



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y PROCESOS

TEMA:

**OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA
ARTESANAL EN LA EMPRESA BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.
UBICADA EN LA CIUDAD DE MACHACHI.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Diseño Industrial y Procesos

Autor:

Ing. Yánez Avalos José Hilario

Tutor:

Ing. Ocaña Raza Edwin Ramiro MGCP.

AMBATO – ECUADOR

2025

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAGISTER EN
DISEÑO INDUSTRIAL Y PROCESOS**

Yo, José Hilario Yáñez Avalos, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre: “OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. UBICADA EN LA CIUDAD DE MACHACHI.”, como requisito para optar al Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 16 días del mes de junio de 2025, firmo conforme:

Autor: José Hilario Yáñez Avalos

Firma:

Número de Cédula: 050261734-3

Dirección: Pichincha, Quito, Calderón, Collas.

Correo Electrónico: josehilarioyanez@gmail.com

Teléfono: 0988359155 / 0994237063.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. UBICADA EN LA CIUDAD DE MACHACHI.”, presentado por José Hilario Yáñez Avalos, para optar por el Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos.

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 16 de junio del 2025

.....
Ing. Edwin Ramiro Ocaña Raza, MGCP.

Tutor

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato, 16 de junio del 2025

.....

Ing. José Hilario Yáñez Avalos

050261734-3

APROBACIÓN DE EXAMINADORES

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. UBICADA EN LA CIUDAD DE MACHACHI., previo a la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y Procesos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Titulación.

Ambato, 16 de junio del 2025

.....

Mg. Lorena Elizabeth Cáceres Miranda

PRESIDENTE

.....

Mg. Hernán Fabricio Espejo Viñán

EXAMINADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor a mi esposa Tatiana Rodríguez y a mis hijos Salma, Bruno y Nicolás. Gracias por darme la fortaleza, el apoyo y el amor que me han acompañado en cada paso de este camino. A Tatiana, por su paciencia, por ser mi compañera incansable y por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles. A mis hijos, por su alegría y por ser mi motor cada día, recordándome siempre el verdadero significado de perseverar. Los amo mucho, y mi vida y mi corazón siempre serán de ustedes. Donde quiera que esté, ustedes serán mi vida entera. Esta etapa no habría sido posible sin ustedes, y con todo mi cariño, les dedico este logro.

JOSÉ HILARIO YÁNEZ AVALOS

AGRADECIMIENTO

A Dios, al Niño Jesús y a la Virgencita de Guadalupe, por darme vida, salud y fortaleza en cada paso. A mi familia, mi mayor pilar, por su amor incondicional, paciencia y fe inquebrantable en mí. Cada palabra de aliento, sacrificio y gesto de apoyo han sido mi mayor impulso. A mi Tutor, por su guía y compromiso con este trabajo. A mis profesores y compañeros, por compartir su conocimiento y hacer de este proceso una gran experiencia. A Brangus Kiu Beer, por confiar en mí y permitirme desarrollar este proyecto, y a Arca Continental, por su respaldo en mi crecimiento profesional. A todos los que han sido parte de este camino, mi más sincera gratitud.

Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE EXAMINADORES	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xix
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	5
justificación.....	10
objetivo general.....	12
objetivos específicos	12

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	13
Filosofía corporativa	14
Análisis de los factores internos.....	21
Análisis de la matriz EFI.....	21
Análisis de la matriz EFE.....	22
Análisis AMEF para los procesos productivos	24
Aspectos críticos basados en las características de calidad	40
Control estadístico de la calidad	42
Capacidad de producción	70

Área de estudio.....	71
Modelo operativo	74
Desarrollo del modelo operativo	75

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta	78
Resultados esperados	79
Cronograma de actividades	97
Análisis de costos.....	102

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución.....	104
Justificación de la ejecución.....	105
Desarrollo y seguimiento	106
Resultados obtenidos.....	121
Evaluación de la ejecución.....	157

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	166
Recomendaciones.....	167
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	172
ANEXOS	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 SIPOC de BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.....	10
Tabla 2 Proceso productivo de la microempresa	16
Tabla 3 Maquinaria y equipos de la empresa Artesanal BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.	20
Tabla 4 Matriz EFI (Evaluación de Factores Internos).....	22
Tabla 5 Matriz EFE (Evaluación de Factores Externos).....	23
Tabla 6 Categorización.....	25
Tabla 7 Estudio del AMEF proceso de recepción de materia prima.....	26
Tabla 8 Estudio del AMEF proceso de pesado	27
Tabla 9 Estudio del AMEF proceso de molienda	28
Tabla 10 Estudio del AMEF proceso de Cocción.....	28
Tabla 11 Estudio del AMEF procesos de enfriamiento	30
Tabla 12 Estudio del AMEF proceso de fermentación	31
Tabla 13 Estudio del AMEF proceso de filtrado.....	32
Tabla 14 Estudio del AMEF proceso de envasado	33
Tabla 15 Estudio del AMEF proceso de distribución	34
Tabla 16 Resumen del Estudio del AMEF los procesos	35
Tabla 17 Frecuencia de los Riesgos Identificados	38
Tabla 18 Aspectos críticos basados en las características de calidad	41
Tabla 19 Constantes para gráficas de control	43
Tabla 20 Datos de la densidad en el proceso de maceración	44
Tabla 21 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de maceración	45
Tabla 22 Datos de la densidad en el proceso de cocción	49
Tabla 23 Cálculos de los límites de control del proceso de cocción.....	51
Tabla 24 Datos de la variación de la temperatura en el proceso de enfriamiento	55
Tabla 25 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de enfriado	57
Tabla 26 Datos de la variación de la densidad en el proceso de fermentación....	61
Tabla 27 Cálculos de los promedios y rangos del procesos de fermetación.....	63
Tabla 28 Datos de los grados de alcohol de la cerveza artesanal.....	66

Tabla 29 Cálculos de promedios y rangos del proceso de % de grados de alcohol	66
Tabla 30 Capacidad de producción	70
Tabla 31 Análisis de desviaciones en los parámetros del proceso de producción antes de las mejoras.....	72
Tabla 32 Área de estudio.....	74
Tabla 33. Modelo operativo del estudio.....	75
Tabla 34 Criterios propuestos para la optimización de la línea de producción....	79
Tabla 35 Elementos adquiridos para el proceso de control automático	82
Tabla 36 Sensor de temperatura	87
Tabla 37 Datos técnicos del sensor Pt100.....	87
Tabla 38 Comparación de sensores de nivel de liquido	88
Tabla 39 Características del censer Keenso Tbq	88
Tabla 40 Comparación de la electroválvula.....	89
Tabla 41 Características de la electroválvula solenoide Bacoeng 2W-20	90
Tabla 42 Comparación de las diferentes interfaces de usuario con Arduino	91
Tabla 43 Componentes en interfaz con Arduino.....	92
Tabla 44 Cronograma Valorado para la optimización de la línea de producción	98
Tabla 45 Costos valorados para la curva S	102
Tabla 46 Elementos adquiridos para el proceso de control automático	107
Tabla 47 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de maceración después de la optimización	122
Tabla 48 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de Cocción después de la optimización	128
Tabla 49 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de enfriamiento después de la optimización	134
Tabla 50 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de fermentación después de la optimización	139
Tabla 51 Cálculos de los promedios y rangos del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV)	145
Tabla 52 Porcentaje de Mejora en los Promedios y Rangos de los Procesos de Elaboración de Cerveza.....	151

Tabla 53 %ABV después de la optimización.....	152
Tabla 54 Resumen de la mejora Antes y después de la optimización de los Procesos de Elaboración de cerveza.....	153
Tabla 55 Calculo de KS del %ABV antes de la mejora de la optimización	158
Tabla 56 Calculo de KS del %ABV después de la mejora	159
Tabla 57 Cálculo de la aplicación de la formula para la prueba de Bartlett	161
Tabla 58 Correlación de variables.....	162
Tabla 59 Curva de “S” de los valores planificados y ejecutados	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estimación de ingresos para la cerveza artesanal	2
Figura 2 Diagrama de Ishikawa	8
Figura 3 Organigrama estructural de la Empresa Artesanal BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.	15
Figura 4 Flujo del proceso	17
Figura 5 Evolución de la productividad de BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.	19
Figura 6 Diagrama del modelo operativo	74
Figura 7 Arduino UNO	83
Figura 8 Conectividad eléctrica	84
Figura 9 RFID RC522.....	85
Figura 10 Modulo SP 32	86
Figura 11 Pulsadores.....	89
Figura 12 Lenguaje del código Arduino Diagramado	95
Figura 13 Perforación en la olla de macerado.....	109
Figura 14 Soldadura de la rosca M10	109
Figura 15 Colocación del sensor de nivel KeensoTbq.....	110
Figura 16 Colocación del sensor de temperatura Pt100	111
Figura 17 Colocación del medidor de caudal YF-S201	112
Figura 18 Arduino Uno y ESP32	113
Figura 19 Montaje de la caja y sus componentes.....	114
Figura 20 Conexión de los sensores y actuadores.....	114
Figura 21 Instalación del sensor de temperatura Pt100	115
Figura 22 Montaje del display LCD	116
Figura 23 Conexión de los relés de control de las electroválvulas	116
Figura 24 Conexión de sensores y actuadores	117
Figura 25 Diagrama de conexión	118
Figura 26 Pruebas y ajustes del proceso automático	119
Figura 27 Desviaciones Estándar individuales del porcentaje de alcohol, Antes y Después de la Optimización del Proceso.	151

Figura 28 Indicadores ThingSpeak en tiempo real	155
Figura 29 Distribución normal del %ABV antes de la mejora de la optimización	159
Figura 30 Distribución normal del %ABV después de la mejora de la optimización	160

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Diagrama de Pareto	40
Gráfico 2 Diagrama de dispersión en el proceso de maceración	44
Gráfico 3 Control de promedios del proceso de maceración	46
Gráfico 4 Control de los rangos del proceso de maceración.....	47
Gráfico 5 Control de Valores Individuales de la Densidad Final (T=60 min) del Proceso de Macerado	48
Gráfico 6 Diagrama de dispersión de la densidad en el proceso de cocción	50
Gráfico 7 Control de los promedios del proceso de cocción.....	52
Gráfico 8 Control de los rangos del proceso de cocción.....	53
Gráfico 9 Control de Valores Individuales de la Densidad Final (T=60 min) del Proceso de Cocción	54
Gráfico 10 Diagrama de dispersión en el proceso de enfriamiento	56
Gráfico 11 Control de promedios en el proceso de enfriamiento	57
Gráfico 12 Control de rangos en el proceso de enfriamiento.....	59
Gráfico 13 Control de Valores Individuales de la Temperatura Final (40 min) del Proceso de Enfriamiento.	60
Gráfico 14 Diagrama de dispersión en el proceso de fermentación.....	61
Gráfico 15 Control promedio del proceso de fermentación	63
Gráfico 16 Control de rangos del proceso de fermentación.....	64
Gráfico 17 Control de Valores Individuales de la Densidad Final (Día 7) del Proceso de Fermentación.	65
Gráfico 18 Control de promedios del % de alcohol.....	67
Gráfico 19 Control de rangos del % de alcohol	68
Gráfico 20 Control de Valores Individuales (I) del % de Alcohol (Día 10) ("Antes")	69
Gráfico 21 Capacidad de procesos % (ABV).....	71
Gráfico 22 Curva de "S"	103
Gráfico 23 Promedios del proceso de maceración después de la optimización.	123
Gráfico 24 Rangos del proceso de maceración después de la optimización.....	124

Gráfico 25	Pictogramas de comparación de promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de maceración antes y después de la automatización....	125
Gráfico 26	Densidad Final (T=60 min) del Macerado: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización.....	127
Gráfico 27	Promedios del proceso de cocción después de la optimización.....	129
Gráfico 28	Rango del proceso de cocción después de la optimización	130
Gráfico 29	Pictogramas de comparación de promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de cocción antes y después de la automatización.....	131
Gráfico 30	Densidad Final (T=60 min) de cocción: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización	133
Gráfico 31	Control de promedios del proceso de enfriamiento después de la optimización.....	135
Gráfico 32	Control de rango del proceso de enfriamiento después de la optimización.....	136
Gráfico 33	Pictogramas de comparación de promedios y rangos de los gráficos de control de los procesos de enfriamiento antes y después de la automatización..	137
Gráfico 34	Temperatura (T=40 min) del proceso de enfriamiento: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización	138
Gráfico 35	Promedios del proceso de fermentación después de la optimización	140
Gráfico 36	Rango del proceso de fermentación después de la optimización.....	141
Gráfico 37	Pictogramas de comparación de promedios y rangos de los gráficos de control de los procesos de fermentación antes y después de la automatización .	142
Gráfico 38	Densidad del día 7 del proceso de fermentación: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización.....	144
Gráfico 39	Control de promedios del proceso del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) después de la optimización	146
Gráfico 40	Control de rango del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) después de la optimización.....	147
Gráfico 41	Pictogramas de comparación de promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de rango del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV), antes y después de la automatización.....	148

Gráfico 42 Control de Valores Individuales (I) del % de Alcohol (Día 10) "Antes" y "Después" de la optimización.	150
Gráfico 43 Curva de "S"	164

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Diagrama de flujo del proceso	175
Anexo 2 Esquema Electrónico.....	177
Anexo 3 Evidencia de capacitación	178
Anexo 4 Fluctuación de los datos en la plataforma ThingSpeak.....	181
Anexo 5 Tabla de la prueba de kolmogorov-smirnov para una muestra: valores críticos del estadístico	182
Anexo 6 Datos estadísticos	183
Anexo 7 Evidencias de los costos de implementación	184

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Número de Prioridad de Riesgo	24
Ecuación 2. Porcentaje de mejora de los promedios.....	151
Ecuación 3. Porcentaje de mejora de los rangos	151
Ecuación 4. Valor critico estadistico.....	158
Ecuación 5. Prueba de Bartlett	160
Ecuación 6. Porcentaje de planificación de la fase	163

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y PROCESOS

TEMA: OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. UBICADA EN LA CIUDAD DE MACHACHI.

