

**Centro de Enseñanza Técnica y Superior, CETYS
Universidad**



Maestría en ingeniería e innovación con orientación
en Sistemas y tecnologías de la información.

**Análisis de la innovación de proceso y producto de un
sistema de control y monitoreo de la fermentación
alcohólica en vino.**

Tesis

Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en ingeniería

Presenta:

Armando Orozco Moreno

Ensenada, Baja California, México
2020

Tesis defendida por
Armando Orozco Moreno

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Josué Aarón López Leyva
Director de tesis

Miembros del comité

MBA. Tonatiuh Bravo
Sinodal

**Dr. Carlos Antonio González
Campos**
Sinodal

Mtra. Amanda Nieto Sánchez
Coordinador del Posgrado

Dra. Dalia Holanda Chávez García
Director de Escuela de Ingeniería

Armando Orozco Moreno © 2020

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis *Análisis de la innovación de proceso y producto de un sistema de control y monitoreo de la fermentación alcohólica en vino*, que presenta Armando Orozco Moreno como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Maestría en ingeniería e innovación posgrado con orientación en Tecnologías de la Información.

Resumen aprobado por:

Dr. Josué López Leyva
Director de tesis

La variación de la calidad y características del vino es el resultado de factores como el monitoreo constante del proceso de fermentación, el uso de bombas de flujo no adecuadas o, por el contrario, su uso indiscriminado. El análisis de la implementación de nuevas tecnologías en el proceso busca crear oportunidades de mejora en la calidad de nuestros productos, así como la disminución de costos de producción y aumentar la competitividad de la empresa en el mercado.

La implementación de estas tecnologías ayudará a identificar con mayor claridad los factores que influyen en el rendimiento del proceso, modificar los procesos convencionales de producción, optimizar el análisis del producto que a su vez ayudará tomar decisiones a tiempo.

Palabras clave: fermentación, remontado de vino, parámetros de calidad, producción de vino

Abstract of the *thesis Analysis of the process and product innovation of a control and monitoring system for alcoholic fermentation in wine*, presented by Armando Orozco Moreno as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Maestría en ingeniería e innovación with orientation in Information Technologies

Abstract approved by:

Dr. Josué López Leyva
Thesis Director

The variation in the quality and characteristics of the wine is the result of factors such as constant monitoring of the fermentation process, the use of inappropriate flow pumps or, on the contrary, their indiscriminate use. The analysis of the implementation of new technologies in the process seeks to create opportunities for improvement in the quality of our products, as well as the decrease in production costs and increase the competitiveness of the company in the market.

The implementation of these technologies will help to identify more clearly the factors that influence process performance, modify conventional production processes, optimize product analysis, which in turn will help make decisions on time.

Keywords: fermentation, wine pumping, quality parameters, wine production

Dedicatoria

A mi familia, por estar ahí siempre,
aguantando los días de ausencia, de frustración, de mal humor,
pero, sobre todo por recordarme que siempre hay mejores días
y enseñarme que el esfuerzo y trabajo duro
siempre trae grandes recompensas.

“Your work is going to fill a large part of your life, and the only way to be truly
satisfied is to do what you believe is great work. And the only way to do great work
is to love what you do. If you have not found it yet, keep looking.

Do not settle. As with all matters of the heart, you will know when you find it.

Have the courage to follow your heart and intuition.
They somehow know what you truly want to become.”

- Steve Jobs

Agradecimientos

A los investigadores del Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS) de Ensenada por brindarme de sus conocimientos en este proceso de formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría por medio de la beca industrial.

A la empresa Concierto Enológico por permitirme llevar a cabo este proyecto en sus instalaciones.

A mi director de tesis el Dr. Josué López Leyva, por compartir sus conocimientos y guiarme en este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen	ii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 Antecedentes de la tecnología enológica.....	3
1.1.2 Técnicas y metodologías estándar de análisis de vino	4
1.1.3 Conceptos de calidad.....	6
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.4 HIPÓTESIS.....	9
1.5 OBJETIVOS.....	10
1.5.1 Objetivo General	10
1.5.2 Objetivos Específicos	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 ANÁLISIS DE PERTINENCIA.....	11
2.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO CONVENCIONAL DE FERMENTACIÓN	14
2.2.1 Proceso de Fermentación	14
2.2.2 Descripción del proceso convencional de producción de vino	16
2.2.3 Capacidad de producción de Concierto Enológico.....	18
2.3 DEFINICIONES DE INNOVACIÓN DE PROCESO Y PRODUCTO	20
2.3.1 Proceso de innovación	20
2.3.2 Tipos de Innovación	21
2.3.3 Innovación de Producto o Servicio	22

2.3.4 Innovación de Procesos	24
2.4 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA.....	26
2.4.1 Tecnologías para el monitoreo de la producción de vino	26
2.4.2 Tecnologías para análisis de vino	28
2.4.3 Sistemas Raspberry Pi.....	30
2.5 ADQUISICIÓN DE TIC´S.....	33
CAPÍTULO 3. TRABAJO EXPERIMENTAL.....	36
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL	36
3.1.1 Maceración.....	36
3.1.2 Fermentación alcohólica	38
3.2 INNOVACIÓN DE PROCESO	41
3.2.1 Factores comunes entre las etapas	41
3.2.2 Automatización del proceso de remontado	42
3.3 PARÁMETROS DE FACTIBILIDAD.....	47
3.3.1 Viabilidad Técnica	47
3.3.2 Viabilidad Operativa	47
3.3.3 Viabilidad Económica	48
3.3.4 Selección de la tecnología para el proceso.....	49
3.3.5 Análisis cuantitativo para la instalación de bombas de remontado automático.....	50
3.3.6 Análisis Cualitativo	51
3.3.7 Automatización del sistema de monitoreo de parámetros fisicoquímicos en maceración y fermentación	52
3.3.8 Análisis cuantitativo para la instalación de un sistema de monitoreo automático.....	53

3.3.9 Análisis cualitativo para la instalación de un sistema de monitoreo automático.....	57
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	59
4.1 INSTALACIÓN DE LA BOMBA PARA REMONTADO.....	59
4.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN RASPBERRY PI	61
4.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE ÉXITO	62
4.3.1 Análisis FODA.....	62
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	65
5.1 BENEFICIOS DEL PROYECTO	66
5.2 RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS	69

Listado de tablas

Tabla 1. Resumen de los procedimientos recogidos por la OIV.....	5
Tabla 2. Principios y requisitos para lograr la calidad.	7
Tabla 3. Descripción de sistemas para el seguimiento de la producción de vino..	26
Tabla 4. Comparativa de los programas de computadora más utilizados en la industria del vino para control de procesos, equipo de análisis y monitoreo.....	34
Tabla 5. Tiempo consumido por un operador por tanque en maceración y fermentación por tarea realizada.....	41
Tabla 6. Parámetros de factibilidad en la innovación de proceso para la bomba de remontado y el sistema de control.....	48
Tabla 7. Comparativa de las compañías analizadas con respecto a los porcentajes resultantes.....	49
Tabla 8. Características del sistema propuesto por Nishikawa Industrial y costo de implementación.	51
Tabla 9. Costo de inversión de equipo versus gastos operarios.	52
Tabla 10. Tiempo consumido por un operador por tanque en maceración y fermentación por monitoreo de parámetros.	53
Tabla 11. Características del equipo base para la innovación en lectura de mediciones automática.....	56
Tabla 12. Comparación del costo de inversión y las amortizaciones a cinco años de ambas propuestas.....	57
Tabla 13. Comparativa de los tiempos por tarea, antes y después de aplicar la innovación.	59

Listado de figuras

Figura 1. Variación anual de indicador trimestral de la actividad económica estatal de Baja California. (GEBC, 2020, marzo).....	12
Figura 2. Diferentes procesos de fermentación iniciando desde glucólisis	15
Figura 3. Diagrama general del proceso de producción de vino tinto.....	19
Figura 4. Proceso de gestión de las ideas en el embudo de innovación.....	21
Figura 5. Diagrama de innovación de producto.....	23
Figura 6. Ciclo de innovación de proceso.	25
Figura 7. a) Cristalería para análisis en laboratorio, b) HACH TitraLab T1000, c) CDR WINELab, d) OEnoFoss Wine Scan.....	29
Figura 8. Ejemplo del controlador de temperatura al aplicar un ajuste en el cambio de referencia.	32
Figura 9. Diagrama general del subproceso de Estrujado, Maceración, Fermentación y Prensado	37
Figura 10. a y b) Despalillado y estrujado de uva. c y d) Remontado manual del mosto.	38
Figura 11. a) Levadura industrial activa lista para agregar al mosto. b y c) Toma de muestra para medición de °Brix en mosto.....	39
Figura 12. Ejemplo de bitácora de medición de parámetros en maceración y fermentación.....	40
Figura 13. a) Conexión tanque-bomba mediante TC. b) Bomba montada sobre base en pilar. c) Conexión salida bomba a tubo de remontado mediante TC.....	43
Figura 14. a) Modelado por computadora del sistema de remontado automático, b) Distribuidor cónico de líquido para el remontado.	43
Figura 15. Diagrama de tanque convencional de 50HL.	44
Figura 16. Diagrama de tanque de 50HL, donde se muestran las modificaciones efectuadas.....	45
Figura 17. Diagrama de maceración y fermentación simplificado: a) tiempos por tarea, b) introducción de la innovación.....	46

Figura 18. Sistema SCADA actual en Concierto Enológico. a) Pantalla principal del sistema. b) Pantalla de monitoreo y registro de datos individual por tanque..... 54

Figura 19. Análisis FODA..... 64

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Durante más de 10 siglos las bodegas han sido construidas en terrenos con pendiente para facilitar el movimiento de los líquidos, pero la generalización del uso de bombas ha hecho que, en la actualidad, se construyan numerosas bodegas con todas sus instalaciones a cota cero. A pesar de ello, algunas siguen construyéndose, utilizando el criterio de la gravedad, con el fin de evitar al máximo el efecto mecánico sobre la uva y vinos. En el desarrollo de la maquinaria empleada para la vinificación, se ha tenido en cuenta la mínima intervención mecánica sobre la uva, evitando el frotamiento de las partes sólidas del racimo con los diferentes elementos que componen la maquinaria. La aplicación de este principio ha sido aceptada de manera general y en la actualidad, la maquinaria de elaboración utilizada es muy homogénea, particularmente para la operación de despalillado y estrujado de la uva, que se realiza con despalilladoras de eje horizontal y triturador de rodillos; la operación de prensado se realiza con prensas neumáticas de pulmón y prensas hidráulicas verticales (Blasco, 2013).

A partir de los años ochenta del siglo XX, el control térmico de los procesos es un elemento en la proyección de bodegas. Inicialmente se utilizaba solamente frío para el control de la temperatura de fermentación, pero en la actualidad se realizan instalaciones de frío/calor para el acondicionamiento de la temperatura de las uvas, control de la temperatura de la fermentación alcohólica, fermentación malo-láctica y conservación de los vinos, particularmente la del proceso de crianza de los vinos en barricas y botellas.

Las técnicas de elaboración de vinos han ido evolucionando a lo largo de la historia, lo cual no implica que lo tradicional y lo clásico no pueda dejar de ir unido a nuevas

técnicas de vinificación donde hoy en día premia la mecanización para abaratar costes de producción y poder competir en el mercado internacional. En este momento, nos encontramos ante un gran cambio donde novedosos inventos unido a las tecnologías de la información pueden ser capaces de elaborar vinos muy competitivos en el mercado a precios relativamente bajos (Mañeru Oria, 2011).

El vino es el producto de la fermentación alcohólica del mosto de uva, siendo esta etapa la más importante del proceso de vinificación. Durante este proceso tienen lugar multitud de transformaciones, las cuales juegan un papel crucial en la calidad del vino. En vinos tintos, primero ocurre una maceración pre fermentativa en la cual el jugo está en contacto con el orujo u hollejo (piel) de la uva, proceso en el que los componentes nobles de las uvas son extraídos para obtener vinos de mayor calidad y tipicidad, en la fermentación también tiene lugar dicha maceración (Polit, Electr, Novoa, & Soler, 2014).

Por tanto, la fermentación alcohólica debe ser meticulosamente supervisada midiendo la cantidad de azúcar consumido, etanol formado, dióxido de carbono liberado o crecimiento de la población microbiana en cada uno de los depósitos o tanques de la bodega. Sin embargo, la determinación manual de cualquiera de estos parámetros es de gran dificultad o conlleva técnicas tardadas que resultan poco prácticas para el seguimiento de la fermentación alcohólica en una bodega.

Tradicionalmente, se ha utilizado la densidad como medida dado que su determinación además de simple y rápida, es una medida aproximada de los componentes principales del mosto fermentando. No obstante, el elevado número de fermentaciones transcurriendo en paralelo y la excesiva carga de trabajo en temporada de vendimia convierten en prácticamente imposible realizar un seguimiento exhaustivo de las fermentaciones. Las tardadas medidas manuales dos

veces al día son insuficientes para conocer cómo se desarrolla la fermentación (Jiménez Márquez, 2017).

Actualmente, la medición de los parámetros químicos y físicos en el vino en la empresa Concierto Enológico S. de R.L. de C.V. es tomada de manera manual, bajo el protocolo tradicional de trabajo en una bodega vitivinícola. Este protocolo comprende la toma de muestra en una probeta por parte del personal encargado de la tarea, medir con densímetro calibrado de fábrica a 15 °C y la densidad del agua (1 gr/L). A su vez, se toma la temperatura con un termómetro de alcohol con escala 0 °C - 120 °C y se anota en un registro diseñado por la misma empresa bajo especificaciones del certificado ISO9001-2015, estos parámetros son medidos dos veces al día. Una vez que los datos son tomados y documentados, son transferidos a un archivo electrónico donde es graficado el avance del proceso con respecto a los días hasta que el producto es terminado.

1.1.1 Antecedentes de la tecnología enológica

El gran motor de la tecnología enológica ha sido lograr que los vinos obtenidos fueran vinos estables, tanto desde el punto de vista biológico como fisicoquímico, para facilitar su comercialización, particularmente en los mercados de exportación, fuera de las áreas de producción. Otro factor que ha influido ha sido la mecanización de las operaciones de bodega, lo que ha llevado a la utilización de tornillos sin-fin, bombas de diversos tipos, utilización de prensas de eje vertical (mecánicas e hidráulicas), intento de consecución de la prensa continua ideal y la utilización de prensas de eje horizontal (mecánicas y neumáticas).

En Europa, principalmente en La Rioja, España; el gran impulsor para la evolución del sector vitivinícola fue el desarrollo comercial en el momento de la crisis de la filoxera en Francia. Se adoptaron nuevas técnicas en la elaboración de los vinos (envejecimiento de vinos en barricas o expedición de vinos embotellados), lo que supuso el requerimiento de nuevos espacios en la bodega. En muchos casos, las

bodegas se situaron cerca de las vías de comunicación, principalmente el ferrocarril (Larousse, 2016, A).

A partir de los años ochenta del siglo XX, el control térmico de los procesos es un elemento en la proyección de bodegas. Inicialmente se utilizaba solamente frío para el control de la temperatura de fermentación, pero en la actualidad se realizan instalaciones de frío/calor para el acondicionamiento de la temperatura de las uvas, control de la temperatura de la fermentación alcohólica, fermentación malo-láctica y conservación de los vinos, particularmente la del proceso de crianza de los vinos en barricas y botellas (Mañeru Oria, 2011).

Por otro lado, las técnicas de elaboración de vinos han ido evolucionando a lo largo de la historia, lo cual no implica que lo tradicional y lo clásico no pueda dejar de ir unido a nuevas técnicas de vinificación donde hoy en día premia la mecanización para abaratar costes de producción y poder competir en el mercado internacional (Polit, U., Electr, E., Novoa, D. F., & Soler, 2014). En este momento, nos encontramos ante un gran cambio donde novedosos inventos unido a las tecnologías de la información pueden ser capaces de elaborar vinos muy competitivos en el mercado a precios relativamente bajos (Norzahari et al., 2011). A pesar de todo el avance tecnológico, el vino sigue siendo producto de la fermentación alcohólica del mosto de uva, esto no ha cambiado desde sus inicios. Esta etapa es la más importante del proceso de vinificación y mientras se lleva a cabo, tienen lugar multitud de transformaciones, las cuales juegan un papel crucial en la calidad del vino.

1.1.2 Técnicas y metodologías estándar de análisis de vino

Los métodos para el análisis de vino están regidos bajo Normas propuestas por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV). Esta normativa fue creada para estandarizar los parámetros del vino a nivel mundial, basado en las grandes denominaciones de origen controladas del mundo, en la tabla.1 se muestran los

procedimientos recogidos por la OIV para el análisis de mostos frescos y vinos terminados. La OIV se define como una organización intergubernamental de carácter científico y técnico, con una competencia reconocida en el campo de la viña, el vino, las bebidas a base de vino, las uvas de mesa, las uvas pasas y otros productos derivados de la vid.

Tabla 1. Resumen de los procedimientos recogidos por la OIV.

Propiedad	Referencia	Categoría	Principio o equipo o propiedad
Densidad	OIV-MA-AS2-01A	I	Picnometría, frecuencia de oscilación o balanza hidrostática Areometría (hidrómetro)
	OIV-MA-AS2-01B	IV	
Concentración de azúcares en mosto fresco	OIV-MA-AS2-02	I	Refractometría
	OIV-MA-AS2-07A	-	CIE 1931
Características cromáticas	OIV-MA-AS2-07B	IV	Método de Glories
	OIV-MA-AS2-11	I	CIELab
Turbidez	OIV-MA-AS2-08	IV	Nefelometría
Índice total de polifenoles	OIV-MA-AS2-10	IV	Reactivo Folin-Ciocalteu
Azúcares o sustancias reductoras en vinos	OIV-MA-AS311-01A	IV	Acción reductora con reactivo
	OIV-MA-AS311-01B	-	Columna de resina
	OIV-MA-AS311-01C	II	Exceso de iones de cobre yodométricamente
	OIV-MA-AS311-02	II	Método enzimático
	OIV-MA-AS311-03	II	HPLC
	OIV-MA-AS311-07	III	pH-metría diferencial
	OIV-MA-AS311-08	IV	pH-metría diferencial
Grado alcohólico en vinos	OIV-MA-AS312-01A	I	Destilación y medida de densidad con procedimientos categoría I
	OIV-MA-AS312-01B	IV	Destilación y medida de densidad con hidrómetro o refractometría
Acidez total	OIV-MA-AS313-01	I	Valoración potenciométrica o con azul de bromotimol
Acidez volátil	OIV-MA-AS313-01	I	Destilación de vapor y valoración con hidróxido de sodio
pH	OIV-MA-AS313-15	I	Diferencia de potencial entre 2 electrodos

Se recogen las propiedades más relevantes en la elaboración de vinos y la evaluación de mostos frescos y vinos terminados, pero el compendio incluye la metodología existente para todos los compuestos relativos a mostos y vinos. Las categorías detalladas están definidas por la OIV como sigue: (I) método de referencia; (II) método de referencia cuando los métodos de la categoría I no pueden ser usados; (III) métodos alternativos; (IV) método convencional o recientemente implantado; y (-) método retirado

Sus objetivos principales son, el indicar a sus miembros las medidas que permitan tener en cuenta las preocupaciones de los productores, de los consumidores y de los otros actores del sector vitivinícola; asistir a las otras organizaciones internacionales intergubernamentales y no gubernamentales, especialmente a aquellas que ejercen actividades normativas; contribuir a la armonización internacional de las prácticas y normas existentes y, cuando sea necesario, a la elaboración de nuevas normas internacionales a fin de mejorar las condiciones de elaboración y comercialización de los productos vitivinícolas, tomando en cuenta los intereses de los consumidores (OIV, 2018).

