



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

TAPÓN INTELIGENTE MULTIPARAMÉTRICO PARA LA MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL VINO EN BARRICAS DE MADERA DE 225 LITROS.

Autor: Álvaro León López de Haro

Director: Ricardo Jurado Fuentes

15/07/2025

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

**TAPÓN INTELIGENTE MULTIPARAMÉTRICO PARA LA MONITORIZACIÓN Y
PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL VINO EN BARRICAS DE MADERA DE 225
LITROS**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 he participado activamente en su realización, original e inédito.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Álvaro León López de Haro

Fecha: 21/ 07/ 2025

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Ricardo Jurado Fuentes

Fecha: 21/ 07/ 2025



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

TAPÓN INTELIGENTE MULTIPARAMÉTRICO PARA LA MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL VINO EN BARRICAS DE MADERA DE 225 LITROS.

Autor: Álvaro León López de Haro

Director: Ricardo Jurado Fuentes

15/07/2025

Madrid

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad y al conjunto de profesores que me han acompañado a lo largo de estos años de formación. Gracias a su dedicación, exigencia y vocación docente, he podido adquirir los conocimientos y herramientas necesarias para afrontar este Trabajo de Fin de Grado y mi futura trayectoria profesional.

También deseo agradecer profundamente a mi familia y a los compañeros que he tenido durante estos años de universidad. Su apoyo constante, tanto en los momentos buenos como en los más exigentes, ha sido fundamental para mantener la motivación y superar los desafíos del camino académico.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a la empresa Agrovin por brindarme la oportunidad de realizar este TFG desarrollado tras mi periodo de prácticas. Este TFG se enmarca en el ámbito del proyecto “ActiveBarrel” realizado por Agrovin-UVaMOX de la Universidad de Valladolid, dentro del programa Innova –Adelante de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. En especial, agradezco a Ricardo Jurado Fuentes, director de este trabajo, por su implicación, orientación y valiosos consejos, que han sido clave para el desarrollo del proyecto.

TAPÓN INTELIGENTE MULTIPARAMÉTRICO PARA LA MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL VINO EN BARRICAS DE MADERA DE 225 LITROS.

Autor: León López de Haro, Álvaro.

Director: Jurado Fuentes, Ricardo.

Entidad Colaboradora: Agrovin.

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo de Fin de Grado presenta el desarrollo de un tapón inteligente para barricas de vino, capaz de monitorizar parámetros clave durante la maceración y el envejecimiento. Se han estudiado distintos diseños, sensores y materiales, y se ha implementado una interfaz gráfica para la visualización de datos. Además, se analiza la viabilidad técnica y económica del proyecto. Los resultados demuestran el potencial de integración del sistema en el sector vitivinícola.

Palabras clave: Tecnología 4.0, enología

1. Introducción

El proceso de envejecimiento del vino en barricas es una práctica tradicional y fundamental en la industria vinícola, ya que permite una oxigenación controlada del producto y contribuye significativamente a su evolución organoléptica. La madera de la barrica aporta al vino taninos, aromas y complejidad, mejorando sus cualidades sensoriales.

No obstante, en cuanto la barrica se llena, parte del líquido comienza a impregnar la porosidad de la madera, lo que genera una reducción del volumen interno sin que necesariamente se deba a evaporación. Esta absorción provoca una depresión dentro de la barrica y obliga a realizar una operación común en el sector: el relleno periódico con más vino para compensar las pérdidas. Esta práctica, aunque esencial para mantener la calidad y uniformidad del producto final, conlleva un coste adicional en producto, tiempo y recursos humanos, además de introducir posibles variaciones en el vino.

Ante estos desafíos, surge la necesidad de un sistema que permita monitorizar en tiempo real el proceso de envejecimiento, reduciendo la frecuencia del relleno de barricas y optimizando la gestión del vino en crianza. En este contexto, la presente invención propone el desarrollo de un aparato, sistema y método inteligente diseñado para ofrecer una solución eficaz a los inconvenientes mencionados. El objetivo es mejorar el control de las condiciones internas de la barrica, disminuir los costes asociados, simplificar la logística del proceso y contribuir a una mayor homogeneidad y calidad del producto final.

2. Definición del proyecto

Tras analizar el potencial técnico y económico de un dispositivo como el que se propone, se ha llevado a cabo el diseño de un tapón inteligente para barricas, orientado a monitorizar en tiempo real parámetros clave durante el proceso de envejecimiento del vino. Para ello, se han planteado distintas configuraciones del aparato, seleccionando los diseños más viables en función de criterios técnicos y funcionales. Asimismo, se han evaluado diferentes tipos

de sensores para medir variables como las condiciones ambientales en el interior de la bodega, la presión parcial de gases disueltos y compuestos volátiles, las condiciones del microentorno externo de la bodega y la distancia desde el dispositivo a la superficie del líquido. También se han seleccionado materiales adecuados que garanticen resistencia, compatibilidad alimentaria y durabilidad en un entorno exigente como es una bodega hermética con espacio de cabeza reducido y saturada de compuestos volátiles.

Además, se ha desarrollado un programa en Arduino que permite recopilar y visualizar las mediciones de forma clara e intuitiva mediante una interfaz gráfica diseñada para una pantalla HMWin de Panasonic. Tanto el código como la interfaz se incluyen en el presente trabajo. Para validar el funcionamiento del dispositivo, se han realizado ensayos experimentales, cuyos resultados también se presentan y analizan. Finalmente, se ha elaborado un estudio de viabilidad económica que evalúa el coste del producto, su potencial de implantación y el retorno esperado de la inversión.

3. Resultados

A lo largo del desarrollo del proyecto se han propuesto y analizado varios diseños del dispositivo, los cuales se recogen en las figuras del capítulo correspondiente. Tras una evaluación técnica, se seleccionaron tres sensores principales: el VL53L0X, encargado de medir la distancia desde el dispositivo hasta la superficie del líquido; el ENS160, para analizar la calidad del aire y detectar compuestos volátiles; y el BME280, que proporciona datos de temperatura, humedad y presión dentro del entorno de la bodega.

Asimismo, se ha desarrollado un programa en Arduino capaz de coordinar las lecturas de los sensores e interpretar sus datos, mostrándolos de forma clara y accesible en una interfaz diseñada para facilitar la monitorización y recopilando los datos que proporcionan los sensores. Finalmente, el estudio económico realizado demuestra que el proyecto no solo es técnicamente viable, sino también altamente rentable, lo que lo convierte en una gran oportunidad de inversión dentro del sector vinícola.

Tras los ensayos realizados en laboratorio, descritos en el capítulo correspondiente, se concluye que la merma total de la bebida alcohólica en bodegas de 225 litros, tras ocho meses de envejecimiento, es notablemente inferior en comparación con los métodos tradicionales que requieren rellenos periódicos. La pérdida media observada fue de 4,65 litros por bodega, frente a los 22,5 litros que suelen necesitarse, siendo aceptable una merma de hasta 11,25 litros.

4. Conclusiones

El proyecto ha desarrollado un tapón inteligente capaz de monitorizar en tiempo real las condiciones de envejecimiento del vino en bodega. Gracias a sensores precisos y un diseño modular, el dispositivo permite optimizar intervenciones, reducir mermas y facilitar una gestión más sostenible del proceso de crianza. Las pruebas en entorno real confirmaron su

fiabilidad técnica y su potencial para transformar prácticas tradicionales. Además, se ha demostrado que es una solución rentable y con proyección en el sector vitivinícola.

5. Referencias

[1]

Elaboración propia en colaboración con Agrovín.

Gran parte de los datos, estimaciones y análisis incluidos en este trabajo han sido desarrollados internamente con apoyo técnico y sectorial de la empresa Agrovín, con la dirección de en el proyecto de Ricardo Jurado Fuentes, Director técnico en Agrovín S.A.

REVOLUTION IN THE WINE INDUSTRY: SMART STOPPER FOR BARRELS

Author: León López de Haro, Álvaro.

Supervisor: Jurado Fuentes, Ricardo

Collaborating Entity: Agrovín.

ABSTRACT

This Final Degree Project presents the development of a smart stopper for wine barrels, capable of monitoring key parameters during maceration and aging. Various designs, sensors, and materials have been evaluated, and a graphical interface has been implemented for data visualization. In addition, the technical and economic feasibility of the project is analysed. The results demonstrate the potential for integration of the system within the wine industry.

Keywords: Bluetooth, Mobile, Indoor

1. Introduction

The aging of wine in barrels is a traditional and fundamental practice in the wine industry, as it allows for controlled oxygenation of the product and significantly contributes to its organoleptic development. The wood of the barrel imparts tannins, aromas, and complexity to the wine, enhancing its sensory qualities.

However, as soon as the barrel is filled, part of the liquid begins to permeate the wood's porosity, resulting in a reduction of the internal volume that is not necessarily due to evaporation. This absorption causes a pressure drop inside the barrel and makes it necessary to perform a common operation in the sector: the periodic refilling of the barrel to compensate for losses. Although essential to maintain the quality and uniformity of the final product, this practice involves additional costs in terms of product, time, and human resources, and can also introduce variations in the wine.

In light of these challenges, there is a clear need for a system capable of monitoring the aging process in real time, reducing the frequency of barrel refilling and optimizing the management of wine during aging. In this context, the present invention proposes the development of a smart device, system, and method designed to provide an effective solution to the aforementioned issues. The objective is to improve control over the internal conditions of the barrel, reduce associated costs, simplify the logistics of the process, and contribute to greater homogeneity and quality of the final product.

2. Project description

After analyzing the technical and economic potential of the proposed device, a smart stopper for wine barrels has been designed to monitor, in real time, key parameters during the wine aging process. Several design alternatives were considered, selecting the most viable configurations based on technical and functional criteria. Various types of sensors were also evaluated to measure parameters such as the internal environmental conditions of the barrel, the partial pressure of dissolved gases and volatile compounds, the microenvironmental

conditions surrounding the barrel, and the distance from the device to the surface of the liquid. Suitable materials were chosen to ensure durability, food safety compatibility, and resistance in the demanding enological environment.

In addition, an Arduino-based program was developed to collect and display measurements in a clear and user-friendly manner through a graphical interface designed for a Panasonic HMWin screen. Both the source code and the interface are included in this project. To validate the device's performance, experimental tests were conducted, and the results are presented and analyzed in this work. Finally, a financial feasibility study was carried out, assessing the product's cost, implementation potential, and expected return on investment.

3. Results

Throughout the development of the project, several device designs have been proposed and analyzed, which are presented in the figures of the corresponding chapter. Following a technical evaluation, three main sensors were selected: the VL53L0X, responsible for measuring the distance from the device to the surface of the liquid; the ENS160, used to analyze air quality and detect volatile compounds; and the BME280, which provides temperature, humidity, and pressure data within the barrel environment.

Additionally, an Arduino program has been developed that can coordinate sensor readings and interpret their data, displaying the results clearly and accessibly through an interface designed to facilitate monitoring and collect the data provided by the sensors. Finally, the economic study conducted demonstrates that the project is not only technically feasible but also highly profitable, making it a great investment opportunity within the winemaking sector.

Following the laboratory tests described in the relevant chapter, it is concluded that the total loss of alcoholic beverage in 225-liter barrels after eight months of ageing is significantly lower compared to traditional methods involving periodic refills. The average loss recorded was 4.65 litres per barrel, whereas traditional approaches may require up to 22.5 litres, with an acceptable threshold of 11.25 litres per barrel.

4. Conclusions

The project developed a smart stopper capable of real-time monitoring of wine ageing in barrels. With precise sensors and a modular design, the device optimises interventions, reduces losses, and supports more sustainable wine management. Real-world tests confirmed its technical reliability and potential to improve traditional practices. Moreover, it has proven to be a cost-effective solution with strong potential in the winemaking industry.

5. References

[1]

Own elaboration in collaboration with Agrovín. A significant part of the data, estimates, and analyses included in this work have been developed internally with the technical and industry-specific support of the company

Agrovín, under the project leadership of Ricardo Jurado Fuentes, Technical Director at Agrovín S.A.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Motivación del proyecto.....	5
1.2 Estado de la técnica	6
1.3 Objetivos del proyecto.....	12
1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	14
1.5 Metodología de trabajo y recursos a emplear.....	15
Capítulo 2. Infraestructura tecnológica	16
2.1 Consideraciones generales.....	16
2.2 Condiciones en la monitorización y control del entorno.....	18
2.3 Diseño funcional del sistema de sensorización	19
Capítulo 3. Formas preferentes de realización y diseño	27
1.1 Diseño de la invención	27
1.2 Ensayo de funcionamiento	44
Capítulo 4. Software del sistema y presentación de datos.....	48
4.1 Programación del sistema.....	48
4.2 Interfaz del sistema.....	51
Capítulo 5. Análisis financiero del proyecto.....	55
5.1 Componentes del análisis	55
5.2 Estimación de gastos	55
5.3 Proyección de ingresos	57
5.4 Punto de equilibrio	58
5.5 Conclusión.....	59
Capítulo 6. Conclusiones.....	60
Capítulo 7. Bibliografía.....	63
ANEXO I – Referencias en las figuras.....	65

Índice de figuras

Figura 1. Modelo de impregnación de la madera	8
Figura 2. Vista transversal del aparato según la primera forma de realización	27
Figura 3. Sección A-A de la Figura 2	28
Figura 4. Vista explosionada del aparato según la primera forma de realización	31
Figura 5. Kit de sensórica	32
Figura 5A. Vista en alzado del kit de sensórica	32
Figura 5B. Vista del kit de sensórica según el corte A-A	33
Figura 5C. Vista explosionada del kit de sensórica	33
Figura 5D. Vista en planta del microchip.....	34
Figura 5E. Vista en planta inferior del microchip	35
Figura 6. Vista en planta de la placa y sensor de condiciones ambientales exteriores.....	36
Figura 7. Vista transversal del aparato según la segunda forma de realización	37
Figura 8. Sección A-A de la Figura 7.....	37
Figura 9. Vista explosionada del aparato según la segunda forma de realización	38
Figura 10. Vista transversal del aparato según la tercera forma de realización	39
Figura 11. Sección A-A de la Figura 10	39
Figura 12. Vista explosionada del aparato según la tercera forma de realización	40
Figura 13. Sistema de monitorización	41
Figura 14. Espacio de cabeza del aparato	42
Figura 15. Humedad relativa interior y exterior respecto del tiempo	45
Figura 16. Temperatura ambiente interior y exterior de la barrica, altura y volumen del espacio de cabeza respecto del tiempo	46
Figura 17. Mapas de distribución (planta) de líneas de iso-merma (litros/barrica y año)...	47
Figura 18. Mapas de distribución (alzado) de líneas de iso-merma (litros/barrica y año) ..	47
Figura 19. Pantalla de inicio de la interfaz	51
Figura 20. Pantalla de visualización de datos sensorizados	52

Figura 21. Pantalla de gestión de datos	52
Figura 22. Aviso de confirmación de guardado de datos exitoso.....	53
Figura 23. Aviso de confirmación de eliminación de datos anteriores al historial exitosa .	54
Figura 24. Representación gráfica del punto de equilibrio del proyecto.....	59

Índice de tablas

Tabla 1. Inversión inicial del proyecto	55
Tabla 2. Costes variables del proyecto	56

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un dispositivo que se instalará en las barricas de vino. Dicho dispositivo será capaz de ofrecer información tanto sobre el estado del vino como sobre las condiciones en las que se conserva, lo que permitirá ajustarlas para mantenerlas en niveles óptimos y reducir las posibles pérdidas de producto. Para ello, en primer lugar, se describirá la motivación que me ha llevado a realizar este proyecto, el estado de la cuestión y los objetivos de este proyecto, seguidamente se explicarán la alineación con los ODS y se explicará la metodología de trabajo y los recursos a emplear.