AUTOR: Ing. José Hilario Yáñez Avalos

TUTOR: Ing. Edwin Ramiro Ocaña Raza, MGCP

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio realizado en la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., tuvo como objetivo optimizar la línea de producción de cerveza artesanal para mejorar la eficiencia operativa y la calidad del producto, se aplicó una metodología que incluyó la recolección de datos a través de diversas técnicas, incluyendo un diagnóstico de la situación actual mediante la metodología AMEF, que identificó puntos críticos mediante la priorización del riesgo en los procesos, como también empleado herramientas de control estadístico de la calidad, los cuales mostraron resultados en la característica de calidad en el contenido de alcohol del producto final, donde dicho parámetro es clave antes y después de implementar las mejoras, pasando de un 5.79% a un 5,19% actual, esto gracias a la automatización y monitoreo constante de las variaciones en tiempo real, además se tuvo condiciones fuera de rango y que la mismas se han reducido drásticamente, pasando del 66% al 14%, después de la optimización. El 14% resulta de aplicar la mejora del 78.33% al porcentaje inicial fuera de rango ($66\% \times (1-0.7833) \approx 14\%$), en los procesos que tuvo un impacto significativo. Para la comprobación de la mejora se emplearon muestras que siguieron un proceso estadístico desde las pruebas de normalidad hasta la aplicación de la prueba t de Welch, donde mostró un p-valor de 0.000023, que hubo una diferencia significativa con lo cual se optimizaron los procesos. En conclusión, se ha verificado que la optimización de la línea de producción a través del control automático desarrollada en la empresa ha generado una notable mejora en la calidad del producto, donde la efectividad de la implementación es notable mejora en la eficiencia general, que ha pasado del 96,83% al 99,62%. Además, se sugiere continuar con el monitoreo y los ajustes del sistema automatizado, así como explorar la posibilidad de extender esta optimización a otras áreas del proceso con el fin de seguir mejorando la eficiencia y la calidad del producto.

DESCRIPTORES: Automatización; Producción de cerveza artesanal; AMEF; Calidad en el producto; % de alcohol.

ABSTRACT

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Master's Degree in Industrial and Process Design

AUTHOR: YANEZ AVALOS JOSE HILARIO

TUTOR: MGcp OCAÑA RAZA EDWIN RAMIRO

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THE CRAFT BEER PRODUCTION LINE AT BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. LOCATED IN THE CITY OF MACHACHI

The study conducted at BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. aimed to optimize the craft beer production line to improve operational efficiency and product quality. The methodology applied included data collection through various techniques, including a diagnosis of the current situation using the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) methodology. This identified critical points by prioritizing risks in the processes. Additionally, statistical quality control tools were employed, which showed improvements in the quality characteristic concerning the alcohol content of the final product. This parameter was key both before and after the improvements, decreasing from 5.79% to the current 5.19%. This improvement was achieved thanks to automation and continuous real-time monitoring of variations. Furthermore, the percentage of out-of-range conditions was drastically reduced, dropping from 66% to 14% after optimization. The 14% figure results from applying a 78.33% reduction to the initial out-of-range percentage ($66\% \times (1 - 0.7833) 14\%$) in the processes that had a significant impact. To verify the improvement, samples underwent a statistical process ranging from normality tests to the application of Welch's t-test, which yielded a p-value of 0.000023, indicating a significant difference and confirming that the processes were optimized. In conclusion, it has been verified that the optimization of the production line through the automated control system developed by the company has generated a notable improvement in product quality. The effectiveness of the implementation is reflected in the overall efficiency increase, which rose from 96.83% to 99.62%. Additionally, it is recommended to continue monitoring and adjusting the automated system, as well as exploring the possibility of extending this optimization to other areas of the process to further enhance efficiency and product quality

KEYWORDS: alcohol percentage, AMEF, automation, craft beer production, product quality



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El sector de la cervecería artesanal ha mostrado un notable crecimiento en los últimos años, impulsado por la creciente demanda de productos de alta calidad y con características únicas. Martínez dentro del estudio concluye que las industrias cerveceras artesanales tuvieron un gran impacto en la economía ecuatoriana para 2021, pese los estratos pandémicos, esto ayuda a la generación de empleo, el uso de insumos locales y la adopción de nuevas tecnologías para reducir costos y satisfacer a los consumidores (Martínez, 2019).

Sin embargo, las microempresas cerveceras enfrentan desafíos importantes en términos de estandarización de procesos y mejora de la productividad esto se llevará a cabo mediante la optimización de la línea de producción que propone la aplicación de principios de diseño industrial y metodologías de procesos para abordar estos desafíos.

En el Mercado Latinoamericano de Cerveza Artesanal (2023), indica que el sector cervecero artesanal es prometedor, con una previsión de crecimiento anual del 14% y una proyección al año 2032. En la siguiente la figura 1 presenta la estimación:

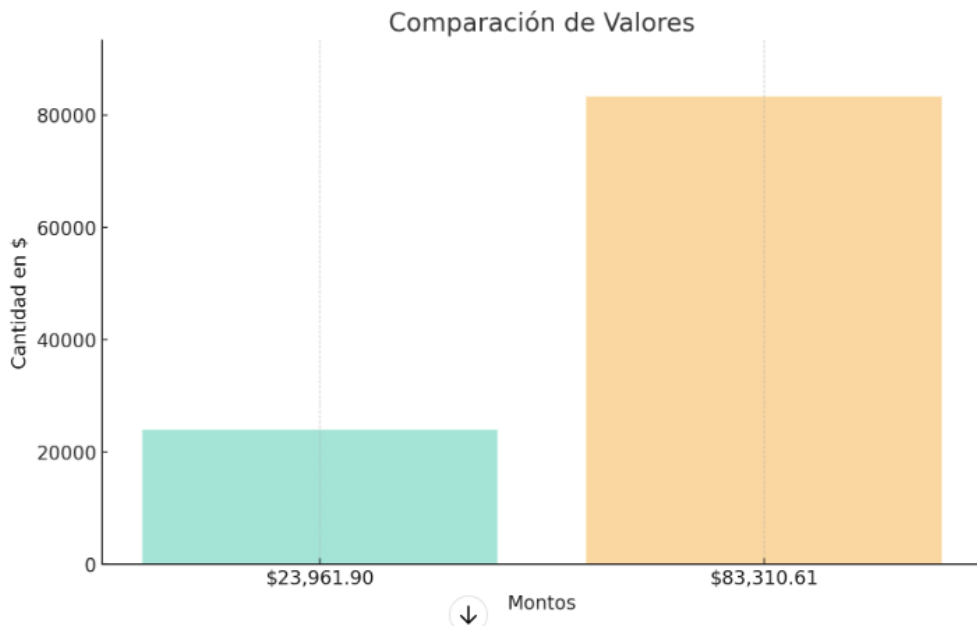


Figura 1 Estimación de ingresos para la cerveza artesanal

Nota: Datos desarrollados de la fuente (Mercado Latinoamericano de Cerveza Artesanal, 2023).

En la actualidad, tanto en el ámbito empresarial, industrial y el sector gubernamental, es fundamental disponer de operaciones eficientes que garanticen productos de alta calidad, con tiempos de entrega oportunos a un costo mínimo, asegurando así la competitividad dentro del sector (Balderrabano, y otros, 2019).

Por lo tanto, optimizar la línea de producción es una estrategia efectiva. Este proceso puede lograrse a través de una gestión administrativa adecuada, que permite experimentar y perfeccionar el flujo de trabajo sin incurrir en altos costos.

Mediante esta gestión, es posible identificar y eliminar ineficiencias, mejorar la calidad del producto y acortar los plazos de entrega, garantizando que la organización pueda satisfacer las demandas del mercado con mayor eficacia y competitividad.

En el estudio de Serrano y Ortiz tiene como propósito ofrecer una visión integral sobre la evolución de la literatura en esta área de conocimiento. Para ello, se presenta un marco unificado que organiza cronológicamente los artículos analizados, considerando los tres principales enfoques para la mejora de procesos. El análisis abarca 11 modelos centrados en el rediseño, evaluando las características

fundamentales, la metodología aplicada, así como los aportes y diferencias entre los constructos desarrollados por sus autores (Serrano, y otros, 2019).

De igual forma, incrementar la eficiencia y productividad en una línea de producción mediante herramientas de *Lean Manufacturing* permite identificar áreas de mejora, optimizar el uso del espacio, automatizar procesos y mejorar la eficiencia energética, asegurando un producto final de alta calidad y consistencia.

La combinación del análisis literario con la aplicación práctica de *Lean Manufacturing*, se puede realizar un rediseño y optimización efectivos de la línea de producción. El enfoque conlleva no solo a mejora de manera significativa la eficiencia operativa y reduce costos, sino que también permite mantener la competitividad en el mercado.

La simulación ha logrado demostrar ser es una herramienta eficiente y eficaz, con el fin de perfeccionar los procesos de manufactura, y con ello satisfacer adecuadamente la demanda del mercado, minimizando los posibles fallos y errores ejecutados dentro de la producción.

Además, se identificó la oportunidad de optimizar la gestión de inventarios, ya que la escasez de componentes para el ensamblaje de los ejes provoca retrasos en los pedidos. La implementación de un modelo de simulación para el control de inventarios permitiría determinar el momento óptimo para reabastecer piezas, reduciendo los tiempos de inactividad en las estaciones (López, y otros, 2021).

En este mismo contexto, desarrollar estrategias de mejora continua enfocadas en la eficiencia permitiría tomar decisiones fundamentadas sobre la adopción de nuevas tecnologías y la distribución de planta. Además, la capacitación del personal en el uso de las herramientas tecnológicas y en las prácticas optimización que garanticen una correcta implementación y operación del sistema mejorado.

Así, al combinar la simulación con estrategias de optimización, es posible lograr una mejora integral en el proceso de manufactura, asegurando la eficiencia y competitividad de la empresa.

La competitividad en el ámbito empresarial también requiere tener en cuenta los factores que afectan las decisiones sobre la adquisición de tecnologías. En el sentido, de la que la eficiencia operativa y el uso óptimo de los recursos son elementos esenciales y especiales para las pequeñas y medianas.

Los procesos de toma de decisiones estratégicas fundamentadas en la experiencia son de suma importancia, aunque a menudo se ve restringido por la ausencia de herramientas accesibles que faciliten la verificación de su efectividad. En este sentido, los modelos de planificación tecnológica combinados con la simulación computacional se presentan como una solución efectiva, ya que posibilitan el ajuste de recursos, procesos y políticas sin interrumpir la producción (Palomo, y otros, 2021).

En el Ecuador, en los últimos años los emprendimientos tienen mayor auge, por ende, los negocios con referencia a la cerveza artesanal han ganado una mayor relevancia en los mercados, es así que captura el interés tanto de consumidores locales como de extranjeros. Gracias a su variedad de sabores, texturas, estilos y su alta calidad, el país se ha instituido como un anfitrión destacado en el sector cervecero de América Latina.

Según la Asociación de Cervecerías Artesanales del Ecuador (ASOCERV), en el país operan 253 marcas de cerveza artesanal, con una producción estimada de seis millones de litros anuales y un valor aproximado de USD 25 millones. Esta cifra representa el 1.06% del total de la producción de cerveza en el país (Ekos, 2023).

El análisis del escenario actual, a través de simulación, evidenció deficiencias en la política de producción y en la metodología aplicada en la operación de empaque.

Además, la planificación vigente reflejaba que el 60% de las operaciones presentaban un nivel de utilización inferior al 50%. A partir de estos hallazgos, se plantearon diversas alternativas. Se diseñaron y evaluaron tres escenarios de solución, enfocados en medir el rendimiento mediante indicadores de desempeño como el *Throughput*, el porcentaje de tiempo de espera y el grado de utilización de cada operación.

Por consiguiente, mejorar y diversificar los procesos productivos resulta esencial para las cervecerías artesanales. La implementación de herramientas y metodologías como la simulación computacional les permite optimizar recursos, procesos y estrategias sin afectar la producción. Este enfoque fortalece la capacidad de respuesta, disminuye los costos y garantiza altos estándares de calidad, además de asegurar la entrega oportuna de los productos. Estos enfoques ayudan a mejorar la toma de decisiones, optimizan los recursos y disminuyen costos, lo que permiten un mejor desempeño en el mercado (Peña, y otros, 2020).