1.1.3 Conceptos de calidad

Para W. Edwards Deming, la calidad es traducir las necesidades futuras de los usuarios en características medibles, solo así un producto puede ser diseñado y fabricado para dar satisfacción a un precio que el cliente pagará; la calidad puede estar definida solamente en términos del agente.

*“Calidad es cumplir con los requerimientos que necesita el cliente
con un mínimo de errores y defectos.”*

Carlos Colunga Dávila lo establece de la siguiente manera: Calidad es satisfacer al cliente cumpliendo con los requerimientos y prestando un buen servicio, hasta donde la acción tomada ayude a la permanencia de la empresa en el mercado. Ese es el límite. En la tabla. 2 están descritos los 13 principios de la calidad según Jesús Alberto Viveros Pérez y los requisitos para lograrla basados en Cuauhtémoc Anda Gutiérrez.

Todo lo anterior nos lleva a un producto o servicio con calidad, al tener más calidad se puede vender más y se tiene un mejor servicio, por lo consiguiente, se genera más utilidad, que es uno de los objetivos principales de todas las empresas. (Mendez, Julio C., 2013)

Tabla 2. Principios y requisitos para lograr la calidad.

Principios de la calidad	Requisitos para lograr la calidad
Hacer bien las cosas desde la primera vez.	Se debe ser constante en el propósito de mejorar el servicio y el producto.
Satisfacer las necesidades del cliente (tanto externo como interno ampliamente)	Al estar en una nueva era económica, estamos obligados a ser más competentes.
Buscar soluciones y no estar justificando errores.	El servicio o producto desde su inicio debe hacerse con calidad.
Ser optimista a ultranza.	El precio de los productos debe estar en relación con la calidad de estos.
Tener buen trato con los demás.	Se debe mejorar constantemente el sistema de producción y de servicio, para mejorar la calidad y la productividad para abatir así los costos.
Ser oportuno en el cumplimiento de las tareas.	Hay que establecer métodos modernos de capacitación y entrenamiento.
Ser puntual.	Se debe procurar administrar con una gran dosis de liderazgo, a fin de ayudar al personal a mejorar su propio desempeño.
Colaborar con amabilidad con sus compañeros de equipo de trabajo.	Se debe crear un ambiente que propicie la seguridad en el desempeño personal.
Aprender a reconocer nuestros errores y procurar enmendarlos.	Deben eliminarse las barreras interdepartamentales.
Ser humilde para aprender y enseñar a otros.	A los trabajadores en lugar de metas numéricas se les debe trazar una ruta a seguir para mejorar la calidad y la productividad.
Ser ordenado y organizado con las herramientas y equipo de trabajo.	El trabajador debe sentirse orgulloso del trabajo que realiza.
Ser responsable y generar confianza en los demás.	Se debe impulsar la educación de todo el personal y su autodesarrollo.
Simplificar lo complicado, desburocratizando procesos.	Se deben establecer todas las acciones necesarias para transformar la empresa hacia un fin de calidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En los últimos cinco años, la mano de obra para trabajos en vinícola y viñedo en el Valle de Guadalupe en Ensenada, Baja California, ha disminuido y la poca que queda en la actualidad carece en su mayoría de capacitación técnica para el trabajo en campo o bodega en el sector Vitivinícola. Por ello, en marzo del 2018, se

presentó una propuesta por parte del Gobierno Municipal, el Gobierno Federal y la Universidad Autónoma de Baja California, para organizar talleres que certifiquen bajo competencias a los trabajadores del sector y así generar mano de obra calificada.

El principal problema sigue siendo la mano de obra, la alta demanda y a su vez la poca oferta genera un incremento en los costos de producción que repercuten directamente en el precio final del vino. Por ello, en los últimos cinco años algunas bodegas como El Cielo, Las Nubes, Monte Xanic, El Llano Colorado, entre otras, han optado por encaminar sus procesos a la automatización y mecanización lo cual implica el uso de maquinaria que genere menos Horas Hombre (HH) en su uso; desde podadoras mecánicas de vid, tractores que podan y deshojan, recolectoras automáticas que despallan a la vez en campo, para el envío de la uva ya sin el raspón (parte verde del racimo) a la bodega.

El futuro del valle en cuanto a producción vitícola y vinícola sin duda implica la automatización de las áreas implicadas, lo que conlleva un mayor ahorro de energía, tiempo y sobre todo costos de producción y así aumentar la competitividad del sector en el mercado nacional e internacional en materia de producción de vino de alta calidad. Este proyecto parte de la demanda de la empresa Concierto Enológico S. de R.L. de C.V. de consolidar un sistema Integral de Monitoreo y Automatización de los Procesos de Vinificación que permita a través de interpretación estadística, implementar nuevos protocolos y procedimientos que justifiquen las mejoras en las técnicas de vinificación tradicional para de esta manera incrementar la calidad y la competitividad de nuestros vinos iniciando desde la primera fase de producción hasta posventa utilizando testigos de trazabilidad generando valor agregado en el mercado nacional e internacional de vino mexicano. A su vez, aportar al sector un avance tecnológico en materia de procesos de producción.

1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio comprende una investigación de tipo cuantitativo con alcance descriptivo, basado en tecnologías existentes para analizar la implementación de un sistema semi automatizado de monitoreo del proceso de fermentación de vino. Consiste en la mejora integral de los procesos de vinificación que actualmente se manejan en las bodegas vinícolas, para aumentar el potencial de producción y la competitividad de la empresa en el mercado nacional e internacional.

Por tanto, en esta investigación se responden las siguientes interrogantes:

1. ¿Se puede construir un sistema de monitoreo económicamente accesible para PyMEs?
2. ¿Es Posible utilizar equipos de menor costo y potencia para llevar a cabo el monitoreo?
3. ¿Qué parámetros fisicoquímicos se pueden medir de manera remota y en tiempo real?
4. ¿Qué características debe cumplir el sistema de registro y análisis de datos?

1.4 HIPÓTESIS

Aunque en zonas vinícolas extranjeras existen bodegas con sus procesos de producción y gestión de la calidad automatizados, en México aún estos sistemas no han sido implementados del todo. Al medir los parámetros físicos y químicos del vino, se pueden identificar posibles problemas futuros en su elaboración; de esta manera monitorear su calidad para que así posiblemente la competitividad de las empresas se vea afectada incrementándose de manera positiva en el mercado nacional e internacional.

Nuestra hipótesis se basa en la idea de la existencia de una manera más económica de acceder o contar con esta tecnología ya existente en el mercado actualmente. Por ello, se propone en este trabajo una alternativa para el monitoreo de los

parámetros descritos en el diseño de esta investigación, es decir, encontrar una manera económicamente viable de monitorear dichos parámetros.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Analizar la pertinencia de la innovación de proceso y producto de un sistema de control y monitoreo para el proceso de fermentación alcohólica en vino.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Definir el proceso convencional de fermentación alcohólica en vinos con relación a la tecnología utilizada para su control y monitoreo.
2. Determinar cualitativa y cuantitativamente el problema específico en el proceso convencional.
3. Analizar las opciones tecnológicas relacionadas con el problema específico.
4. Definir el funcionamiento convencional de la tecnología usada en el problema específico.
5. Proponer un diagrama de innovación de proceso y producto.
6. Determinar la generación de valor e impacto para el beneficiario.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANÁLISIS DE PERTINENCIA

México se sitúa en el décimo cuarto lugar de producción mundial de uva. Perlette, Flame, Sagraone y Red Globe son las principales variedades que se cultivan, cuyo consumo per cápita en el país es de 2.5 kg anual. Se produce uva para uso industrial, uva fresca o de mesa y uva pasa, de las cuales Baja California participa con el 25.3% de la producción nacional (MCET, s.f.) siendo la uva para uso industrial la principal con un total de 840 hectáreas, gracias a ello, el estado es el productor número uno de vino con el 85% de la producción, esto ha generado que el consumo de vino anual en México haya crecido de 0.750 a 0.960 litros per cápita del 2014 al 2018 y un crecimiento en las ventas del 8% al 10% anualmente, con un valor de producción y comercialización de cuatro mil 650 millones de pesos, en el 2017 México se situaba en el lugar 45 a nivel mundial con una capacidad de producción de 19 millones 302 mil 525 litros de vino (El Financiero, 2018).

Baja California ha presentado un crecimiento sostenido a partir del segundo trimestre del 2014 (ver figura. 1), esto posiciona al estado en el 9no. lugar a nivel nacional en crecimiento y captación de Inversión Extranjera Directa (IED), de enero a septiembre de 2019, el Estado registró 985 millones de dólares de ingreso por IED, 3.8% del total captado en el país en el mismo periodo. Las principales actividades que generan esto son: fabricación de automóviles y camiones, fabricación de productos de plástico, banca múltiple, así como la fabricación de instrumentos de medición, control, navegación y equipo médico electrónico (GEBC, 2020). Baja California es el séptimo generador de empleo en el país, con 32 mil 213 nuevos puestos de trabajo formales, que equivalen al 5% del total nacional del periodo enero - octubre 2019, el 50% de estos empleos directamente relacionados con la industria de la transformación, seguido por el comercio con 19%. Posicionándolo en el 4to. mayor exportador industrial del país con 38 mil 662 millones de dólares y registra un crecimiento de 6.5% anual, sus principales exportaciones son: computación y electrónicos (32.4%), transporte (21.6%), metálicos (6.1%), maquinaria y equipo (5.8%), eléctricos y energía eléctrica (5.8%). Por su parte, la

industria vitivinícola del estado cuenta en la actualidad con mil 653 productores, generando más de mil 700 empleos de manera directa y dando trabajo a más de 285 mil jornaleros agrícolas migrantes que viajan para apoyar en la poda y cosecha de los viñedos generando menos del 0.1% en la exportación de sus productos (GEBC, 2020).

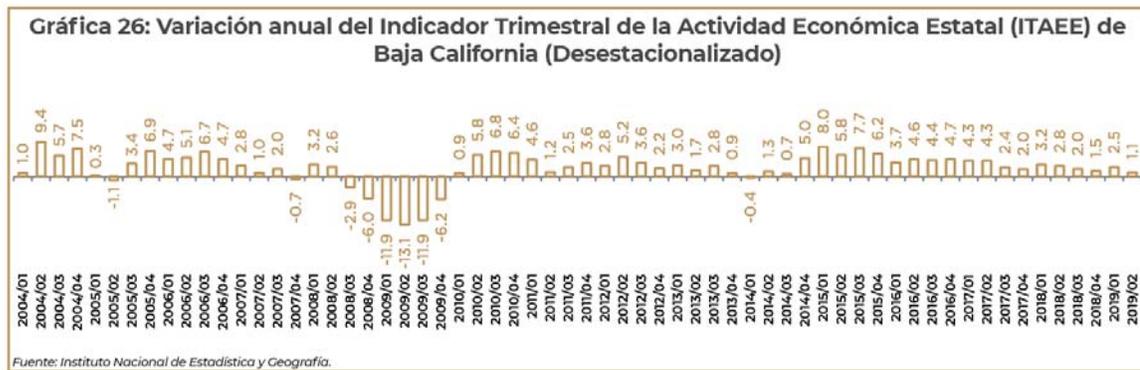


Figura 1. Variación anual de indicador trimestral de la actividad económica estatal de Baja California. (GEBC, 2020, marzo).

Algunos de los aspectos destacables de Baja California son: su colindancia con Estados Unidos y salida hacia países de la Cuenca del Pacífico le confiere una ventaja en lo que se refiere al movimiento de mercancías, el estado tiene una infraestructura sólida en materia de educación y ha avanzado en el incremento del nivel educativo de la población, cuenta con 11,291 kilómetros de red carretera, 223 kilómetros de vías férreas; dos aeropuertos internacionales (Tijuana y Mexicali), cuatro puertos marítimos de los cuales destaca el puerto de Ensenada y cuenta con diversos centros de investigación con infraestructura y capacidades en áreas de interés para la industria manufacturera (CONACyT, GEBC, 2018).

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), juegan un papel importante en el desarrollo de los mercados nacionales e internacionales. En México existen alrededor de 110 millones de usuarios, lo que representa el 90% de la población, de los cuales el 74% son usuarios de teléfono móvil o Smartphone. Por su parte el 65% cuenta con acceso a internet y lo utiliza más para interactuar con el gobierno, que para pagos, compras u operaciones bancarias. Por su parte, en Baja California las principales adopciones de las TIC son: computadora (63%), internet (77%), teléfono móvil (87%),

internet mediante Smartphone (90%), compras (20%), pagos (15%), operaciones bancarias (13%) e interacción con el gobierno (24%) de manera general dentro de la población (IFT, 2018). En el 2017 la industria de las TIC en el estado estaba compuesta por un 60% de empresas de servicios y 40% de manufactura, de las cuales el 14% elaboraban el 64% del valor de producción de la industria, donde los subsectores de mayor participación son el de equipos de audio y video (29%), componentes electrónicos (17%) y computadoras y equipo periférico (10%). Mientras que el sector servicios participa con el 36% de la producción total con dos subsectores, el de operadores de telecomunicaciones inalámbricas (17%) y telecomunicaciones alámbricas (13%). Estos cinco sectores de actividad, tres de manufactura y dos de servicios concentran el 87% del calor de producción total de la industria de las TIC, que a su vez representa alrededor del 11% de la producción total de Baja California (Martínez Domínguez, 2018).

En las empresas pequeñas, la innovación en TIC encuentra distintas barreras como: escasez de recursos para I+D; escaso personal para realizar actividades de capacitación e implementación de procesos y tecnología; visión de corto plazo para los negocios; falta de capacidades para la toma de decisiones de los dueños de las empresas; temor al cambio, percibido como una amenaza a su estabilidad laboral; condiciones inadecuadas para que se efectúen los cambios; falta de recursos económicos, escaso conocimiento e infraestructura; dificultad para establecer beneficios inmediatos como incremento de ingresos y rentabilidad por el uso de la tecnología y desconfianza en sus proveedores, entre otras. Para lograr una mayor eficiencia y rentabilidad de las MIPyMES es necesario que las empresas se vinculen con asociaciones empresariales e instituciones de apoyo, para que adopten de forma integral las ventajas del uso de las TIC, sólo así reducirán los costos operativos y administrativos, realizarán la mejor toma de decisiones con la recopilación de información oportuna, y obtendrán un mejor funcionamiento en la empresa (Mejía Chávez, 2017).

Aun a pesar de que Baja California se encuentra en un nivel de crecimiento económico alto con respecto al resto del país y tener frontera geográfica con California, uno de los

estados más ricos de Estados Unidos de Norte América, la principal barrera es el complejo social que rechaza lo propio y favorece lo extranjero. Hay evidencias del desarrollo tecnológico que Universidades del estado han logrado con respecto a las TIC, aun así, la mayoría de las empresas prefiere invertir en equipos o servicios de marcas o empresas mundialmente reconocidas para no correr riesgos aún a pesar de los altos costos.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO CONVENCIONAL DE FERMENTACIÓN

2.2.1 Proceso de Fermentación

La fermentación es un proceso de oxidación incompleta, en ausencia de oxígeno, generando una sustancia orgánica en su proceso catabólico, es decir, transforma moléculas complejas en moléculas sencillas produciendo energía química a su vez. Inicia en el proceso denominado glucólisis (ruptura de la molécula de glucosa) que produce piruvato (ácido pirúvico) y que al no contar con oxígeno que reciba los electrones sobrantes del NADH (nicotin adenin dinucleótido) producido, utiliza una molécula orgánica que debe ser reducida para fungir de oxidante y así obtener un derivado del sustrato inicial (ver figura. 2). Dependiendo de dicha molécula será el tipo de fermentación producida, que podemos clasificarla en:

- Fermentación alcohólica. Producida a partir de ciertos azúcares, generando alcohol etílico (etanol), dióxido de carbono (CO₂) y ATP (energía química). Este proceso es llevado a cabo principalmente por levaduras y empleado para producir las bebidas alcohólicas.
- Fermentación acética. Transformación del alcohol etílico en ácido acético (vinagre), principalmente por bacterias del género *Acetobacter* en un proceso aeróbico.
- Fermentación láctica. consiste en la oxidación parcial de la glucosa (azúcar), llevado a cabo por bacterias lácticas o células musculares animales en ausencia de oxígeno.