Este Trabajo de Fin de Grado se realiza en colaboración con la empresa Agrovin, una Compañía española con amplia experiencia en el sector enológico. Agrovin se dedica al desarrollo de soluciones tecnológicas para la vinificación, desde maquinaria especializada hasta productos enológicos, sistemas de control y asesoramiento técnico. Su labor se centra en mejorar los procesos de elaboración del vino, aportando innovación, eficiencia y calidad a las bodegas, tanto a nivel nacional como internacional.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Las bodegas conservan el vino en barricas de roble porque este tipo de recipiente contribuye significativamente a mejorar sus características sensoriales. Las barricas aportan aromas y sabores como vainilla, tostado y especias, además de permitir una microoxigenación controlada que suaviza los taninos y favorece la evolución del vino. Este proceso facilita también la evaporación de compuestos volátiles, mejorando la textura y la complejidad. Asimismo, el entorno que proporcionan las barricas favorece un envejecimiento gradual, en el que los distintos componentes del vino se integran mejor, lo que reduce la acidez, estabiliza los compuestos fenólicos y da como resultado un vino más equilibrado, armonioso y de mayor calidad.

En la industria vinícola, las bodegas que conservan el vino en barricas de roble se enfrentan a pérdidas significativas de producto, conocidas como "merma por evaporación y empaado de la barrica", causadas por la permeabilidad de la madera. Aunque esta evaporación favorece el desarrollo de aromas y sabores en el vino, también genera una pérdida de volumen considerable. Factores como la temperatura y la humedad, y en menor medida la presión del entorno influye directamente en la cantidad de vino que se pierde, siendo mayor en climas cálidos y secos. Estas mermas forman parte del proceso natural de envejecimiento, pero suponen grandes pérdidas económicas, por lo que se debería buscar un equilibrio que permita mantener la calidad del vino sin que ello represente un coste tan elevado para las bodegas.

El problema de las pérdidas de vino persiste en el tiempo sin una solución eficaz, pese a su impacto económico en la industria vitivinícola. Una propuesta prometedora es el desarrollo de un dispositivo que mida no solo temperatura, humedad y presión, sino también parámetros clave del vino como pH, oxígeno disuelto y potencial redox. Este control más completo permitiría optimizar el proceso de maduración y alcanzar el equilibrio entre calidad y reducción de pérdidas.

1.2 ESTADO DE LA TÉCNICA

Las barricas están construidas con piezas de madera o sustancialmente de madera y/o sus derivados para contener bebidas alcohólicas. Se trata de un recipiente que se ve afectado por los cambios en las condiciones ambientales exteriores e interiores dado que la madera y sus derivados son materiales anisotrópicos y porosos que cambian con las condiciones ambientales y con el contacto con líquido, lo que provoca modificaciones sobre todo en sus dimensiones. La madera y sus derivados se dilatan y se contraen en función de su contenido en humedad, y lo hacen de forma diferente en las tres direcciones (radial, longitudinal y tangencial).

Cuando una barrica está llena, el líquido contenido empapa el interior de la madera, mientras que el lado exterior de la barrica está en contacto con el aire ambiental de su microentorno. Esta disposición origina que en función de las condiciones ambientales que rodean a la barrica, se pueda producir la evaporación de diversos compuestos, principalmente agua y etanol, principales componentes de las bebidas alcohólicas, con distinto alcance. Además del hecho fundamental de que la madera es higroscópica (gana o pierde humedad en función de las condiciones del entorno), también hay que tener en cuenta otro concepto crucial en relación con la madera y la humedad, y es el vínculo entre la humedad relativa y el contenido de humedad de equilibrio de la madera o humedad de equilibrio higroscópico, que se denomina EMC.

El contenido de humedad cuando las paredes celulares están completamente saturadas (todo el agua está ligada), y no existe agua en los lúmenes celulares se denomina punto de saturación de la fibra (FSP) y corresponde a un contenido de humedad entre el 21% y el 35% dependiendo de la especie de roble. En dicho punto FSP el agua no está libre ocupando la porosidad (espacio libre lleno de aire) de la madera. La primera humedad que empapa la madera se liga a las células y eso hace que modifiquen su tamaño. Solo cuando se alcanza y supera el punto FSP se empieza a llenar de agua la porosidad que la madera tiene en ese momento.

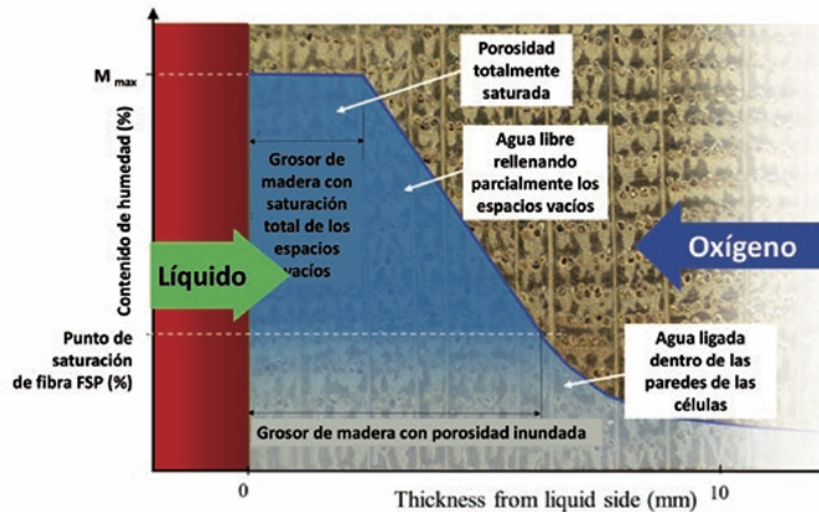


Figura 1: Modelo de impregnación de la madera, producción científica de María de Álamo Sanza e Ignacio Gerardo Nevares Domínguez [2].

Así, para cada nivel de humedad relativa del aire existe el correspondiente contenido de humedad de equilibrio higroscópico en la madera y, por tanto, siempre que la humedad de la madera esté por debajo del punto de saturación de fibra, se producirá una variación dimensional para adaptarse a las condiciones ambientales. Dependiendo de la disposición de la barrica, la diferente exposición de esta a las condiciones ambientales hace que la variación dimensional radial ocasionada por los cambios de humedad pueda llegar hasta el 4%, variando la anchura de las duelas y por lo tanto la forma de la barrica, así como la fuerza existente en la unión entre dos duelas. Estas variaciones influyen en el volumen real de la barrica, en la presión interior, en la tasa de evaporación de agua y etanol, así como en la tasa de permeación de oxígeno desde el exterior de la barrica hacia el interior en el que está la bebida alcohólica. Es por tanto necesario no solo conocer las condiciones del entorno de la barrica sino también las condiciones interiores, tanto de humedad relativa como de presión y temperatura.

Con todos estos factores en juego, queda claro que en cuanto la barrica se llena, la bebida alcohólica empieza a impregnar la madera, es decir se introduce en la porosidad de la

madera, y con ello se reduce el volumen de líquido en el interior de la barrica, lo que no indica que se esté produciendo una pérdida de bebidas alcohólicas por evaporación. Además, el proceso de impregnación/mojado de la madera provoca que parte del volumen de bebidas alcohólicas/bebida se embeba en la madera disminuyendo el volumen y generando una depresión, pero habitualmente no se observa una bajada de nivel del líquido en el interior. Esto se debe a que como la madera es flexible, según se impregna de bebidas alcohólicas, cada una de las piezas que conforman la barrica pueden adaptar su forma para acomodarse a esta variación del volumen, y por lo tanto el nivel del líquido puede seguir igual. Únicamente con el conocimiento conjunto de las condiciones interiores y exteriores de presión, temperatura y humedad relativa es posible conocer el estado dimensional de la barrica y conocer si la posible disminución del volumen de líquido se debe al mojado de la madera o a la evaporación provocada por las condiciones ambientales.

En la actualidad se emplean numerosos sistemas de monitorización para el seguimiento de la evolución de los parámetros de la bebida alcohólica durante su estancia en barrica, estos sistemas de monitorización incluyen el empleo de diferentes sensores.

En el estado de la técnica actual se utilizan, o bien sensores específicos de los parámetros de interés o bien sensores genéricos específicamente calibrados para los diferentes parámetros. En todo caso se trata de sensores que sumergidos en la bebida alcohólica contenida en la barrica son capaces de cuantificar el correspondiente analito/parámetro de dicha bebida (pH, temperatura, grado alcohólico, gases disueltos como O₂ o CO₂, turbidez, SO₂, ácido acético, ácido tartárico, acetaldehído, acidez total, acidez volátil, color, ...). Además, también se monitorizan otros datos físicos de interés para el envejecimiento de la bebida alcohólica en la barrica, como por ejemplo la distancia desde el tapón hasta la superficie de la bebida alcohólica que es medida con diferentes sensores tanto inalámbricos, como sumergibles que están basados en diferencia de presión.

El relleno de las barricas de bebidas alcohólicas durante el envejecimiento es una práctica común en la industria de las bebidas alcohólicas (vino, vino fortificado, licor destilado, cerveza, etc). Dicha técnica consiste en reponer el volumen de bebidas alcohólicas perdido

en las barricas debido a la evaporación y absorción de la bebida alcohólica por parte de la madera. Esta operación es considerada muy importante para mantener la integridad del proceso de envejecimiento y/o maceración y asegurar la calidad de la bebida alcohólica final.

Tradicionalmente se ha considerado que la generación de un espacio gaseoso en la parte superior de la barrica, creado por la pérdida de bebida alcohólica ocasionada por la absorción de la barrica de parte de las bebidas alcohólica contenida en la misma durante su mojado y, además, la evaporación, tiene como consecuencia el secado de la madera en contacto con este espacio gaseoso. En este escenario, donde se cree que la superficie de estas duelas de madera está seca, es por donde se supone una elevada entrada de aire desde el exterior hacia el interior de la barrica para alcanzar a la bebida alcohólica. Por ello, el relleno de las barricas se considera esencial para mantener la calidad de la bebida alcohólica al evitar la oxidación excesiva. Así, al reponer el volumen de bebida alcohólica perdido, se minimiza la exposición de dicha bebida al oxígeno, lo que ayuda a preservar la calidad aromática y gustativa de la bebida alcohólica evitando el desarrollo de posibles defectos.

A pesar de las aparentes ventajas, el relleno de las barricas también presenta los inconvenientes descritos a continuación.

El relleno de las barricas implica la utilización de una cantidad adicional de bebidas alcohólicas para compensar la pérdida de volumen. En términos de costes, el relleno de las barricas representa un gasto adicional para el productor, ya que implica el consumo adicional de producto y los recursos asociados, como el tiempo y el personal dedicado a la tarea. La frecuencia del relleno de las barricas puede variar, pero de promedio se suele realizar cada 1-2 meses durante el período de envejecimiento y/o maceración, aunque es más frecuente durante el primer mes. El coste del relleno de las barricas depende del tamaño de la bodega, la cantidad de barricas a rellenar y el volumen de vino necesario para cada relleno. A modo de ejemplo, considerando una bodega de vino de tamaño mediano con 100 barricas de roble, el coste promedio por relleno de una barrica puede oscilar entre 10 y 50 euros, dependiendo de los precios de los vinos utilizados para el relleno. Esto incluye el coste de la bebida

alcohólica utilizado y los recursos asociados, como el tiempo, amortización de equipos empleados y el personal involucrado en el proceso.

Es importante destacar que estos valores son estimaciones promediadas y pueden variar considerablemente según las circunstancias específicas de cada productor. Además, algunas bodegas optan por rellenar las barricas de forma más frecuente y con volúmenes más pequeños, mientras que otras pueden optar por un relleno menos frecuente, pero con volúmenes mayores de vino.

Por otra parte, el relleno de las barricas hace necesaria una gestión adecuada del tiempo y la logística correspondiente. Es necesario programar el relleno en momentos oportunos para evitar una exposición prolongada del vino al oxígeno y asegurar un equilibrio adecuado entre la evolución de la bebida alcohólica y la absorción de la madera. El tiempo requerido para realizar el proceso de relleno de las barricas durante el envejecimiento y/o maceración de la bebida alcohólica puede variar según varios factores, como el tamaño de la bodega, el número de barricas a rellenar, la disponibilidad de personal y la logística interna de la bodega. A continuación, se proporciona una estimación promedia del tiempo necesario para realizar cada una de las etapas en las que puede dividirse esta operación:

Preparación: Antes de iniciar el proceso de relleno, es necesario preparar la bebida alcohólica que se utilizará para rellenar las barricas. Esto implica la selección de la bebida alcohólica adecuado, su trasvase y la preparación de las herramientas y equipos necesarios. Esta etapa puede llevar entre 1 y 2 horas, dependiendo de la organización y los procedimientos internos de la bodega.

Relleno de las barricas: El tiempo requerido para rellenar cada barrica puede variar según el tamaño de la barrica y la técnica utilizada. En promedio, el tiempo estimado para rellenar una barrica oscila entre 10 y 30 minutos. Esto incluye el trasvase de la bebida alcohólica, el control del nivel de llenado y la manipulación de las herramientas necesarias.

Registro y documentación: Después de realizar el relleno de las barricas, es importante llevar un registro adecuado de cada operación. Esto implica documentar la fecha, el tipo de

bebidas alcohólicas utilizado, el número de barrica y cualquier observación relevante. El tiempo necesario para este proceso puede variar, pero se estima que puede llevar entre 5 y 15 minutos por barrica, dependiendo del nivel de detalle requerido y la eficiencia en la documentación.

Limpieza y organización: Una vez completado el proceso de relleno, es necesario limpiar y organizar el equipo utilizado, así como el área de trabajo. Esta etapa puede llevar entre 30 minutos y 1 hora, dependiendo de la cantidad de barricas rellenas y la complejidad de los equipos utilizados.

En resumen, considerando todas las etapas involucradas, se estima que el tiempo promedio necesario para realizar el proceso de relleno de las barricas durante el envejecimiento y/o maceración de la bebida alcohólica oscila entre 2 y 4 horas por cada 10 barricas. Esta estimación puede variar según las circunstancias específicas de cada bodega, como el tamaño de la bodega, la cantidad de barricas a rellenar y la organización interna.

Por último, hay que indicar que, en ocasiones, el relleno de las barricas afecta la uniformidad del vino, ya que cada barrica puede experimentar un grado diferente de evaporación y absorción. De ello resultan variaciones, más o menos sutiles entre las barricas, lo que requiere una cuidadosa monitorización y mezcla posterior para asegurar la coherencia y calidad del vino final.

Existe, por tanto, la necesidad de un aparato, un sistema y un método para monitorizar los procesos de envejecimiento de un vino principalmente en una barrica en el que se elimine o minimice su relleno, reduciéndose los costos, el tiempo y la logística y, manteniendo, en mayor medida, la uniformidad de la bebida alcohólica en envejecimiento.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto, monitorizar el envejecimiento del vino en barricas mediante un tapón inteligente se definen los siguientes objetivos:

1. Diseño de un dispositivo para la monitorización de la evolución del vino en barrica de roble.
 - Tarea 1: diseño en Solid Edge de distintos modelos para el dispositivo y elegir el mejor resultado.
 - Tarea 2: estudio de cuáles serán los materiales usados para el dispositivo. Evaluación y elección de su estética y branding.

2. Monitorización a tiempo real de parámetros ambientales internos y externos a la barrica, tales como presión, temperatura y humedad.
 - Tarea 3: selección de sensores y posterior testeo a escala laboratorio de sensores que midan presión, temperatura y humedad.

3. Búsqueda bibliográfica sobre sensores que puedan medir de forma precisa compuestos derivados de la madera o crianza del vino en barrica.
 - Tarea 4: revisión bibliográfica profunda sobre sensores de medición.

4. Desarrollo de un software para la visualización de datos y estudio del impacto económico que tendrá previsiblemente el dispositivo.
 - Tarea 5: creación de un software o de una aplicación para visualizar los datos que recoja el instrumento.
 - Tarea 6: análisis del impacto económico estimado que generará el dispositivo.