Dentro del contexto la empresa artesanal “BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.”, se orienta hacia la eficiencia y la calidad, aspectos esenciales para el crecimiento de cualquier microempresa. Por ello, la optimización y el rediseño de la línea de producción desempeñan un rol clave en el incremento de la capacidad operativa, la disminución de costos y el aseguramiento de la consistencia en la producción de dicha microempresa. Es así como se enfrenta al desafío constante de mantener estándares altos de calidad mientras responde a la creciente demanda del mercado por sus productos artesanales (Aldea , 2021).

El estudio se enfoca en examinar de manera detallada los procesos actuales dentro de la línea de producción de la empresa artesanal “BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.”, con el propósito de identificar oportunidades de mejora y proponer estrategias efectivas para su optimización. Mediante de la aplicación de metodologías de gestión modernas y tecnología avanzada, se busca no solo incrementar la eficiencia y productividad, sino también mantener la flexibilidad necesaria para ajustarse a las fluctuaciones del mercado y atender las expectativas de los consumidores cada vez más exigentes (Santacruz, y otros, 2022).

Antecedentes

El principal obstáculo que enfrenta la empresa es la baja eficiencia operativa, lo que limita su capacidad para atender el incremento de la demanda del mercado sin comprometer los estándares de calidad que distinguen a su cerveza artesanal.

Los desafíos representan una amenaza para la competitividad, ya que no se ha logrado optimizar el tiempo de producción y los recursos disponibles no se utilizan

de manera efectiva. En el fin de establecer las demandas del consumidor y desarrollarse de manera sostenible, es crucial mejorar los procesos operativos sin sacrificar la esencia artesanal del producto.

En BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C., una microempresa dedicada a la producción y comercialización de cervecería artesanal en Machachi, en donde la optimización del proceso productivo presenta una serie de problemas críticos que afectan tanto la eficiencia operativa como la calidad de su cerveza. Por ende, los principales obstáculos se encuentran las restricciones en las etapas de fermentación y embotellado, lo que provoca retrasos significativos o la reducción de la producción.

Los usos ineficientes de las materias primas, del uso del agua, de la energía, no solo incrementa los gastos operativos, sino que también compromete la sostenibilidad del negocio. Por lo tanto, reducir los desperdicios son parte fundamental para lograr una producción más optimizada y responsable, comprometida con el cuidado del medio ambiente, esto como filosofía empresarial e involucrada a los procesos.

De esta manera, se indica que la variabilidad en la calidad del producto terminado afecta directamente la imagen y competitividad de la empresa, debido a que la cerveza artesanal depende de diversos procesos meticulosos y exactos, en donde cualquier inconsistencia puede alterar las características sensoriales y organolépticas como el sabor y la textura del producto, lo que repercute negativamente en la percepción del cliente.

Las fallas recurrentes de los equipos, resultado de la falta de un adecuado mantenimiento, no solo limitan las capacidades de la producción, sino que también generan costos adicionales por paradas inesperadas, y reparaciones que direccionan en tiempo. Por ende, la implementación de un plan de mantenimiento programado es crucial para minimizar estos inconvenientes y asegurar la continuidad en la producción.

Además, otro de los factores es el diseño actual de la planta donde no se encuentra optimizado, dificultando el uso eficiente del espacio disponible y complicando la

incorporación de nuevas tecnologías o expansiones en la línea de producción. A esto se añade la carencia de automatización en los procesos, que incrementa la dependencia del trabajo manual, reduciendo la velocidad de producción y aumentando el margen de error humano.

La adopción de tecnologías automatizadas permitiría mejorar tanto la eficiencia como la consistencia del producto final. Dado que los clientes aprecian la homogeneidad en el sabor y la integridad del producto, cualquier optimización de los procesos debe lograr un equilibrio entre aumentar la producción y preservar la calidad artesanal.

Frente a estos desafíos, es esencial implementar estrategias claves, como el control automático de los procesos en las etapas críticas, asegurando que todo el personal se encuentre capacitado para operar y manejar las nuevas tecnologías. Además, reorganizar el diseño de la planta permitirá optimizar el flujo de trabajo y desarrollar una estrategia de mantenimiento preventivo para reducir los tiempos de inactividad de los equipos. Una gestión más eficiente de los recursos también ayudará a disminuir el desperdicio de agua y materias primas, y con ello favorecerá tanto la sostenibilidad como la reducción de costos.

La mejora integral del proceso productivo en BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. requiere abordar las restricciones operativas, optimizar el uso de recursos y adoptar tecnologías que incrementen la eficiencia operativa, todo ello sin comprometer la calidad del producto. Esto permitirá a la empresa responder la mayor demanda del mercado y fortalecer su presencia en el exigente sector cervecero artesanal.

Por consiguiente, al problema existente se lo diagrama mediante la herramienta del Diagrama Ishikawa, el cual considera factores como el método, la mano de obra, la maquinaria y el entorno, tal como se muestra en la figura 2:

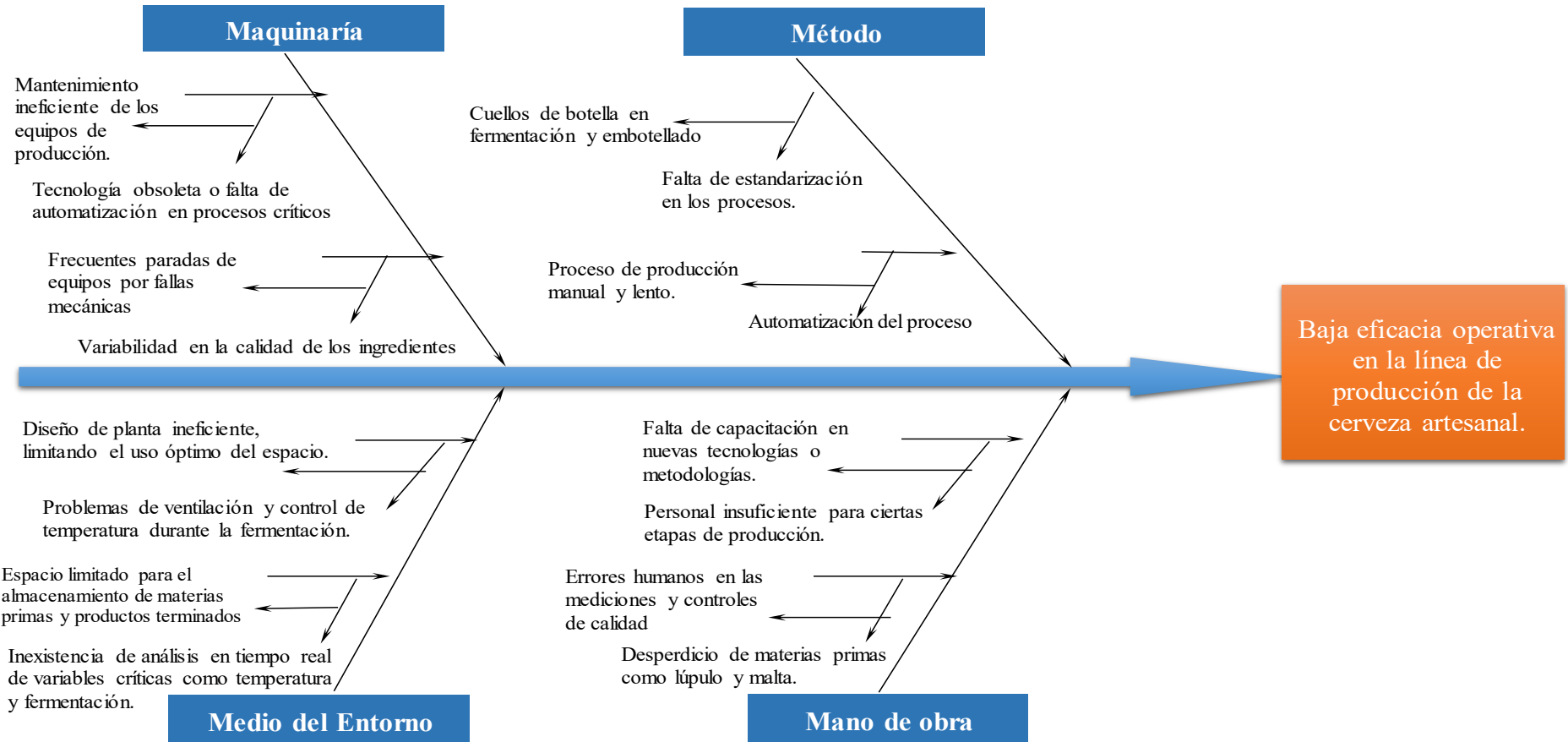


Figura 2 Diagrama de Ishikawa

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la situación actual de la empresa Brangus Cava Company S.C.C.

Las causas observadas demandan una exploración de los tiempos de ciclo en los procesos, en donde se puede aplicar un control automático u optimizar el proceso en las áreas de fermentación y embotellado, con el fin de prevenir retrasos, como también incrementar la producción. Así mismo, es fundamental invertir en el mantenimiento preventivo y en la modernización de los equipos, ya que esto es crucial para evitar interrupciones, con el fin de mejorar la capacidad operativa.

La automatización, aunque costosa, podría traer beneficios a largo plazo al reducir el error humano y garantizar la uniformidad del producto.

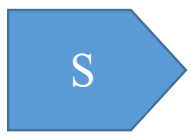
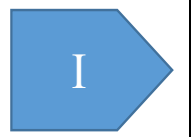
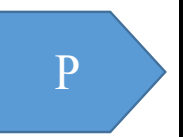
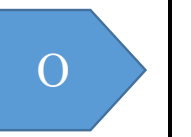

La optimización en el uso de materiales y una gestión eficiente de recursos podrían reducir costos y asegurar una mayor homogeneidad en los lotes producidos.

Del mismo modo, la capacitación continua del personal resulta fundamental para garantizar que el personal se ajuste nuevas tecnologías y metodologías de trabajo, mejorando la eficiencia general y minimizando errores.

Y por último el Layout mejorado podría incrementar la eficiencia al reducir el tiempo perdido en traslados innecesarios y mejorar la ergonomía del entorno de trabajo.

Además, el análisis del contexto basado en la tabla 1, del SIPOC de BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. refleja un proceso estructurado y detallado dentro del proceso de elaboración de cerveza artesanal, donde intervienen diversos proveedores, insumos y procedimientos que culminan en la distribución del producto final a los clientes.

Tabla 1 SIPOC de BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.

				
Proveedores	Entradas	Proceso	Salida	Clientes
Cheers EC	Mala Base (Pale Ale, Vienna)	Molienda	Mosto	La Favela Bar y Grill, Vikingo Plaza, Rivet, Alimnetos y Quimicos
	Maltas Especiales (Chocolate, Caramelo, Crystal)	Macerado / Empaste	Mosto	
	Lúpulos	Recirculado	Mosto con lúpulos	
	Levaduras	Lavado	Fermento	
	Carragenina (Clarificante)	Clarificación	Cerveza sin filtrar	
3G Químicos	Sosa cáustica líquida al 38%	Envasado /Limpieza Whirlpool	Tanques limpios	
	Peróxido de Hidrógeno al 35%	Preparación del equipos	Limpieza profunda en el proceso	
	Ácido Nítrico al 45%	Desinfección de equipo	Equipos limpios	
	Dextrosa monohidratada	Enfriado	Cerveza lista para embotellar	
Distribuidora Castro I.C.C.	Botellas de vidrio color ámbar de 300 y 330 ml	Envasado	Botellas vacías listas	

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

En el análisis SIPOC, pone en manifiesto la interdependencia entre todos los actores que participan en el proceso productivo, así como la relevancia de mantener un flujo de trabajo eficiente, que va desde los proveedores de insumos hasta la entrega final del producto a los clientes. La calidad de la cerveza artesanal depende del control riguroso de cada fase del proceso y de la habilidad para gestionar de manera eficiente los recursos y las herramientas necesarias.

Justificación

La investigación es de gran relevancia, ya que se enfoca en el análisis y la mejora de los procesos productivos de la microempresa manufacturera de cerveza artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C. ", en donde dicha micro empresa

enfrenta desafíos significativos debido a la falta de control automático dentro de sus procedimientos, lo que afecta negativamente tanto la eficiencia como la correcta utilización de los recursos disponibles.

Por esta razón, se propone la optimización de la línea de producción de cerveza artesanal considerando los espacios físicos de y los puestos de trabajo, con el objetivo de reducir los tiempos de producción y maximizar el uso efectivo de los recursos.

El estudio es valioso porque busca incrementar la eficiencia en la producción de la línea de la producción mediante un exhaustivo análisis de los procesos productivos, en donde incurre los posibles problemas relacionados con el producto final, por ende, los aspectos cruciales para mejorar la operativa general, está en la incurrancia de la situación actual de la microempresa de cerveza artesanal, con el fin de cumplir con los estándares de calidad y los plazos de entrega.

El impacto de esta investigación en "BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C. " es considerable, ya que, al mejorar la eficiencia operativa mediante la identificación y eliminación de cuellos de botella y tiempos muertos, se logra un flujo de trabajo más ágil. Con ello no solo eleva la calidad del producto final, sino que también ayuda a alcanzar las metas estratégicas de la empresa, optimizando los tiempos de producción y aumentando la satisfacción del cliente a través de productos de alta calidad y entregas más confiables.