- Fermentación butírica. Es llevado a cabo principalmente por bacterias del género Clostridium y requiere de lactosa para producirse, convirtiendo la glucosa en ácido butírico y gas.
- Fermentación propiónica. Para que esta fermentación se lleve a cabo deben estar involucrados el ácido acético, dióxido de carbono y ácido succínico, dando como resultado el ácido propiónico, sustancia corrosiva de olor picante, rancio o acre (como el ajo y el fósforo)

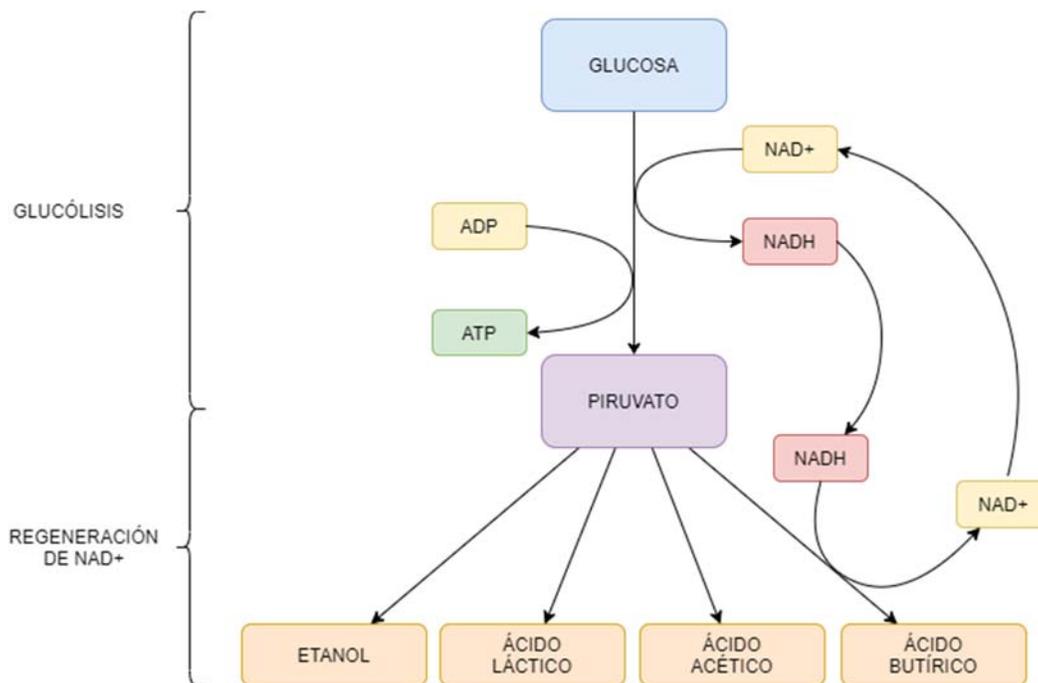


Figura 2. Diferentes procesos de fermentación iniciando desde glucólisis

Numerosas industrias sacan provecho de la fermentación para obtener diferentes productos farmacéuticos, productos de limpieza, sanitizantes, para la industria de la transformación o alimenticios principalmente. Siendo este último el de mayor mercado, ya que la producción de quesos, embutidos, encurtidos, añejamiento de carnes y las bebidas alcohólicas, son las más populares entre los consumidores del mundo. Estas fermentaciones pueden llevarse a cabo a la vez en un proceso denominado co-fermentación, es decir, mientras unas levaduras producen alcohol en la fermentación alcohólica del vino, bacterias contaminantes provenientes de la uva traída de campo, de

tanques no sanitizados apropiadamente o solo porque se encuentran en el ambiente de bodega, pueden estar produciendo a partir de la glucosa de la uva una fermentación acética, láctica o butírica. Es probable que, si tenemos un buen control de temperaturas y gestionamos la calidad de nuestras fermentaciones, estas modificaciones en el producto no serán notables, pero, aun así, no podemos evitar que se lleven a cabo en nuestro proceso.

2.2.2 Descripción del proceso convencional de producción de vino

Para la producción de vino en particular, la fermentación utilizada es la alcohólica, y aunque existen variaciones en los métodos de elaboración de los vinos a nivel mundial, en esencia comporten las mismas fases en producción, las cuales se describen a continuación:

1. Recepción de materias primas. Este proceso en particular es general en el diagrama de la empresa, es decir, no es exclusivo de la recepción de uva, ya que la recepción de materias primas conforma una gran cantidad de productos necesarios para la producción del vino. Se recibe la uva proveniente de campo, se pesa y se registra la temperatura y los grados de azúcar que contiene.
2. Estrujado, maceración, fermentación y prensado. Los racimos pasan a través de la despalilladora donde el raspón (parte verde de la uva) es separado de la baya para ser estrujada y transportada al tanque de fermentación mediante una bomba de sólidos. En este tanque pasará los siguientes 1 a 5 días macerándose para posteriormente iniciar la fermentación alcohólica al agregársele la levadura seleccionada para este proceso. Los siguientes 15 a 25 días que dura esta etapa, son cruciales en el resultado del vino, ya que deben controlarse los parámetros de temperatura en todo momento y evitar que la fermentación se salga de control. Una vez transcurrida la fermentación alcohólica, los sólidos son separados del líquido y llevados a la prensa para ser exprimidos y aumentar el rendimiento de producción.
3. Des acidificación Malo-Láctica. Comúnmente llamada Fermentación Malo-Láctica, no es propiamente una fermentación sino una des acidificación del vino, es la

transformación del ácido málico en ácido láctico producto del metabolismo de un microorganismo del género *Oenococcus*, el cual es agregado al tanque una vez que ha sido prensado el vino, el más utilizado es el *Oenococcus oeni*. Este proceso se lleva a cabo en tanque principalmente (aunque algunas vinícolas lo hacen en barrica), la fase dura entre 20 y 35 días tiempo en el cual el vino permanece en reposo sin movimiento alguno ni intervención por parte del personal de bodega.

4. Crianza en Barrica o Tanque. La crianza es un periodo de reposo que se le da al vino ya sea en tanque o en barrica, para que continúe su catálisis bioquímica y se estabilice. En esta etapa se agrega madera, en el caso del tanque, o es guardado en barricas de madera por un tiempo determinado. El vino puede tener crianza o prescindir de ella, será decisión del enólogo basado en el resultado que desee obtener, esta etapa es la más larga de todo el proceso, puede tomar de 6 a 18 meses y en algunos casos llegar a los 24 meses.
5. Homogenización, clarificado y filtrado de vino. Una vez terminado, ya sea si paso por crianza o no, el vino debe ser preparado para condicionamiento en botella. Para ello, debe pasar por tres etapas: 1) Homogenización, esta etapa aplica solo en dos circunstancias del proceso, si el vino es mezcla de lotes de producción o si es mezcla de variedades de uva (comúnmente llamada Blend o Coupage), esto con previa prueba de mezclas en laboratorio. 2) Clarificación, una vez que se cuenta con la mezcla deseada, se procede a clarificar el vino bajando la temperatura y agregando algún agente clarificante de origen natural o químico para que todos los sólidos sedimentables precipiten y sea más fácil su filtración. La idea detrás de la bajada de temperatura es para que los compuestos como sales orgánicas, minerales, moléculas de color, entre otros, formen núcleos de cristalización y puedan precipitar con el resto de los lodos. El tiempo aproximado para que esto se lleve a cabo puede ser de días o incluso semanas, durante todo este tiempo el vino permanece en tanque a temperaturas bajo cero. Y finalmente 3) Filtración, el vino clarificado es trasegado a otro tanque pasando por un filtro de placas, filtro de membrana o filtro tangencial, según sea el caso. Puede ser filtrado en varias ocasiones según las especificaciones del enólogo basado en el resultado deseado.

6. Embotellado, etiquetado y embalado. Antes de ser embotellado, el vino es analizado en laboratorio para determinar sus características químicas y si estas cumplen con los requerimientos de calidad, a su vez se le agrega metabisulfito de ser necesario para ayudar a su conservación. En el Embotellado, el vino entra a la maquina mediante el uso de una bomba para líquidos en la mayoría de los casos, o por gravedad, siempre y cuando el nivel de tanque este por encima del nivel de la máquina. Se alimenta de botellas por uno de los costados, la maquina limpia las botellas con una solución de agua y metabisulfito, se llena y coloca el corcho de forma automática. El Etiquetado puede ser manual o automático, dependerá del vino y como fue diseñado su proceso, ya que si se decide tener crianza en botella se opta por no etiquetar, debido a que existe una alta probabilidad de que la etiqueta se estropee por las condiciones de humedad en la cava. Por último, en el Embalado las botellas etiquetadas son colocadas en cajas de cartón y entarimadas para su almacenamiento y próxima expedición.
7. Crianza en botella. Si se decidió por crianza en botella, esta permanecerá en cava por un periodo no menor a 3 meses, donde sus componentes químicos se estabilizarán, suavizando el vino de manera natural.
8. Expedición a bodega. Las tarimas de cajas embaladas son transportadas a una bodega externa para su almacenamiento y expedición a distribuidores o clientes finales.
9. Cliente. Al recibir un pedido, el departamento de ventas y cobranza envía el vino por paquetería a su destinatario.

2.2.3 Capacidad de producción de Concierto Enológico

La Vitivinícola Concierto Enológico, es considerada una empresa de capacidad mediana con respecto al resto de las bodegas del Valle de Guadalupe, teniendo una producción anual de 8,000 cajas de vino de 12 botellas cada una. Cuenta con cinco etiquetas base, Allegro (vino blanco), Obertura (tinto joven), Pauta (tinto joven), Forza (vino crianza) y Concierto (vino reserva), produciendo también algunos lotes especiales con su etiqueta Gran Concierto, de la cual se producen menos de 50 cajas anuales.

Para la capacidad antes mencionada es necesario contar con la cantidad de tanques suficientes para su procesamiento. En promedio se necesitan aproximadamente 1.5 kilogramos de uva para producir un litro de vino, para producir la misma cantidad cada año la vinícola procesa alrededor de 108 toneladas de uva, distribuidas en diez tanques. Estos tanques solo pueden llenarse al 80% de su capacidad total debido a que al iniciar la fermentación la cascara flota en la superficie del jugo, si se llenara al máximo, el mosto se desbordaría generando desperdicio de uva y problemas de fermentación y producción.

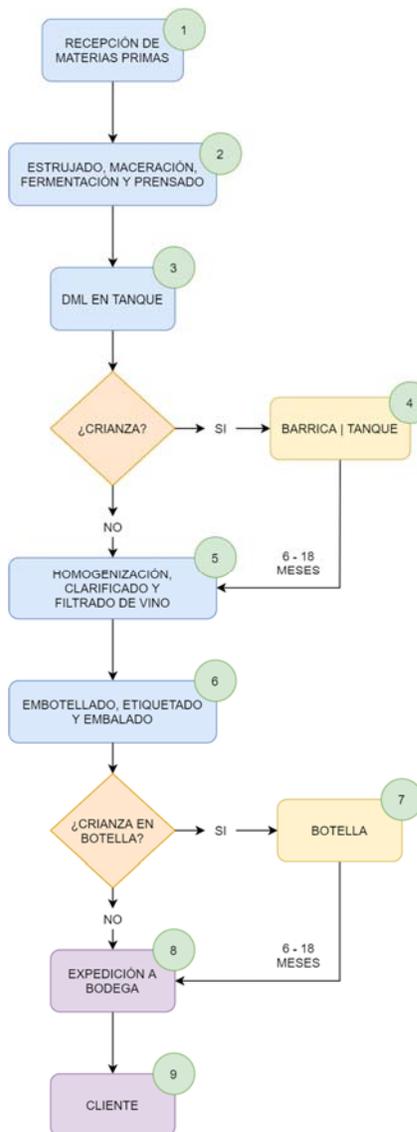


Figura 3. Diagrama general del proceso de producción de vino tinto

2.3 DEFINICIONES DE INNOVACIÓN DE PROCESO Y PRODUCTO

2.3.1 Proceso de innovación

El proceso de innovación suele representarse a través del Embudo de Innovación (ver figura. 4), existen diferentes maneras de representarlo, aunque la filosofía es siempre la misma. Primero se plantea el reto, luego generamos el mayor número de ideas posibles y las introducimos en el embudo, estas ideas pasan una serie de filtros racionales, algunas se descartan y otras siguen adelante, en cada etapa se va concretando el proyecto pasando de idea a concepto, de concepto a plan y de plan a proyecto, finalmente si la idea pasa todos los filtros, recibe luz verde y se pone en marcha generando una Innovación (Janse, B., 2019). Aunque este método lleva años funcionando en muchas empresas, parece más un proceso diseñado para frenar las ideas diferentes y evitar riesgos que para desarrollar y generar ideas rompedoras y transformarlas en proyectos de innovación, en consecuencia, este método no suele llevar a innovaciones disruptivas. Encerrar una idea dentro del embudo y sacarla al final del proceso no suele fomentar la innovación, el embudo no permite sacar pronto la idea para probarla ni fallar para aprender y mejorar (Inteligencia Creativa, 2015).

Para innovar es necesario un modelo progresivo donde la idea pueda ir escalando etapas para evolucionar en cada una de ellas, así para pasar de un reto a una innovación tenemos que recorrer dos fases, el pensamiento creativo que nos lleva del reto a proyectos de innovación por explorar y la gestión de proyectos de innovación que consiste en implementarlos para transformar algunos de ellos en innovación. Cada una de estas dos fases requiere sistemáticas y habilidades diferentes. En el pensamiento creativo (fase uno) se busca redefinir el reto, generar preguntas que lo ataquen desde otros puntos de vista, la mejor manera de generar nuevas respuestas es formular nuevas preguntas, entre las preguntas generadas seleccionamos las más nuevas y estimulantes, sobre estas preguntas con la ayuda de técnicas intuitivas y racionales abrimos una fase de divergencia (fase dos) donde aplazamos el juicio para conseguir una gran cantidad de ideas, empezamos la fase de convergencia incorporando el juicio de manera progresiva evitando filtros como factibilidad o rentabilidad para que las ideas más rompedoras no se

descarten desde el inicio, por lo tanto, nos quedamos con las ideas más potentes y no con las más factibles para a continuación pulirlas y así concretarlas, probar, corregir sus principales puntos débiles sin perder su esencia y destacar sus puntos fuertes. Al final terminamos este proceso pensando en cómo vender la idea para su aceptación, tratando de definir una prueba para que se lleve a cabo (Inteligencia Creativa, 2015).

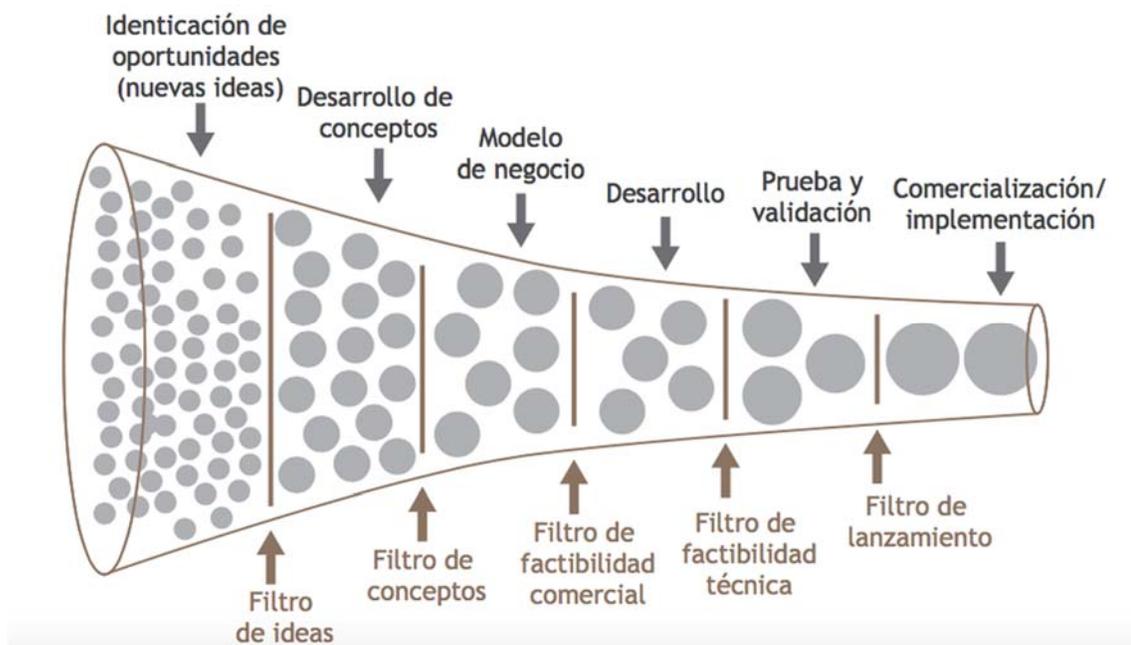


Figura 4. Proceso de gestión de las ideas en el embudo de innovación.

2.3.2 Tipos de Innovación

Estamos acostumbrados a que surjan novedades tecnológicas día a día que irrumpen en nuestras vidas, incluso antes de tener la necesidad. Toda esta tecnología la intentamos trasladar a las empresas, apostando por la innovación y el diseño dentro de nuestras organizaciones, esto nos lleva a gastar dinero, tiempo y esfuerzo para mejorar nuestro producto ya que es totalmente necesario en la actualidad para poder llamar la atención del cliente y elija nuestro producto (Stage-Gate International, 2019). En ocasiones las empresas en lugar de innovar en todos los niveles o procesos se enfocan en un tipo específico de innovación y toman decisiones estratégicas para conseguir resultados de manera más efectiva, es decir, no solo implica la creación de nuevos productos y servicios, está relacionado directamente con la forma de hacer las cosas. En este

contexto la innovación se clasifica en cuatro tipos principales: Innovación de productos y servicios (introducción en el mercado de un producto o servicio nuevo o mejorado). Innovación de procesos (la implementación de nuevos procesos o modificación de los existentes ya sea de fabricación, logística o distribución). Innovación organizacional (implementación de nuevos métodos en la organización del trabajo o la relación de la empresa con el exterior). Innovación de marketing (nuevos métodos de mercadotecnia, como mejora en el diseño estético de un producto o embalaje, precio, distribución y promoción). En ocasiones se suelen agrupar estas dos últimas como Innovación de la gestión (Cámara de Comercio de España, s.f.).

2.3.3 Innovación de Producto o Servicio

Cuando las personas piensan en innovación, comúnmente viene a la mente la innovación de productos, buscando desarrollar nuevos, lograr mejorar el rendimiento existente o agregar una nueva característica al que ya está siendo comercializado. La innovación de producto es impulsada por requisitos del cliente o rediseño de productos obsoletos creando avances tecnológicos, este tipo de innovación es generalmente visible para el cliente y en la mayoría de los casos da lugar a un incremento en la demanda del producto (EAE Business School, 2020) esto incluye modificaciones en las características técnicas, componentes, materiales, software actualizado o nuevo. En una innovación de producto tradicional el diseño lo realizan profesionales especializados que posteriormente serán prototipados y validados. A lo largo de todo su ciclo de vida el producto entra en contacto con muchas personas que lo prueban, lo fabrican, lo transportan, lo venden y lo usan, conociéndolo mejor que quienes lo diseñaron, si habláramos con todos ellos recogeríamos ideas muy interesantes de cómo mejorar el producto. El avance de la tecnología lo permite, logrando que un equipo de personas trabaje de forma colaborativa compartiendo información en tiempo real, así, las personas involucradas en el proyecto pueden tener acceso a la información en el momento que gusten para poder generar modificaciones o adecuaciones en el diseño del producto, este proceso puede alargar el tiempo de diseño, pero ayuda a la mejora del producto antes de la fase del prototipado, reduciendo los costos (Kyocera., 2019).



