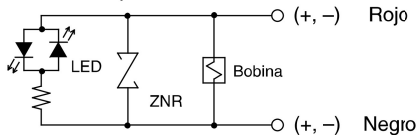


• Para la ACTIVACIÓN, pulse el botón de accionamiento manual en la dirección de la flecha. (→) hasta que se pare. (≈5mm) y suelte para DESACTIVAR.

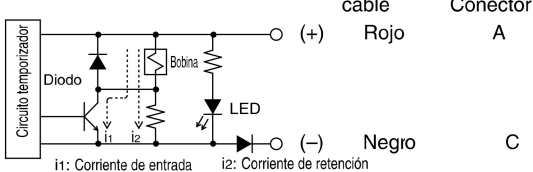
Características del cableado

Precaución

- Estándar: Especificación 2W cable Conector

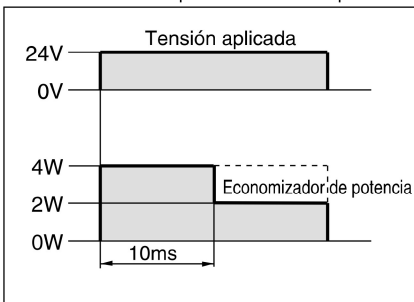


- Gran capacidad de caudal: especificación 4W



Para la especificación 4W (economizador de potencia), el consumo de potencia durante la retención se reduce con el circuito mostrado anteriormente. Véase la forma de la onda de potencia mostrada a continuación.

<Forma onda potencia tipo economizador de potencia> (Tensión nominal: 24V DC)



Forma de montaje de la válvula

Precaución

Después de confirmar que la junta está instalada, apriete los tornillos con el par de amarre mostrado en la siguiente tabla.

Par de amarre apropiado: (Nm)
0.18 a 0.25

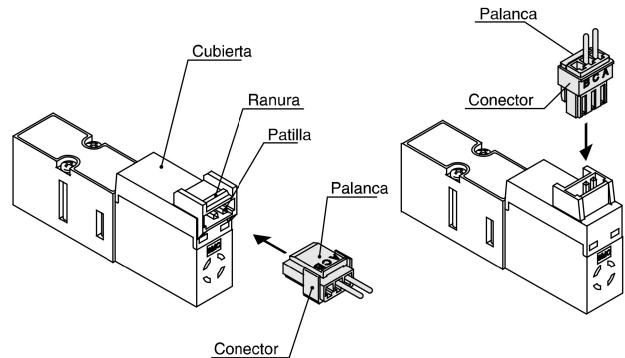
Forma de uso del conector enchufable

Precaución

Instalación y extracción del conector

- Para la instalación del conector, introduzca la palanca del mismo directamente en los pines de la electroválvula de manera que el enganche de la palanca penetre en la ranura y quede bloqueado.
- Para retirar el conector, suelte el enganche de la ranura presionando la palanca y tire del conector hacia fuera.

Nota: Para evitar fallos y cables rotos, no tire del cable con demasiada fuerza.



- Forma de pedido del conector

AXT661-14A-

Longitud de cable

—	300mm
6	600mm
10	1000mm
20	2000mm
30	3000mm

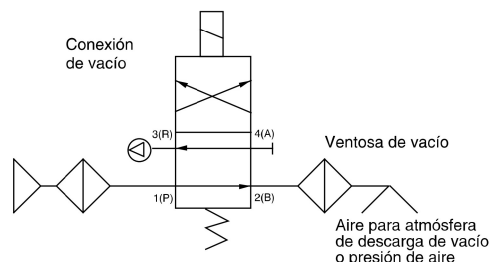
- Longitud del cable del conector enchufable

La longitud del cable de la válvula del conector con cable es de 300mm. Cuando se requiera una longitud del cable es de 600mm o mayor, haga el pedido de una válvula sin conector y el conector por separado.

Utilización de la válvula para aplicaciones de vacío (Cuando se utiliza como válvula de 3 vías)

Precaución

Ejemplo de aplicación de "VQD1151 V/W" (Los símbolos utilizados son típicos).



- Utilice una válvula VQD1151V/W para las aplicaciones de vacío. Conecte la fuente de vacío a la conexión(R) 3.
*No puede ser suministrada presión a la conexión(R) 3.
- Cuando se utilice una válvula de 3 vías, es posible la conversión de N.A. a N.C. y viceversa taponando tanto la conexión 4(A) como la 2(B).
*No puede ser utilizada como válvula de 2 vías.

Accionamiento directo Electroválvula de 4 vías Serie **VQD1000**

Forma de pedido

VQD11 5 1 5 L Q

Cuerpo

2	Montaje individual (unidad simple)
3	Salidas por la válvula (Placa base)
5	Montaje en placa base

Opción de válvula

—	Estándar (2W)
V	Vacío (2W)
U (1)	Gran caudal (4W)
W (1)	Gran caudal, vacío (4W)

Nota 1) Tipo economizador de potencia.