Los principales beneficiarios del estudio es la propia microempresa, ya que se verá incrementada su capacidad operativa y su capacidad para cumplir con los pedidos; el personal de producción, que disfrutará de un entorno de trabajo más eficiente; y los clientes, que recibirán productos que superen sus expectativas.

La viabilidad del estudio cuenta con el respaldo del compromiso del gerente propietario, del jefe del área de producción, y de todos los operarios involucrados en la elaboración de la cerveza artesanal.

Su participación es crucial para la recopilación de datos precisos y para asegurar el éxito del estudio técnico, garantizando que las recomendaciones se implementen de

manera efectiva para fortalecer la competitividad y el crecimiento sostenido de la empresa.

Objetivo general

Optimizar la línea de producción de cerveza artesanal, en la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., mediante el análisis de los procesos productivos, para un mejoramiento eficiente de las operaciones, potencializando la calidad artesanal del producto.

Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la línea de producción de cerveza artesanal en la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., a través del levantamiento de información detallada de los procesos, para la identificación de los cuellos de botella las áreas críticas que afecten la productividad y calidad del producto
- Elaborar la propuesta de mejora en la línea de producción de cerveza artesanal de la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., utilizando herramientas de mejora continua, para el diseño del plan técnico y estratégicos que permita la eficiencia productiva.
- Implementar la propuesta de mejora en la línea de producción de cerveza artesanal de la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., mediante la aplicación práctica del control automático, para que se garantice la efectividad de nuevas prácticas de los procesos optimizados.
- Evaluar las mejoras implementadas en la línea de producción de cerveza artesanal de la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., a través de los indicadores claves de desempeño, análisis comparativos para la determinación del impacto real de las acciones implementadas en los procesos y con ello potencializando la calidad del producto.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. es una microempresa enfocada en la elaboración de cerveza artesanal en el cantón Mejía - Machachi. Desde su fundación, ha logrado posicionarse en el mercado local gracias a la calidad y autenticidad de sus productos. Sin embargo, a medida que la demanda de sus cervezas ha crecido, la empresa ha enfrentado desafíos vinculados con el rendimiento operativo y la optimización de sus procesos productivos.

La falta de automatización y la organización limitada de la planta han puesto en riesgo su capacidad para satisfacer las expectativas del mercado sin comprometer los altos estándares de calidad que la caracterizan. En este contexto, la empresa se encuentra en una encrucijada, donde la mejora de su línea de producción se ha vuelto esencial para garantizar su sostenibilidad y crecimiento futuro.

BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. inició sus operaciones comerciales el 14 de febrero de 2020 bajo la dirección de Darwin Omar Yáñez Avalos, registrándose ante Servicio de Rentas Internas (SRI) bajo el RUC 1793054951001.

Además, la empresa está inscrita como parte de las sociedades mercantiles y comerciales del país. Su actividad económica principal, de acuerdo con la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU), pertenece al sector C110301, dedicado a la elaboración de bebidas malteadas, como cervezas de fermentación alta, negras y fuertes, incluyendo cervezas de baja graduación.

Esta clasificación refleja su especialización en la producción de cervezas artesanales, sector en el que se ha consolidado desde sus inicios.

La microempresa está situada en la localidad de Machachi, dentro del cantón Mejía, provincia de Pichincha, específicamente en las calles Barriga S/N y Antonio José de Sucre. Dicha ubicación estratégica, cercana a la capital Quito, permite a la empresa no solo abastecer al mercado local sino también ampliar su distribución a otras regiones del país, aprovechando su fácil acceso a rutas comerciales clave.

Filosofía corporativa

- **Misión**

BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. tiene como misión producir cervezas artesanales de alta calidad, elaboradas con ingredientes seleccionados y procesos tradicionales que garantizan un sabor único y auténtico. Nos enfocamos en satisfacer a nuestros clientes al brindar una experiencia de consumo diferenciada, comprometidos con la innovación, el respeto por el medio ambiente y el fomento de la cultura cervecera en el mercado local y regional.

- **Visión**

Ser reconocidos como una marca referente en la industria cervecera artesanal a nivel nacional, destacándose por la calidad en nuestros productos, la pasión por la elaboración artesanal y la constante mejora de nuestros procesos productivos. Aspiramos a expandir nuestra presencia en nuevos mercados, manteniendo nuestra dedicación a la excelencia y la sostenibilidad.

- **Valores corporativos**

- a) **Calidad:** Nos esforzamos por mantener altos estándares en cada etapa de la producción, desde la selección de ingredientes hasta la entrega de nuestro producto final.
- b) **Innovación:** Promovemos la mejora continua de nuestros procesos, buscando nuevas formas de sorprender y deleitar a nuestros consumidores.
- c) **Responsabilidad Ambiental:** Nos comprometemos con prácticas sostenibles que minimicen nuestro impacto en el medio ambiente.

- d) **Integridad:** Actuamos con ética y transparencia en todas nuestras operaciones, construyendo relaciones de confianza con nuestros clientes y socios.
- e) **Pasión por lo artesanal:** Valoramos la dedicación y el esmero en cada cerveza que producimos, preservando la autenticidad de nuestro proceso tradicional.

- **Organigrama estructural**

Así también, la figura 3, que enfoca el organigrama estructural general de la empresa artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.", proporciona una vista panorámica de la estructura organizacional, permitiendo una mejor comprensión de cómo se organiza el personal y cómo fluye la información dentro de la empresa. Es un punto de partida útil para analizar y optimizar la gestión organizacional.

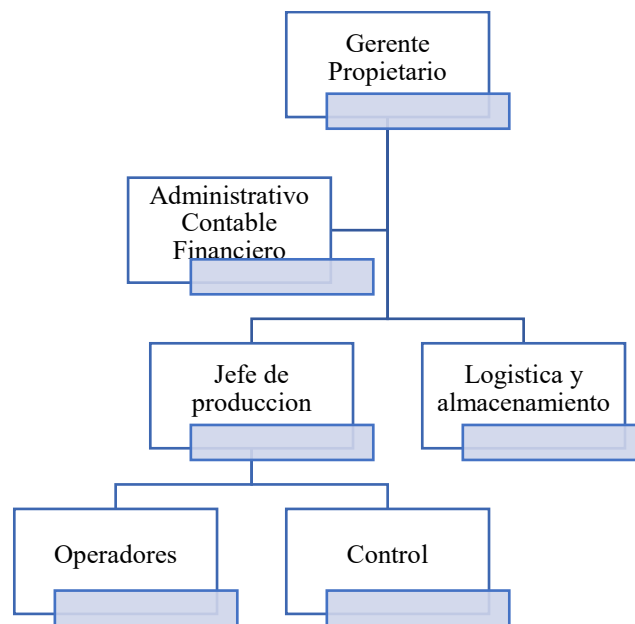


Figura 3 Organigrama estructural de la Empresa Artesanal BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa

La decisión de implementar herramientas Lean, bajo el objetivo de generar mejora continúan en los procesos de la empresa, en donde se ejecuta un análisis previo exhaustivo de los procesos considerando las herramientas de calidad. Este análisis

permite identificar ineficiencias, cuellos de botella y áreas de oportunidad en el flujo de trabajo, el uso de recursos y la interacción entre operarios y maquinaria.

A través de un diagnóstico minucioso se puede respaldar la implementación de estas mejoras, asegurando que cada herramienta o cambio adoptado esté alineado con necesidades específicas y contribuya a optimizar la eficiencia operativa.

Las iniciativas conllevan a tener propósitos no solo de mejorar la eficiencia operativa, sino también fortalecer la posición competitiva de la microempresa cervecera artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C. "; donde busca garantizar el creciente crecimiento de sostenibilidad y una destacada capacidad con el fin de enfrentar los retos futuros del mercado.

En la siguiente tabla 2, se evidencia los procesos productivos llevados a cabo en la línea de producción de la empresa artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.", con el objetivo de unificar y estandarizar de los procesos.

Tabla 2 Proceso productivo de la microempresa

ÍTEM	PROCESOS	RESULTADO DEL PROCESO	REQUISITOS A CUMPLIR
1	RECEPCIÓN	Adquisición de insumos y materias primas de calidad, verificación del estado físico y documental de los insumos a recibir.	Notificación sanitaria, certificado de calidad, hoja de seguridad y facturas.
2	PESADO	Mediciones peso y volumen de los insumos a usar, con la finalidad de dar cumplimiento de la Normativa técnica ecuatoriana en cuanto a dosimetría de insumos para producir cerveza artesanal. Calibraciones de los equipos.	Certificados de calibración de equipos de dosimetría, cumplimiento con el documento de control de receta para la elaboración de cerveza y cumplimiento de la Norma Técnica para elaboración de cerveza, INEN 2262.
3	MOLIENDA	Trituración de maltas para extracción de sólidos solubles mismos que determinarán el grado alcohólico de la cerveza, desintegración de almidones complejos a simples.	Norma técnica ecuatoriana INEN 2262, Notificación Sanitaria por el grado alcohólico, Control de receta para hacer cerveza artesanal.
4	COCCIÓN	Cumplir con temperaturas de maceración para transformar azúcares complejos a azúcares simples.	Control de receta para hacer cerveza artesanal, Norma técnica INEN 2262.
5	ENFRIADO	Tratamiento térmico, choque térmico para control carga microbiana.	Norma INEN 2262, control de receta para hacer cerveza.

ÍTEM	PROCESOS	RESULTADO DEL PROCESO	REQUISITOS A CUMPLIR
6	FERMENTACIÓN	Grado alcohólico acorde para bebidas malteadas como cervezas de baja y alta graduación.	Control de receta para hacer cerveza artesanal, Norma Técnica INEN 2262
7	FILTRADO	Minimizar la presencia de partículas como el sedimento de maltas en la cerveza.	Control de receta para hacer cerveza artesanal, Norma Técnica INEN 2262
8	ENVASADO	Almacenamiento del producto en condiciones adecuadas con el uso de envases primarios.	Norma Técnica INEN 2262
9	DISTRIBUCIÓN	Satisfacer necesidad de los clientes y proveedores, cumplimiento de los pedidos de los clientes.	Permisos habilitantes para el transporte de Alimentos de Funcionamiento del Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA).

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En la siguiente figura 4, se observa el flujo del proceso productivo de la empresa artesanal “BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.”:



GRAFICO DE FLUJO DEL PROCESO CERVEZA ARTESANAL

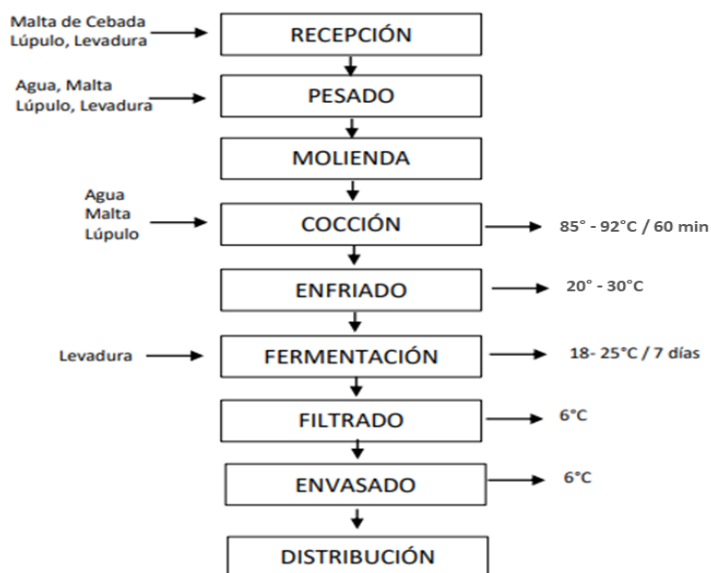


Figura 4 Flujo del proceso

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa

La evolución en la producción de la microempresa artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C. ", conlleva a tener un reflejo en el crecimiento general de la industria de la cerveza artesanal en Ecuador.

La implementación de técnicas de optimización en la línea de producción, como la simulación computacional en los procesos, permite a la microempresa adaptarse de manera efectiva a sus recursos y procesos, mejorando así tanto la eficiencia como la calidad, sin que la oportunidad de mejora interrumpa la producción.

Estos avances han sido fundamentales para destacarse en constante evolución, garantizando la entrega oportuna de productos de alta calidad a un costo competitivo.

La figura 5, muestra la evolución productiva bajo los niveles de crecimiento desde el año 2019, han sido favorables para la empresa artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.", considerando que en este año fue de 2400 litros anuales, en el año 2020 se vio afectado por la pandemia de COVID 2019, descendiendo a 1500 litros, pero para el 2021 crece a 2800 litros y se mantiene en alza los dos últimos años llegando para el 2023 a 4800 litros.