Figura 5. Diagrama de innovación de producto

Mediante la innovación de productos se busca lograr una diferenciación de la competencia, al tratarse de productos nuevos se presentan características fundamentales distintas a las de los productos ya existentes, tanto para la empresa como para el mercado, la idea es fabricar o comercializar nuevos productos o servicios con los que no se había trabajado hasta el momento, una opción es trabajar con productos o servicios desconocidos o poco habituales en el ámbito geográfico donde está presente la empresa. Al reposicionar productos, la innovación constituye un cambio en la imagen con el objetivo de modificar la percepción del cliente, mientras que cuando se trata de rediseñar los productos, la innovación consiste en introducir pequeñas modificaciones en lo que se les ofrece a los clientes, sin cambiar el producto en sí. Se puede ofrecer algún bien complementario. Un ejemplo de ello es la compañía Apple y su producto iPhone, en el año 2007 cuando surgió por primera vez, fue una innovación de producto, no existía nada igual o similar, lo que ayudó a que la compañía ganara un mercado de tecnología que había sido ignorado por sus competidores e incluso compañías telefónicas, generando una innovación dentro de la computación móvil. Sin embargo, en la actualidad, el mercado está inundado de smartphones capaces de competir con esta marca y en rendimiento con una PC portátil básica e incluso de uso medio, por lo que la innovación actual de esta y otras compañías se centra en la adición de nuevas características

técnicas o de software, así como la mejora constante en el rendimiento de estos (ESAN Graduate School of Business., 2016).

2.3.4 Innovación de Procesos

Por otro lado, la innovación de procesos se identifica como *"la definición de nuevos procesos o la mejora de los existentes encaminada a incrementar el nivel de eficiencia de la empresa"* (De Oslo, M., 2005). Por tanto, se trata de introducir mejoras significativas en los procedimientos para sistematizar tareas y modificar la manera de interactuar entre proveedores-empresa-cliente, implica tener la capacidad de mejorar y modificar cómo se organiza la empresa e impacta directamente en el funcionamiento de esta. Para poder llevar a cabo una innovación de procesos y rediseñar nuestra forma de trabajar se debe tener en cuenta primero las opiniones del cliente, proveedores, personal y sobre todo también estudiar los procesos de la compañía, quiénes los llevan a cabo y como interactúan entre ellos, hasta implantar un sistema de formación continua donde necesariamente hay que analizar los flujos de trabajo de la organización (Giménez, A., 2018).

La innovación de procesos no busca un cambio radical, sino tratar de modificar aquellas tareas que pueden realizarse con una mayor eficiencia, mejorando la adaptación y la flexibilidad ante nuevos retos, entendiendo los procesos existentes y reconociendo los agentes de cambio. Además de ahorrar tiempo, reducir costos y automatizar los sistemas de la empresa, la figura. 6 muestra el ciclo de innovación de procesos. El ejemplo más citado es el de Toyota, el fabricante nipón de automóviles comenzó a innovar en producto hasta que ya había perfeccionado su proceso, la empresa apostó por que las cosas se debían hacer de una forma distinta, total y continua. Su filosofía se basa en reducir todo aquello que no aporta valor o que es un desperdicio, a este principio le denominan Calidad Jidoka y garantiza que los problemas no tengan repercusión sobre la cadena de un puesto a otro, deteniendo el trabajo en cuanto surge un problema, a fin de evitar la producción de elementos defectuosos.

Otro ejemplo de innovación de proceso es Ikea, este productor de muebles prefabricados ha adaptado sus productos a la manera moderna de vivir, ha innovado en su funcionalidad y en el proceso de venta que ofrece al consumidor, el cliente es el que lleva a cabo todo el trabajo, primero debemos medir el espacio para colocar el mueble, escoger el producto, ir a buscarlo al almacén, transportarlo y además montarlo. Gracias a la innovación en el proceso de venta, el cliente absorbe los costos de asesoramiento, logística y montaje, al reducirse estos, la empresa puede ofrecer precios muy competitivos (Pacheco, J., 2017).



Figura 6. Ciclo de innovación de proceso.

2.4 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA

2.4.1 Tecnologías para el monitoreo de la producción de vino

En la actualidad existen diferentes tecnologías para el monitoreo en la elaboración de vino (ver tabla. 3). Sistemas ya estandarizados para la gestión de los procesos de producción la mayoría de ellos, controlan actividades como: Seguimiento de análisis de productos, libros de bodega, registros históricos para el seguimiento de sistemas de calidad, configuración de los impuestos, controlar las prácticas enológicas y asignar actividades por usuario con notificaciones, gestión de crianza en barricas, embotellado, procesos de vinificación y gestión de mermas, entre otras. Pero muy pocos, monitorean y registran datos provenientes del producto en sí, es decir, temperatura, acidez, azúcar, CO₂, etc., este tipo de sistemas son construidos a medida por las empresas dependiendo de sus necesidades. Estos sistemas terminan siendo costosos y difícilmente una micro o mediana empresa puede adquirirlos.

Tabla 3. Descripción de sistemas para el seguimiento de la producción de vino.

SISTEMA		DESCRIPCIÓN
	AMS	Es un software modular que incluye administración de viñedos, club de vinos, inventario, almacenamiento, procesamiento de pedidos, análisis, contabilidad, etc.
	GreatVines	Es una plataforma de ejecución de ventas de nivel empresarial para proveedores, distribuidores y agencias de promoción de bebidas. Desarrollado por Salesforce, ayuda a administrar las relaciones de cuentas de 3 niveles, planificar las actividades de ventas adecuadas, crear objetivos más inteligentes para el crecimiento y monitorear el gasto comercial y los programas de marketing.
	Wine Management Systems	Es una solución de software de gestión entregada como un servicio y creada específicamente para el pequeño y mediano productor de vino.
	Ekos	Líder en software de gestión empresarial para productores artesanales de cerveza, vino y sidra, para administrar sus operaciones diarias en inventario, producción, ventas y contabilidad. Está diseñado y construido para ayudar a organizar y operar negocios artesanales de

		manera más eficiente y rentable, brindando información que no está disponible en hojas de cálculo y métodos tradicionales.
	InnoVint	Es un software de producción de vino basado en la nube que permite la entrada de datos en tiempo real mediante dispositivos móviles. Esta plataforma es intuitiva, flexible y modela cada paso del proceso de elaboración del vino.
	Amphora	Es una poderosa aplicación de producción de bodegas que se utiliza para rastrear y administrar el proceso de elaboración del vino o la elaboración de cerveza.
	eVineyard	Ayuda a los viticultores, administradores de viñedos y bodegas a realizar un seguimiento de las actividades de trabajo del viñedo, monitorear el microclima en el viñedo, analizar datos y brindar consejos precisos para la fumigación a tiempo y la optimización del riego, para cultivar uvas de mejor calidad con menos recursos.
	EzyWine	Agiliza todos los procedimientos de la bodega en un paquete integral que puede ser utilizado fácilmente por todos los usuarios.
	Process2Wine	Es un software móvil y basado en la nube diseñado exclusivamente para que las bodegas planifiquen, administren y registren las tareas diarias desde la vid hasta la botella.
	TankNET	Es una solución modular de gestión de fermentación y control de bodegas que proporciona herramientas de navegación de bodegas, mapeo de bodegas y control de tanques.
	VineInfo	Proporciona una serie de herramientas de planificación integradas. Estas herramientas incluyen planes agrícolas, presupuestos y programas de actividades para cada uno de los bloques de su viñedo.
	Vinelytics	Permite construir las propiedades del viñedo y luego rastrear los datos estadísticos hasta el lote, la fila o la vid, para obtener información sobre la humedad del suelo, la temperatura, la humedad relativa, el viento y relacione esos datos directamente en sus propiedades en tiempo real a través de nuestro registrador de datos celular en el campo.

	<p>VinoTrac</p>	<p>Está diseñado para ingresar sus notas de producción rápida y fácilmente, lo que le deja tiempo para concentrarse en su vino.</p>
	<p>Vintegrate Winemaking</p>	<p>Proporciona las herramientas que necesita para dirigir y administrar la actividad de elaboración del vino, realizar un seguimiento de la producción, cumplir con los estándares regulatorios, conocer los costos de vinificación en tiempo real y automatizar las funciones de rutina para mejorar la productividad y reducir los costos.</p>
	<p>VinWizard</p>	<p>Es un sistema de control y monitoreo de bodegas basado en la web que combina componentes de hardware y software.</p>
	<p>Vitipad</p>	<p>Gestiona todas las partes de la producción de vino, análisis de laboratorio y otros para realizar un seguimiento de las tareas de los trabajadores.</p>
	<p>WineMS</p>	<p>Es una solución de gestión de bodegas que permite la gestión empresarial de la bodega desde el viñedo hasta la botella. selección entre módulos de ingesta de uva, gestión de vino a granel y embotellado. Administración de ranchos que incluyen administración de lotes, actividades, programas de fumigación, administración de costos, análisis y planificación.</p>

2.4.2 Tecnologías para análisis de vino

Los avances tecnológicos en materia de análisis de vino en la actualidad son incuantificables, cada día surgen nuevos aparatos para la valoración de parámetros en alimentos, algunos son aplicables a la producción de bebidas fermentadas. Estas herramientas de análisis se dividen en 4 grupos principalmente: la cristalería para análisis (ver figura. 5a), atiende a un tipo específico de análisis, la ventaja principal es su bajo costo de adquisición, su desventaja es que se necesita un técnico superior universitario o licenciado en área de ciencias para poder utilizarlo; equipos semi automáticos de análisis químico (ver figura. 5b), estos requieren un grado de preparación de técnico, técnico superior o licenciado, para su utilización, a gran ventaja en su uso es la rápida lectura de los resultados, ya que están o pueden ser calibrados bajo las necesidades específicas del analista; equipos semi automáticos de análisis bioquímico (ver figura. 5c),

pueden ser utilizados por personas sin conocimiento técnico solo con previa capacitación, es más exacto en sus mediciones que los dos anteriores, su desventaja principal es el elevado costo de los reactivos enzimáticos para correr los análisis.; por último, los equipos espectrofotométricos (ver figura. 5d), estos equipos en particular son los más costosos, exactos y fáciles de usar, solo se calibran una vez, máximo dos anualmente, no usan reactivos químicos y se actualizan de manera remota vía internet, todos los datos son almacenados en una base de datos en una computadora para ser consultados en cualquier momento.



Figura 7. a) Cristalería para análisis en laboratorio, b) HACH TitraLab T1000, c) CDR WINELab, d) OEnoFoss Wine Scan

2.4.3 Sistemas Raspberry Pi

Pocas bodegas requieren de la alta capacidad de E/S y complejos de los complejos requisitos de funcionalidad de los controladores lógicos programables (PLC). Si bien están disponibles versiones reducidas de los PLC, los diseñadores de sistemas de control de procesos ahora también tienen la opción de elegir entre una variedad de soluciones de hardware y software de código abierto de bajo costo para un control y una supervisión industriales eficaces. Un ejemplo de tal solución es la Raspberry Pi 3 de la Fundación Raspberry Pi y sus placas adicionales asociadas. Para muchas operaciones más pequeñas, la plataforma Raspberry Pi 3 ofrece una solución de bajo costo con capacidades de rendimiento sustanciales. Plenamente capaz de manejar tareas de automatización industriales dedicadas, esta placa combina un procesador Broadcom ARM® Cortex® basado en A53, 1 GB de RAM, interfaces digitales, Wi-Fi y conectividad Bluetooth. El procesador en sí es un dispositivo de sistemas en chip (SoC) de alto rendimiento que integra una unidad central de procesamiento ARM Cortex-A53 de cuatro núcleos con 512 KB de caché L2 y 54 GPIO (entradas y salidas de uso general) organizadas en tres bancos.

Cada GPIO individual admite de forma variada al menos dos y hasta seis funciones alternativas, incluidos moduladores de pulso, relojes e interfaces en serie. Los desarrolladores pueden usar cualquier GPIO no asignada como líneas de interrupción, entradas o salidas capaces de suministrar hasta 16 miliamperios (mA) (hasta un total de 50 mA por banco de GPIO). La Raspberry Pi 3 está diseñada para hacer que el desarrollo incorporado sea lo suficientemente simple para principiantes, pero lo suficientemente potente como para satisfacer las necesidades de desarrolladores experimentados con requisitos de procesamiento más complejos y potentes.

Más allá de su rendimiento y facilidad de desarrollo, el enfoque simplificado de Raspberry Pi para ampliar su funcionalidad la hace adecuada para los diversos requisitos de las aplicaciones de automatización industrial. Para agregar capacidades de hardware, los desarrolladores solo necesitan enchufar una placa adicional llamada HAT (hardware

conectado en la parte superior) de la placa. Como resultado, los desarrolladores pueden actualizar instantáneamente su sistema Raspberry Pi para aplicaciones industriales simplemente conectando la HAT de automatización PIM213 de Pimoroni.

Algunos ejemplos de la aplicación de estos sistemas son llevados a cabo por la compañía Temboo con sede en EEUU, que van desde estaciones de almacenamiento de hidrógeno hasta panaderías. Este último fue el caso de panadería Zaro en el Bronx, Nueva York, donde se encontró un problema en los congeladores, provocando pérdidas por miles de dólares en productos dejándolos fuera de servicio por un día completo. Se configuró una aplicación comercial de IoT de monitoreo de temperatura utilizando una Raspberry Pi, su sistema Kosmos IoT y sensores inalámbricos de NCD para recibir alertas cuando la temperatura saliera de los rangos establecidos. Adicionalmente se simplificó su contenido al importar automáticamente las lecturas a una hoja de cálculo, ahorrando tiempo a los empleados para tomar manualmente la temperatura del congelador durante todo el día.

Otro ejemplo del uso de Raspberry Pi en la industria es el ya conocido clasificador de pepinos espinosos utilizando la biblioteca de machine learning TensorFlow. Esta aplicación de Makoto Koike se llevó a cabo en una granja japonesa, ahorrando a los agricultores de ocho a nueve horas de trabajo diarias. Una cámara controlada por el Raspberry Pi toma fotos los pepinos, se ejecuta una red neuronal en TensorFlow para reconocimiento de imágenes, se reenvían las imágenes a un servidor para una clasificación detallada para posteriormente la máquina catalogue los pepinos con base a los más rectos, coloridos, grandes, etc.

En 2017, Esperanza García Martínez de la Universidad Politécnica de Valencia, describe en su trabajo Desarrollo de un controlador PID industrial de bajo coste mediante Raspberry Pi para control de temperatura, una manera detallada de crear una alternativa más económica y con una interfaz de usuario más completa y gráfica que los PIDs industriales convencionales. Permittedose a través de ésta diferentes opciones para la configuración del controlador al igual que de los sensores utilizados, proporcionando el

seguimiento en tiempo real del proceso y el control, y ofreciendo facilidades al cliente, como el diseño automático de controladores a partir del modelo del proceso. Este sistema fue aplicado a controlar la temperatura en un horno de secado de piezas, dando un resultado satisfactorio en el seguimiento en tiempo real y la configuración de todos los parámetros del controlador a través de la interfaz diseñada (ver figura. 8).

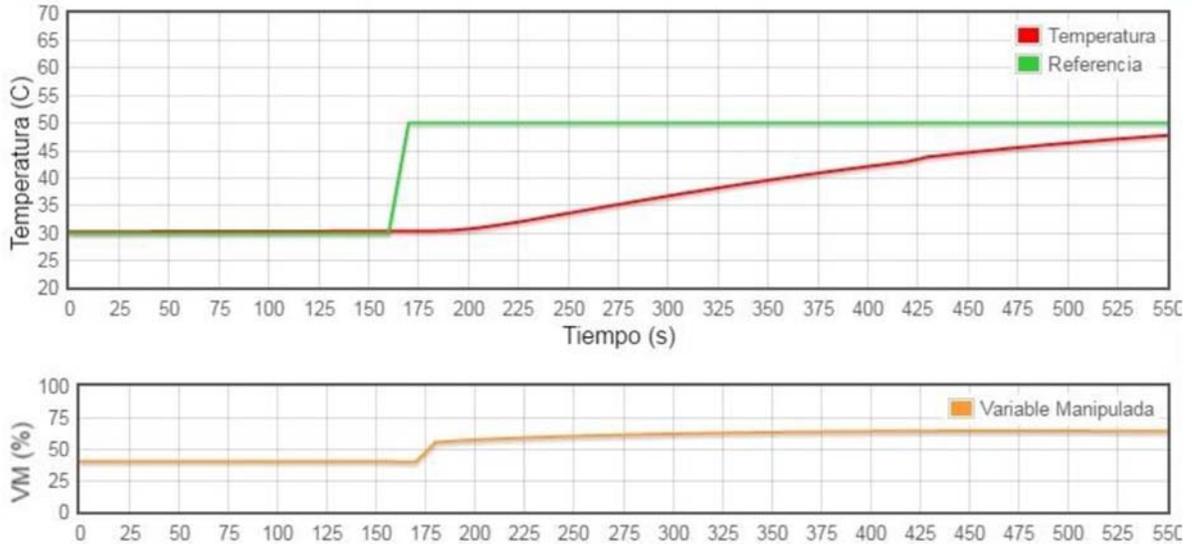


Figura 8. Ejemplo del controlador de temperatura al aplicar un ajuste en el cambio de referencia.

2.5 ADQUISICIÓN DE TIC'S

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son todos aquellos recursos, herramientas y programas que se utilizan para procesar, administrar y compartir la información mediante diversos soportes tecnológicos, tales como: computadoras, teléfonos móviles, televisores, reproductores portátiles de audio y video o consolas de juego. Entre las virtudes de las TIC se destacan: mayor velocidad, capacidad y distribución de la información permiten que usuarios de distintas partes del planeta pueden conectarse usando computadores y otros aparatos especializados, para comunicarse de múltiples maneras y emprender diversas transacciones como comprar y vender objetos e información, compartir datos personales, conversar en tiempo real, incluso jugar videojuegos en línea aún sin hablar el mismo idioma. Actualmente el papel de las TIC en la sociedad es muy importante ya que ofrecen muchos servicios como: correo electrónico, búsqueda de información, banca online, descarga de música y cine, comercio electrónico, etc.

Las TIC también han contribuido en ámbitos tan complejos como la ciencia y la industria de la transformación, en los últimos diez años, el número de empresas que han adoptado estas tecnologías han ido en aumento, así como las empresas que ofrecen sus productos y servicios para la gestión y manejo de los procesos administrativos o de producción. La industria vitivinícola mundial no ha sido la excepción, gracias a los tratados de libre comercio existentes entre México - Estados Unidos y México - Unión Europea, la adquisición de estos productos o servicios está limitada solo por el costo de implementación o el costo del producto como tal, en la tabla. 4 se muestra una comparativa de los programas de computadora más utilizados en la industria del vino para control de procesos, equipo de análisis y monitoreo, contra los parámetros de factibilidad del proyecto.