1.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) comprenden un conjunto de 17 metas que abordan diversos desafíos globales, como la eliminación de la pobreza, la lucha contra el cambio climático, y la promoción de la paz y la justicia. Estos objetivos sirven como una guía común para que gobiernos, empresas y ciudadanía colaboren en la resolución de problemas a nivel mundial. El proyecto de un tapón inteligente para colocar en barricas de vino y medir diversos parámetros contribuye al cumplimiento de los siguientes ODS:



- **Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico.**
El proyecto impulsa el crecimiento económico al mejorar la productividad y la formación laboral, reduciendo la informalidad y fomentando prácticas responsables.



- **Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura.**
Se fomenta la innovación y se promueve el uso de tecnologías avanzadas, lo que lleva a mejorar la competitividad de sectores industriales



- **Objetivo 12: Producción y consume responsables.**
Optimiza recursos y reduce desperdicios, favoreciendo una producción más sostenible y responsable.



- **Objetivo 13: Acción por el clima.**
El monitoreo ambiental permite adaptar la producción, haciéndola más resiliente y ecológica.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO Y RECURSOS A EMPLEAR.

La metodología del proyecto comenzará con el diseño de varios modelos del dispositivo en Solid Edge, eligiendo el más adecuado, seguido del estudio de los materiales y el diseño estético. Después, se seleccionarán y probarán sensores para monitorizar en tiempo real presión, temperatura y humedad dentro y fuera de la barrica. A continuación, se realizará una revisión bibliográfica para identificar sensores que midan compuestos relacionados con la madera y la crianza del vino. Seguidamente, se desarrollará un software para visualizar los datos recogidos y, finalmente, se analizará el impacto económico previsto del dispositivo.

Para ello se disponen de los siguientes recursos:

- Se utilizarán los softwares Zotero para la gestión de citas, Excel para el análisis de datos y Solid Edge para la creación de diseños y modelos 3D.
- Se consultará algunos datos en bases de datos académicas como Google Scholar.
- Como recursos materiales, se hará uso de los ordenadores y del laboratorio para el desarrollo del trabajo. Además, se utilizarán sensores y otras herramientas proporcionadas por la empresa Agrovín, con la cual se lleva a cabo el desarrollo del proyecto. Estos recursos permitirán la recolección de datos precisos y el análisis adecuado de los mismos en función de los objetivos planteados.
- Se contará con la tutoría y supervisión de expertos en la materia, así como con la colaboración de profesionales del proyecto en Agrovín, quienes brindarán apoyo en cuestiones clave como la monitorización de parámetros enológicos, el uso de sensores aplicados al vino y las necesidades reales de las bodegas. Además, aportarán su conocimiento y experiencia para el desarrollo adecuado del trabajo.

Capítulo 2. INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA

En este capítulo se explican las tecnologías principales presentes en el proyecto, así como los detalles del equipo de medición diseñado

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La expresión “bebida alcohólica” se refiere, a vino.

Por “barrica” se entiende en la presente invención, cualquier recipiente para contener bebidas alcohólicas construido con piezas de madera o sustancialmente de madera y/o sus derivados, sea cual sea, su forma y tamaño. No obstante, durante el proyecto se ha centrado el desarrollo del sistema y equipo en las barricas de madera de origen roble (*Quercus sp.*) cuya principal función es contener vino para su envejecimiento.

Por “procesos de envejecimiento de una bebida alcohólica en una barrica” se entiende la extracción, transferencia e integración en dicha bebida alcohólica de los compuestos químicos contenidos tanto en las partes de la barrica como en productos adicionados que pudieran añadirse para una mejor maduración del vino.

Los productos adicionados líquidos se mezclan y los sólidos se introducen en la bebida alcohólica a granel o en sacos de textiles, plástico alimentario o similares, dejando que actúen a lo largo del tiempo necesario hasta que se produzca la cesión de los compuestos químicos a la bebida alcohólica por medio de una serie de fenómenos o transformaciones de carácter químico y/o biológico, tal como, a título enunciativo y no limitativo, la fermentación maloláctica

Cuando se llena una barrica de vino, se produce una disminución del volumen de dicha bebida debido a que una parte de esta es absorbida por la madera y otra parte se evapora. Si la barrica está cerrada herméticamente se genera una depresión en el interior de la barrica que provoca su deformación para adaptarse al nuevo volumen de bebida. En estas

condiciones, cuando ya se ha alcanzado el límite de deformación de la madera para adaptarse al nuevo volumen, se genera un espacio de cabeza; espacio de cabeza que comprende un volumen gaseoso situado en la parte superior de la barrica que está en contacto directo con el tapón y con la bebida alcohólica. Volumen de gas que está en equilibrio con la bebida alcohólica contenida en la barrica, siendo este un punto de medida representativo de lo que ocurre en dicha bebida alcohólica.

El seguimiento del envejecimiento del vino en una barrica mediante el uso de un aparato que produce un cierre hermético de dicha barrica permite eliminar o reducir de forma notable la intervención durante todo el tiempo de envejecimiento.

Por intervención durante el tiempo de envejecimiento y/o maceración se entiende, en la presente invención, la retirada del aparato sensorizado que cierra la barrica y la adición de la cantidad de producto y/o de aditivo necesaria para la corrección de la situación no deseada detectada. Como por ejemplo puede ser el dióxido de azufre, conservante especial del vino.

Como consecuencia de la eliminación y/o reducción de la intervención, se produce una menor evaporación-pérdida de bebidas alcohólicas que la ocurrida en procesos habituales donde se realizan rellenos periódicos de las barricas, influyendo igualmente en la reducción de costes en mano de obra.

Con la invención se eliminan en su mayor parte los costes necesarios y derivados de la operación de relleno. Tras el estudio minucioso del funcionamiento de una barrica durante un proceso de envejecimiento de una bebida alcohólica se ha comprobado que, sorprendentemente, la formación del espacio de cabeza no provoca el secado de la madera de la parte superior, como es comúnmente aceptado, sino que la saturación de vapor de agua y etanol fundamentalmente de ese espacio gaseoso impide que la madera, mojada cuando se llenó la barrica, se seque. Este hecho permite plantear el seguimiento del envejecimiento de la bebida alcohólica con el empleo de un aparato que permita la menor intervención, e incluso sin intervención.

Se ha desarrollado un aparato sensorizado que permite monitorizar la hermeticidad del cierre de la barrica mediante el control de la generación de una depresión interior, que mantenida en el tiempo garantiza la no entrada de aire desde el exterior, y por ello la no entrada del oxígeno atmosférico. El seguimiento de las condiciones ambientales en el interior de la barrica (temperatura y humedad relativa, principalmente) permite asegurar que la madera que componen las duelas superiores mantenga su estado de humedad inicial, gracias a la saturación del espacio gaseoso con vapor de agua/etanol, garantizando no solo su integridad física (no aparezcan grietas) sino también el correcto ajuste entre las diferentes piezas al mantener las duelas su hinchazón y la consiguiente hermeticidad de las uniones.

El seguimiento de las modificaciones del volumen del espacio de cabeza junto con la depresión interior permite conocer si existe modificación de la forma original de la barrica, es decir deformación para adaptarse al menor volumen de bebidas alcohólicas debido a la pérdida por la absorción de bebidas alcohólicas por la madera y la evaporación al entorno.

A diferencia del estado de la técnica anterior, la presente invención se centra en considerar la barrica como un recipiente activo (porque cambia intrínsecamente) y dinámico (porque cambia según cambia el entorno), y, por tanto, se monitoriza el estado interior y el estado exterior de la barrica para poder definir la situación en la que se encuentra. Los parámetros fundamentales que se miden son las condiciones ambientales interiores y exteriores de la barrica, esto es: presión, temperatura y humedad relativa. El análisis de estos parámetros permite conocer el estado y también la evolución del comportamiento de la barrica como recipiente activo que contiene una bebida alcohólica sometida a un proceso de envejecimiento y/o maceración.

2.2 CONDICIONES EN LA MONITORIZACIÓN Y CONTROL DEL ENTORNO

La diferencia de temperatura (interior-exterior) permite conocer si hay reacciones exotérmicas en el vino que pueden ser indicativas de reacciones no deseadas, como una contaminación microbiológica. Mientras la temperatura interior se mantenga por debajo de

la temperatura exterior, no será necesario la intervención durante todo el tiempo de envejecimiento.

La diferencia de presión (interior-exterior) permite saber si existe una depresión interior ocasionada por la absorción de bebida en la madera y por la evaporación definida por las condiciones del entorno. Mientras la presión interior se mantenga por debajo de la presión exterior, no será necesario la intervención durante todo el tiempo de envejecimiento.

Además, la existencia de depresión interior permite conocer si el cierre de la barrica es hermético, lo que supone la no existencia de infiltración del aire del entorno (con el 21% de oxígeno) por el equipo. En caso de sobrepresión saber si es debido a la liberación de CO₂ disuelto, caso de que se disponga de un sensor de CO₂ interior o al aumento del volumen de la bebida, fenómeno que se observa cuando tras llenar la barrica la bebida sufre un aumento de temperatura al atemperarse a las nuevas condiciones de la sala de barricas.

Por otra parte, variaciones de las condiciones de humedad del entorno de la barrica provocan cambios en el EMC que a su vez producen variaciones dimensionales que afectan a la forma geométrica de la barrica y por lo tanto a la diferencia de presión entre la atmósfera y la presión interior de la barrica. Dado que el líquido es prácticamente incompresible, estas diferencias de presión afectan directamente a la presión del espacio de cabeza. Mientras la humedad relativa interior supere la humedad relativa exterior, no será necesario la intervención durante todo el tiempo de envejecimiento.

2.3 DISEÑO FUNCIONAL DEL SISTEMA DE SENSORIZACIÓN

La determinación de los parámetros fundamentales de las condiciones ambientales interiores y exteriores de la barrica se lleva a cabo con un aparato para monitorizar los procesos de envejecimiento de una bebida alcohólica en una barrica que se sitúa en la boca o piquera de las barricas, que comprende un tapón, que puede ser de goma o polimérico, o de cualquier otro material que consiga un buen ajuste con la piquera de la barrica, preferentemente

silicona, y una arandela de apriete que cierran herméticamente la barrica con el fin de generar y mantener un espacio de cabeza en equilibrio con la bebida alcohólica. Dicho aparato incorpora, al menos, tres sensores: un sensor de condiciones ambientales interiores y medida de la presión parcial de gases disueltos y volátiles y un sensor de distancia, situados ambos en la parte del aparato en contacto con el espacio de cabeza de la barrica y un sensor de condiciones ambientales del microentorno de la barrica situado en la parte del aparato en contacto con la sala de barricas.

En esta situación, conociendo la distancia desde el aparato a la superficie de la bebida, a través del sensor de distancia, se puede determinar el volumen del espacio de cabeza, y se puede establecer el conjunto y la relación volumen de bebida-volumen de gas en la barrica. Este conjunto/sistema está equilibrado y evoluciona en el tiempo, según va desarrollándose el envejecimiento y/o maceración de la bebida alcohólica en la barrica.

Los sensores de distancia para la medida del nivel de líquido pueden ser por tiempo de vuelo (*ToF – Time-of-Flight*) o por ultrasonidos, entre otros. En una forma preferente de realización de la invención, al menos un sensor de distancia es de los basados en tiempo de vuelo, que miden el tiempo transcurrido desde la emisión de un impulso de onda desde el sensor hasta el momento en que el impulso de onda vuelve al sensor tras reflejarse en un objeto o superficie. El transmisor del dispositivo de tiempo de vuelo emite ondas IR (infrarrojo) hacia el objeto objetivo, la onda se refleja al llegar al objeto. La distancia se calcula utilizando la velocidad de la luz en el aire y el tiempo transcurrido entre el envío y la recepción de la señal. De forma ventajosa, los sensores de tiempo de vuelo ofrecen lecturas más rápidas, con mayor precisión y mayor alcance que los sensores de distancia por ultrasonidos.

Para los diferentes compuestos del vino que son volátiles, la presión de vapor surge debido al escape de las moléculas líquidas a la mezcla gaseosa del espacio de cabeza del sistema cerrado, y varía según las variaciones de temperatura de un sistema. La presión de vapor no depende del volumen del sistema o del área de superficie del líquido.

El aparato según la invención permite conocer las presiones parciales de los diferentes gases disueltos en la bebida alcohólica mediante la medida de la presión parcial de ese gas en el espacio de cabeza que está en equilibrio con un volumen de líquido/bebida alcohólica conocido. De esta forma se puede determinar el contenido de gases disueltos sin tocar la bebida alcohólica.

Los componentes volátiles de la bebida alcohólica se pueden determinar igualmente mediante la medida de la presión de vapor de un compuesto en el espacio de cabeza con el que está equilibrado.

De forma preferente, el aparato utiliza la medida de:

- La presión parcial en el espacio de cabeza de la barrica de un gas disuelto en la bebida (CO_2 , O_2 y otros) para determinar su presión parcial como gas disuelto.
- la presión del vapor en el espacio de cabeza de la barrica de un compuesto volátil de la bebida alcohólica (como SO_2 , etanol, etilfenol, ácido acético, acetato de etilo, acetaldehído y cualquier otro compuesto volátil del vino) para determinar su concentración en dicha bebida.

Para la medida de la presión parcial de gases disueltos y volátiles se propone el uso de un sensor que además de medir las condiciones ambientales del espacio interior de la barrica (presión, temperatura y humedad relativa del espacio de cabeza) tiene una función de escáner de gas que puede detectar compuestos orgánicos volátiles (VOCs), compuestos volátiles de azufre (VSCs) y otros gases como monóxido de carbono e hidrógeno. El sensor, preferentemente, integra inteligencia artificial (AI) y se puede entrenar para la detección de diferentes sustancias de interés en el envejecimiento y/o maceración de una bebida alcohólica, como, a título enunciativo y no limitativo, SO_2 , etanol, etilfenol, ácido acético, acetato de etilo o acetaldehído, entre otros.

El sensor, consta de un sistema de adquisición de datos de las condiciones interiores de la barrica, donde se podrá analizar parámetros de presión, nivel, temperatura, concentraciones de gases diversos (por medición directa o asociada mediante programación del microchip determinado a tal fin), e incluso pH o potenciales redox. Adicionalmente, se captarán mediciones exteriores de las condiciones externas a la barrica (temperatura, presión, humedad).

Cada sensor, será programado para generar unos paquetes específicos de datos, y ser enviados a una estación base mediante señales de radio de manera periódica. Para evitar el consumo excesivo de batería, se configurará un tiempo de hibernación en cada dispositivo, en función del número de mediciones por día.

Como resultado del proceso de calibración al que son sometidos, el sensor de condiciones ambientales interiores y medida de la presión parcial de gases disueltos y volátiles permiten obtener valores cualitativos para controlar si los contenidos de gases y/o compuestos volátiles se encuentran dentro de unos rangos o umbrales de advertencia predefinidos.

Para las condiciones ambientales exteriores se propone el uso de un sensor que mida presión barométrica, temperatura y humedad relativa para el entorno exterior o condiciones ambientales del microentorno de cada barrica. Su conocimiento permitirá conocer la tasa de evaporación del agua y del etanol, principales componentes de la bebida alcohólica, por ejemplo, y de muchas de las bebidas almacenadas en barricas de madera y otros materiales.

Además, el dispositivo monta un sensor de condiciones ambientales interiores y medida de la presión parcial de gases disueltos y volátiles. Al menos un sensor de distancia se ensambla de forma conjunta de manera que constituyen un paquete de sensores intercambiables, facilitando de esta manera el mantenimiento del aparato en el que, ante cualquier fallo, solo es necesario cambiar un paquete de acople rápido y sencillo en dicho aparato.

Opcionalmente y para aplicaciones específicas el aparato para monitorizar los procesos de envejecimiento de una bebida alcohólica, como es el vino, en una barrica puede comprender sensores específicos de, por ejemplo, CO₂, SO₂, potencial redox y otros que permitan obtener los valores cuantitativos de las sustancias/características específicas en control.