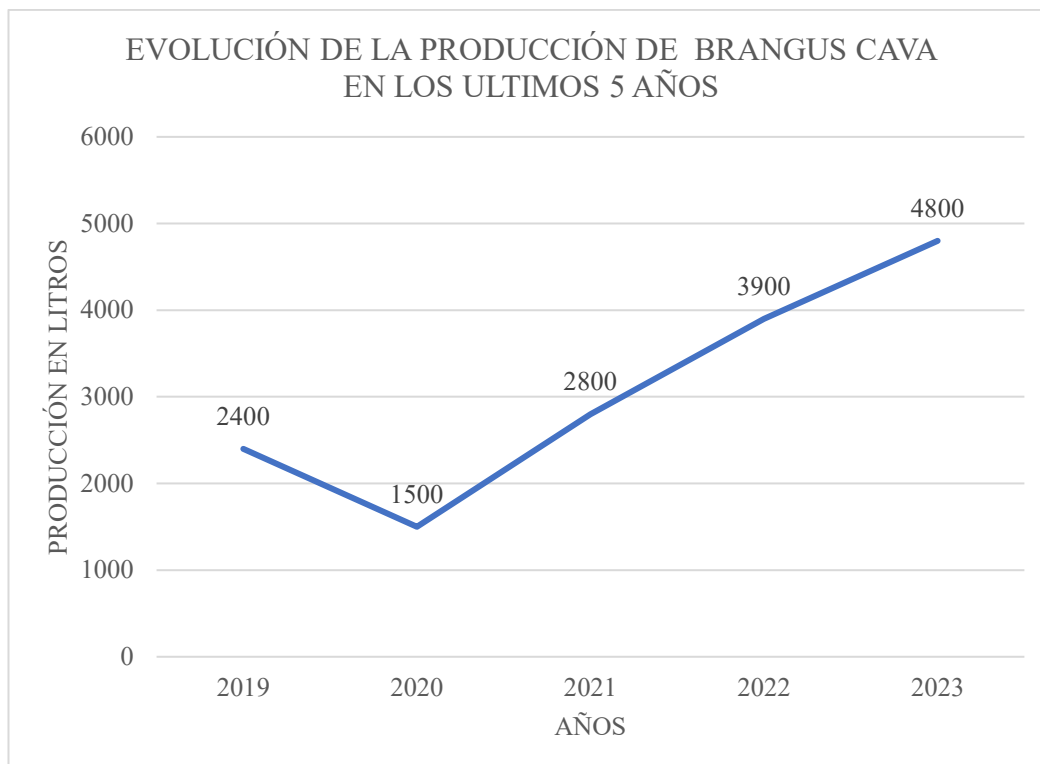


Figura 5 Evolución de la productividad de BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El constante uso de los equipos y maquinarias conlleva a ser fundamental para asegurar el buen funcionamiento eficiente de cualquier empresa artesanal, como es el caso de “BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C.”; en este sentido, resulta esencial estudiar cómo estos recursos impactan en las operaciones de producción y en la calidad del producto final.

Al clasificar y detallar la maquinaria, se puede obtener una visión más clara de su función en la optimización de la producción y en la habilidad de la microempresa para cumplir con las exigencias del mercado. A continuación, se presentará una tabla 3, donde se detalla la maquinaria y equipos de la empresa y que ilustra estos aspectos clave.

Tabla 3 Maquinaria y equipos de la empresa Artesanal BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.

Ítems de Maquinarias	Equipo	Descripción de la función de la máquina
Proceso de Molienda Proceso de Maceración y Cocción	Molino de Malta	Tritura los granos de malta para una mejor extracción de azúcares.
	Tanque de Maceración (Mash Tun)	Mezclar la malta molida con agua caliente para convertir los almidones en azúcares fermentables.
	Hervidor (Brew Kettle)	Hierve el mosto y añade lúpulo para darle las propiedades de sabor y aroma.
	Whirlpool	Separa los sólidos del mosto tras la ebullición mediante fuerza centrífuga.
Proceso de Fermentación	Fermentadores	Tanques de acero inoxidable donde el mosto fermenta y se convierte los azúcares en cerveza.
	Unidad de Control de Temperatura	Mantiene la temperatura óptima durante la fermentación.
Proceso de Enfriamiento	Intercambiador de Calor (Heat Exchange) Glycol Chiller	Enfría el mosto después de la ebullición antes de transferirlo a los fermentadores. Sistema de enfriamiento que utiliza glicol para mantener la temperatura de fermentadores y tanques.
Proceso de Embotellado y Enlatado	Llenadora de Botellas y Latas	Equipos automáticos o semiautomáticos que llenan botellas y latas de manera consistente y eficiente.
	Etiquetadora	Máquina que aplica etiquetas a las botellas y latas.
	Sistema de Limpieza en el Lugar (CIP)	Sistema automatizado para limpiar y desinfectar tanques y tuberías sin desmontar el equipo.
	Desinfectantes y Equipos de Lavado	Productos y herramientas para mantener altos estándares de higiene.
	Equipo de Medición de Densidad y pH	Instrumentos para monitorear y ajustar propiedades del mosto y la cerveza.
	Microscopio y Material de Cultivo de Levadura	Inspecciona y mantiene la salud de las levaduras.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Así también en el análisis interpretativo de la tabla 3 muestra un análisis detallado de los equipos utilizados en “BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.”, proporcionando información clave sobre los recursos y su función dentro del proceso de producción de cerveza. En donde cada categoría de equipo desempeña un papel fundamental en el proceso de producción de cerveza.

El proceso inicia con la molienda es decir que se tritura los granos con el objetivo de maximizar la extracción de azúcares. Para luego seguir al proceso de maceración y cocción transforma esos azúcares en fermentables, siendo un proceso complementado por la fase de hervido y separación de sólidos.

El proceso de fermentación conlleva a ser crucial, ya que es aquí donde el mosto se convierte en cerveza. Durante esta fase, se controlan factores como la temperatura que se encuentra interlazada con el proceso de enfriamiento mediante el control de densidades al enfriar adecuadamente el mosto antes de iniciar la fermentación, con el fin de asegurar un proceso óptimo.

Y finalmente, los equipos de enlatado o embotellado proporcionan la distribución del producto envasado, considerando la aplicación de los sistemas de limpieza y de laboratorio, que se base en un aseguramiento de la calidad del producto y donde se debe mantener los altos estándares de higiene y calidad a lo largo de todo el proceso.

Los procesos integrales y la gestión administrativa conllevan a que los equipos y maquinarias cumplan con los lotes de producción planificados, como también reflejen el firme compromiso con la eficiencia y la calidad en la producción artesanal de cerveza.

Análisis de los factores internos

Análisis de la matriz EFI

La tabla de Evaluación de Factores Internos (EFI) se presenta como una herramienta fundamental para analizar los elementos internos que afectan el desempeño de una microempresa, específicamente en el caso de “BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C.”

En la evaluación de dicha matriz, es posible identificar las fortalezas y debilidades que influyen en la eficiencia y calidad de la producción. Dado que el crecimiento de la competencia en el sector de la cerveza artesanal resulta esencial evaluar aspectos clave como la eficiencia de los procesos, la capacitación del personal y la gestión de calidad en el proceso, ya que estos factores impactan directamente en la capacidad de la empresa para satisfacer las demandas de los consumidores.

La evaluación proporciona a la organización la oportunidad de implementar estrategias efectivas que maximicen sus ventajas competitivas y aborden las áreas que requieren mejoras, en donde en los factores internos se evalúa mediante un peso ponderándole el factor más importante, cuya sumatoria no debe exceder de la

unidad y la calificación se lo desarrolla con valores de 4 a 1 siendo cuatro el valor que responde muy bien a la operación de las oportunidades de mejora de los factores internos.

- 4 responde muy bien
- 3 responde bien
- 2 responde promedio
- 1 responde mal

El análisis reflejado en la tabla 4, de la matriz EFI, se muestra un resultado de 3.65, lo que indica que BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C. ha logrado un desempeño destacado en términos de eficiencia y calidad en sus operaciones.

El puntaje, evidencia que la empresa cuenta con una base sólida en la producción de cerveza artesanal, lo que se traduce en una optimización efectiva de sus procesos y en un control de calidad que resulta satisfactorio.

Tabla 4 Matriz EFI (Evaluación de Factores Internos)

Factores Internos	Peso	Calificación	Puntaje
Eficiencia en procesos productivos	0.25	4	1.00
Calidad del producto	0.30	4	1.20
Capacitación del personal	0.15	3	0.45
Gestión de inventarios	0.10	2	0.20
Implementación de tecnologías modernas	0.20	4	0.80
Total	1.00		3.65

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Así también se destacan importantes áreas de mejora, como la gestión de calidad en los procesos y la formación del personal, que son esenciales para garantizar un funcionamiento más eficiente y competitivo en el largo plazo. Dichas áreas de mejora podrían estar afectando la capacidad de la empresa para crecer y optimizar sus recursos de manera sostenible.

Análisis de la matriz EFE

La matriz de Evaluación de Factores Externos (EFE) conlleva a ser una herramienta fundamental para analizar las oportunidades y amenazas que enfrenta una empresa en su entorno competitivo.

En el contexto de “BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.”, esta matriz permite identificar cómo factores externos, como el crecimiento del mercado de la cerveza artesanal, las tendencias de consumo y la competencia, influyen en su desempeño.

A través de la evaluación de estos elementos, la empresa puede desarrollar estrategias que capitalicen las oportunidades del mercado y mitiguen las amenazas, asegurando así su competitividad y sostenibilidad. La matriz EFE ofrece una perspectiva clara del contexto externo, sino que también guía la toma de decisiones estratégicas en un entorno en constante evolución. En donde en los factores externos se evalúa mediante un peso ponderándole el factor más importante, cuya sumatoria no debe exceder de la unidad y la calificación se lo desarrolla con valores de 4 a 1 siendo cuatro el valor que responde muy bien a la operación de las oportunidades de mejora de los factores internos.

- 4 responde muy bien
- 3 responde bien
- 2 responde promedio
- 1 responde mal

De igual forma la interpretación de la tabla 5, de la matriz EFE, conlleva a tener un puntaje de 3.45, en donde la empresa se encuentra en una posición competitiva dentro del mercado de cervezas artesanales, aprovechando de manera efectiva el crecimiento del sector y la creciente demanda de productos diferenciados.

Con el resultado obtenido la microempresa afronta importantes retos relacionados con la intensa competencia, dado que el mercado es altamente dinámico y proliferan nuevas marcas y productos, lo que exige una constante innovación para mantener su relevancia.

Tabla 5 Matriz EFE (Evaluación de Factores Externos)

Factores Externos	Peso	Calificación	Puntaje
Crecimiento del mercado de cerveza artesanal	0.30	4	1.20
Competencia creciente	0.25	3	0.75
Demandas cambiantes de los consumidores	0.20	3	0.60
Oportunidades de innovación tecnológica	0.15	4	0.60
Regulaciones gubernamentales	0.10	2	0.20
Total	1.00		3.45

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En donde, las principales regulaciones de la industria alimentaria y de bebidas presentan normativas regulatorias que deben ser gestionadas con cuidado, ya que pueden aumentar costos operativos o generar retrasos en la producción al incumplir con la normativa. No obstante, la base sólida de la empresa le permite mantenerse competitiva, aunque requerirá la implementación de estrategias proactivas para mejorar su gestión interna, cumplir con normativas sin comprometer la calidad, y así consolidar su crecimiento y sostenibilidad a largo plazo.

Análisis AMEF para los procesos productivos

El Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF) contribuye un recurso fundamental en la administración de la gestión de riesgos, calidad dentro en las etapas de producción de una empresa. El objetivo principal es identificar, evaluar y mitigar los posibles fallos que puedan presentarse durante las operaciones de los diversos subprocesos, con el propósito de optimizar el rendimiento, reducir costos y mejorar la calidad del producto final, especialmente en el contexto de BRANGUS CAVA COMPANY SCC.

Dada la naturaleza artesanal del proceso cervecero, es fundamental asegurar que cada etapa se lleve a cabo de manera controlada y precisa, minimizando así los errores que puedan afectar la consistencia, el sabor y la calidad de los productos. Al aplicar un AMEF a los procesos productivos de la cervecería, se puede identificar proactivamente las causas raíz de posibles fallos, evaluando sus impactos en términos de severidad, frecuencia y capacidad de detección.

Esto permite priorizar las medidas correctivas y preventivas requeridas para asegurar la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

En el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se lo ejecuta multiplicando las calificaciones de severidad, ocurrencia y detección de la siguiente manera:

$$NPR=S \times O \times D \quad (\text{Kaizen Institute , 2021}). \text{ Ecuación 1.}$$

Además, en la tabla 6, se realiza la categorización del riesgo. se le considera mediante los siguientes aspectos:

Tabla 6 Categorización

Rango NPR	Categoría	Descripción	Acciones Sugeridas
<=30	Bajo Riesgo	Impacto menor, baja probabilidad	Monitoreo y documentación
<=60	Riesgo Moderado	Impacto significativo, moderada probabilidad	Evaluación y acciones correctivas
<=100	Alto Riesgo	Alto impacto, probabilidad alta	Acciones correctivas inmediatas
>=100	Riesgo Crítico	Muy alto impacto y alta probabilidad	Plan de acción urgente

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de (Kaizen Institute , 2021).

La categorización del NPR ayuda a priorizar los riesgos y guiar las acciones de mitigación, donde el enfoque permite que los equipos se concentren en los riesgos más significativos, garantizando que se tomen las medidas adecuadas para proteger los activos, procesos y personas involucradas considerando que las tablas del 7 a la 15, se realiza el estudio del AMEF de cada uno de los procesos en la que se priorice el riesgo.