Tabla 4. Comparativa de los programas de computadora más utilizados en la industria del vino para control de procesos, equipo de análisis y monitoreo.

	Conectividad	Interfaz gráfica personalizable	Alojamiento en la nube	Datos en tiempo real	Trazabilidad de producto	Escalable	Posibilidad de monitoreo de datos	Temperatura	pH	Azúcar	Acidez	SO2	CO2	Otros	Posibilidad de conexión inalámbrica	Material grado alimenticio	Acoplable a tanque
SOFTWARE DE CONTROL																	
Amphora	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Diagrama Software	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
EuroVin	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
InduSoft Web studio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
openSCADA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Open Automation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
LabVIEW	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CANopen for LabVIEW	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Progera Movicon	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EQUIPO DE CONTROL																	
Nichicawa Industrial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EQUIPO PARA ANALISIS																	
HACH TitraLab AT1000	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
HANNA	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
CDR WineLab	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
OenoFoss	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗

Estos sistemas a menudo cumplen con los requerimientos de trazabilidad, generación de reportes, contabilidad, gestión de la calidad, etc., pero no están conectados a una infraestructura de monitoreo. Progera Movicon por ejemplo, cumple con los criterios de conectividad, interfaz personalizable, alojamiento en la nube, consulta de datos en tiempo real, trazabilidad del producto, es escalable a cualquier tamaño de empresa, tiene la posibilidad de monitoreo de datos y conexión inalámbrica, a simple vista parece ser el mejor sistema para implementar en la empresa, el programa que Progera ofrece es el más versátil del mercado ya que se adapta a una gran variedad de marcas de sensores

y equipo de control y cuenta con bibliotecas descargables para hacer los ajustes al programa, sin embargo la limitante es que la empresa no se hace cargo de la parte técnica de infraestructura, es decir, solo venden el programa de control y gestión, para poder implementarlo es necesario contratar a una empresa externa que diseñe e instale el sistema para la automatización del proceso. Nishikawa Industrial es una de ellas, con sede en Ensenada, Baja California, esta empresa se dedica al diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de equipos de control para la industria de los alimentos, principalmente las empresas pesqueras y producción de cárnicos, su división denominada ProTérmica, es la encargada del diseño de sistemas de control y enfriamiento, al igual que la construcción de tanques de fermentación y/o almacenamiento de líquidos. Esta empresa construye sus sistemas basados en el software de control LabVIEW, una herramienta que permite crear aplicaciones a medida con bibliotecas de control para diferentes dispositivos, con ello se controlan bombas de flujo, termopares y válvulas para control de temperaturas en tanques, es posible monitorear todo el proceso agregando sensores en las etapas y equipos que se requieran, la única limitante para estos sistemas es el presupuesto.

CAPÍTULO 3. TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

Para poder llevar a cabo una innovación de proceso o por lo menos hacer una modificación considerable en el mismo, es necesario conocerlo por completo. Para ello se evaluó, gracias a la empresa, el tiempo de cada una de las etapas y los pasos que estas llevan para pasar a la siguiente, una vez teniendo estos tiempos, se tomaron solo los de las etapas de interés para el proyecto las cuales se describen a continuación.

Dentro del proceso de producción de vino el subproceso de estrujado, maceración, fermentación y prensado (ver figura. 9) es el que define las características principales del producto final, ya que es aquí donde se llevan a cabo sus principales transformaciones. Al llegar la uva a bodega es pesada y se toma una muestra de uva de cada caja para llevar al laboratorio y analizar, este proceso suele tomar de 5 - 30 min, lo que puede considerarse un retraso en el proceso de producción, en este punto tenemos los primeros datos de nuestra materia prima.

3.1.1 Maceración

Después de ser despallada (ver figura. 10a y 10b) la uva es transportada al tanque para empezar el proceso de Maceración (2.3), que consiste en mantener la uva estrujada en el tanque a temperaturas menores a 10 °C durante un periodo de tiempo determinado para extraer aromas, color y cuerpo de la uva. Durante esta etapa, los componentes de la uva se separan, la semilla precipita al fondo del tanque y la cascara flota en la superficie del jugo, al pasar esto, el mosto corre peligro de echarse a perder debido a que la cascara pierde humedad al estar flotando, para evitar esto se conecta una bomba en una de las válvulas en la parte inferior del tanque y se recircula el líquido por la parte superior usando una manguera (ver figura. 10c y 10d), logrando que el sombrero (cascara flotante compacta) se humedezca de nuevo para de esta manera extraer algunos de los componentes de la uva por contacto con el jugo; esta etapa puede durar días o semanas

dependiendo del resultado esperado y durante todo ese tiempo el monitoreo y control de temperatura debe ser constante, debido a que si llegara a incrementarse la temperatura del mosto iniciaría la fermentación causada por las levaduras nativas provenientes de la uva y el viñedo. Por ello, contar con un sistema de control de temperaturas automatizado se vuelve crucial para el monitoreo de la calidad del producto.

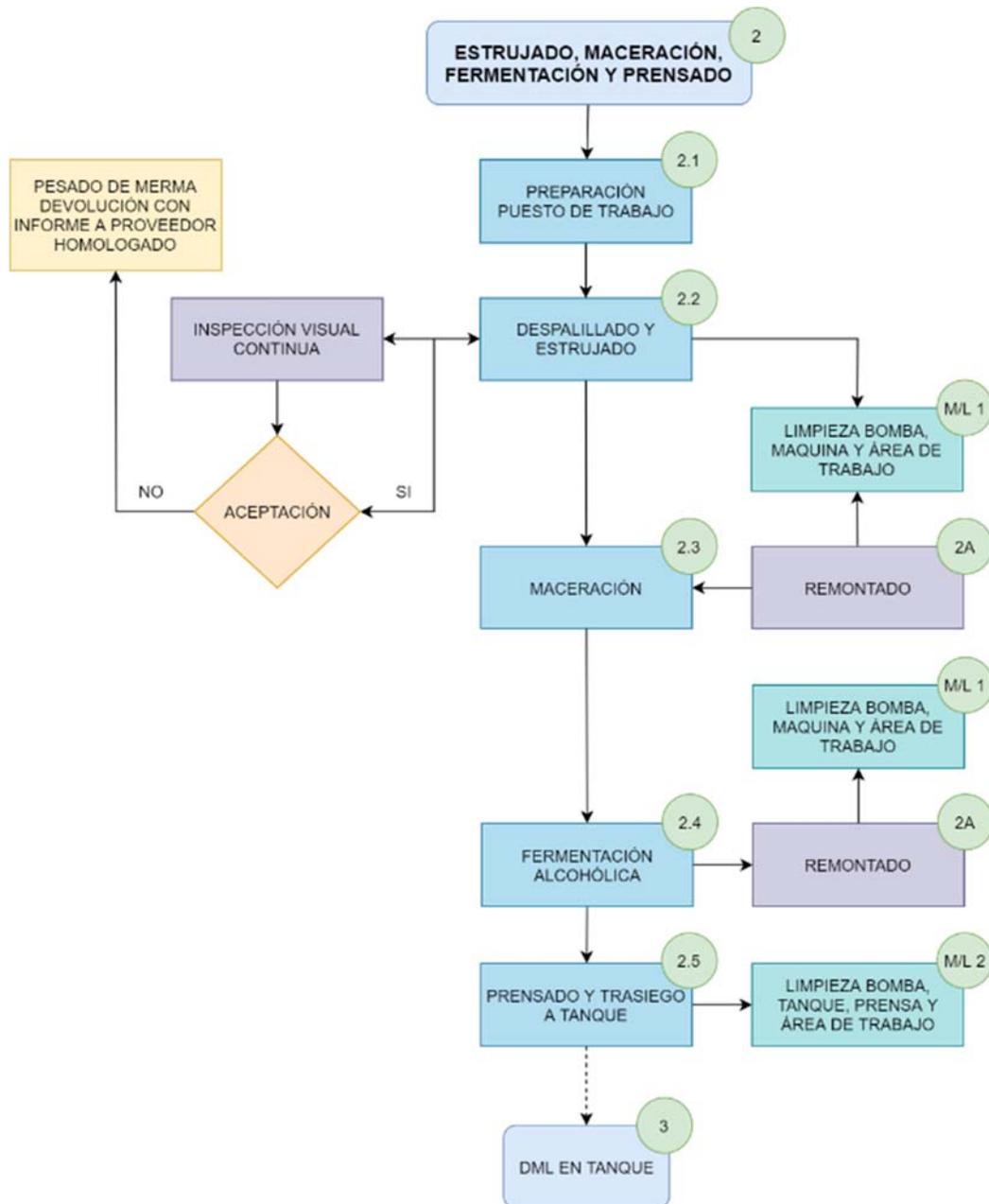


Figura 9. Diagrama general del subproceso de Estrujado, Maceración, Fermentación y Prensado



a)



b)



c)



d)

Figura 10. a y b) Despalillado y estrujado de uva. c y d) Remontado manual del mosto.

Para fines prácticos el dato promedio tomado para esta etapa fue de cinco días, llevando a cabo remontados dos veces al día de diez minutos por tanque por turno de remontado (ver tabla 5). Sin importar si el proceso es artesanal o industrial, el remontado de vino tiene el mismo principio, extraer jugo del fondo del tanque y regresarlo por la parte superior para mantener húmedo el “sombrero”.

3.1.2 Fermentación alcohólica

Esta etapa (2.4) inicia al agregársele la levadura al mosto (ver figura. 11a), pero antes de hacerlo se mide la cantidad de azúcar con un densímetro (ver figura. 11b y 11c) y se

anota en la bitácora (ver figura. 12), esta levadura es seleccionada según el tipo y variedad de la uva y sobre todo el perfil gustativo que se desea para el vino, a continuación, se aumenta la temperatura entre 18 - 28 °C ya que es el rango óptimo para que la levadura se reproduzca, durante los siguientes 15 - 30 días consumirá el azúcar reduciendo la densidad del mosto. Durante este periodo de tiempo, se debe remontar el mosto dos veces al día para extraer la mayor concentración posible de compuestos de la uva hasta que el nivel de azúcar llegue a cero. Para este proyecto en particular se tomó como base una bodega con capacidad de ocho tanques de cinco mil litros, los datos proporcionados por la empresa están recogidos en la tabla. 5. Su método de remontado es llevado a cabo por el operador dos veces al día durante 20 min, con una bomba de impelente flexible, la cual es usada en todos los tanques pasando uno después de otro una vez transcurrido el tiempo, posteriormente se procede al orden y limpieza del equipo, una vez por turno. Esta etapa tiene un tiempo promedio de 20 días, para todos los vinos de la empresa (ver tabla. 5).

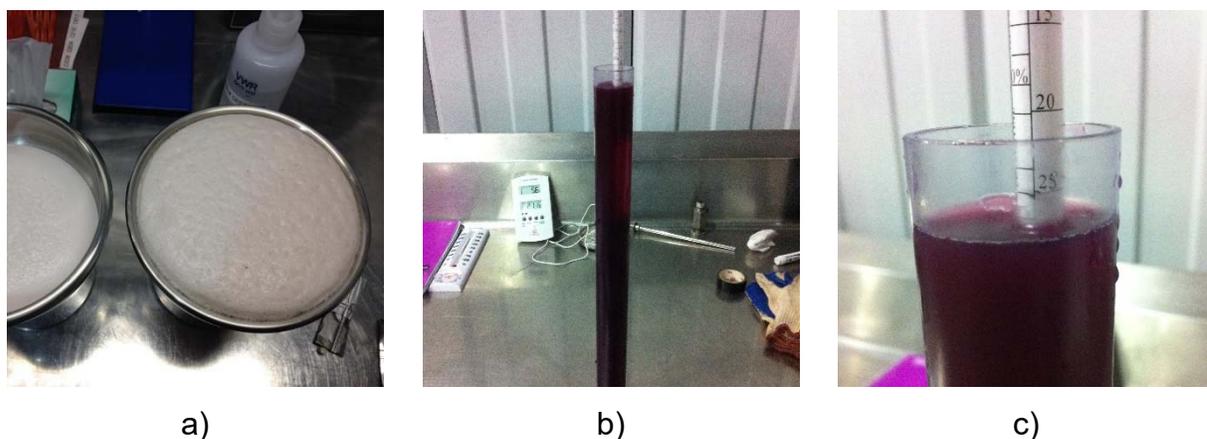


Figura 11. a) Levadura industrial activa lista para agregar al mosto. b y c) Toma de muestra para medición de °Brix en mosto

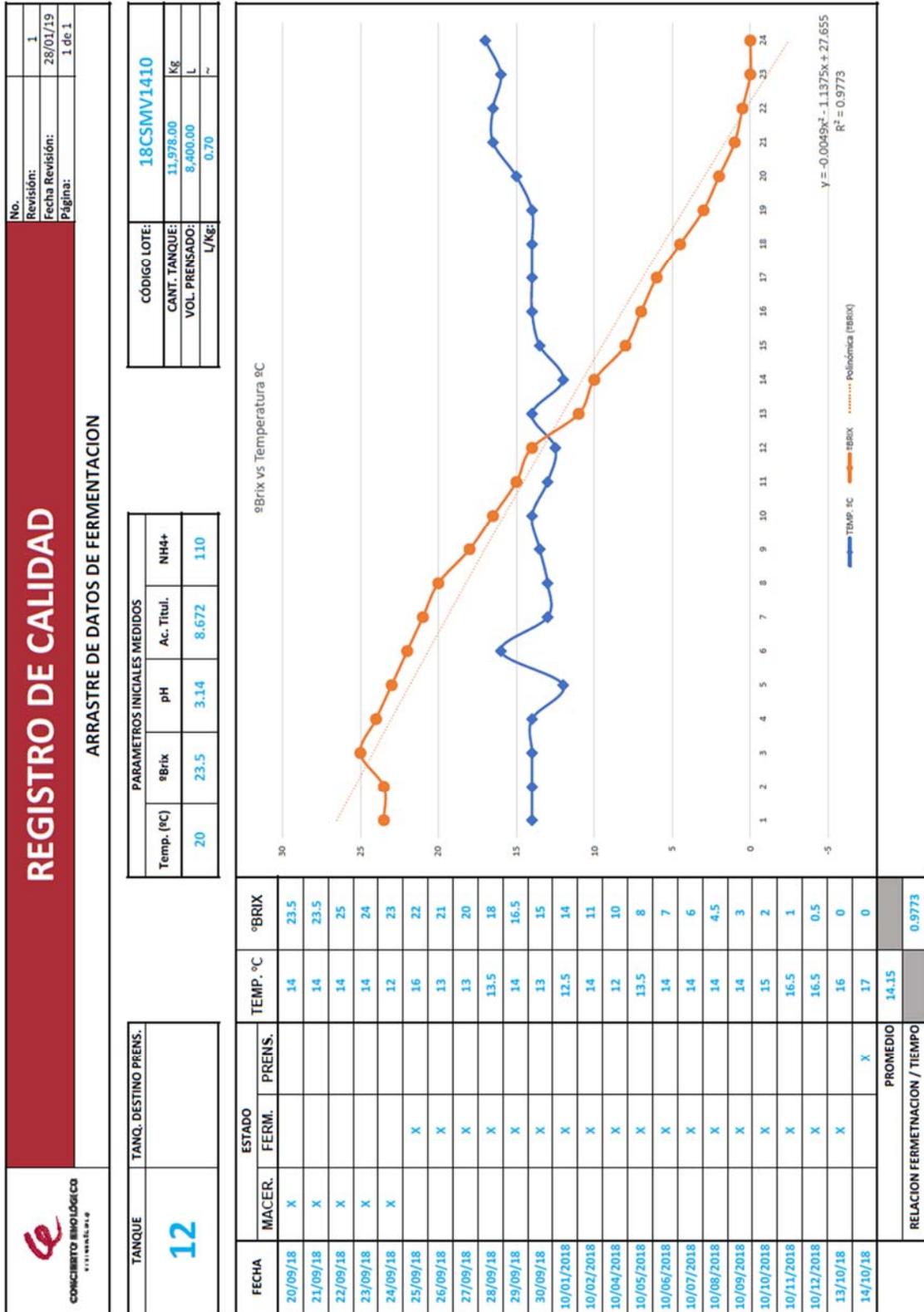


Figura 12. Ejemplo de bitácora de medición de parámetros en maceración y fermentación.

3.2 INNOVACIÓN DE PROCESO

3.2.1 Factores comunes entre las etapas

Como se muestra en la figura. 9, las dos etapas, maceración y fermentación, comparten el mismo proceso de remontado con una variación en el tiempo de ejecución solamente y duración de la etapa. Al identificar las tareas compartidas puede idearse una manera de mejorar este proceso y generar un impacto en ambas, la figura. 17 muestra un diagrama simplificado del proceso en las dos etapas con sus tiempos de proceso diarios.

Debido a que el remontado es indispensable en estas etapas, se vuelve imposible de eliminar ya que de lo contrario habría repercusión directa en la calidad del producto. Debido a ello, las tareas modificables en este proceso solo serían la preparación del puesto de trabajo y la limpieza del equipo utilizado. Estas dos tareas suponen un tiempo invertido de 90 minutos diarios, 45 minutos por turno de ejecución, repercutiendo no solo en el consumo de tiempo, sino también en el consumo de agua, un problema recurrente en el Valle de Guadalupe analizado ya por otros autores y autoridades locales.

Tabla 5. Tiempo consumido por un operador por tanque en maceración y fermentación por tarea realizada

Tarea	Minutos por tanque	Minutos totales por 8 tanques al día	Minutos totales por etapa
Preparación de puesto de trabajo	NA	10	100
Remontado de mosto en maceración (2 veces al día, 10 min/turno, 5 días)	20	100	500
Limpieza de equipo en maceración (2 veces al día, 30min/turno, 5 días)	NA	60	300
Preparación de puesto de trabajo	NA	10	100
Remontado de mosto en fermentación (2 veces al día, 20 min/turno, 20 días)	40	320	6400
Limpieza de equipo en fermentación (2 veces al día, 30 min/turno, 20 días)	60	NA	1200
TIEMPO TOTAL INVERTIDO (min)			8,600
TIEMPO TOTAL INVERTIDO (horas)			143.33

Otro factor común en estas etapas es la toma de muestras y monitoreo de los parámetros de temperatura, pH y grados de azúcar (°Brix). Para ello es necesario que, una vez terminada la tarea de remontado, el operador de bodega tome una muestra de cada tanque y mida estos tres parámetros, para posteriormente anotarlos en un formato de registro de calidad. Si lo anterior lo llevamos a costo de proceso tomando como base el salario promedio de un trabajador de bodega, más de la mitad de su paga semanal sería solo por hacer esta labor, esto no confiere ningún problema en principio, pero es necesario contratar una persona de tiempo completo solo para llevar a cabo este procedimiento, y es preciso destacar que, una vez que dan inicio estas dos etapas no pueden ni deben ser detenidas, por lo que el trabajo del operador será los siete días de la semana, hasta que el proceso termine o la vendimia llegue a su fin.