En otro aspecto de la invención, el aparato incorpora una fuente de energía autónoma, tal como, batería, pilas alcalinas, etc.

Asimismo, en otro aspecto de la invención, el aparato puede realizar transmisión de datos mediante cableado o de forma inalámbrica de forma preferente la transmisión de datos desde el aparato se realiza de forma inalámbrica.

Aún, en otro aspecto de la invención, el aparato puede comprender un dispositivo de toma de muestras de la bebida alcohólica contenida en la barrica que permite extraer una muestra sin necesidad de retirar el mismo de la boca o piquera de la barrica, manteniendo hermético el cierre de la barrica. Muestra destinada a comprobar la evolución de la bebida alcohólica, tanto mediante análisis sensorial o cata como a través de un análisis químico de acidez volátil, contenido en sulfuroso, pH, etc.

En una forma de realización dicho dispositivo consiste en dos conductos situados en el aparato y conectados con el exterior e interior de la barrica. A través de uno de dichos conductos se genera presión introduciendo un gas inerte presurizado, mientras que por el otro conducto se extrae la muestra de bebida alcohólica.

Dicho dispositivo de toma de muestra puede ser utilizado en forma inversa para introducir bebida alcohólica o productos adicionados en la barrica.

De forma preferente, y para evitar el contacto con la bebida alcohólica que está siendo procesada, el espesor de la parte del aparato introducida en la barrica no supera el espesor de la propia duela de la boca o piquera de la barrica.

También, otro aspecto importante que se debe tener en cuenta es que el sensor de condiciones ambientales interiores y presión parcial debe estar protegido mediante membranas hidrofóbicas para evitar que la súbita subida del nivel de bebida alcohólica en la barrica dañe los sensores. Esto puede suceder por un mal manejo, por ejemplo, introducir la bebida alcohólica en la barrica a menor temperatura que la de la sala de envejecimiento o durante el traslado de la barrica.

También, ventajosamente, el aparato no necesita cableado externo ya que tiene su propia fuente de energía eléctrica autónoma, preferentemente, baterías y más preferentemente, pilas y se comunica de forma inalámbrica con una estación base para el monitoreo de las condiciones de la bebida alcohólica. Son formas preferentes de comunicación inalámbrica, WiFi y LoRa.

De forma preferente, la parte del aparato en contacto con la bebida alcohólica y el espacio de cabeza está construido con materiales y componentes de uso alimentario.

Cada sensor, será programado para generar unos paquetes específicos de datos, y ser enviados a una estación base mediante señales de radio de manera periódica. Para evitar el consumo excesivo de energía, se configurará un tiempo de hibernación en cada dispositivo, en función del número de mediciones por día.

Cuando los sensores se activan tras una hibernación, transmitirán a la estación base, un paquete de datos, usualmente mediante protocolos tipo LoRa o similar, con las especificaciones de banda de frecuencia que exija la normativa de cada país de instalación.

El protocolo, garantizará la emisión del dato a la estación base, y el sistema volverá a entrar en un nuevo ciclo de hibernación.

Los datos que entran en la estación base serán almacenados en su correspondiente base de datos para ser tratados y representados, preferentemente en base a algoritmos específicos, generando así un conjunto de datos de fácil interpretación para el usuario. Igualmente, dichos datos podrán asignarse a alarmas y/o alertas definidas por rangos de niveles especificados por el usuario o predeterminados.

Los diferentes sensores, tendrán internamente un ciclo de lectura y envío a la estación base que puede ser igual o diferente, en función de la cadencia de hibernación y adquisición que se determine por el usuario o de forma predeterminada.

El sistema según la invención traslada los datos brutos del al menos un aparato a la estación base para el tratamiento de estos mediante un software de sobremesa que será el que dará las alarmas al usuario. De esta manera el sistema permite medir diferentes parámetros mediante diferentes algoritmos con toda la potencia de la estación base del sistema informático (software/PC), es decir, el aparato tiene sensores que trasladan la información al sistema informático que interpreta dichos valores para determinar las condiciones de la barrica y del espacio de cabeza.

El sistema incorpora una serie de alarmas y/o alertas que avisan al usuario cada vez que se produce una situación no deseada. Son situaciones no deseadas, a modo de ejemplo y a título enunciativo y no limitativo:

- Que la temperatura interior o del espacio de cabeza supere la temperatura exterior o del microentorno de la barrica.
- Que la presión interior o del espacio de cabeza supere la presión exterior o del microentorno de la barrica.
- Que la humedad relativa interior o del espacio de cabeza sea inferior a la humedad relativa exterior o del microentorno de la barrica.
- Que el nivel de SO₂ esté por debajo del umbral establecido.
- Que el nivel de cualquiera de los parámetros de seguimiento que el sistema está monitorizando se encuentre por debajo o por encima del umbral establecido.

Mientras no se produzca ninguna de las situaciones no deseadas, el usuario no realizará ninguna actuación ni en la barrica ni en la bebida alcohólica contenida en la misma

La transmisión de datos entre el aparato y el procesador puede realizarse mediante cableado o de forma inalámbrica. De forma preferente la transmisión de datos entre el aparato y el procesador se realiza de forma inalámbrica.

En este último caso el sistema permite la actualización por aire (*OTA-over the air*), es decir, la entrega inalámbrica de nuevo software, firmware u otros datos al menos un aparato que comprende el sistema para su reconfiguración, reinicio, etc.

Asimismo, el control de las condiciones ambientales del microentorno de cada barrica a través de los aparatos del sistema permite predecir la potencial tasa de evaporación de cada zona de la sala de barricas y así analizar globalmente el volumen de la sala de barricas, y realizar un mapeo para detectar zonas diferenciadas y poder gestionar de forma conocida la evaporación potencial, eligiendo zonas que minimicen la futura merma o cambiando y/o corrigiendo las condiciones ambientales de la sala a través de controles de climatización automáticos o naturales.

La futura merma se puede calcular mediante la determinación, usando el aparato de la invención, del déficit de presión de vapor del agua y del etanol, es decir, la diferencia entre saturación y la humedad. La presión de vapor de un líquido puro en el aire depende de la temperatura, por lo que, midiendo la humedad relativa y la temperatura del aire se puede calcular el déficit de presión de vapor de agua del aire, y con la temperatura el déficit de la presión de vapor del etanol. Cuando se suman ambos déficits, se obtienen las mermas futuras.

De forma preferente, dicho mapeo se realiza de forma gráfica y, de forma aún más preferente, en 3D.

Capítulo 3. FORMAS PREFERENTES DE REALIZACIÓN Y DISEÑO

En este capítulo, con la intención de una mejor comprensión de las características de la invención, a continuación, se describen algunas de las formas preferentes de realización haciendo referencia a las figuras que se acompañan. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

3.1 DISEÑO DE LA INVENCION

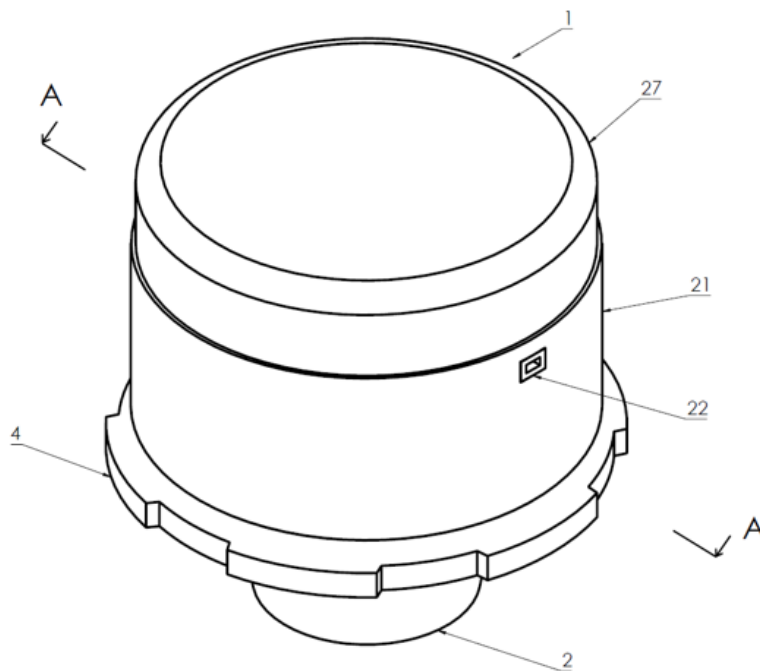


Figura 2: Vista transversal del aparato según la primera forma de realización.

La Figura 2 representa el aparato (1) según una primera forma de realización de la invención en la que se observa la parte inferior del tapón (2) destinado a introducirse en la ranura de

la barrica produciendo el cierre hermético de la misma actuando sobre la tuerca de apriete (4). En la carcasa (21) se dispone el respiradero (22) destinado a transmitir al interior del aparato (1) las condiciones ambientales exteriores para que el sensor de condiciones ambientales exteriores (7) pueda realizar las mediciones según la invención. Sobre dicha carcasa (21) se sitúa la tapa (27) de la carcasa del aparato (1).

El tapón (2), preferentemente, es de silicona, pero puede ser de cualquier otro material que consiga un buen ajuste con la piqueta de la barrica (9).

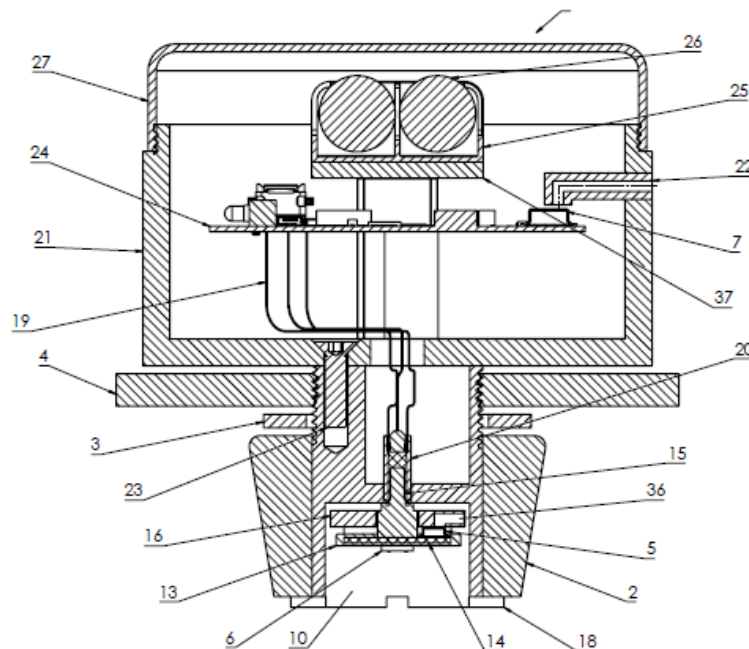


Figura 3: Sección A-A de la Figura 2.

La Figura 3 representa la sección A-A según la FIG. 1 del aparato (1) según la primera forma de realización de la invención de manera que se pueden observar todos los componentes del mismo, de los que destacamos en primer lugar, el sensor de condiciones ambientales interiores (5), el sensor de distancia (6) y el sensor de condiciones ambientales exteriores (7).

El sensor de condiciones ambientales interiores (5) y el sensor de distancia (6) se disponen en el microchip (14) comunicando con el subconjunto placa (24) a través del cableado interno (19).

De forma preferente, se propone como sensor de condiciones ambientales interiores (5), el uso del sensor Bosch BME688, que además de medir las condiciones ambientales del espacio interior de la barrica (presión, temperatura y humedad relativa) tiene una función de escáner de gas que puede detectar compuestos orgánicos volátiles (VOCs), compuestos volátiles de azufre (VSCs) y otros gases como monóxido de carbono e hidrógeno en el rango de partes por billón (ppb). El sensor de condiciones ambientales interiores (5) puede integrar inteligencia artificial (AI) y se puede entrenar para la detección de diferentes sustancias de interés en el envejecimiento y/o maceración de bebidas alcohólicas, como SO₂, etanol, etilfenol, ácido acético, acetato de etilo o acetaldehído entre otros.

También, de forma preferente, el sensor de distancia (6) escogido es el VL53L0X o el VL6180, un módulo de medición láser de 940 nm por tiempo de vuelo (*ToF*) de ángulo estrecho (18-25°) que proporciona una medición precisa de la distancia independientemente de la reflectancia del objetivo, algo importante en la medida de líquidos a diferencia de las tecnologías convencionales como la de ultrasonidos. Tiene una resolución de 1 mm con un rango de entre 30 y 1000 mm o 5 y 200 mm respectivamente.

El subconjunto placa (24) comprende un sensor de condiciones ambientales exteriores (7). De forma preferente se propone el uso de los sensores Bosch Sensortech BME280 que miden presión barométrica, temperatura y humedad relativa para el entorno exterior. Su conocimiento permitirá conocer la tasa de evaporación del agua y del etanol), principales componentes de la bebida alcohólica, por ejemplo, y de muchas de las bebidas almacenadas en barricas de madera y otros materiales.

En una forma de realización, la carcasa (21) se une al cuerpo (18) mediante tornillos (23) y la tapa (27) se enrosca en la carcasa (21)

Una vez situado en la piqueta de la barrica (9), el tapón (2) del aparato (1), se enrosca la tuerca de apriete (4), manualmente o con la ayuda de una herramienta manual, para que la arandela (3) presione sobre el tapón (2) produciendo el cierre hermético de la barrica (9) tal como se observa en la FIG. 2B, estando en condiciones, a partir de ese momento, de comenzar el monitoreo de la bebida alcohólica (8), no mostrada en esta figura.

El aparato (1) tiene su propia fuente de energía eléctrica autónoma, las pilas (26) y un emisor/receptor de WiFi o Lora, no referenciado en las figuras.

Esta configuración del aparato (1) permite generar el espacio inferior del mismo que se convierte, una vez introducido el aparato (1) en la piqueta de la barrica (9), en el espacio de cabeza (10), para que el sensor de condiciones ambientales interiores (5) y el sensor de distancia (6) realicen las mediciones oportunas según la invención.

A través de dicho espacio también puede ser sustituido el kit de sensórica (28) cuando este presente cualquier disfunción o anomalía.

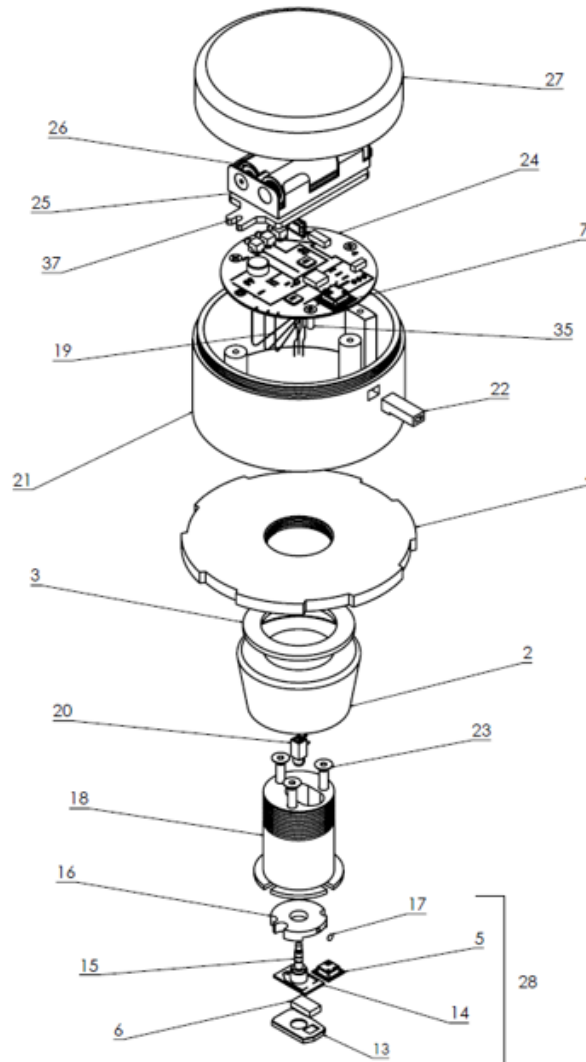


FIG 4: Vista explosionada del aparato según la primera forma de realización.