Tabla 7 Estudio del AMEF proceso de recepción de materia prima

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1.- Recepción de malta	Daño en la malta (contaminación, humedad)	Contaminación del producto, afectación del perfil sensorial	Almacenamiento incorrecto o exposición a humedad, manipulación incorrecta durante el transporte	4	3	5	60	Riesgo Medio	Implementar controles de humedad, capacitación en manipulación, y auditorías de almacenamiento	2	3	4	24	Riesgo Bajo
2.- Recepción del lúpulo	Lúpulo oxidado o en mal estado	Pérdida de aroma y amargor en la cerveza	Exposición al oxígeno o falta de refrigeración	5	2	3	30	Riesgo Bajo	Establecer procedimientos de almacenamiento adecuado y monitoreo de temperatura	2	3	3	18	Riesgo Bajo
3.- Recepción de levadura	Levadura inactiva o con baja viabilidad	Fermentación deficiente	Falta de control de temperatura o caducidad vencida	3	2	3	18	Riesgo Bajo	Supervisar la temperatura de almacenamiento y verificar fechas de caducidad	2	3	2	12	Riesgo Bajo
4.- Recepción de agua	Agua con contaminantes o parámetros fuera de rango	Sabores no deseados o alteraciones en el perfil sensorial	Falta de análisis de calidad o mala filtración	3	3	2	27	Riesgo Bajo	Realizar análisis de calidad regularmente y mejorar los sistemas de filtración	2	3	3	18	Riesgo Bajo
5.- Recepción de adjuntos	Adjuntos (frutas, especias, calificantes) en mal estado	Sabor alterado, problemas en fermentación	Mal manejo o condiciones de transporte y almacenamiento inadecuado	4	3	3	36	Riesgo Medio	Implementar controles de calidad en recepción y capacitación del personal	2	3	3	18	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 8 Estudio del AMEF proceso de pesado

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1.- Pesado de ingredientes sólidos	Peso incorrecto de sólidos (exceso o falta)	Cambios en la densidad del mosto, alteración en el cuerpo, amargor o sabores desequilibrados	Balanza mal calibrada, error humano en la medición	4	4	3	48	Riesgo Medio	Calibración regular de balanzas, capacitación en técnicas de pesaje	2	2	2	8	Riesgo Bajo
2.- Pesado de levadura	Error en la cantidad de levadura	Fermentación deficiente o sobre fermentación	Falta de precisión, cálculo incorrecto, balanza inadecuada	4	4	4	64	Riesgo Alto	Establecer procedimientos estandarizados para el pesaje y verificación	2	3	4	24	Riesgo Bajo
3.- Medición de agua	Cantidad de agua incorrecta (exceso o falta)	Dilución inadecuada del mosto, problemas en el rendimiento final	Errores en la medición volumétrica, equipos inadecuados, falta de precisión	5	5	5	125	Riesgo Crítico	Implementar controles de calidad en mediciones y mantenimiento regular de equipos	4	3	4	48	Riesgo Medio

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 9 Estudio del AMEF proceso de molienda

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1.- Ajuste de la piedra del molino manual	Molienda demasiado gruesa	Baja extracción de azúcares del grano de malta, bajo rendimiento del mosto	Piedras mal ajustadas, mantenimiento inadecuado del molino	4	4	3	48	Riesgo Medio	Calibración regular de las piedras, mantenimiento preventivo del molino	2	2	2	8	Riesgo Bajo
2.- Ajuste de la piedra del molino manual	Molienda demasiado fina	Exceso de partículas finas, obstrucción del flujo, mosto con turbidez	Exceso de presión en la piedra, regulación incorrecta	4	3	4	48	Riesgo Medio	Capacitación en ajustes correctos, monitoreo constante del proceso	2	3	2	12	Riesgo Bajo
3.- Molienda de las maltas	Variabilidad en el tamaño del grano molido	Afectación en la eficiencia de la maceración y filtración del mosto	Diferencias en la dureza del grano, ajuste incorrecto de las piedras de moler	4	4	3	48	Riesgo Medio	Monitoreo de la dureza del grano, ajustes regulares del molino	2	2	2	8	Riesgo Bajo
4.- Revisión del molino antes de uso	Molino sucio con restos de maltas anteriores	Contaminación del mosto, sabores indeseados	Falta de limpieza o mantenimiento previo a la molienda	4	5	4	80	Riesgo Alto	Establecer un cronograma de limpieza y mantenimiento del molino	2	2	2	8	Riesgo Bajo
5.- Control de temperatura del grano	Granos demasiado calientes	Afecta la calidad de la molienda y puede dañar el molino	Almacenamiento incorrecto de la malta, exposición a temperaturas elevadas	3	3	3	27	Riesgo Bajo	Controlar la temperatura de almacenamiento y utilizar termómetros calibrados	2	2	2	8	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 10 Estudio del AMEF proceso de Cocción

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1.- Calentamiento del mosto	Temperaturas inadecuadas (demasiado baja o alta)	Baja extracción de azúcares fermentables o caramelización excesiva	Sistema de calentamiento inestable, mediciones incorrectas de temperatura	4	4	3	48	Riesgo Medio	Calibración regular de equipos, monitoreo constante de temperatura	2	3	2	12	Riesgo Bajo
2.- Adición del lúpulo	Cantidad incorrecta de lúpulo	Sabor y aroma desequilibrados fuera del perfil de la cerveza	Error en la medición, pesado, mal cálculo al adicionar el lúpulo	4	4	3	48	Riesgo Medio	Establecer procedimientos estandarizados para el pesaje y verificación	2	2	2	8	Riesgo Bajo
3.- Tiempo de cocción	Tiempo de cocción insuficiente o excesivo	Infecciones microbiológicas o sabores no deseados	Desviaciones en la programación, mal control del tiempo	4	4	4	64	Riesgo Alto	Implementar alarmas y cronómetros para el control del tiempo de cocción	2	3	3	18	Riesgo Bajo
4.- Enfriamiento del mosto	Enfriamiento inadecuado	Riesgo de contaminación, fermentación no controlada	Fallo en el sistema de enfriamiento, falta de tiempo para enfriar	5	5	5	125	Riesgo Crítico	Mantenimiento regular del sistema de enfriamiento y monitoreo de tiempos	4	3	3	36	Riesgo Medio
5.- Control de Whirlpool/agitación	Tiempo de agitación inadecuado	Sedimentación de partículas no adecuadas, distribución ineficiente de calor en el mosto	Diseño inadecuado de la olla de cocción, falta de mecanismos de agitación controlada	4	4	5	80	Riesgo Alto	Mejorar el diseño de la olla y asegurar un sistema de agitación eficiente	2	3	3	18	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 11 Estudio del AMEF procesos de enfriamiento

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1. Enfriamiento rápido del mosto	Enfriamiento insuficiente	Riesgo de contaminación microbiológica, fermentación no controlada	Fallo en el sistema de enfriamiento, insuficiencia del flujo de agua, falta de control del tiempo	5	4	4	80	Riesgo Alto	Mantenimiento regular del sistema, capacitación del personal, monitoreo continuo	3	3	4	36	Riesgo Medio
2. Monitoreo de la temperatura	Temperatura de enfriado inadecuada	No se alcanza la temperatura de inoculación óptima para la levadura	Termómetros mal calibrados, defectuosos, falta de supervisión durante el proceso de enfriamiento	4	3	3	36	Riesgo Medio	Calibración regular de termómetros, supervisión constante	2	2	2	8	Riesgo Bajo
3. Transferencia del mosto al fermentador	Exposición al aire durante la transferencia	Oxidación del mosto, alteraciones del sabor y aroma de la cerveza	Uso inadecuado de bombas o falta de control en la manipulación del mosto	4	4	5	80	Riesgo Alto	Capacitación en manejo, sistemas de transferencia cerrados	3	3	4	36	Riesgo Medio
4. Control del flujo de agua	Presión de agua inadecuada	Eficiencia reducida en el enfriamiento, aumento del tiempo de enfriado	Problemas en la Elaborado por: de agua, obstrucciones en las mangueras	3	3	4	36	Riesgo Medio	Inspección regular de mangueras y mantenimiento preventivo	2	2	2	8	Riesgo Bajo
5. Verificación del sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento sucio o defectuoso	Eficiencia del enfriamiento comprometida, riesgos de sabores no deseados	Falta de limpieza regular, fallos mecánicos en el equipo de enfriamiento	5	4	3	60	Riesgo Medio	Programa de limpieza regular, revisión técnica frecuente	2	3	2	12	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 12 Estudio del AMEF proceso de fermentación

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1. Inoculación de la levadura	Cantidad o tipo de levadura incorrecta	Fermentación incompleta, producción de sabores indeseables y baja atenuación	Error en la dosificación, selección inadecuada de cepas de levadura	5	4	3	60	Riesgo Medio	Capacitación del personal en dosificación y selección	2	2	2	8	Riesgo Bajo
2. Control de temperatura durante la fermentación	Temperatura fuera de rango óptimo	Fermentación detenida, producción de ésteres o alcoholes no deseados	Problemas en el sistema de control de temperatura, monitoreo ineficaz	4	4	4	64	Riesgo Alto	Mantenimiento regular del sistema de control, monitoreo continuo	3	4	3	36	Riesgo Medio
3. Oxigenación inicial del mosto	Falta de oxígeno al inicio de la fermentación	Crecimiento deficiente de la levadura, fermentación incompleta	Oxigenación insuficiente del mosto antes de inocular la levadura	5	3	4	60	Riesgo Medio	Establecer un protocolo de oxigenación, verificar equipos	2	2	2	8	Riesgo Bajo
4. Monitoreo del proceso de fermentación	Mediciones incorrectas de densidad o temperatura	Desviaciones en el tiempo de fermentación, sabores no deseados	Error humano, instrumentos de medición mal calibrados o defectuosos	4	3	4	48	Riesgo Medio	Capacitación en el uso de instrumentos, calibración regular	2	2	2	8	Riesgo Bajo
5. Tiempo de fermentación	Tiempo insuficiente o excesivo	Cerveza su fermentada o sobre fermentada, sabores y aromas indeseados	Error en la planificación del proceso, fermentación no supervisada	4	3	4	48	Riesgo Medio	Implementar un cronograma de fermentación, supervisión regular	2	2	2	8	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 13 Estudio del AMEF proceso de filtrado

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1. Preparación del equipo de filtrado	Filtros sucios o mal instalados	Filtrado ineficaz, paso de sedimentos a la cerveza	Falta de limpieza del equipo, instalación incorrecta de los filtros	5	4	3	60	Riesgo Medio	Programa de limpieza regular, capacitación en instalación	2	3	2	12	Riesgo Bajo
2. Control del flujo de filtrado	Los flujos de los filtrados demasiado lentos o rápido	Filtrados incompletos o saturaciones rápidas del filtro	Mal ajuste del sistema de bombeo, obstrucciones en las mangueras o el filtro	4	3	4	48	Riesgo Medio	Ajuste y calibración del sistema de bombeo, mantenimiento continuo de las mangueras	2	3	4	24	Riesgo Bajo
3. Mantenimiento de presión en la bomba	Presión incorrecta en el sistema de filtrado	Filtrado irregular, daño en el filtro o paso de impurezas	Bomba defectuosa, falta de supervisión del sistema de presión	4	4	3	48	Riesgo Medio	Inspección y mantenimiento de bombas, monitoreo constante	2	3	2	12	Riesgo Bajo
4. Verificación de los filtrados inspección de calidad	Partículas visibles después del filtrado	Procesos de la cerveza turbia o con sedimentos	Filtros ineficaces, flujo demasiado rápido, equipo defectuoso	5	3	4	60	Riesgo Medio	Protocolo de verificación de calidad, calibración de equipos	4	2	3	24	Riesgo Bajo
5. Cambio y limpieza de los filtros	Filtros saturados o no reemplazados a tiempo	Disminución en la calidad del filtrado, riesgo de contaminación	Falta de monitoreo de los filtros, ausencia de un plan de mantenimiento regular	5	4	3	60	Riesgo Medio	Implementar un calendario de mantenimiento y monitoreo	3	2	2	12	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 14 Estudio del AMEF proceso de envasado