3.2.2 Automatización del proceso de remontado

Lo anterior es evitable agregando dos componentes al proceso: primero, una bomba de transporte de líquidos en cada tanque; segundo, un sistema de control automático para esta bomba y para el monitoreo de los parámetros en el vino. La figura. 15 muestra el diagrama del tanque de acero inoxidable convencional al cual se le eliminó el indicador de nivel (8), por un tema de higiene debido a que en ocasiones puede generar contaminación debido a que el indicador solo se desmonta cada que se hace mantenimiento o el tanque es vaciado. En el método convencional se conecta una bomba por la válvula tri-clamp (TC) (2) y el líquido es regresado por la compuerta superior (7) mediante una manguera.

La figura. 16 muestra el diagrama de tanque modificado, que para poder instalar la bomba fue necesario hacer un par de adecuaciones; primero, fueron colocadas dos conexiones TC una en la parte inferior junto a la válvula del indicador de nivel (8) (ver figura. 13a) y otra más justo por debajo de la compuerta superior (7). Segundo, se coloca una plataforma en los pilares contiguos a los tanques donde es colocada la bomba (ver figura. 13b), esto para evitar el posible vencimiento de la soldadura de la conexión debido al peso de la bomba y la vibración que esta genera al estar en funcionamiento, también para reducir el golpe de ariete producido por el torque del motor al arrancar.

Se colocó un tubo de acero inoxidable (15) que conecta la salida de la bomba (14) (ver figura. 13c) con la conexión TC colocada en la compuerta superior (7), de esta manera el mosto es recirculado sin necesidad es estar en contacto con el aire (ver figura. 14a). Para poder generar una buena distribución del líquido al hacer el remontado, se colocó un aparato en forma de cono (ver figura. 14b) el cual gira al entrar en contacto con el mosto distribuyendo de manera uniforme el líquido en la superficie.

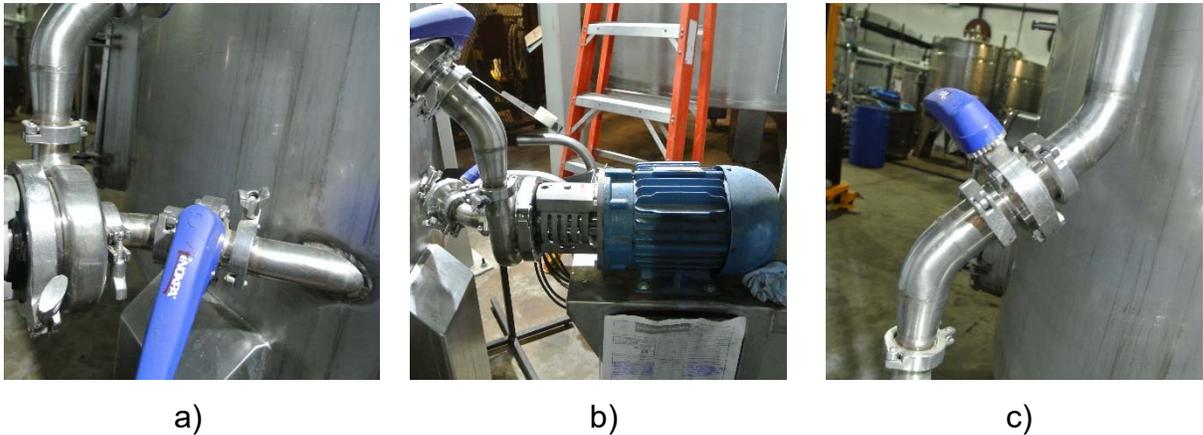


Figura 13. a) Conexión tanque-bomba mediante TC. b) Bomba montada sobre base en pilar. c) Conexión salida bomba a tubo de remontado mediante TC.



a)



b)

Figura 14. a) Modelado por computadora del sistema de remontado automático, b) Distribuidor cónico de líquido para el remontado.

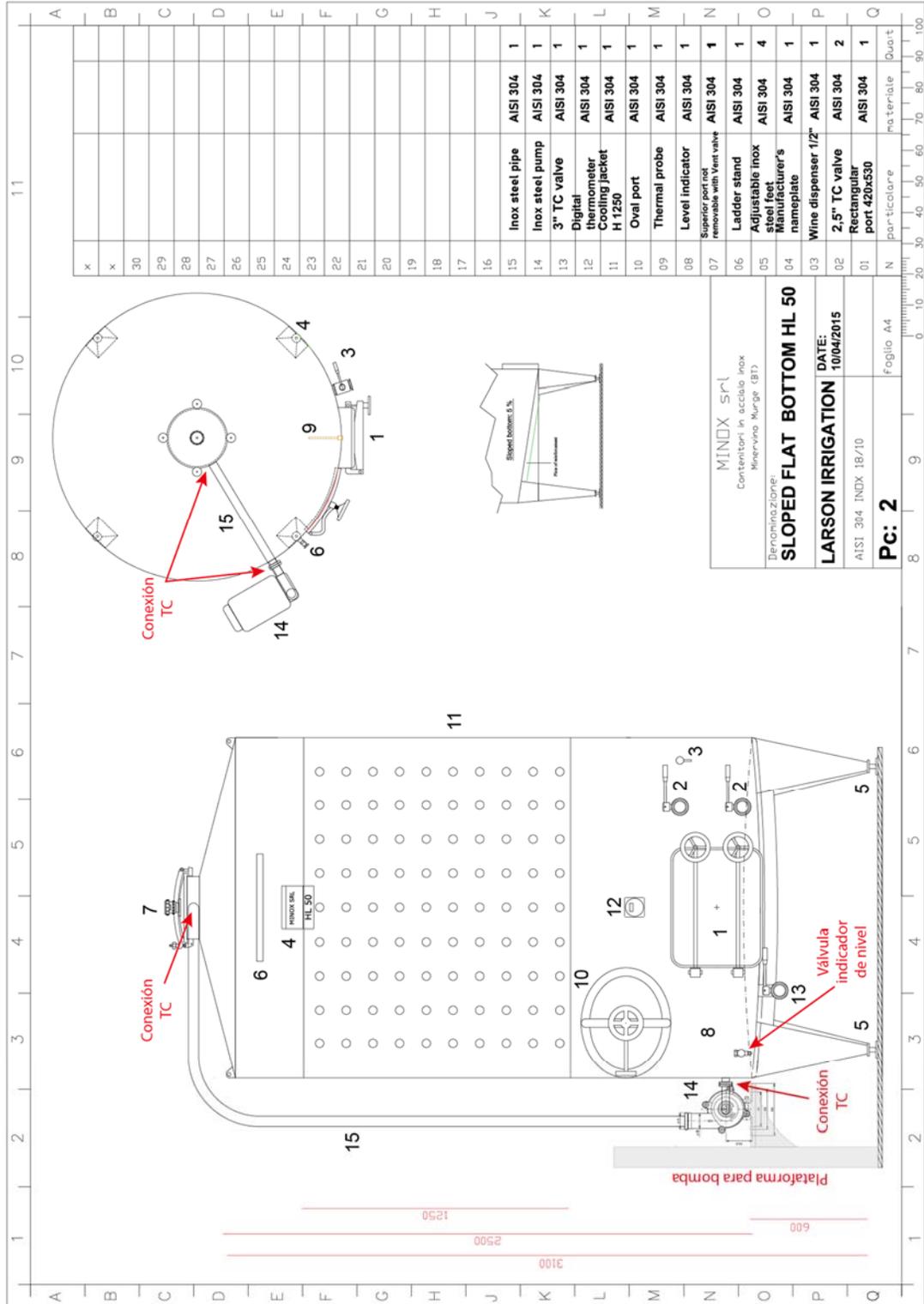


Figura 16. Diagrama de tanque de 50HL, donde se muestran las modificaciones efectuadas.

Al colocarse una bomba en cada tanque, automáticamente eliminamos la tarea de preparación del puesto de trabajo, ya que dicha bomba permanecerá conectada al tanque de manera permanente y a su vez la tarea de orden y limpieza no será necesaria por esta misma razón, solo dándosele mantenimiento a la bomba y tanque en el momento que la etapa de fermentación llegue a su fin. La figura. 17a muestra el diagrama simplificado del proceso actual con los tiempos por tarea, mientras que la figura 17b muestra el mismo diagrama, con los tiempos resultantes al eliminar las dos tareas antes mencionadas.

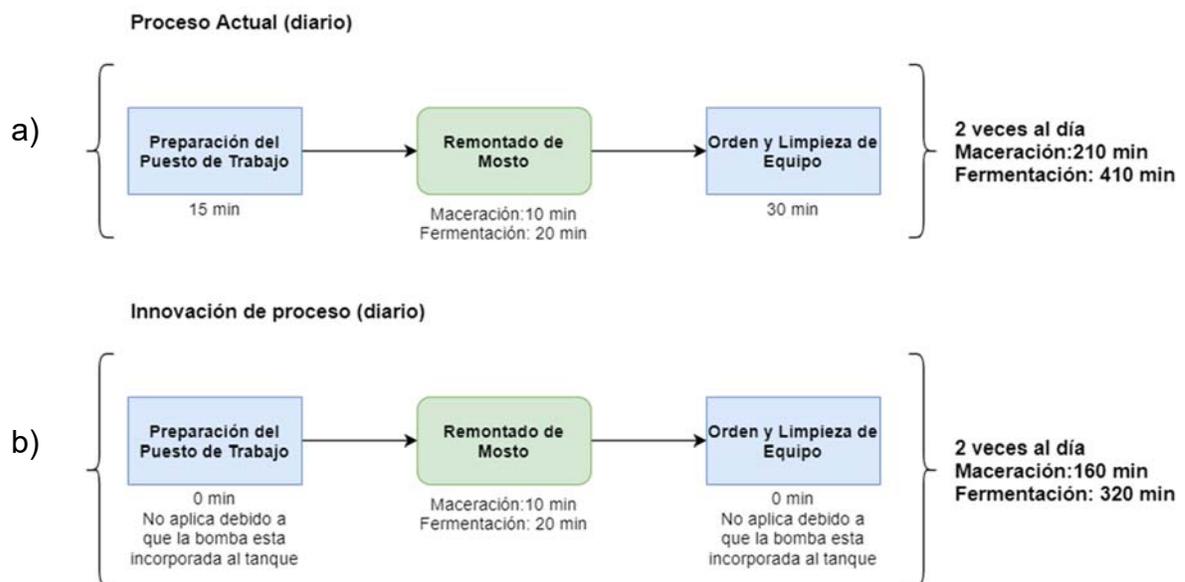


Figura 17. Diagrama de maceración y fermentación simplificado: a) tiempos por tarea, b) introducción de la innovación

Para poder llevar a cabo esto, es necesario establecer parámetros de factibilidad en la automatización, dichos parámetros deben cumplir con los requerimientos mínimos de calidad propuestos por la empresa.

3.3 PARÁMETROS DE FACTIBILIDAD

Factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados, se apoya en 3 aspectos básicos: operativo, técnico y económico. El éxito de un proyecto está determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada uno de los tres aspectos anteriores (Clarín.com, 2016).

Generalmente se da por sentada la suficiencia de elementos técnicos disponibles para desarrollar un proyecto, sin embargo, si se toma como referencia un proyecto o proceso que haya sido exitoso en un pasado reciente o en una diferente región y se intenta repetir los mismos pasos operativos o incluso aplicar recursos técnicos similares a un nuevo proyecto, es muy probable que no obtengamos los mismos resultados, ya sea por cambios en la tecnología o por gestión del personal (Castillo, J.M.,2016).

3.3.1 Viabilidad Técnica

Para este proyecto en particular se le otorgó un 20% de peso a los parámetros de la parte técnica, considerando que las empresas del sector vitivinícola no prestan principal interés en esta área debido a la disponibilidad de técnicos para su mantenimiento o instalación. Los parámetros considerados para la bomba de remontado fueron: capacidad de flujo mayor a 40 galones por minuto (10%), uso continuo (5%), conexiones industriales tri-clamp (1%), carcasa e impelentes de acero inoxidable (2%), alimentación de corriente trifásica (2%); mientras que para el equipo de monitoreo se consideraron conectividad (5%), posibilidad de conexión inalámbrica (2%), sea escalable (2%), sea acoplable a tanque (10%) y el material utilizado sea resistente y de grado alimenticio (1%).

3.3.2 Viabilidad Operativa

Por otro lado, en la parte operativa se le dio un peso del 30%, considerando que la bomba debe contar con controlador de variación de frecuencia (15%), controlador de tiempo (10%) y un controlador digital con conexión remota (5%); para el sistema de monitoreo

debe contar con: análisis de datos en tiempo real (10%), posibilidad de trazabilidad del producto (10%), interfaz gráfica sencilla y personalizable (5%), además de contar con alojamiento de la base de datos en la nube (5%).

3.3.3 Viabilidad Económica

Como ya se mencionó anteriormente, el objetivo de este proyecto es generar una innovación de proceso en la fermentación de vino, para ello, el análisis de viabilidad económica debe ser parte fundamental para lograrlo, ya que se pretende una mejora con un costo de implementación menor a los existentes en el mercado, para ello se le otorgo un peso de 50% en la factibilidad. Los parámetros seleccionados para esto involucran el costo de implementación (10%), componentes económicos (5%), reducción de la mano de obra (15%), Reducción en consumo de energía (10%) y reducción en consumo de materiales (10%) (ver tabla. 6).

Tabla 6. Parámetros de factibilidad en la innovación de proceso para la bomba de remontado y el sistema de control.

Parámetro	Indicador	%
Operativa	Datos en tiempo real	10
	Trazabilidad de producto	10
	Interfaz gráfica personalizable	5
	Alojamiento en la nube	5
Técnica	Conectividad	5
	Posibilidad de conexión inalámbrica	2
	Escalable	2
	Acoplable a tanque	10
	Material grado alimenticio	1
Económica	Costo de implementación	10
	Componentes económicos	5
	Reducción de mano de obra	15
	Reducción en consumo de energía	10
	Reducción en consumo de materiales	10

3.3.4 Selección de la tecnología para el proceso

Una vez seleccionados los parámetros de factibilidad, se analizaron los servicios y productos de 14 compañías dedicadas al desarrollo de software, desarrollo de equipos de laboratorio y de diseño e instalación de equipos de control, evaluando cada uno de estos parámetros con respecto al porcentaje asignado. La tabla. 7 muestra la comparativa de las compañías con respecto a los porcentajes resultantes. En esta tabla se muestra que la única compañía que cumple con el 100% de los parámetros es Nishikawa Industrial, una compañía con sede en Ensenada, Baja California. Se le pidió a esta empresa elaborar una cotización para la instalación de las bombas de remontado automático y un sistema de monitoreo de parámetros. La tabla. 8 muestra las características y costo del servicio proporcionado por Nishikawa.

Tabla 7. Comparativa de las compañías analizadas con respecto a los porcentajes resultantes.

PARÁMETRO	INDICADOR		TECNOLOGÍA															
			Amphora	Diagrama Software	EuroVin	InduSoft Web studio	openSCADA	Open Automation	LabVIEW	CANopen for LabVIEW	Progera Movicon	Nichicawa Industrial	HACH TitraLab AT1000	HANNA	CDR WineLab	OenoFoss	Nuestra propuesta	
Operativa	10%	Datos en tiempo real	5%	10%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	-	-	-	-	10%
	10%	Trazabilidad de producto	10%	10%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	-	-	-	-	10%
	5%	Interfaz gráfica personalizable	-	-	-	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	-	-	-	-	5%
	5%	Alojamiento en la nube	-	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	-	-	-	-	5%
Técnica	5%	Conectividad	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
	2%	Posibilidad de conexión Inalámbrica	-	-	-	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	-	-	-	-	2%
	2%	Escalable	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	-	-	2%
	10%	Acoplable a tanque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10%	-	-	-	10%
1%	Material grado alimenticio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1%	1%	1%	1%	1%	
Económica	10%	Costo de implementación	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	7%	7%	5%	2%	10%
	5%	Componentes económicos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	3%	1%	-	-	5%
	15%	Reducción de mano de obra	-	-	-	-	-	-	15%	15%	15%	15%	15%	-	-	-	-	15%
	10%	Reducción en consumo de energía	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%	10%	10%	-	-	-	-	10%
10%	Reducción en consumo de materiales	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%	10%	10%	-	-	-	-	10%	
			32%	42%	32%	49%	49%	49%	84%	84%	84%	100%	18%	16%	11%	12%	100%	

3.3.5 Análisis cuantitativo para la instalación de bombas de remontado automático

El análisis para este proyecto tomó en cuenta la modificación de ocho tanques de fermentación de cinco mil litros cada uno, existentes actualmente en bodega. Una bomba de acero inoxidable sugiere una inversión significativa para cualquier bodega, adquirir ocho provoca una decisión que no debe tomarse a la ligera. Este tipo de bombas tienen un costo de mercado de US\$1,453.00, a esto se le suman US\$1,957.00 de materiales para instalación y US\$565.00 de mano de obra, dando un total de US\$3,975.00 de inversión por tanque, en la tabla. 8 se describen las características de la bomba, los materiales a utilizar, los costos de estos y la mano de obra; si sumamos lo anterior esto da un total de US\$31,800.00.

Por otro lado, el costo de un operario para realizar las mismas tareas lleva un gasto mensual de US\$559.16, esto unido a un costo de la NO producción de US\$120.19 debido a que el operario no puede realizar otras tareas mientras lleva a cabo estas, prestaciones anuales por producción, incremento de salario, vacaciones y aguinaldo que suman US\$961.54, dando un total de US\$7,791.60 anuales. Si lo comparamos con el sistema automático, el gasto de operario no puede ser amortizado por diez años como si fuera equipo, debido a que, por el contrario, una persona no deprecia su valor, sino que aumenta debido a la experiencia y al costo de incremento de vida anual. Por ello, el costo de un operario es acumulable en el tiempo a diferencia de un equipo automático en el cual recuperamos la inversión inicial en un determinado tiempo.

Tabla 8. Características del sistema propuesto por Nishikawa Industrial y costo de implementación.