La Figura 4 representa una vista explosionada del aparato según la primera forma de realización de la invención donde se observa que el subconjunto placa (24) se sitúa sobre unos pivotes o tochos (no referenciados en las figuras) de la carcasa (21), realizándose la unión del subconjunto placa (24) y la carcasa (21) mediante los tornillos (35).

La resina protectora (13) en la vista explosionada se representa de forma independiente y como último componente para facilitar su observación, aunque en realidad, dicha resina se aplica sobre el microchip (14) para proteger sus componentes.

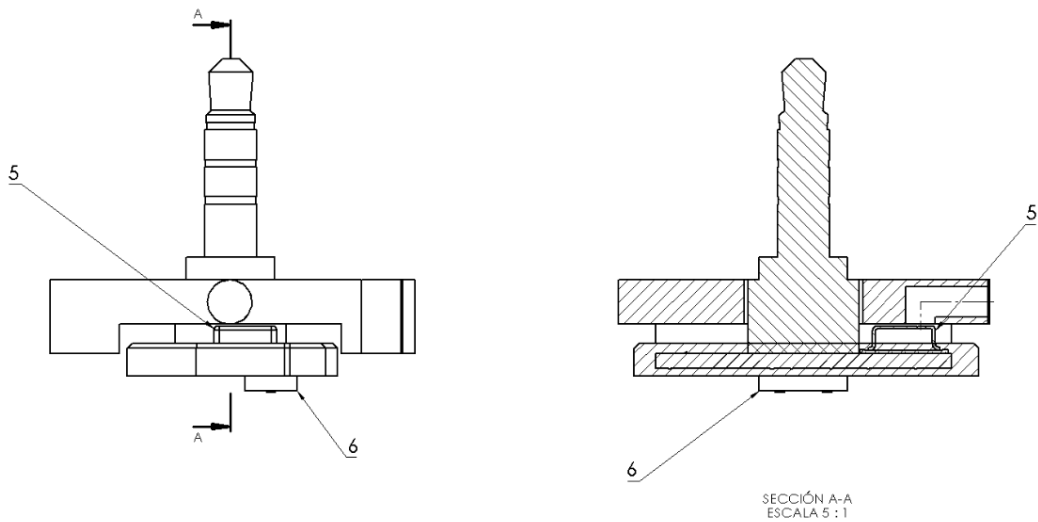


Figura 5: Kit de sensórica.

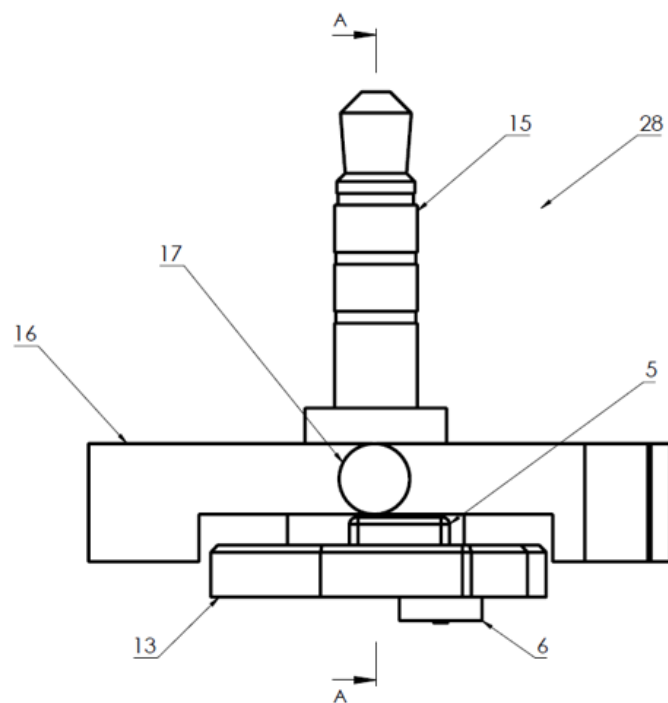


Figura 5A: Vista en alzado del kit de sensórica.

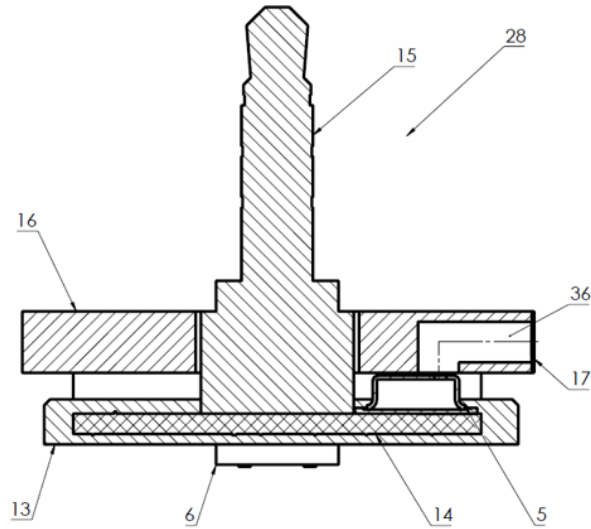


Figura 5B: Vista del kit de sensórica según el corte A-A.

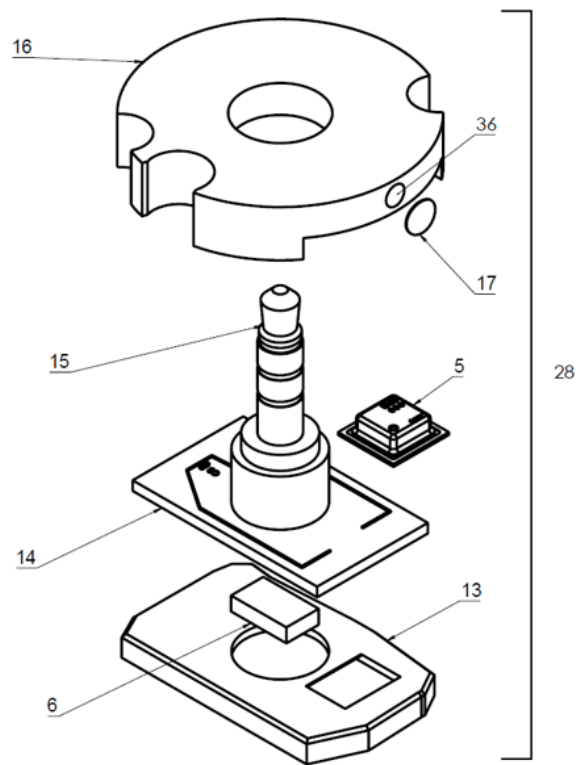


Figura 5C: Vista explosionada del kit de sensórica.

En las figuras 5A-C representa el kit de sensórica (28) del aparato según la invención conteniendo el sensor de condiciones ambientales interiores (5) y el sensor de distancia (6) en un kit que puede ser fácil y rápidamente sustituido en caso de que presente anomalías y/o disfunciones. Dicho kit de sensórica (28) comprende el sensor de condiciones ambientales interiores (5) y el sensor de distancia (6) situados sobre el microchip (14) al que se une el conector minijack macho (15) que, a su vez, se une al porta minijack (16) en el que se realiza el respiradero (36) para que las condiciones del espacio de cabeza (10) alcancen fácilmente el sensor de condiciones ambientales interiores (5). Opcionalmente dicho respiradero puede estar protegido mediante la membrana impermeable (17).

El kit de sensórica (28) se une funcional y físicamente con el resto de los componentes del aparato (1) mediante el conector minijack hembra (20) así como se observa, por ejemplo, en las figuras 2A-B.

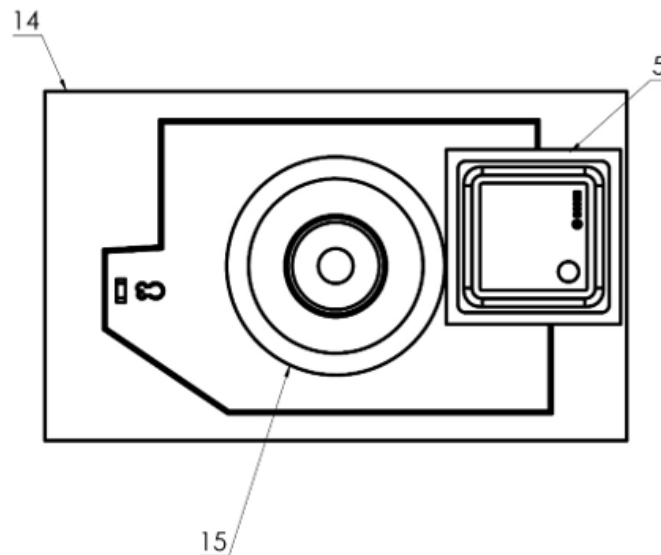


Figura 5D: Vista en planta del microchip.

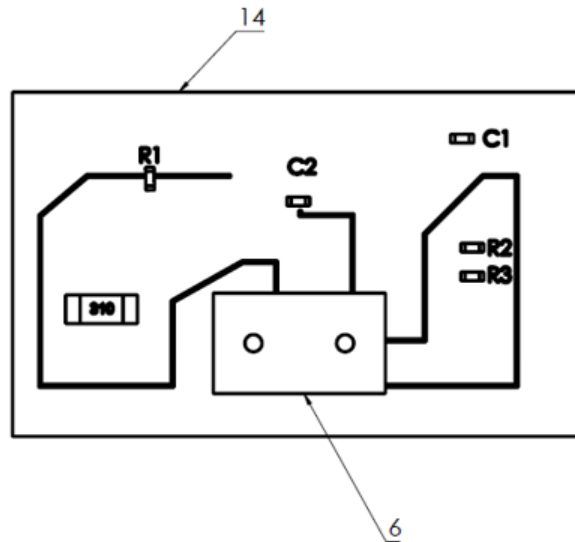


Figura 5E: Vista en planta inferior del microchip.

La Figura 5D representa la vista superior del microchip (14) del kit de sensórica (28) del aparato (1) según la invención en el que se observa el sensor de condiciones ambientales interiores (5) junto con el resto de los componentes electrónicos del microchip (14) y el conector minijack macho (15).

La Figura 5E representa la vista inferior del microchip (14) del kit de sensórica (28) del aparato según la invención en el que se observa el sensor de distancia (6) junto con el resto de los componentes electrónicos del microchip (14).

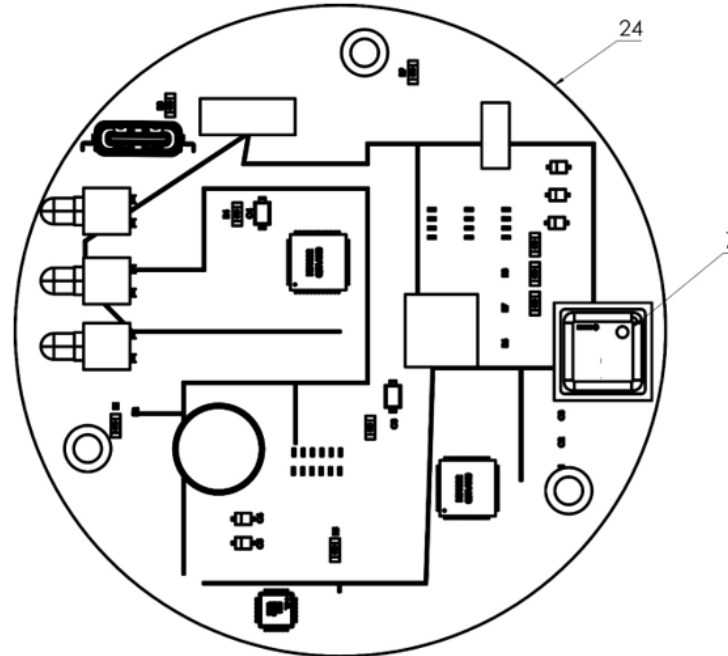


Figura 6: Vista en planta de la placa y sensor de condiciones ambientales exteriores.

La Figura 6 representa el subconjunto placa (24) del aparato (1) según la invención. Este subconjunto placa (24) contiene el microcontrolador encargado de gestionar toda la información, así como el circuito de interconexión vía radio usando el protocolo LoRa. Dicho subconjunto placa (24) alberga el lugar de colocación de la fuente de energía de la propia placa, así como conectores USB y tres leds con señales luminosas programables; componentes representados con la simbología estándar en dicha figura. En la superficie del circuito del subconjunto placa (24), se encuentra además el sensor de condiciones ambientales exteriores (7) destinado a recoger datos de la sala, tales como humedad, presión y temperatura para su contraste con los datos recogidos por el sensor de condiciones ambientales interiores (5).

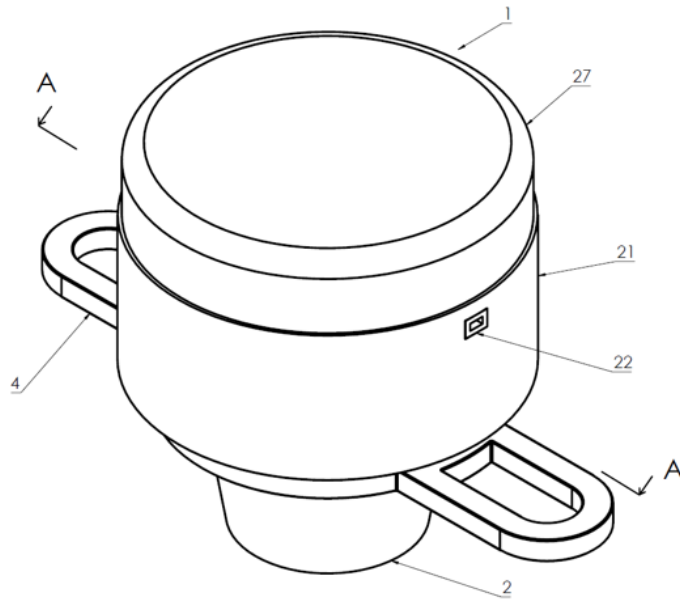


Figura 7: Vista transversal del aparato según la segunda forma de realización.

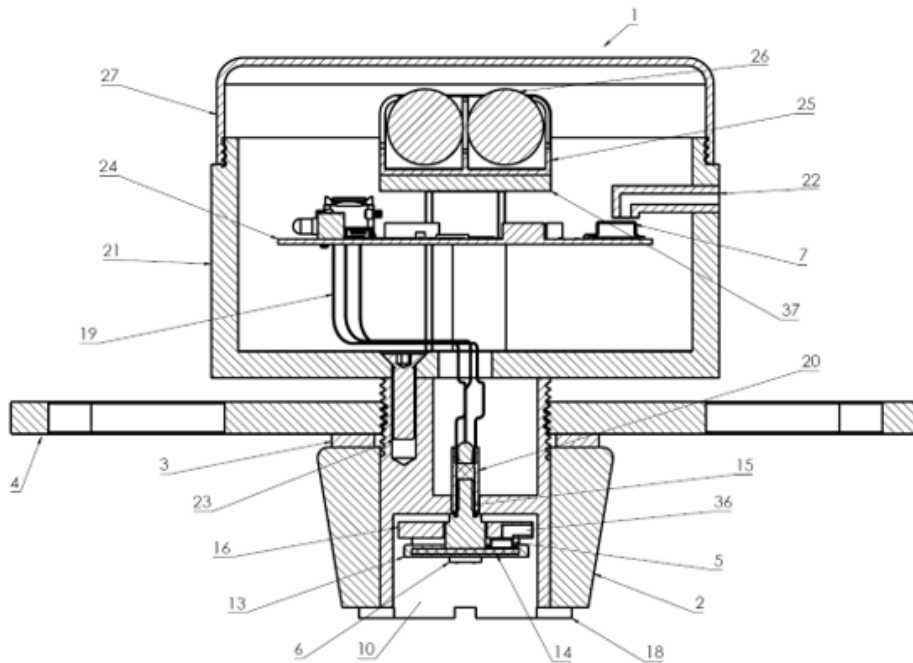


Figura 8: Sección A-A de la Figura 7.