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1. Limpieza y esterilización de envase	Envases mal esterilizados, sucios	Contaminación del producto, alteración del perfil de la cerveza	Proceso de limpieza inadecuado, uso de productos de limpieza incorrectos	5	4	3	60	Riesgo Medio	Establecer un protocolo de limpieza, capacitación del personal	2	2	2	8	Riesgo Bajo
2. Llenado de envases	Mal llenado de envases o latas	Espacio de cabeza incorrecto, riesgo de oxidación	Error en el ajuste del equipo de llenado, fallos en el control del volumen	4	4	3	48	Riesgo Medio	Revisión y calibración del equipo, controles visuales en el llenado	2	2	2	8	Riesgo Bajo
3. Control de oxígeno residual	Exceso de oxígeno en el envase	Oxidación de la cerveza, sabores indeseados	Llenado con contacto excesivo con el aire, falta de purga de CO2 en el envase	5	4	4	80	Riesgo Alto	Implementar un sistema de purga de CO2, capacitación en técnicas de llenado	2	3	2	12	Riesgo Bajo
4. Sellado/tapado de los envases	Taponado insuficiente o defectuoso	Filtración de aire, riesgo de oxidación, fuga de CO2	Fallo en el equipo de sellado/taponadora, tapas defectuosas, manipulación incorrecta	3	4	4	48	Riesgo Medio	Mantenimiento regular del equipo de sellado, controles de calidad	2	3	4	24	Riesgo Bajo
5. Etiquetado y almacenamiento	Etiquetas incorrectas o mal colocadas	Información errónea, problemas de trazabilidad	Fallo en el sistema de etiquetado manual, falta de verificación	3	3	3	27	Riesgo Bajo	Implementar un sistema automatizado de etiquetado, auditorías regulares	2	2	2	8	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Tabla 15 Estudio del AMEF proceso de distribución

Actividad	Modo de Falla	Efecto del Falla	Causas Potenciales	S	O	D	NPR	Nivel de Riesgo	Controles Propuestos	N. S	N. O	N. D	N. NPR	Nivel de Riesgo
1. Almacenamiento antes de la distribución	Almacenamiento en condiciones no controladas	Pérdida de frescura, alteración del sabor, problemas de carbonatación	Temperatura inadecuada, mal manejo del stock, falta de control de humedad	5	4	4	80	Riesgo Alto	Monitoreo constante de temperatura y humedad, capacitación del personal	3	4	4	48	Riesgo Medio
2. Carga y transporte	Manipulación inadecuada de los envases	Daños en los envases, fugas y pérdida de carbonatación	Mala manipulación de la carga en el transporte, choques durante el manejo, uso de embalajes inadecuados	4	4	3	48	Riesgo Medio	Capacitación en manejo y embalaje, uso de materiales de protección	2	2	2	8	Riesgo Bajo
3. Control de la temperatura durante el transporte	Exposición a temperaturas inadecuadas	Degradación del sabor, aroma, alteración de la carbonatación	Falta en el control de temperatura durante el transporte	5	4	4	80	Riesgo Alto	Equipos de monitoreo de temperatura, planificación de rutas eficientes	4	3	4	48	Riesgo Medio
4. Gestión de tiempos de entrega	Retrasos en la entrega	Pérdida de calidad, insatisfacción del cliente	Falta de planificación logística, congestión en rutas de distribución o fallas mecánicas	4	3	4	48	Riesgo Medio	Planificación y seguimiento de rutas, uso de tecnología para optimización	2	2	2	8	Riesgo Bajo
5. Recepción en el punto de venta	Recepción deficiente o mal manejo en el punto de venta	Alteración en la calidad del producto, riesgo de caducidad	Falta de capacitación del personal en el punto de venta, malas condiciones de almacenamiento en el destino	4	4	3	48	Riesgo Medio	Capacitación del personal, auditorías regulares de almacenamiento	2	2	2	8	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El análisis de Modos de Falla y Efectos (AMEF) ha facilitado la identificación y evaluación de los riesgos vinculados a diversas etapas del proceso de producción. A continuación, en la tabla 16 se presentan los hallazgos correspondientes a cada una de estas etapas.

Tabla 16 Resumen del Estudio del AMEF los procesos

Proceso	Actividad	Causa Potencial	NPR Alto	Criterio
Recepción de materia prima	Recepción de malta	Almacenamiento incorrecto	60	N/A
	Recepción de adjuntos	Mal manejo en transporte	36	N/A
	Recepción de levadura	Falta de control de temperatura	18	N/A
Proceso Pesado	Pesado de ingredientes sólidos	Balanza mal calibrada	48	N/A
	Pesado de levadura	Cálculo incorrecto	64	N/A
	Medición de agua	Errores en medición volumétrica	125	NPR Crítico
Proceso Molienda	Ajuste de molino	Piedras mal ajustadas	48	N/A
	Molienda de maltas	Diferencias en la dureza del grano	48	N/A
	Revisión del molino	Falta de limpieza	80	NPR Crítico
Proceso de Cocción	Calentamiento del mosto	Sistema de calentamiento inestable	48	N/A
	Tiempo de cocción	Mal control del tiempo	64	N/A
	Enfriamiento del mosto	Fallo en el sistema de enfriamiento	125	NPR Crítico
Proceso de Enfriamiento	Enfriamiento rápido	Insuficiencia del flujo de agua	80	NPR Crítico
	Transferencia del mosto	Exposición al aire	80	NPR Crítico
	Verificación del sistema	Falta de limpieza regular	60	N/A

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

- **Proceso de Recepción de Materia Prima**

En este proceso, se han detectado diversos riesgos, en donde en la recepción de malta, por ejemplo, presenta un riesgo medio es decir NPR 60 debido a posibles daños en el producto. Aunque los controles propuestos son adecuados, su correcta implementación es esencial para mitigar este riesgo. Por otro lado, la recepción de lúpulo tiene un riesgo bajo con un NPR 30, aunque la exposición al oxígeno podría convertirse en un problema si no se gestiona de manera adecuada.

En cuanto a la recepción de levadura y agua, los riesgos se consideran bajos NPR 18 y NPR 27, respectivamente. Sin embargo, un control más riguroso sobre la caducidad de la levadura y un monitoreo constante de la calidad del agua podrían mejorar notablemente la situación. Finalmente, la recepción de adjuntos presenta un riesgo medio con un NPR 36, lo que subraya la importancia de establecer medidas de control de calidad en esta área.

- **Proceso de Pesado**

En el proceso se revela riesgos significativos, en donde el pesado de ingredientes sólidos para la cerveza conlleva a tener un riesgo medio NPR 48 debido a la calibración deficiente de las balanzas. Por otro lado, el pesado de levadura presenta un riesgo alto NPR 64, lo que pone de manifiesto la necesidad de una atención urgente mediante la implementación de procedimientos estandarizados. Lo más preocupante es la medición del agua, que se clasifica como un riesgo crítico NPR 125; los errores en esta etapa pueden tener un impacto drástico en la calidad del producto final.

- **Proceso de Molienda**

De igual forma los riesgos asociados al proceso de molienda incluyen el ajuste de la piedra del molino, el cual presenta un riesgo medio con el NPR 48 por la posibilidad de realizar una molienda incorrecta. Por otro lado, la revisión del molino conlleva un riesgo alto con el NPR 80 debido a la falta de limpieza, un aspecto crucial para prevenir la contaminación.

- **Proceso de Cocción**

En la etapa de cocción, se hace énfasis a las actividades del control del tiempo es un factor de alto riesgo con el NPR 64, lo cual puede ocasionar problemas de calidad en el producto final. Por otro lado, el enfriamiento del mosto se considera un riesgo crítico con un NPR 125, lo que resalta la urgencia de prestar atención a este proceso para prevenir la contaminación y preservar la calidad.

- **Proceso de Filtrado**

En el proceso de filtrado conlleva ciertos riesgos, como la preparación del equipo, la cual presenta un riesgo medio con el valor de NPR 60 y puede influir en las características del producto final.

- **Proceso de Envasado:**

En el proceso de envasado conlleva a ser crucial, especialmente en lo que respecta al control del oxígeno residual. En donde en dicha área se preocupación debido a su alto riesgo con un NPR 80, por lo que resulta fundamental implementar un sistema de purga de CO2.

- **Proceso de Distribución**

En el proceso de distribución, el almacenamiento previo a la entrega presenta un alto riesgo en donde el NPR 100, debido a condiciones inapropiadas que pueden poner en peligro la calidad del producto. Asimismo, el control de la temperatura durante el transporte también conlleva un riesgo considerable con el NPR 80, lo que subraya la importancia de un monitoreo constante.

Priorización de Procesos Para Intervenir

A raíz del presente análisis, donde se han identificado dos procesos críticos en donde se requiere la intervención para mejorar los procesos:

- **Proceso de Pesado (Pesado de agua):** Se evidencia un riesgo crítico con el valor NPR 125, es esencial que este proceso se lleve a cabo con el máximo cuidado, ya que cualquier error podría afectar significativamente la calidad del producto final. Es fundamental establecer controles de calidad rigurosos y asegurar un mantenimiento regular de los equipos.
- **Proceso de Cocción (Enfriamiento del mosto):** Asimismo, dado que existe un riesgo crítico de valor de NPR 125, con ello es fundamental implementar un enfriamiento adecuado para prevenir la contaminación y asegurar la calidad del mosto. Es necesario establecer protocolos de mantenimiento y monitoreo eficientes que garanticen un enfriamiento eficaz.

La tabla 17, se analiza la frecuencia de los riesgos identificados en donde el primer lugar, destaca que, la dilución inadecuada del mosto se presenta como el riesgo más común, abarcando el 33% de los casos. Dado que los problemas en el rendimiento final del producto conllevaran a tener un producto inicuo en la elaboración de la cerveza, en donde cualquier imprecisión en su medición puede comprometer de manera grave las características del producto.

Por esta razón, conlleva a ser fundamental al establecer procedimientos de control más estrictos y ofrecer capacitación al personal en técnicas de medición precisas, con el fin de prevenir desviaciones que puedan impactar en el resultado final.

Tabla 17 Frecuencia de los Riesgos Identificados

Proceso	Riesgo	Frecuencia (Días)	Porcentaje	Acumulado
Pesado	Dilución inadecuada del mosto, problemas en el rendimiento final	10	33%	33%
Cocción	Riesgo de contaminación, fermentación no controlada	8	27%	60%
Molienda	Contaminación del mosto, sabores indeseados	5	17%	77%
Enfriamiento	Riesgo de contaminación microbiológica, fermentación no controlada	4	13%	90%
Enfriamiento	Oxidación del mosto, alteración del sabor y aroma.	3	10%	100%
Total		30	100%	

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El segundo riesgo más relevante son los riesgos de contaminación generada por la fermentación no controlada en el proceso de la cocción, que representa el 27% de los casos. En donde los problemas pueden derivar en la alteración del sabor, la calidad y la seguridad del producto final como también el inadecuado control puede favorecer el crecimiento de microorganismos no deseados.

Por esta razón, resulta fundamental establecer protocolos rigurosos de mantenimiento y monitoreo en el proceso de cocción, garantizando de este modo un entorno controlado y seguro durante este proceso tan crítico.

Otro riesgo que merece atención es la contaminación del mosto, sabores indeseados, que son representados con el 17% de los problemas identificados. Ya que, afecta directamente a las características sensoriales del mosto, teniendo las alteraciones

que pueden deberse a varios factores, como una limpieza inadecuada del equipo, malas prácticas de manipulación, temperaturas no controladas durante la fermentación, o el ingreso de microorganismos no deseados. Para abordar esta cuestión, se deben establecer rutinas de calibración regulares y capacitar al personal en la correcta ejecución de estos procedimientos, garantizando que las mediciones sean siempre exactas.

Así mismo, el riesgo de contaminación microbiológica, fermentación no controlada representa un riesgo considerable, con un 13% de incidencias, que se asocia al anterior riesgo, además dicho riesgo sigue siendo crítico porque la contaminación microbiológica puede comprometer la seguridad del mosto. En donde el proceso debe realizarse con precisión para evitar que los microorganismos alteren el producto, especialmente al final del proceso de producción.

Finalmente, en el proceso de enfriamiento que se asocia a los anteriores es la oxidación del mosto, alteración del sabor y aroma, que se representando un 10%, misma que no debe ser subestimado. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias de control de calidad rigurosas, incluyendo procedimientos estandarizados de limpieza y sanitización, control estricto de temperatura y tiempo en cada fase del proceso, así como una capacitación continua a la persona.

En el gráfico 1, del diagrama de Pareto proporciona una visión clara de las áreas críticas que afectan tanto la calidad y la seguridad en la ejecución los procesos de cerveza artesanal. Con los riesgos identificadas, se destacan cinco categorías que requieren atención prioritaria para incrementar la eficiencia productiva y asegurar un alto estándar de calidad en el producto final.