Equipo	Características	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Bomba centrífuga de 2hp marca GRUNDFOSS	Carcaza e impelente de acero inoxidable 50gpm@35psi Entrada de succión de 1 1/2" Descarga de 1 1/4" 230/3/60 para uso continuo	8	US\$1,453.00	US\$11,624.00
Lote de materiales de instalación e interconexión	Tubería Válvulas de servicio Reducciones Soportaría Consumibles	8	US\$1,957.00	US\$15,656.00
Mano de obra por instalación		8	US\$565.00	US\$4,520.00
			TOTAL	US\$31,800.00

3.3.6 Análisis Cualitativo

La inversión en automatización representa una mejor solución ya que reduce el riesgo de contaminación cruzada por remontado gracias a que no se usa la misma bomba para todos los tanques como lo hace el método tradicional; segundo, el operador de bodega esta libre para atender otras tareas, de mantenimiento, recepción de materia prima, despalillado, etc., a su vez se reduce el consumo de productos de limpieza, agua y energía eléctrica al no ser necesario la limpieza del equipo durante el periodo en el que el tanque está ocupado; por último, reduce el riesgo de accidentes dentro del lugar de trabajo, debido a que no es necesario que el operador este sobre el tanque mientras se realiza esta tarea. En la tabla. 9 se muestra el costo de inversión de equipo contra el costo de un operario de bodega para este trabajo.

Tabla 9. Costo de inversión de equipo versus gastos operarios.

EQUIPO	
Inversión	US\$ 31,800.00
Costo de la No producción	NA
Prestaciones	NA
Costo anual mantenimiento	US\$ 500.00
Vida útil	10 años
Amortización a 10 años	US\$ 3,680.00

OPERADOR	
Salario mensual	US\$ 480.77
Salario horas extra (máximo 30 mensuales)	US\$ 78.39
Costo de NO producción	US\$ 120.19
Bono por producción	US\$ 480.77
Aguinaldo (1 vez al año)	US\$ 240.38
Vacaciones (1 vez al año)	US\$ 240.38
COSTO ANUAL	US\$ 7,791.60
COSTO 10 AÑOS	US\$ 77,915.97

3.3.7 Automatización del sistema de monitoreo de parámetros fisicoquímicos en maceración y fermentación

En la actualidad el sistema existente en bodega solo controla el flujo del líquido de enfriamiento al tanque por medio de una solenoide, gracias a un sistema SCADA interactivo (ver figura.18a), el operador o enólogo, puede ajustar los parámetros de temperatura en cada tanque independientemente según las necesidades de fermentación (ver figura. 18b), un termopar colocado en una cavidad que se encuentra en contacto con el mosto manda la señal de temperatura y el sistema la registra, si esta llegara a salirse del rango óptimo asignado manda una señal para que la válvula solenoide abra y deje pasar el líquido de enfriamiento por las paredes del tanque.

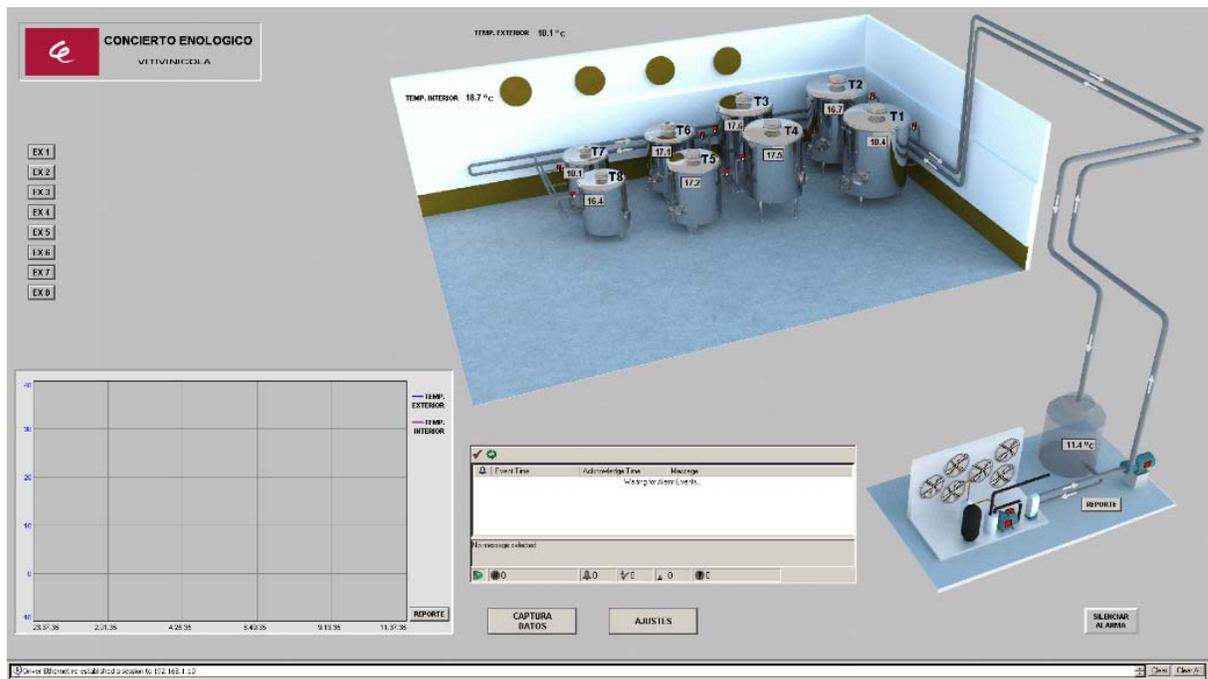
Este sistema, registra únicamente la temperatura, no es capaz de registrar el resto de los parámetros básicos necesarios para el control de la calidad del vino, además de que los datos solo pueden leerse y graficarse en este, volviendo imposible su uso en algún programa de visualización como Excel, Power BI o Tableau. Para solucionar esto, se propuso el acoplamiento de dispositivo de monitoreo vía inalámbrica basado en Raspberry Pi, conectado a sensores de temperatura, azúcar y pH, con la posibilidad de controlar las válvulas solenoides conectadas al tanque a través del sistema de enfriamiento. También se le pidió al proveedor del sistema de enfriamiento, Nishikawa Industrial, que elaborara una cotización incluyendo la posibilidad de monitorear los parámetros mencionados.

3.3.8 Análisis cuantitativo para la instalación de un sistema de monitoreo automático

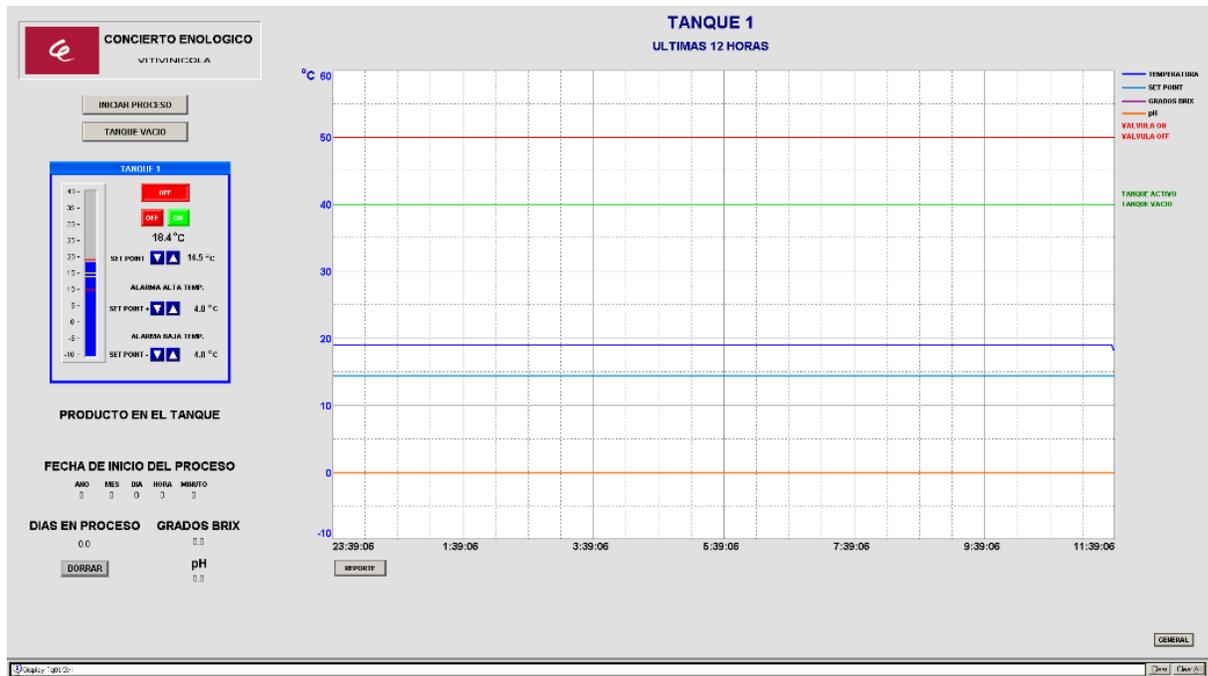
Durante las dos etapas anteriores, tanto en la maceración y fermentación, se monitorean los parámetros de temperatura, azúcar y pH, estas mediciones son tomadas de manera manual por el operador de bodega. El tiempo invertido en esta tarea asciende a 1800 minutos totales, por los ocho tanques de fermentación (ver tabla. 10), esto refleja un costo de US\$78.38 solo de esta tarea, diariamente. Este gasto no figura significativamente en el costo de producción del vino, lo que en realidad tiene mayor repercusión es la probabilidad de riesgo por pérdida de información, el cual influye directamente a la toma de decisiones del proceso, que a su vez puede causar la pérdida del producto final.

Tabla 10. Tiempo consumido por un operador por tanque en maceración y fermentación por monitoreo de parámetros.

TAREA	MINUTOS POR TANQUE	MINUTOS TOTALES POR 8 TANQUES AL DÍA	MINUTOS TOTALES POR ETAPA
Tiempo de toma de muestra y medición de parámetros (1 vez al día, 5 días)	5	40	200
Tiempo de toma de muestra y medición de parámetros (2 veces al día, 20 días)	10	80	1600
TIEMPO TOTAL INVERTIDO (min)			1800
TIEMPO TOTAL INVERTIDO (horas)			30



a)



b)

Figura 18. Sistema SCADA actual en Concierto Enológico. a) Pantalla principal del sistema. b) Pantalla de monitoreo y registro de datos individual por tanque.

Estos sistemas deben contar con un termopar cuyo rango de temperatura oscile entre los -10 y 120 °C, la sonda de pH (potenciómetro) debe trabajar en un rango de 0 a 14 unidades y una sensibilidad de membrana de $\leq 200 \cdot 10^6 \Omega$, la densidad es medida con un sensor de Infrarrojo Cercano (NIR) con capacidad de lectura de los 620nm a los 860nm con intervalos de 20nm (ver tabla. 11).

Ambas propuestas, tanto la de Nishikawa Industrial como la nuestra, toman en cuenta la existencia del sistema de enfriamiento actual, así como los ocho tanques de fermentación. El sistema propuesto por ellos tiene un costo de inversión de US\$7,048.00, a diferencia de la maquinaria y equipo, que suelen amortizarse a diez o 20 años, a los sistemas de cómputo y control se les asigna un periodo de tiempo más bajo debido a la evolución de la tecnología, este suele ser de tres a cinco años, por lo que para este caso el periodo que se tomó de amortización fue de cinco.

La inversión para el sistema propuesto es de US\$3,264.44, siendo capaz de controlar las válvulas solenoides de los tanques, así como el chiller y manejadora del sistema, todo esto sin necesidad de contar con un tablero de control central, solo es necesaria una conexión inalámbrica y un servidor donde los datos serán almacenados. La tabla. 12, muestra la comparación del costo de inversión y las amortizaciones a cinco años.

Tabla 11. Características del equipo base para la innovación en lectura de mediciones automática.

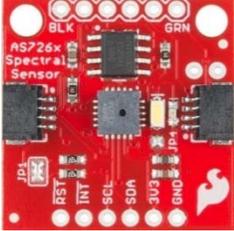
EQUIPO	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
	<p>SparkFun Spectral Sensor Breakout - AS7263 NIR</p>	<p>6 near-IR channels: 610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm and 860nm, each with 20nm FWHM NIR filter set realized by silicon interference filters 16-bit ADC with digital access 2.7V to 3.6V with I2C Interface 2x Qwiic connectors</p>
	<p>Industrial Ph Electrode – Armor Casing</p>	<p>Connector: BNC Measuring Range: 0-14pH Measuring Precision: $\leq 0.02\text{pH}$ Suitable Temperature: 0-60 °C Response Time: 10sec Drift: $\leq 0.02\text{PH}/24\text{hours}$ Resistance of Sensitive Membrane: $\leq 200 \times 10^6 \Omega$ Slope: $\geq 95 \%$ Electrode's Equipotential Point: $7 \pm 0.5\text{PH}$</p>
	<p>Sensor de temperatura DS18B20 estanco</p>	<p>Rango de temperatura: -55 a 125°C Resolución: de 9 a 12 bits (configurable) Interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin) Identificador interno único de 64 bits Precisión: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ (de -10°C a +85°C) Tiempo de captura inferior a 750ms Alimentación: 3.0V a 5.5V</p>
	<p>Raspberry Pi 3</p>	<p>CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps) GPIO de 40 pines, HDMI, 4 puertos USB 2.0, Puerto CSI para conectar una cámara, Puerto DSI para conectar una pantalla táctil, Salida de audio estéreo y vídeo compuesto, Micro-SD, Power-over-Ethernet (PoE)</p>

Tabla 12. Comparación del costo de inversión y las amortizaciones a cinco años de ambas propuestas.

EQUIPO PROPUESTO	PRECIO UNITARIO US\$	CANTIDAD	COSTO TOTAL US\$
Raspberry Pi			
Placa Base Raspberry Pi	\$59.99	8	\$479.92
Sensores			
Sensor analógico de pH (Profesional)	\$68.28	8	\$546.24
Sensor digital NIR	\$25.95	8	\$207.60
Kit sensor NIR	\$35.99	8	\$287.92
DROK – Control de termostato electrónico	\$10.99	8	\$87.92
CrocSee RTD Pt100 Sonda de sensor de temperatura	\$14.98	8	\$119.84
Software de control			
Licenciamiento perpetuo	\$1,535.00	1	\$1,535.00
			\$3,264.44

EQUIPO NISHIKAWA	PRECIO UNITARIO US\$	CANTIDAD	COSTO TOTAL US\$
Obra eléctrica y control para los 8 tanques existentes	\$7,048.00	1	\$7,048.00
Controladores digitales jci-a-419 por tanque			
Gabinete con tapa de policarbonato a prueba de humedad			
Canalización y cableado de control y sensores de temperatura, pH y densidad			
Centro de distribución para 13 circuitos			
Pruebas y arranque			
			\$7,048.00

3.3.9 Análisis cualitativo para la instalación de un sistema de monitoreo automático

Como se menciona en el punto anterior, el gasto por monitoreo de los parámetros de forma manual no figura un gasto considerable para la empresa, pero la pérdida de datos debido a que el intervalo de tiempo entre una toma de muestra y otra es de ocho a diez horas, es muy alta ya que durante este periodo de tiempo, el mosto permanece en tanque sin interacción alguna hasta su próximo remontado, por lo que la variación en los parámetros no se registra llevándonos al principal problema de este método: no tenemos suficientes datos para tomar una decisión a tiempo, por lo que esto figura más un apoyo que una necesidad, para la gestión de la calidad del producto. Sin embargo, las

repercusiones a futuro al implementar este sistema podrían verse en la disminución de horas hombre, ya que no habría necesidad de que el operador de bodega se presentase a trabajar los fines de semana u acumulara horas extra de trabajo al mes. También, no habría desperdicio de vino al no existir la necesidad de sacar una muestra del mosto del tanque para su análisis, incrementando posiblemente su rendimiento.

Algunos aspectos importantes a resaltar entre los sistemas propuestos, Nishikawa y el nuestro, es que nuestro sistema no necesita de una infraestructura de conexión compleja, es decir, no es necesario que este cableado cada uno de los sensores o los controladores, no es necesario tener un servidor en el sitio solo basta con tener una buena conexión de internet o red y el dispositivo estará cargando los datos registrados a la nube o en el momento que se detecte un dispositivo móvil mandará los datos a este. Esto nos lleva a la segunda ventaja, el dispositivo es móvil, es decir, solo es necesario conectarlo a la corriente y a la válvula solenoide del tanque dando la posibilidad de mover el sistema hasta donde se necesite, incluso podría colocarse dentro de una barrica. La limitante principal de nuestra propuesta es que, para el control de temperatura se debe contar previamente con un sistema de enfriamiento al cual pueda acoplarse, de lo contrario solo registrará la temperatura del mosto sin la posibilidad de controlarlo de manera automática. El dispositivo también cuenta con una ranura para tarjetas microSD, la cual puede almacenar hasta 64Gb de memoria, dándonos la posibilidad de guardar no solo la información de un lote sino también la cosecha entera.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 INSTALACIÓN DE LA BOMBA PARA REMONTADO

A principios del año 2020 fueron instaladas las bombas de remontado automático, por lo que actualmente el sistema está en funcionamiento, al medirse los tiempos de trabajo del operador se observó una reducción del 32.9% contra el 25% esperado en las etapas de maceración y producción. A su vez, debido a que el operador cuenta con tiempo suficiente para realizar otras tareas, no fue necesario contratar a un segundo operador, por lo que la productividad en otras tareas aumento al final de la semana, esto se pudo medir gracias a la bitácora de actividades que el operador llena diariamente. Esto generará una reducción del en los costos de elaboración, lo cual no ha sido medido aún, se espera que en enero de 2021 ya se cuente con estos datos. La tabla. 13, muestra una comparativa en la reducción de los tiempos y el gasto que esto representa para la empresa, basada solamente en la reducción de tiempo antes mencionada.

Tabla 13. Comparativa de los tiempos por tarea, antes y después de aplicar la innovación.

TAREA	MINUTOS TOTALES POR ETAPA (OPERADOR)	MINUTOS TOTALES POR ETAPA (SISTEMA)
Remontado de mosto en maceración	400	400
Limpieza de equipo en maceración	150	0
Tiempo de toma de muestra y medición de parámetros	200	0
Remontado de mosto en fermentación	4800	4800
Limpieza de equipo en fermentación	600	0
Tiempo de toma de muestra y medición de parámetros	1600	0
TIEMPO TOTAL INVERTIDO (min)	7750	5200
TIEMPO TOTAL INVERTIDO (hrs)	129.17	86.67
Porcentaje de tiempo invertido al introducir la innovación		-32.90%
Costo de las etapas basado en salario de operador	MX\$7,019.93	MX\$4,710.14
Gasto por tiempo invertido al introducir la innovación		-MX\$2,309.78

Un factor que no se había tomado en cuenta fue la recomendación de algunos autores como Fernando Zamora en su libro "Elaboración y Crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos" donde asegura habrá un cambio en la composición química del

producto final debido a que las cáscaras y semillas de uva al entrar en contacto con el impelente de la bomba, pueden llegar a romperse y liberar compuestos químicos no deseados. Por otro lado, Juan J. Moreno Vigara y Rafael A. Peinado Amores autores de *"Química enológica"*, describen como estos compuestos provenientes de la cáscara y la semilla ayudan al vino a conservarse mejor en bodega. Aun así, esto traería como consecuencia una modificación en la calidad de los vinos y por lo tanto deberán hacerse modificaciones a los manuales de operación del proceso.