La Figura 7 representa el aparato (1) según una segunda forma de realización de la invención en la que la tuerca de apriete (4) incorpora unas alas para facilitar el enroscado de dicha tuerca de apriete (4) sobre el cuerpo (18). La Figura 8 representa la sección A-A según la Figura 7 del aparato (1) según la segunda forma de realización de la invención con la tuerca de apriete (4) enroscada.

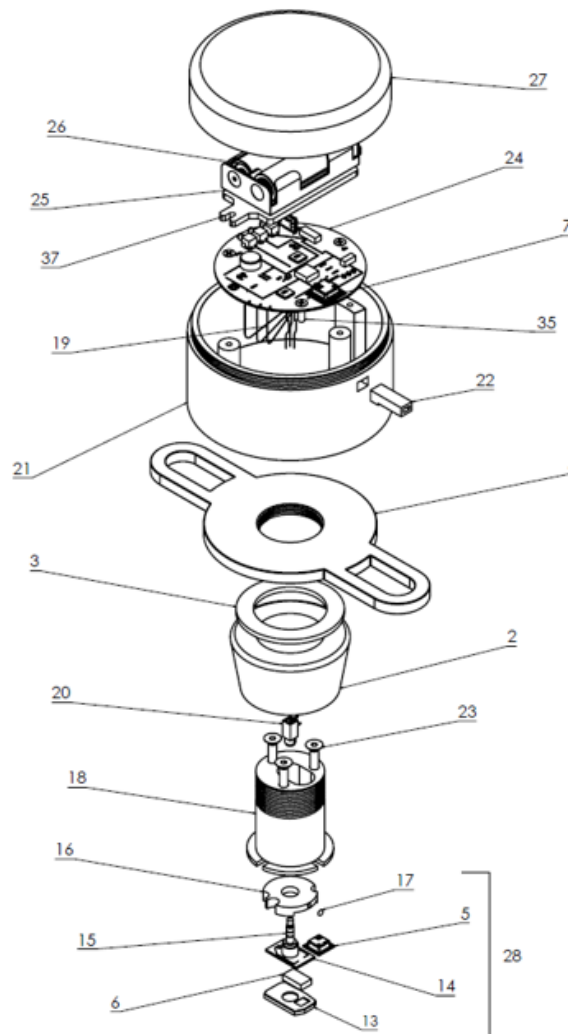


Figura 9: Vista explosionada del aparato según la segunda forma de realización.

La Figura 9 representa una vista explosionada del aparato (1) según la segunda forma de realización de la invención con la tuerca de apriete (4) comprendiendo unas alas.

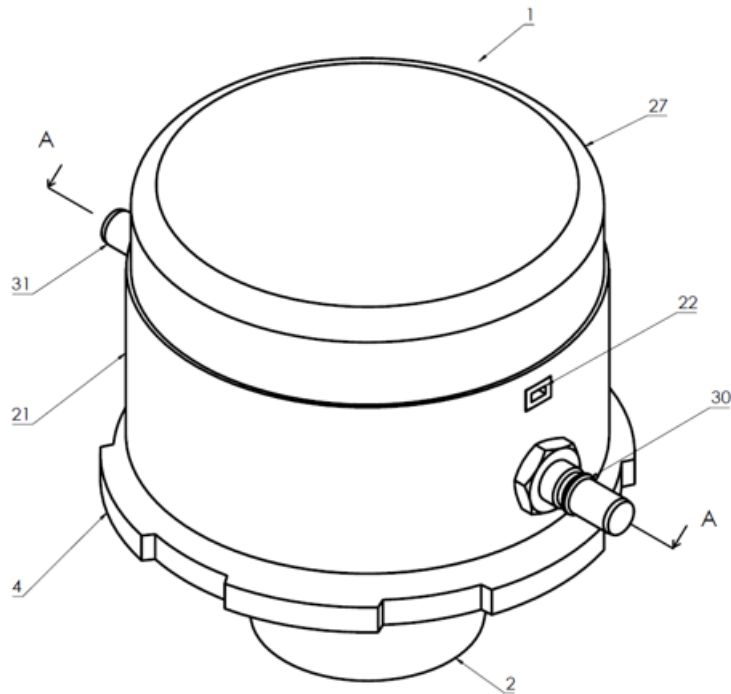


Figura 10: Vista transversal del aparato según la tercera forma de realización.

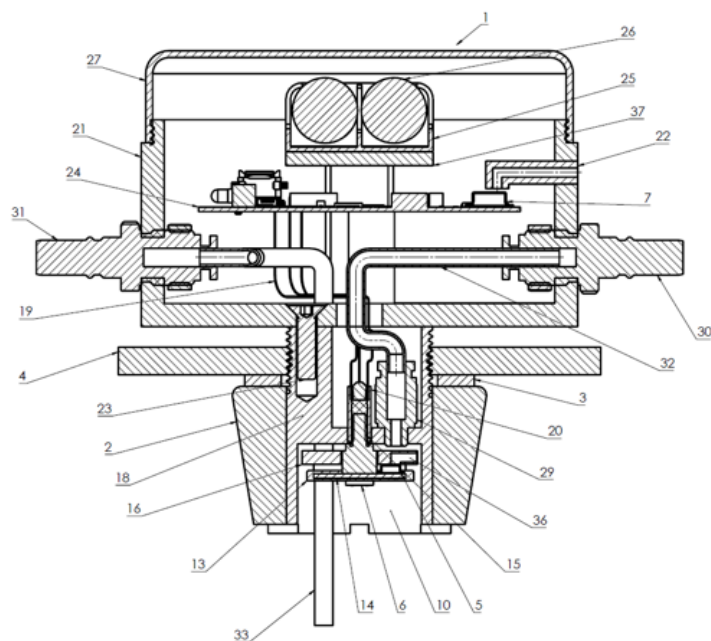


Figura 11: Sección A-A de la Figura 10.

La Figura 10 representa el aparato (1) según una tercera forma de realización de la invención que comprende un dispositivo de toma de muestras. En la figura se representa, tanto el conector inyección toma muestras (30) por el que se inyecta el gas como el conector extractor toma muestra (31).

La Figura 11 representa la sección A-A según la Figura 10 del aparato según la tercera forma de realización de la invención en la que se observa el inyector de gas para la toma de muestra (32) equipado en su extremo con el racor (29) que impide el retorno por dicha inyección, como el extractor de toma de muestras (33).

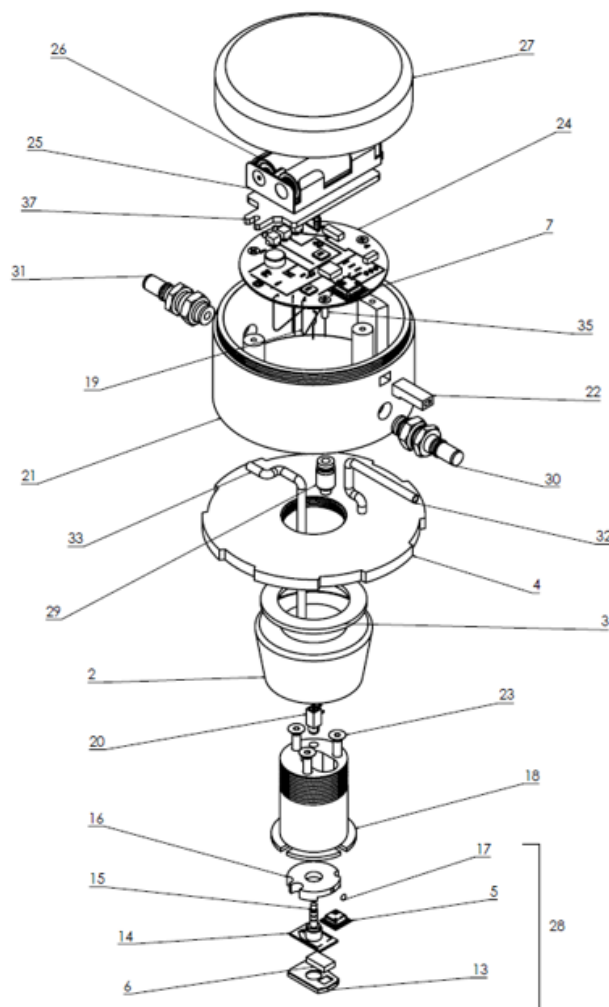


Figura 12: Vista explosionada del aparato según la tercera forma de realización.

La Figura 12 representa una vista explosionada del aparato (1) según la tercera forma de realización de la invención.

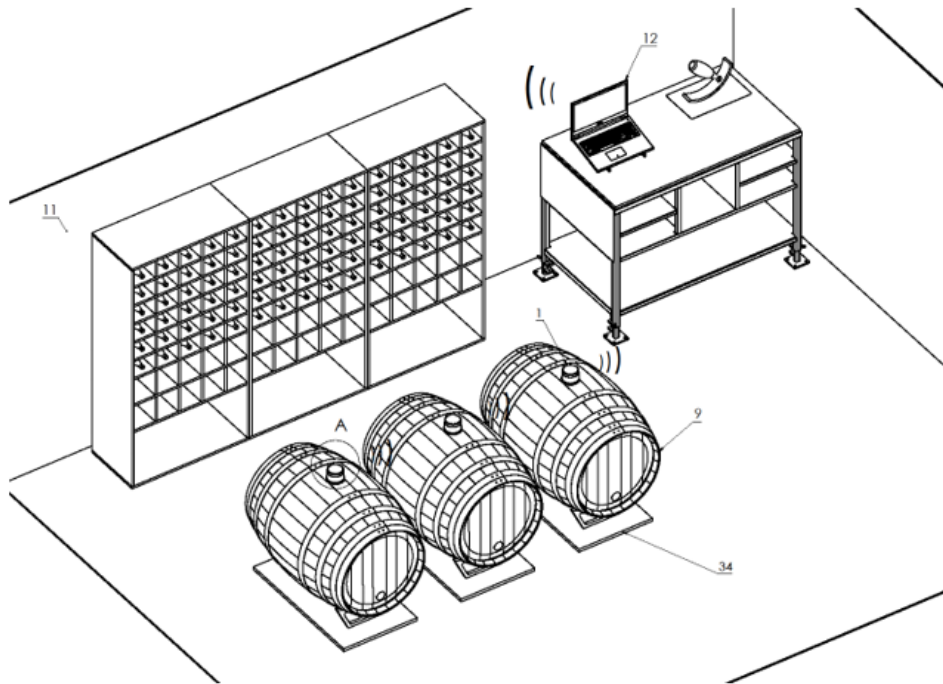


Figura 13: Sistema de monitorización.

La Figura 13 representa un sistema para monitorizar los procesos de envejecimiento del vino (8) en una barrica (9) según la invención en el que los aparatos (1) están conectado con una estación base (12) de forma que se registran y comparan los datos de las condiciones ambientales interiores y exteriores, la distancia entre el aparato (1) y la bebida alcohólica (8) y la medida de la presión parcial de gases disueltos y volátiles.

El sistema según la invención traslada los datos brutos obtenidos por los aparatos (1) a la estación base (12) para el tratamiento de estos mediante un software de sobremesa que será el que dará las alarmas al usuario.

En un ejemplo de realización, la estación base (12) comprende un software BSEC (Bosch Sortotec Environmental Cluster) consistente en una biblioteca que se ejecuta en el

microcontrolador del dispositivo para operar los sensores de condiciones ambientales (5) y (7), analizar los datos de dichos sensores (5) y (7) y calcular todas las salidas de los mismos como, por ejemplo, la humedad ambiental o los resultados del escaneo de gas. El software BSEC puede configurarse mediante cadenas de configuración generadas en la calibración de cada parámetro por el software BME AI-Studio

Las barricas (9) descansan sobre un durmiente con celda de carga (34) que permiten realizar, de forma fácil, el control de la merma total de la bebida alcohólica (8) contenida en cada una de las barricas (9) al poder determinar en todo momento y, en particular, al inicio y al final de los procesos de envejecimiento y/o maceración, el peso del conjunto barrica (9) más bebida alcohólica (8) más aparato (1). Este sistema conectado con el aparato (1) permite conocer la cantidad real de bebida alcohólica (8) evaporada por las condiciones ambientales de la sala de barricas (11), ya que al medir la variación en peso de la barrica (9) llena, descarta la bebida alcohólica (8) infiltrada en la madera y permite conocer la verdadera merma por evaporación, que a su vez depende de las condiciones ambientales.

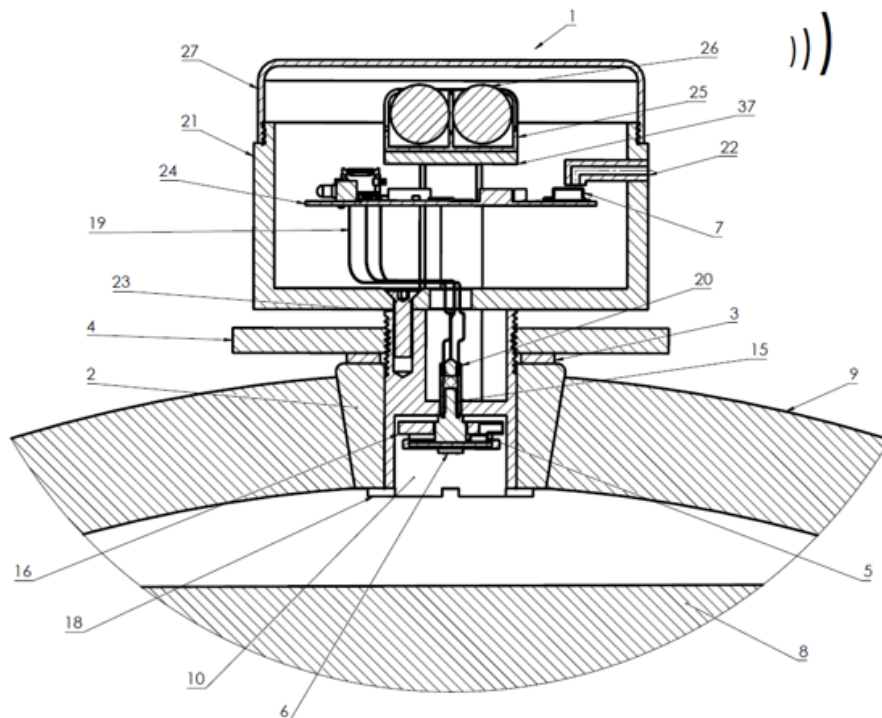


Figura 14: Espacio de cabeza del aparato.

La FIG. 14 representa el detalle A de la Figura 14 del aparato (1) situado en la piqueta de la barrica (9) en la que se puede observar el espacio de cabeza (10).

3.2 ENSAYO DE FUNCIONAMIENTO

Se preparó un sistema para monitorizar los procesos de envejecimiento y/o maceración de una bebida alcohólica en una barrica comprendiendo 8 barricas bordelesas de 225 litros para el seguimiento del proceso.

Se colocaron ocho aparatos para monitorizar los procesos de envejecimiento de un vino tempranillo en una barrica en diferentes puntos de una gran sala de barricas. En todas ellas se pudo realizar el seguimiento del envejecimiento sin intervención, es decir sin tener que abrir la barrica para realizar los rellenos habituales según el estado de la técnica anterior.

Cada uno de los aparatos de monitorización contaba con tres sensores, un sensor Bosch BME280 que mide la humedad relativa, la presión barométrica y la temperatura ambiente del interior de la barrica; un segundo sensor que mide la altura del espacio de cabeza mediante un módulo de medición láser por tiempo de vuelo (ToF) de ángulo estrecho VL53L0X; y un tercer sensor Bosch BME280 que mide la humedad relativa, la presión barométrica y la temperatura ambiente del microentorno exterior de la barrica. Los ocho aparatos de monitorización se comunicaban por medio de una red WiFi, con un servidor que recogía y almacenaba las mediciones en bases de datos y, mediante un gestor o analizador de base de datos, se realizó el análisis del seguimiento de los diferentes parámetros recogidos por cada aparato de monitorización en una interfaz de usuario.