Tensión nominal

5	24V CC
6	12V CC
9	Menos de 50CC

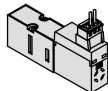
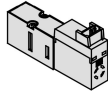
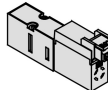
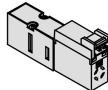
Consulte con SMC en el caso de otras tensiones diferentes (9)

Clase protección clase III (Marca: )

Tamaño de conexión de la placa base unitaria

Montaje individual	M5	Rosca M5
Montaje en placa base	—	Sin placa base unitaria (Placa base)
	M5	Rosca M5

Entrada eléctrica

L: Conexión por el exterior del bloque (plug-lead) Conector enchufable L con cable y supresor de picos de tensión	
LO: Conexión por el exterior del bloque (plug-lead) Conector enchufable L, sin cable y led y supresor de picos de tensión	
M: Conexión por el exterior del bloque (plug-lead) Conector enchufable M, con cableado y led y supresor de picos de tensión	
MO: Conexión por el exterior del bloque (plug-lead) Conector enchufable M, sin cableado y led y supresor de picos de tensión	



Conector enchufable L
Montaje en placa base



Conector enchufable L
Montaje individual



Conector enchufable M
Montaje en placa base



Conector enchufable M
Montaje individual

Características técnicas estándar

Elemento	Modelo	Estándar (2W)	Gran capacidad de caudal (4W, ahorro de potencia)
Características técnicas válvula	Estructura de válvula	Válvula de asiento de accionamiento directo de 4 conexiones	
	Fluido	Aire, gases inertes	
	Presión máx. de trabajo:	0.7MPa	
	Presión mín. de trabajo/Vacío	0MPa/–100kPa	
	Área efectiva (Nl/min)	0.9mm ² (Nl/min 49.08)	1.5mm ² (Nl/min 78.52)
	Tiempo de respuesta (1)	ACTIVADO: 4ms, OFF: 2ms	
	Temperatura ambiente y de fluido	–10 a 50 C (2)	
	Lubricación	No necesaria	
	Accionamiento manual	Pulsador sin enclavamiento	
	Impacto/resistencia a las vibraciones	150/30m/s ² (3)	
	Posición de montaje	libre	
	Protección	A prueba de polvo	
	Peso	34g (Sin placa base)	
Característica solenoide	Tensión de la bobina	CC	24V, 12V
	Tensión admisible	±10% de tensión nominal	
	Tipo de aislamiento de bobina	Clase B o equivalente	
	Consumo de corriente	CC	2W 4W (Ahorro de potencia) (Corriente de entrada: 4W, Mantenido: 2W)
	Entrada eléctrica	Conector enchufable L, conector enchufable M (Con LED indicador y supresor de picos de tensión)	

Nota 1) Según JISB8375-1981. Factor: Con LED indicador y supresor de picos (con aire limpio). Precisión de dispersión: ±1ms

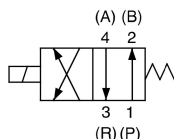
Nota 2) Si se trabaja con la válvula a bajas temperaturas se podrían formar condensaciones, por este motivo se tiene que usar aire seco.

Nota 3) Resistencia a impactos: supera prueba de impacto en direcciones paralela y normal al eje. La prueba fue llevada a cabo. La prueba fue llevada a cabo en dirección al eje y en ángulo recto a la válvula principal y al cuerpo, tanto en el estado activado como desactivado. supera la prueba de barrido de frecuencias entre 8,3 y 2000Hz. Las pruebas fueron realizadas tanto en el estado activado como desactivado en dirección al eje y en dirección al ángulo recto de la válvula principal y del cuerpo. (Valor inicial).

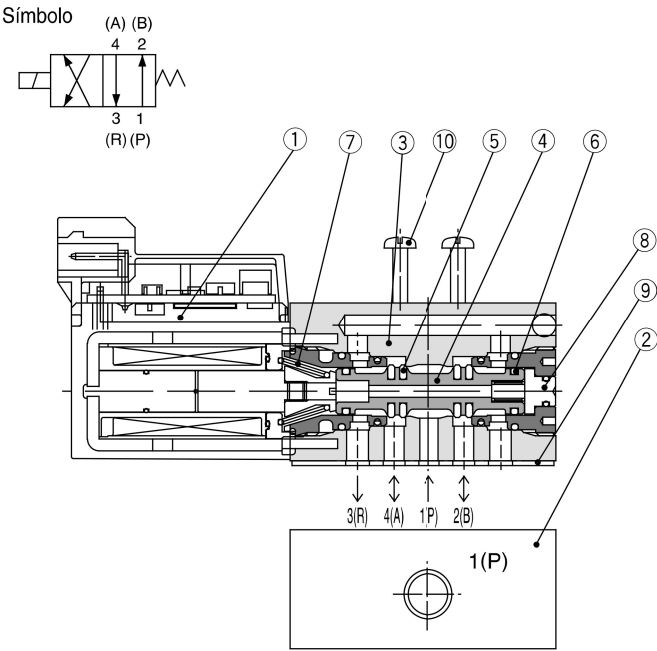
Resistencia a vibraciones:



Símbolo



Construcción



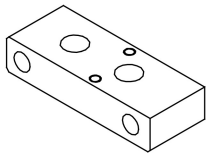
Lista de componentes

Nº	Designación	Material	Note
①	Unión bobina	—	
②	Placa base unitaria	Aluminio	VQD1000-S-M5(Sólo montado en la base)
③	Cuerpo	ZDC	
④	Corredera clapet	Aluminio	
⑤	Asiento	HNBR	
⑥	Anillo de guía	Resina	
⑦	Muelle de retorno	Acero inoxidable	
⑧	Accionamiento manual	Aluminio	
⑨	Junta de estanqueidad	NBR	VQD1000-9-1
⑩	Tornillo de cabeza redonda	Acero	AXT632-7-13(M1.7 X 18)

Nota) No se puede desmontar el cuerpo.

Opción de unidad individual de la válvula

Conjunto placa conexonado
VQD1000-20A



El tipo bloque (VQD1131) puede ser modificado al tipo unidad individual. (VQD1121) montando la placa de conexonado.

Nota) Se tiene que instalar la placa con tornillos de montaje del bloque (M1.7 X 20).
Par de apriete: 0.18 a 0.25Nm