Para contrarrestar esto debe ser implementado el protocolo de análisis de laboratorio al pie de la letra según lo estipula el manual de calidad de la empresa. Este protocolo sugiere hacer análisis químicos por lo menos 4 veces durante el periodo de fermentación, para asegurarse de no haber cambios significativos en el mosto. Los análisis descritos por dicho manual son: acidez total, pH, sulfitos libres, sulfitos totales, polifenoles totales, azúcares reductores, ácido málico, ácido láctico y nitrógeno amoniacal, mismos que fueron tomados como referencia a Jacques Blouin y Émile Peynaud autores de *"Enología Práctica"*, un manual fundamental en toda bodega.

Otro factor no tomado en cuenta fue el cálculo del flujo de la bomba, este fue hecho en base a la densidad del mosto al iniciar el proceso, el cual al tener azúcar es mayor a la densidad del agua, pero al avanzar la fermentación pierde densidad debido a que los azúcares son transformados en alcohol, por lo que el flujo aumenta o a decir verdad, la resistencia disminuye debido a la baja viscosidad, por lo que debido a la presión que genera la bomba y las cáscaras que succiona, generan un tapón en la parte superior del tanque donde la salida es más angosta, provocando con esto que el operador deba dar mantenimiento una vez al día para evitar mayores complicaciones. Aún a pesar de esto, el tiempo invertido sigue siendo menor comparado con el remontado manual de los tanques.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN RASPBERRY PI

El sistema de monitoreo propuesto basada en Raspberry Pi presenta una opción más económica que la construida con SCADA y LabVIEW por parte de Nishikawa Industrial (ver tabla. Z). Con una capacidad hipotética mayor en lo que se refiere a manejo de parámetros. El sistema propuesto por Nishikawa no cuenta con la opción ni es capaz de ampliar los parámetros de monitoreo, también, no cuenta con la posibilidad de exportar los datos para ser utilizados en otros sistemas o programas. Mientras que el sistema propuesto por nosotros brinda la todas estas posibilidades, con sus limitantes.

Basado en las especificaciones técnicas dadas por los proveedores de los componentes, el termopar de Nishikawa cuenta con un error de operación del 5%, contra un 1.75% del termopar compatible con Raspberry Pi. La sonda de pH propuesta por nosotros es para uso en industria farmacéutica, dando una confiabilidad del 98%, comparado con el 95% del de Nishikawa, podríamos decir que es mejor, pero debido a esta eficiencia, la sonda debe ser calibrada constantemente, para que se mantenga en rango.

En lo que respecta a densidad, Nishikawa no presentó alguna propuesta, quedando solo el sensor NIR propuesto por nosotros. A pesar de que en internet podemos encontrar un sin número de tutoriales, experimentos y guías para transformar un NIR en un lector de densidad, maduración alimentos, medición de iluminación, etc., el sensor tiene una limitante, no es capaz de atravesar sólidos debido a que el infrarrojo es una señal de frecuencia muy alta, incapaz de medir partículas en suspensión, para poder lograrlo debe programarse utilizando sensores acoplados a este, de UV visible. con todo esto el costo de la sonda de monitoreo propuesta es menor al cotizado por Nishikawa, aproximadamente un 85% más económica.

4.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE ÉXITO

4.3.1 Análisis FODA

En el análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) se tomaron en cuenta ciertos aspectos que repercuten directamente en la implementación de los sistemas propuestos, dentro de los cuales destacan:

FORTALEZAS

- La escasa mano de obra local ayuda a la migración hacia nuevas tecnologías de automatización y optimización de los procesos.
- La oferta nacional de sistemas para automatización y control de procesos es mayor cada vez.
- Pueden ser desarrollados sistemas de monitoreo con componentes económicos para ayudar a las MiPyMEs a migrar a esta tecnología.
- El monitoreo constante de los parámetros del proceso se traduce en un incremento de la calidad del producto.

OPORTUNIDADES

- Los altos costos de los sistemas comerciales generan un nicho de mercado desatendido que necesita de sistemas más económicos.
- Los sistemas más populares del mercado son de origen extranjero.
- Los sistemas comerciales se enfocan principalmente en las necesidades administrativas de la empresa y no en las de producción y gestión.

DEBILIDADES

- Debido a la resistencia al cambio las pequeñas empresas tienden a no adoptar estas u otras tecnologías existentes para sus sistemas de producción.
- La inversión inicial puede ser elevada para algunas micro y pequeñas empresas, ya que los sistemas propuestos parten de un sistema de producción de vino semi industrial y no artesanal.
- El tiempo de recuperación de la inversión depende de la fuerza de ventas de la empresa y por consiguiente de la capacidad de producción de esta. A mayor

producción mayor venta, dando como resultado un plazo de recuperación más corto.

AMENAZAS

- La gestión de la calidad en mayoría de las bodegas es muy poca o nula y está dada por los análisis organolépticos efectuado por el personal, rara vez se hace análisis físico químico del producto en el proceso de producción sino hasta su etapa final.
- El sector vitivinícola carece en su mayoría de buenas prácticas de manufactura, por lo implantar estas tecnologías se torna complicado debido a que primero debes convencer a los dueños de las empresas a cambiar su manera de trabajo y sus procesos de producción.
- La pandemia de COVID-19 vino a resaltar las deficiencias en ciertos sectores y procesos que provocaron una caída de la economía mundial, dando como consecuencia una disminución de los ingresos y por lo tanto una disminución en los productos esenciales de la canasta básica, desplazando las ventas del vino considerablemente.



Figura 19. Análisis FODA.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Actualmente es muy difícil realizar un control totalmente automático para el proceso de producción de vino, debido a que el proceso es no lineal en algunos aspectos y variante en el tiempo, no se cuenta con modelos precisos, hay ausencia de instrumentos en línea y en tiempo real para la medición de variables críticas como la concentración de sulfito libre o acidez total. El esquema de automatización propuesto para el remontado de vino garantiza el cumplimiento de la mayoría de las condiciones ambientales, físicas y químicas necesarias para que la calidad del producto no se vea afectada de manera negativa, dando cumplimiento a la consigna de la empresa dado que el objetivo es aportar valor a la marca y producto sin afectar sus características esenciales.

El esquema semiautomático propuesto, es el primer paso para concebir un esquema totalmente automático para el proceso de producción de vino. Los pasos que deben seguirse son la identificación y establecimiento de un modelo preciso, el estudio de estabilidad, controlabilidad y obsevabilidad, la propuesta de un método de estimación de variables y control que se ajuste a los DCS industriales. La instrumentación comercial para el monitoreo directo de variables críticas del proceso, como la concentración de sulfito libre, la acidez total y la concentración de nitrógeno fácilmente asimilable para procesos de fermentación, aún no es lo suficientemente robusta, confiable y estable para operar en ambientes industriales.

Se definió el proceso convencional de maceración y fermentación alcohólica en vinos con relación a la tecnología utilizada, para de esta manera encontrar los puntos débiles de las dos etapas y posteriormente las similitudes entre ellas, dando la oportunidad de resolver los problemas encontrados de una sola manera que repercutiera en ambas. Dicho problema fue determinado cualitativa y cuantitativamente al mismo tiempo que se analizaban las tecnologías que podrían servir para llevar a cabo la innovación. Una vez llevado a cabo esto se definió el funcionamiento convencional del proceso y las tecnologías involucradas.

Una vez implementado el sistema de remontado automático se esperaba una reducción del 25% en mano de obra, actualmente el sistema está en funcionamiento y logró reducir en 32.9% la mano de obra en las etapas de maceración y producción, lo que generará una reducción del 31.3% en los costos de elaboración. El sistema de monitoreo propuesto basada en Raspberry Pi presenta una opción 53.7% más económica que la construida con SCADA y LabVIEW por parte de Nishikawa Industrial. El costo de la sonda de monitoreo propuesta es 85% menor al cotizado por Nishikawa, dando como resultado una inversión inicial baja, basados en que la bodega ya cuenta con un sistema de enfriamiento industrial.

5.1 BENEFICIOS DEL PROYECTO

Ya se han mencionado beneficios económicos y de reducción de tiempos de operación en el proceso, que atañen más que nada a la gestión de los recursos de la empresa, de los cuales podemos resaltar los siguientes:

1. Reducción del costo operativo de producción de entre el 28.5 y el 31.2%.
2. Mejor toma de decisiones debido a la accesibilidad de los datos. Repercutiendo en la calidad de los vinos debido a la respuesta temprana al ocurrir un problema, esto puede ser medible llevando un registro de las acciones de mejora en gestión de la calidad, este registro podría ser incluido en el sistema y de esta manera comparar los datos anteriores y posteriores a la acción tomada.
3. Menos interacción directa del personal en proceso, lo que asegura una disminución en la contaminación cruzada del producto. Es bien sabido, debido a innumerables estudios sobre inocuidad alimentaria que en el ambiente hay microorganismos patógenos capaces de contaminar los productos en una línea de producción, a menor contacto con el aire el producto será más inocuo, la forma de disminuir este riesgo es incorporar mejores sistemas y normas de inocuidad y el analizar por contaminación microbiana en laboratorio las superficies de los equipos y el producto, de esta manera aseguramos una disminución del riesgo de contaminación.
4. Posible aumento en el rendimiento del producto en un rango del 0.2 al 0.5%, ya que el vino que queda en la bomba móvil, las mangueras, el que se derrama al

desconectar los tanques e incluso el de la toma de muestras, puede llegar a ser significativo si comparamos al equivalente en relleno anual de una barrica, alrededor de 65L.

5. Ahorro en agua aproximadamente un 80% debido a que solo se limpiara el sistema cuando la fermentación haya concluido, es decir, una vez cada 20 días; energía de un 15 a 20% que, aunque la capacidad de las bombas estacionarias es menor a la móvil es mayor el número de equipos funcionando al mismo tiempo y solo se diferencia por el tiempo de limpieza de la bomba que es de 30 minutos, el cual en las estacionarias es inexistente; y en materiales de limpieza hasta un 90%, ya que al igual que con el agua solo se limpiará el sistema cuando la fermentación haya concluido.
6. El operador de bodega puede dedicarse a otras tareas de producción. Si sumamos las horas diaria que pasa remontando y monitoreando en el método convencional, podríamos ver un ahorro de hasta 50 horas a la semana, recordemos que en este periodo el operador debe presentarse a hacer este proceso incluso los fines de semana, generado horas extra de trabajo.
7. No es necesario que el operario esté pendiente del proceso las 24 horas los siete días de la semana, como sucede con el proceso convencional.

5.2 RECOMENDACIONES

Durante el funcionamiento de las bombas de remontado en el proceso, encontramos algunos inconvenientes que deben resolverse a futuro. El primero fue de diseño, la potencia de succión de la bomba es tan alta que jala al sistema cascara y semillas de uva, esto genera dos problemas, 1) que la tubería se tape en la parte más angosta (parte superior) y cause un sobre esfuerzo por parte de la bomba, pudiendo provocar una avería; 2) al pasar los sólidos del mosto por el impelente de acero inoxidable las cáscara y semillas se rompen, esto suele causar en casos extremos cuando el vino este en guarda o botella, un exceso de sabores no deseados en el producto final.

El segundo fue de control, el tablero de control para las bombas puede estar en funcionamiento automático o manual, cuando este último está activado, es imposible controlar las bombas desde el sistema SCADA, por el contrario, cuando están en automático, el operador puede encender o apagar de forma manual dichas bombas, sin que afecte a su programación.

Para el equipo de monitoreo automático, primero será necesario asegurarse que los dispositivos propuestos puedan monitorear de forma constante los parámetros requeridos, con un porcentaje de error mínimo, también que su calibración y mantenimiento realmente sea mínimo en el transcurso de la temporada de vendimia, ya que de lo contrario regresaríamos al problema de uso de tiempo extra para estas tareas. Por último, será necesario a futuro hacer pruebas de conectividad y análisis de pérdida de datos por comunicación, ya que en ocasiones suelen fallar las capacidades de los servicios de electricidad y red telefónica en el Valle de Guadalupe, o analizar la posibilidad de tener un generador de energía eléctrica de respaldo y alojamiento suficiente en el servidor local.

REFERENCIAS

1. Blasco, F. F. (2013). Automatización del control de fermentación en bodega. Universidad de La Rioja.
2. Jiménez Márquez, F. (2017). Desarrollo de sensores para la monitorización en tiempo real de la fermentación del vino.
3. Mañeru Oria, F. J. (2011). Diseño y construcción de una bodega de vinos tintos en Villatuerta (Navarra). Universidad Pública de Navarra.
4. Polit, U., Electr, E., Novoa, D. F., & Soler, J. S. (2014). Desarrollo de un sistema de medida ultrasónico para monitorizar el proceso de fermentación maloláctica del vino tinto en un ambiente industrial.
5. Larousse. (2016). El Mundo del Vino. Larousse Editorial, S. L. Barcelona.
6. Callec, C. (2002). La Enciclopedia del Vino. Editorial Libsa.
7. Fermsoft, (2018). Winery Production Software. <https://www.fermsoft.com>
8. Diagram Software, (2018). Software para la gestión de Bodegas. https://diagram.es/bodega/#.XA2_Uy1DmRt
9. Visual Software, (2018). EuroVin. Software para la gestión de bodegas: para controlar la producción y elaboración del vino. <http://euro-vin.com/es/home>
10. Navarro, Karla, (2016). Diseñan software para optimizar la producción de vino. <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/tic/9673-software-vino-uabc-vinea>
11. OIV, (2018). Organización Internacional de la Viña y el Vino. <http://www.oiv.int/es/organizacion-internacional-de-la-vina-y-el-vino>
12. Mendez, Julio C., 2013. Calidad, concepto y filosofías: Deming, Juran, Ishikawa y Crosby. <https://www.gestiopolis.com/calidad-concepto-y-filosofias-deming-juran-ishikawa-y-crosby/>
13. Martín, Antonio O. (2012). ¿Qué es la Calidad? (VI): El Modelo ISO 9001 de Gestión de la Calidad. <http://queaprendemoshoy.com/?que-es-la-calidad-vi-el-modelo-iso-9001-de-gestion-de-la-calidad/>
14. Cámara de Comercio de España. (s. f.). Tipos de innovación. Cámara de España. Recuperado 1 de julio de 2020, de <https://www.camara.es/innovacion-y-competitividad/como-innovar/tipos>

15. De Oslo, M. (2005). Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación. Luxembourg: OECD.
16. EAE Business School. (2020, 29 febrero). Innovación de procesos: definición y ejemplos. Retos en Supply Chain. Recuperado 8 de junio de 2020 de <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/innovacion-de-procesos-definicion-y-ejemplos/>
17. ESAN Graduate School of Business. (2016, 7 noviembre). Crecer a través de la innovación de productos y servicios. Administración | Apuntes empresariales | ESAN. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/11/crecer-a-traves-de-la-innovacion-de-productos-y-servicios/>
18. Giménez, A. (2018, 4 julio). La innovación de procesos como objetivo estratégico. Grupo Korporate. Recuperado 8 de junio de 2020 de <https://grupokorporate.com/la-innovacion-de-procesos-como-objetivo-estrategico/>
19. Inteligencia Creativa. (2015, 9 abril). Proceso de innovación [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=hdgQrx6Jy3g&feature=youtu.be>
20. Janse, B. (2019). Innovation Funnel. Recuperado 24 de julio de 2020 de ToolsHero: <https://www.toolshero.com/innovation/innovation-funnel/>
21. Janse, B. (2019). Innovation Funnel Management Process [Ilustración]. toolshero. <https://www.toolshero.com/wp-content/uploads/2019/03/innovation-funnel-management-process-toolshero.jpg>
22. Kyocera. (2019, 1 enero). 5 ventajas de la innovación de procesos en las grandes empresas | Kyocera. KYOCERA Document Solutions. <https://www.kyoceradocumentsolutions.es/es/smarter-workspaces/business-challenges/paperless/5-ventajas-de-la-innovacion-de-procesos-en-las-grandes-empresas.html>
23. Mas, J. (s. f.). Innovación de proceso. mas-Ventas.com. Recuperado 5 de julio de 2020, de <https://www.gestion-comercial.com/innovacion-de-proceso/>
24. Pacheco, J. (2017, 22 diciembre). Innovación en los procesos: ¿cómo usar el concepto de Design Thinking? HEFLO ES. <https://www.heflo.com/es/blog/transformacion/innovacion-procesos/>
25. Stage-Gate International. (2019, 27 junio). ¿Qué es el proceso de innovación? Recuperado 8 de junio de 2020 de <https://www.stage-gate.la/que-es-proceso-innovacion/>

26. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. CONACyT & Gobierno del Estado de Baja California. (2018). Agenda Estatal de Innovación. Estado de Baja California (N.o 20132018). CONACyT.
27. El Financiero. (2018, 1 mayo). El mercado de vino en México, francamente «verde». <https://www.elfinanciero.com.mx/bajio/el-mercado-de-vino-en-mexico-francamente-verde>
28. Gobierno del Estado de Baja California (GEBC). (2020, marzo). Plan Estatal de Desarrollo de Baja California 2020-2024 (N.o 12032020). GEBC.
29. Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT). (2018, enero). Adopción de las TIC y usos de Internet en México (N.o 2018). ift. Instituto Federal de Telecomunicaciones.
30. Martínez Domínguez, M. (2018, 19 febrero). Acceso y uso de tecnologías de la información y comunicación en México: factores determinantes. Paakat. Revista de tecnología y sociedad, 8(14), 11-14.
31. Mejía Chávez, A. O. (2017, 16 octubre). Personal Calificado en la Industria de las TICs en México: El caso de las MIPyMES. Altec 2017, 12.
32. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MCET). (s. f.). PDM México - Uva. Plan de Desarrollo de Mercado Mexico. Recuperado 10 de agosto de 2020, de https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/plan_exportador/Penx_2025/PDM/mexico/perfil_uva.html
33. Clarín.com. (2016, 1 mayo). Cómo determinar la factibilidad de un Proyecto. Clarín. https://www.clarin.com/arq/construccion/determinar-factibilidad-Proyecto_0_H1zHuRuw7x.html
34. José Miguel Castillo. (2016, 16 junio). El estudio de viabilidad [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=FFtwcrpci3c>