En la Figura 15 se muestra la evolución de la humedad relativa interior y exterior obtenida del seguimiento del envejecimiento durante ocho meses. Se aprecia cómo tras los primeros días se alcanza la saturación (100% humedad relativa) del espacio de cabeza, saturación que se mantiene durante todo el proceso de envejecimiento, lo que asegura que la madera se mantenga húmeda en la parte superior de la barrica y, de forma sorprendente, no se seca, como se creía en el estado de la técnica. Además, en la figura 8 se muestra cómo a partir de la primera semana de envejecimiento se genera una depresión que se mantiene hasta el día 100, momento en el que empieza un crecimiento de la depresión (diferencia entre la presión

exterior y la interior). La existencia de esta depresión interior garantiza la existencia de un cierre hermético del tapón de la barrica.

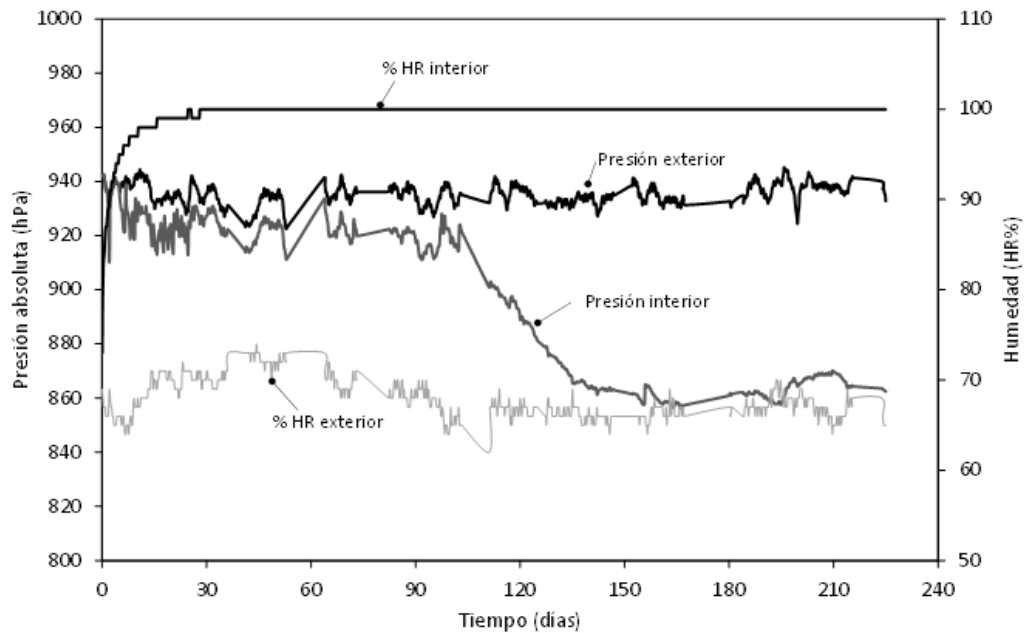


Figura 15: Humedad relativa interior y exterior respecto del tiempo.

En la Figura 16 se aprecia además la evolución de la temperatura ambiente del interior y del exterior de la barrica, lo que permite comprobar que no existen reacciones exotérmicas en la bebida alcohólica contenida en la barrica y despeja la duda de la posible existencia de reacciones no deseadas. También se muestra la evolución de la altura y del volumen del espacio de cabeza, calculado a partir de la forma geométrica de una barrica bordelesa de 225 litros y dicha altura. Se aprecia claramente que, solo cuando han transcurrido 100 días de envejecimiento aumenta la depresión interior, y es cuando la altura/volumen del espacio de cabeza aumenta. Esto se explica porque durante los 100 primeros días, a pesar de existir disminución del líquido contenido en la barrica por el mojado de la madera, la forma geométrica de la barrica se ha ido adaptando a esta disminución del volumen de bebidas alcohólicas. Tras ese tiempo la deformación de las duelas para adaptarse alcanza su límite y como continúa la disminución de la bebida alcohólica, aumenta el volumen del espacio de

cabeza. Todo ello mantiene la bebida alcohólica correctamente gracias al cierre hermético del aparato desarrollado.

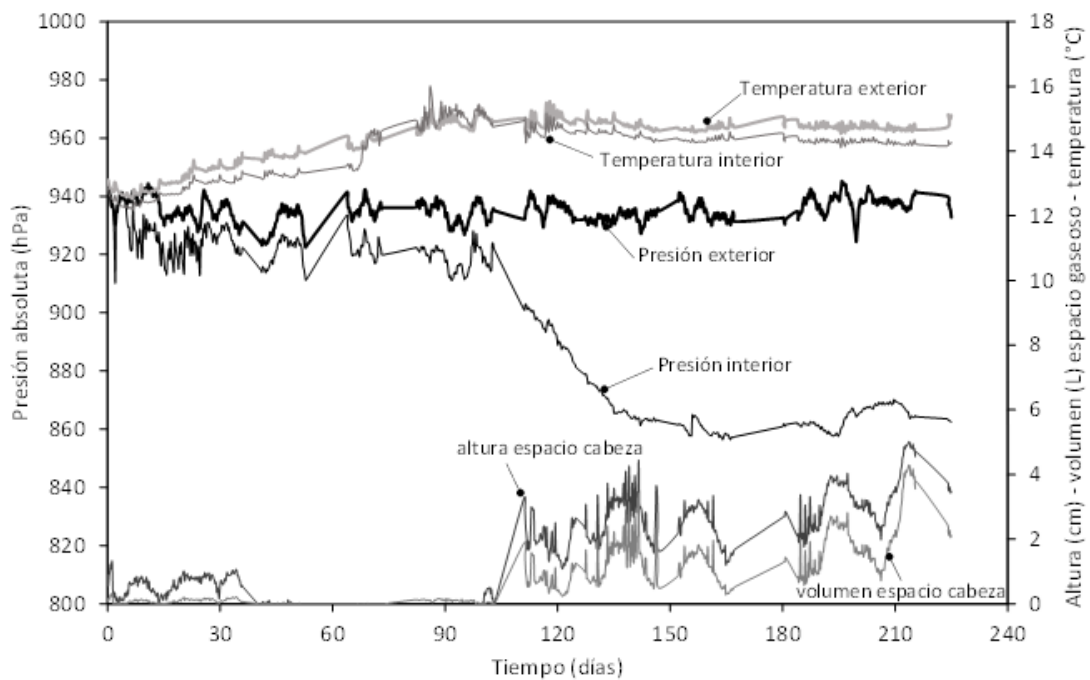


Figura 16: Temperatura ambiente del interior y del exterior de la bodega, altura y volumen del espacio de cabeza respecto del tiempo.

En esta situación la merma total de vino contenido en cada una de las bodegas de 225 litros, tras el periodo de envejecimiento de ocho meses, es significativamente menor a la que se produce cuando se realizan rellenos periódicos. En concreto la pérdida media durante la realización del proceso fue de 4,65 litros/bodega mientras que los métodos tradicionales requieren la aportación de hasta 22,5 litros/bodega, considerando admisible una merma de 11,25 litros/bodega.

Monitorizando la sala de bodegas del ejemplo que se describe y extrapolando los valores obtenidos se obtuvieron los mapas de distribución en planta y alzado de líneas de iso-merma en litros/bodega y año (como muestran las figuras 17 y 18 respectivamente), lo cual permite conocer y utilizar de forma óptima las zonas que minimizan la futura merma e incluso, realizar las modificaciones estructurales para cambiar y/o corregir las condiciones

Capítulo 4. SOFTWARE DEL SISTEMA Y

PRESENTACIÓN DE DATOS

El presente capítulo se centra en el diseño del software de control desarrollado para gestionar la invención. Este sistema permite visualizar de forma clara todos los parámetros medidos por el dispositivo, tanto en el interior como en el exterior de la bodega. Además, ofrece la posibilidad de consultar las medidas tomadas en todas las bodegas que llevan instalado el instrumento, permitiendo una supervisión global del estado de conservación en la bodega.

Para asegurar su efectividad en el entorno de trabajo, el software ha sido concebido con una interfaz sencilla e intuitiva, adaptada a las necesidades de los operarios que interactuarán con él. La prioridad ha sido garantizar una herramienta comprensible y accesible, que permita consultar valores en tiempo real, acceder a históricos y recibir alertas cuando se detecten condiciones no deseadas, contribuyendo así a una supervisión enológica más eficiente.

4.1 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

A continuación, se presenta el código de programación del software desarrollado para el control de la invención. Se explicará detalladamente cómo funciona cada una de sus partes, destacando su estructura, lógica y funcionalidades principales. Este análisis permitirá comprender el comportamiento del sistema desde el punto de vista técnico, antes de pasar a mostrar su interfaz visual y el modo en que los operarios interactúan con él.

El código desarrollado en **Arduino** se estructura en diferentes bloques funcionales que permiten gestionar sensores, comunicación inalámbrica mediante tecnología LoRa, gestión de energía y el procesamiento de datos. A través de librerías específicas incluidas al inicio del programa, el sistema integra múltiples sensores como el **VL53L0X** (distancia), el

ENS160 (calidad del aire), el **BME280** (humedad, temperatura y presión) y el sensor de batería, todos ellos coordinados para ofrecer una medición precisa de las condiciones internas del barril.

A nivel de lógica, el programa define primero variables y estructuras de datos necesarias para el intercambio de información, como la estructura `Payload`, que organiza los datos recogidos antes de enviarlos al receptor. Luego, en la función `setup()`, se inicializan los sensores y la comunicación LoRa, asegurando que el sistema esté listo antes de comenzar las mediciones.

En el cuerpo principal del programa, destacan funciones como `lecturaBateria()`, `leerBME280()`, `leerENS160()` y `leerDistanciaVLSL3L0X()`, que se encargan de recopilar datos específicos de cada sensor. Estos valores son transformados y almacenados en una estructura de datos que posteriormente se transmite al dispositivo receptor mediante LoRa.

Además, se han implementado funciones como `modoSleep()` y `despertarSensores()` para optimizar el consumo energético, permitiendo que el dispositivo entre en modo de bajo consumo entre ciclos de medición.

La lógica del código permite que el sistema funcione de forma autónoma y eficiente, realizando lecturas periódicas, procesándolas internamente y enviándolas a través de una red inalámbrica, lo que permite su monitorización remota. Cada sección del código contribuye así al funcionamiento estable y fiable del sistema de control instalado en los tapones de las barricas.

A continuación se muestran, a modo de ejemplo, algunas líneas de programación:

```
1: // main.cpp
2: // YouSmart | Author: [You]
3:
4: #include <Arduino.h>
5: #include <ArduinoLowPower.h>
6: #include <RH_RF95.h>
7: #include <RHReliableDatagram.h>
8: #include <SPI.h>
9: #include <Adafruit_BME680.h>
10: #include <Adafruit_VL53L0X.h>
11: #include "SparkFun_ENS160.h"
```

```
12: #include "SparkFunBME280.h"
13: #include "average.h"
14:
15: #define RF95_CS      4
16: #define RF95_RST     3
17: #define RF95_INT     3
18: #define LED          13
19: #define VBATPIN      A7
20:
21: #define CLIENT_ADDRESS    0
22: #define SERVER_ADDRESS   250
23: #define MAX_REGS_BY_DEVICE 12
24: #define MAX_DEVICES      10
25: #define MAX_REGS          (MAX_REGS_BY_DEVICE * (MAX_DEVICES+1))
26:
27: #define SEALEVELPRESSURE_HPA 1013.25
28: #define RF95_FREQ 872.0
29:
30: RH_RF95 rf95(RF95_CS, RF95_INT);
31: RHReliableDatagram manager(rf95, CLIENT_ADDRESS);
32:
33: uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
34:
35: uint16_t tiempoEspera[1];
36:
37: typedef struct {
38:     byte pan_id = 20;
39:     byte device_id = CLIENT_ADDRESS;
40:     uint16_t data[MAX_REGS_BY_DEVICE];
41:     uint16_t tiempoEspera[1];
42: } Payload;
43:
44: Payload theData;
45:
46: union DatoCompuesto {
47:     float ValorFloat;
48:     uint16_t ValoresUInt[2];
49: };
50:
51: DatoCompuesto floatHumExt, floatTempExt, floatDistInt, floatPA, floatTVOC,
floatCO2, calidadAire;
52:
53: Adafruit_VL53L0X lox;
54: Adafruit_VL53L0X::VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;
55:
56: SparkFun_ENS160 myENS;
57: BME280 myBME280;
58:
59: Average<float> arrayAverage(10);
60:
61: bool firstCycle = true;
62: bool printedCompensation = false;
63: int estatus;
```

4.2 INTERFAZ DEL SISTEMA

Una vez desarrollada la lógica de funcionamiento y comunicación del sistema, es fundamental proporcionar al usuario una interfaz clara y funcional. Para ello, se han diseñado varias pantallas utilizando el software **HMWin de Panasonic**. Estas pantallas permiten tanto la selección y gestión de las distintas barricas como la visualización en tiempo real de las mediciones captadas por el tapón inteligente. A continuación, se presentan las principales vistas desarrolladas para el sistema.



Figura 19: Pantalla de inicio de la interfaz.

En la Figura 19 se muestra la primera pantalla que aparece al encender el sistema. Muestra el logotipo del proyecto y un botón para acceder al menú principal. Su objetivo es ofrecer una interfaz inicial limpia y reconocible.



Figura 20: Pantalla de visualización de datos sensorizados.

En la Figura 20 se muestra las mediciones del tapón inteligente en tiempo real. Los datos se presentan de forma clara para facilitar su lectura inmediata, y permiten al usuario monitorear el estado de cada barrica sin necesidad de intervención manual directa.



Figura 21: Pantalla de gestión de datos.

En la Figura 21 se ve como en la pantalla el usuario puede seleccionar cualquiera de las barricas conectadas al sistema para visualizar o gestionar sus datos. Además, se dispone de un botón para **resetear los valores registrados** de cada barrica, lo que permite comenzar un nuevo ciclo de medición desde cero. Esta funcionalidad resulta especialmente útil en procesos donde se requiere controlar cada llenado o etapa de fermentación por separado.



Figura 22: Aviso de confirmación de guardado de datos exitoso.



Figura 23: Aviso de confirmación de eliminación exitosa de datos anteriores del historial.

En las figuras 22 y 23 se muestran respectivamente los avisos que aparecerán cuando los datos se guarden o se borren correctamente.

Capítulo 5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

En este capítulo se detallará el análisis financiero del proyecto. Esto una parte fundamental en la evaluación de cualquier proyecto, ya que permite determinar la viabilidad económica y la rentabilidad esperada del proyecto.

5.1 COMPONENTES DEL ANÁLISIS

Se analizan varios componentes esenciales del modelo financiero, que incluyen:

Estimación de Gastos: Se detallarán los costes fijos y variables del proyecto.

Proyecciones de Ingresos: Se analizan las fuentes de ingresos esperadas procedentes de la venta del aparato.

Punto de equilibrio: Se calcula cuántas unidades deben venderse para cubrir los costes fijos.

Conclusiones: sobre la rentabilidad del proyecto.

5.2 ESTIMACIÓN DE GASTOS

Para estimar los gastos del proyecto, deben considerarse los costes fijos, que se tomarán como aquellos que forman parte de la inversión inicial del proyecto y los costes variables, que fluctúan en función del uso o del volumen de producción. Esta distinción permite estructurar correctamente el análisis económico y prever su evolución. A continuación, se adjuntan dos tablas que recogen los costes fijos y variables respectivamente.

Concepto	Coste (€/unidad)
Desarrollo del prototipo	4.000
Registro de la patente	1.000
Marketing inicial	500
Moldes de inyección	5.000

Certificaciones técnicas	3.000
TOTAL	13.500

Tabla 1: Inversión inicial del proyecto.

Concepto	Coste (€/unidad)
Sensor BME688 (interno)	5
Sensor VL53L0X/VL6180 (distancia)	3
Sensor BME280 (externo)	3
Subtotal sensores	11
Carcasa (plástico/inyección)	8
Conectores y cierre hermético	3
Batería recargable	4
PCB + componentes	15
Módulo de comunicación	3
Pantalla HMWIN Panasonic	40
Subtotal componentes materiales	73
Mano de obra - ensamblaje	8
Mano de obra - soldadura electrónica	6
Mano de obra - verificación funcional	6
Subtotal mano de obra	20
Costes logísticos y almacenamiento	3
TOTAL	107

Tabla 2: Costes variables del proyecto.

Los costes variables se han estimado a partir de precios visibles en distribuidores especializados como DigiKey [3], Mouser RS Components [4], así como en plataformas industriales como Alibaba [5]. Para la pantalla HMWIN de Panasonic, se han consultado catálogos oficiales y distribuidores autorizados. También se ha considerado el software HMWin necesario para su programación. Por su parte, los costes fijos provienen de estimaciones realizadas por Agrovín basadas en proyectos similares desarrollados anteriormente.

5.3 PROYECCIONES DE INGRESOS

Para la proyección de ingresos del proyecto, se ha considerado como fuente principal la venta directa del tapón inteligente a bodegas y productores del sector vitivinícola. El dispositivo está pensado como una herramienta de valor añadido que permite mejorar el control y la calidad del proceso de envejecimiento del vino, lo que puede traducirse en un aumento de la eficiencia operativa y del valor del producto final para los clientes. Por ello, se espera que el dispositivo tenga una buena acogida entre bodegas que buscan soluciones tecnológicas innovadoras.

La estrategia comercial estará centrada en ofrecer el producto como una venta única por unidad, sin necesidad de suscripciones ni pagos recurrentes. Esta modalidad facilita su adopción por parte de pequeñas y medianas bodegas, que podrán adquirir el número de unidades que necesiten en función de su capacidad de producción.

Las cifras de venta proyectadas son realistas si se considera el tamaño y funcionamiento del mercado vitivinícola en España, que cuenta con más de 4.300 bodegas elaboradoras. Las bodegas medianas y grandes pueden tener entre 100 y 5.000 barricas, pero normalmente no equipan todas con sensores, sino una muestra representativa (entre el 5 % y el 20 %), lo que se traduce en compras de 15 a 100 unidades por cliente.

Así, alcanzar entre 1.000 y 10.000 unidades vendidas al año en un periodo de 5 a 10 años es viable si se enfoca el producto en bodegas con procesos de envejecimiento en barrica, interés en la digitalización y orientación a la exportación. Esta proyección equivale a una adopción del 1 % al 3 % del total de bodegas, una cifra razonable comparada con la implantación de tecnologías similares en el sector.

Se ha estimado una venta inicial de 1.000 unidades, con un crecimiento del 10 % anual. Además, se contemplan costes adicionales del 5 % de los ingresos para cubrir soporte, logística y marketing. A partir del tercer año, se incorpora una reinversión anual de 10.000 € en I+D para mejorar el producto y mantener su competitividad.

Esta previsión de ventas se apoya en la amplia red de bodegas con las que trabaja AGROVIN, muchas de las cuales podrían representar clientes potenciales para el dispositivo. Estas bodegas se encuentran ubicadas en países con gran tradición vinícola como España, Francia, Italia, Portugal, Estados Unidos, Chile y Argentina, lo que refuerza la viabilidad de alcanzar las cifras estimadas gracias a la proyección internacional del sector.

Las previsiones de ventas y clientes pueden estimarse a partir de los datos de producción y bodegas del OEMV [6], y los estudios del ICEX [7] sobre digitalización y adopción tecnológica en el sector vitivinícola.

5.4 PUNTO DE EQUILIBRIO

Para calcular el punto de equilibrio del proyecto, se ha considerado un precio de venta por unidad de 214€, con un coste variable de 107€ y unos costes fijos iniciales de 13.500€. Además, se ha incorporado un coste adicional equivalente al 5% de los ingresos, destinado a cubrir soporte técnico, logística y marketing. Con estos datos, el margen neto por unidad se sitúa en 96,30€, una vez descontados los costes variables y los costes adicionales proporcionales.

Aplicando este margen, se obtiene que el punto de equilibrio se alcanza con aproximadamente 140 unidades vendidas, momento a partir del cual el proyecto comienza a generar beneficios. A modo ilustrativo, con 100 unidades vendidas se produciría todavía una pérdida de 3.870€, mientras que, con 1.000 unidades, el beneficio neto ascendería a 82.800€. Esto muestra que el proyecto sigue siendo rentable a medio plazo, una vez superada la fase inicial de inversión.

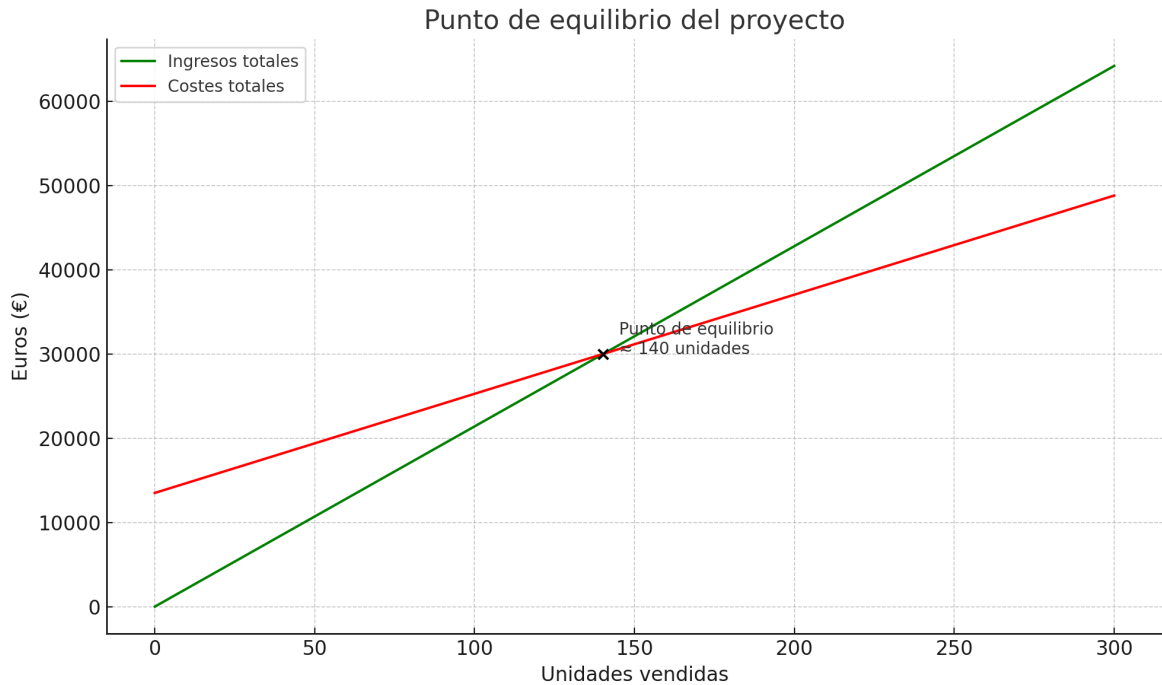


Figura 24: Representación gráfica del punto de equilibrio del proyecto.

5.5 CONCLUSIÓN

El análisis financiero demuestra que el proyecto es viable y rentable desde sus primeras fases. Con un punto de equilibrio situado en torno a las 140 unidades vendidas, el producto empieza a generar beneficios con un volumen de ventas relativamente bajo. A partir de esa cifra, cada unidad vendida contribuye con un margen neto positivo, lo que permite escalar el negocio de forma sostenible. Además, la incorporación de costes adicionales y reinversión en I+D a medio plazo ha sido contemplada, reforzando la solidez y proyección del modelo a largo plazo.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente Trabajo de Fin de Grado ha permitido materializar una solución innovadora para uno de los retos persistentes en el sector vitivinícola: la monitorización precisa y en tiempo real de las condiciones de envejecimiento del vino en barrica. El dispositivo propuesto, un tapón inteligente sensorizado, no solo aporta información clave sobre la temperatura, humedad y presión en el interior y exterior de la barrica, sino que también permite estimar con mayor exactitud el estado del vino y anticipar las necesidades de intervención. Esta capacidad de vigilancia continua y no invasiva representa un avance importante respecto a las prácticas tradicionales basadas en inspecciones manuales y rellenos periódicos.

Desde un punto de vista técnico, el diseño del dispositivo ha integrado de forma efectiva distintas tecnologías de sensorización, comunicación inalámbrica y alimentación autónoma. Se han seleccionado sensores de alta precisión, capaces de operar de forma estable en entornos variables como los que se encuentran en las salas de crianza. La arquitectura modular del dispositivo, así como su facilidad de montaje y sustitución, lo convierten en una solución robusta y versátil que puede adaptarse a diferentes configuraciones de barrica y necesidades de la bodega. Además, el desarrollo de una plataforma software complementaria facilita la interpretación de los datos recogidos, permitiendo al usuario final una visualización clara y funcional para la toma de decisiones.

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron pruebas en condiciones reales de funcionamiento, utilizando barricas en distintos entornos controlados para validar la eficacia de las mediciones. Los resultados obtenidos no solo confirmaron la capacidad del dispositivo para detectar variaciones en los parámetros clave, sino también su resistencia y estabilidad en condiciones de humedad elevada, temperaturas cambiantes y exposición prolongada. La

posibilidad de actualizar el firmware de forma inalámbrica, así como la autonomía eléctrica durante largos períodos, refuerzan la fiabilidad y escalabilidad del sistema propuesto.

En cuanto al impacto enológico, el dispositivo facilita un conocimiento más profundo del proceso de crianza, permitiendo ajustar con mayor precisión las condiciones ambientales y reducir significativamente las mermas. La posibilidad de detectar desviaciones antes de que afecten a la calidad final del vino permite una gestión más eficaz y predictiva del producto. Esto no solo mejora la calidad del vino, sino que también contribuye a una producción más sostenible, reduciendo la necesidad de intervenciones innecesarias, el uso de recursos y la pérdida de producto. Este conocimiento también podría facilitar la toma de decisiones respecto al movimiento de las barricas, la planificación de rellenos y la mejora del diseño de las salas de crianza.

Desde el punto de vista económico, el análisis de viabilidad financiera desarrollado en el capítulo anterior demuestra que el proyecto resulta rentable a medio plazo, una vez superada la fase inicial de inversión, gracias a un margen neto unitario de 96,30 €. Este se obtiene al considerar un precio de venta por unidad de 214 €, un coste variable de 107 €, costes fijos iniciales de 13.500 €, y un gasto adicional del 5 % sobre los ingresos destinado a soporte técnico, logística y marketing. Con estos datos, el punto de equilibrio se alcanza tras vender aproximadamente 140 unidades; por debajo de esta cifra, como en el caso de 100 unidades, se produciría una pérdida de 3.870 €, mientras que con 1.000 unidades vendidas, el beneficio neto ascendería a 82.800 €, evidenciando claramente la viabilidad económica del proyecto.

Finalmente, cabe destacar la alineación del proyecto con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como el fomento de la innovación tecnológica (ODS 9), la promoción de una producción responsable (ODS 12) y la acción por el clima mediante una mejor gestión ambiental (ODS 13). El dispositivo no solo representa una mejora técnica, sino también una apuesta por un modelo productivo más eficiente y sostenible. Al reducir el desperdicio de vino y el consumo innecesario de recursos, se contribuye activamente a la sostenibilidad del proceso de producción vinícola y a la reducción de la huella de carbono asociada.

En conclusión, el tapón inteligente desarrollado en este proyecto constituye una solución tecnológica eficaz, viable y alineada con las necesidades reales del sector vitivinícola. Su implantación podría suponer una mejora sustancial en la calidad del vino, la eficiencia de las bodegas y la sostenibilidad del proceso de crianza. Este trabajo sienta las bases para futuras líneas de investigación y desarrollo, que podrán ampliar las capacidades del dispositivo y su aplicación a otros ámbitos de la industria alimentaria y enológica.

BIBLIOGRAFÍA

[1]

Elaboración propia en colaboración con Agrovín.

Gran parte de los datos, estimaciones y análisis incluidos en este trabajo han sido desarrollados internamente con apoyo técnico y sectorial de la empresa Agrovín.

[2]

María de Álamo Sanza, Ignacio Gerardo Nevares Domínguez. Encuentro Técnico de la Fundación para la Cultura del Vino (FCV) (13°. 2018. Madrid).

XIII Encuentro Técnico de la Fundación para la Cultura del Vino (FCV). Madrid: Fundación para la Cultura del Vino, 2018

<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31309>

[3]

DigiKey España. (s.f.). *Piezas y componentes electrónicos: envío rápido, soporte global.*

Web con disponibilidad, características y precios de componentes electrónicos. Última vez que se consultó la web: 02/07/2025.

<https://www.digikey.es>

[4]

Mouser Electronics España. (s.f.). *Distribuidor de Componentes Electrónicos.*

Web especializada en componentes electrónicos para estimaciones técnicas. Última vez que se consultó la web: 02/07/2025.

<https://www.mouser.es>

[5]

Alibaba Group. (s.f.). *How Sourcing on Alibaba.com Works | Alibaba Buyer Central.*

Explicación del funcionamiento de Alibaba para estimación de carcasas, baterías, piezas de inyección, etc. Última vez que se consultó la web: 02/07/2025.

<https://buyer.alibaba.com>

[7]

Observatorio Español del Mercado del Vino (OEMV). (s.f.). *Informes sobre producción y exportación de vino.*

Estudios estadísticos del sector vinícola español: exportación, producción, tipos de bodega. Última vez que se consultó la web: 02/07/2025.

<https://www.oemv.es>

[8]

ICEX España Exportación e Inversiones. (s.f.). *Digitalización del sector vinícola y estudios de internacionalización.*

Informes de mercado y adopción tecnológica en el sector vitivinícola español. Última vez que se consultó la web: 02/07/2025.

<https://www.icex.es>

ANEXO I – REFERENCIAS EN LAS FIGURAS

- 1 Aparato
- 2 Tapón
- 3 Arandela
- 4 Tuerca de apriete
- 5 Sensor de condiciones ambientales interiores
- 6 Sensor de distancia
- 7 Sensor de condiciones ambientales exteriores
- 8 Bebida alcohólica
- 9 Barrica
- 10 Espacio de cabeza
- 11 Sala de barricas
- 12 Estación base
- 13 Resina protectora
- 14 Microchip
- 15 Conector minijack macho
- 16 Porta minijack-sensor de distancia
- 17 Membrana impermeable
- 18 Cuerpo
- 19 Cableado
- 20 Conector minijack hembra
- 21 Carcasa
- 22 Respiradero carcasa
- 23 Tornillo
- 24 Subconjunto placa
- 25 Porta pilas
- 26 Pilas
- 27 Tapa carcasa

- 28 Kit de sensórica
- 29 Racor toma muestra
- 30 Conector inyección toma muestra
- 31 Conector extractor toma muestras
- 32 Inyector gas toma muestras
- 33 Extractor toma muestra
- 34 Durmiente con celda de carga
- 35 Tornillo
- 36 Respiradero porta minijack

EVALUACIÓN DEL DIRECTOR: 9,0

NOTAS DEL DIRECTOR: La calificación obtenida por el alumno, Álvaro León, es el resultado del buen hacer durante el desarrollo del Proyecto donde siempre se ha mostrado muy colaborativo, proactivo, aportando ideas y sabiendo trabajar perfectamente en equipo. Su conocimiento previo le ha servido al alumno para desempeñar correctamente todas las funciones y trabajos propuestos por el Director.