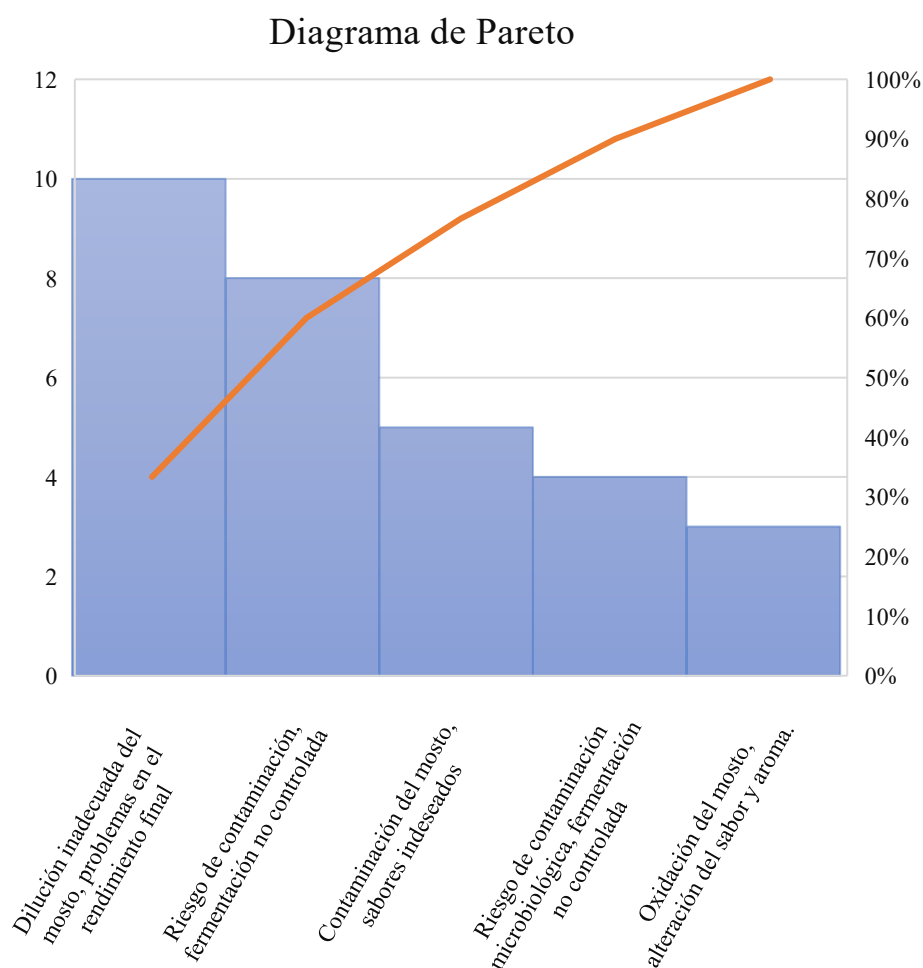


Gráfico 1 Diagrama de Pareto

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Aspectos críticos basados en las características de calidad

La tabla 18, presenta las medidas de riesgo que considera los aspectos críticos de los procesos de pesado de agua y enfriamiento del mosto, incluyendo sus riesgos y características de calidad:

Tabla 18 Aspectos críticos basados en las características de calidad

Proceso	Riesgo Crítico (NPR)	Impacto en la Calidad	Características de la Calidad	Controles y Medidas
Pesado de Agua	125	Alteración de proporciones en la receta; afecta sabor y textura	Precisión y exactitud; medición correcta	Calibraciones regulares de balanzas
			Capacitación del personal	Mantenimiento regular de equipos Procedimientos estandarizados de pesado
Enfriamiento del Mosto	125	Riesgo de contaminación microbiana; afecta calidad del mosto	Seguridad alimentaria e higiene; control de temperatura	Protocolos de mantenimiento y monitoreo
			Monitoreo de temperatura durante el enfriamiento	Sistemas de alerta para temperaturas fuera de rango Revisiones regulares de equipos de enfriamiento

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Los procesos de pesado de agua y enfriamiento del mosto son importantes dentro del proceso de cerveza para garantizar la calidad del producto final, y ambos presentan un nivel de riesgo alto, con un Número de Prioridad de Riesgo (NPR) de 125. Representa un elevado riesgo subraya la importancia de implementar controles estrictos en cada etapa de producción.

Los diagramas de flujo de los procesos críticos

Al llevar a cabo los diagramas de flujo de los procesos, garantizamos no solo que la calidad se mantenga en niveles óptimos, sino que también se reducen las posibilidades de cometer errores que puedan perjudicar el resultado final. La atención cuidadosa a cada uno de estos aspectos es esencial, ya que una gestión adecuada no solo mejora la calidad del producto, sino que también es crucial para cumplir con las normativas de seguridad alimentaria, (ver Anexo 1).

La regulación conlleva a ser fundamental con el fin de salvaguardar en la salud de los consumidores y fortalecerse en la confianza en la marca. En última instancia, el compromiso con la calidad y la seguridad en cada fase del proceso productivo contribuye a un producto final que no solo cumple con las expectativas del mercado,

sino que también se adhiere a los estándares necesarios para una producción responsable y confiable.

Control estadístico de la calidad

Los controles estadísticos de calidad (CEQ), es unas herramientas que se convierten en un instrumento esenciales para garantizar la consistencia y la excelencia en cada lote de cerveza producido, en donde los métodos permiten a los cerveceros monitorear y analizar variaciones en los parámetros clave del proceso, como la temperatura, el pH y la densidad, lo que contribuye a optimizar la receta y a minimizar el riesgo de defectos.

Por consiguiente, con el análisis del Riesgo del AMEF, se puede indicar que, en los procesos se deben controlar aspectos como la densidad del agua, la temperatura y el tiempo que es crucial para asegurar la conversión adecuada de almidones en azúcares fermentables. Estos aspectos no solo afectan el perfil de sabor y aroma de la cerveza, sino que también son vitales para la esterilización del mosto en el proceso de cocción.

Las herramientas de control estadístico de procesos son muy importantes para gestionar la calidad, ya que ayudan a ver y mejorar la estabilidad y la consistencia de un proceso de producción. Entre estas herramientas, en donde la gráfica de control de promedios (\bar{X}) es fundamental para analizar la tendencia central del proceso, ya que ofrece información importante sobre cómo se comportan los datos a lo largo del tiempo. Su aplicación ayuda a encontrar diferencias importantes con los valores esperados, identificando problemas antes de que afecten la calidad del producto final.

Por otro lado, el gráfico de control de rangos (R) ayuda en este análisis al centrarse en la variabilidad del proceso. Esta herramienta, al observar cómo se distribuyen las muestras, ayuda a detectar si hay cambios inesperados en la producción. Estos cambios pueden señalar problemas con los materiales, las máquinas o los métodos usados. Un rango estable asegura que el producto sea uniforme y que cumpla con los estándares de calidad establecidos.

Además, el diagrama de dispersión es una herramienta importante para analizar la relación entre las variables del proceso. Su uso permite ver las relaciones entre factores que pueden estar afectando la variabilidad, identificando patrones que ayuden a explicar las causas de las fluctuaciones observadas. De esta manera, es posible tomar decisiones informadas para corregir desviaciones y optimizar la calidad del producto.

Además, se lleva a cabo un análisis de control de la calidad a través de gráficas de control de los parámetros establecidos de la densidad y temperatura y tiempo. Para ello, es fundamental considerar las siguientes fórmulas y parámetros.

Tabla 19 Constantes para gráficas de control

Gráfica Para	Línea Central	Límite Control Inferior (LCI)	Límite Control Superior (LCS)
Promedios \bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
Rangos R	\bar{R}	$D_3\bar{R}$	$D_4\bar{R}$

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa (Montgomery, y otros, 2022).

En el fin de elaborar las gráficas de control \bar{X} -R, donde se emplean los coeficientes A_2 , D_3 y D_4 , en los cuales se consiguen las tablas estandarizadas en el control estadístico de los procesos. Estos coeficientes permiten determinar los límites de control para la media y del rango de los datos. A_2 se usa para calcular los límites de control de la media del proceso, mientras que D_3 y D_4 establecen los límites inferior y superior del rango, respectivamente (Montgomery, y otros, 2022)

$$\begin{aligned} A_2 &= && 0,729 \\ D_3 &= && 0 \\ D_4 &= && 2,282 \end{aligned}$$

Mediante las gráficas de control se muestran la dispersión de los datos y se utilizaron los valores de $A_2 = 0.729$, $D_3 = 0$ y $D_4 = 2.282$ para el cálculo de los límites de control, permitiendo evaluar la estabilidad del proceso (Estrada, 2015).

Es así como utilizando las técnicas estadísticas, el análisis de control de procesos y la elaboración de gráficos de control, los cerveceros pueden identificar patrones y tendencias que les permitan tomar decisiones informadas y basadas en datos como se observa en la siguiente tabla 20, de los datos de las densidades del proceso.

Tabla 20 Datos de la densidad en el proceso de maceración

Variación de la densidad del agua (g/cm ³) vs tiempo (min) en el proceso de Macerado					
PESADO H ₂ O (Lt.)	ORDEN	T1 (0 Min)	T2 (20 Min)	T3 (40 Min)	T4 (60 Min)
122	1 MUESTRA	1.016	1.022	1.039	1.048
125	2 MUESTRA	0.955	1.004	1.008	1.018
128	3 MUESTRA	1.011	1.015	1.025	1.044
118	4 MUESTRA	1.015	1.035	1.045	1.050
124	5 MUESTRA	1.015	1.019	1.037	1.043
125	6 MUESTRA	1.013	1.018	1.035	1.054
122	7 MUESTRA	1.016	1.016	1.039	1.045
120	8 MUESTRA	1.020	1.040	1.055	1.060
126	9 MUESTRA	1.012	1.020	1.028	1.032
	10				
119	MUESTRA	1.020	1.029	1.041	1.053

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa y data estadística de las muestras.

En el gráfico 2, del diagrama de dispersión se observa que los puntos tienden a subir hacia la derecha, lo que indica que, a medida que el tiempo aumenta en la maceración se eleva la densidad del agua, también, así también los puntos no muestran una tendencia definida, lo que indica una ausencia de correlación entre las variables de estudio, en la gráfica se aprecia la fluctuación de densidad en las muestras estudiadas en donde el patrón común de incremento progresivo a lo largo del tiempo, con ligeras diferencias en los valores iniciales.

Datos de la densidad del agua (g/cm³) vs tiempo (min)

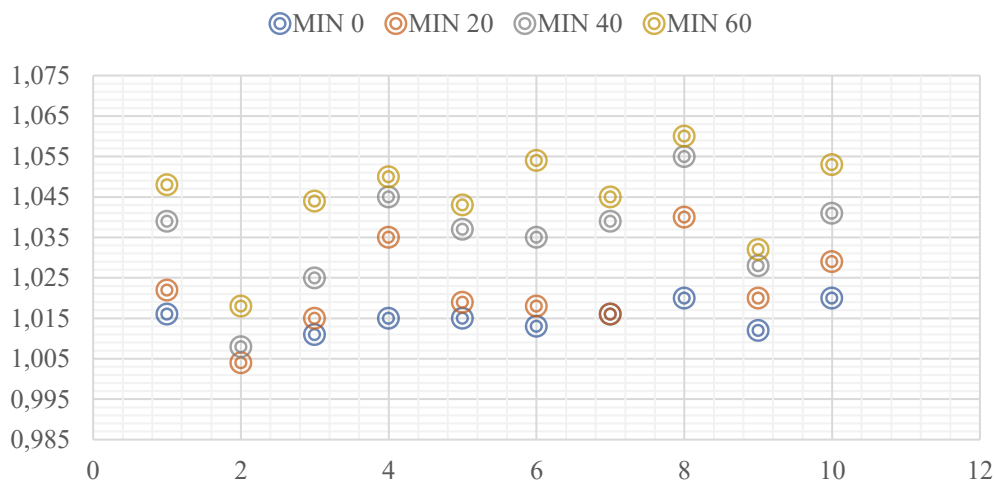


Gráfico 2 Diagrama de dispersión en el proceso de maceración

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el estudio para la muestra 1, se utilizaron 122 g de agua, que inicialmente presenta una densidad de 1.016 g/cm³. Con el paso de 60 minutos, esta densidad experimenta un aumento constante, alcanzando 1.048 g/cm³, lo que sugiere una liberación sostenida de solutos. Por otro lado, la muestra 2, que contiene 125 g de agua, comienza con una densidad más baja de 0.955 g/cm³. Sin embargo, también muestra un crecimiento gradual, llegando a 1.018 g/cm³ a los 60 minutos, lo que podría indicar una menor concentración inicial de solutos.

En cuanto a la muestra 3, que tiene 128 g de agua, la densidad crece de 1.011 g/cm³ a 1.044 g/cm³ en el transcurso de 60 minutos, evidenciando un incremento moderado en comparación con otras muestras. Por último, la muestra 4, que contiene 118 g de agua, muestra un aumento más significativo, pasando de 1.015 g/cm³ a 1.050 g/cm³. Este cambio sugiere una liberación de solutos más rápida o eficiente.

Los patrones de aumento progresivo en la densidad se observan también en otras muestras, como la muestra 5 y la muestra 6, las cuales presentan incrementos consistentes.

En la tabla 21, se presenta los datos para la determinación de los límites de control de los promedios y rangos en el proceso de la maceración, donde se debe controlar varios factores, como la temperatura, el pH y el tiempo, para asegurar la calidad y consistencia del producto final.

Tabla 21 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de maceración

PROMEDIO g/cm³	RANGO g/cm³	LCI [X-A₂R] g/cm³	LCS [X+A₂R] g/cm³	LCI [D₃R] g/cm³	LCS [D₄R] g/cm³
1.031	0.032	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
0.996	0.063	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.024	0.033	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.036	0.035	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.029	0.028	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.030	0.041	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.029	0.029	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.044	0.040	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.023	0.020	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808
1.036	0.033	1.0019	1.0536	0.0000	0.0808

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información obtenido del análisis estadístico.

En el gráfico 3, se muestra el control de los promedios del proceso de maceración, que vincula los límites de Control (LC) promedio, representados en la gráfica, se reflejan en las líneas horizontales establecida, el Límite de Control Inferior (LCI) tiene un valor de 1.0019 mientras que el Límite de Control Superior (LCS) alcanza valor de 1.0535.

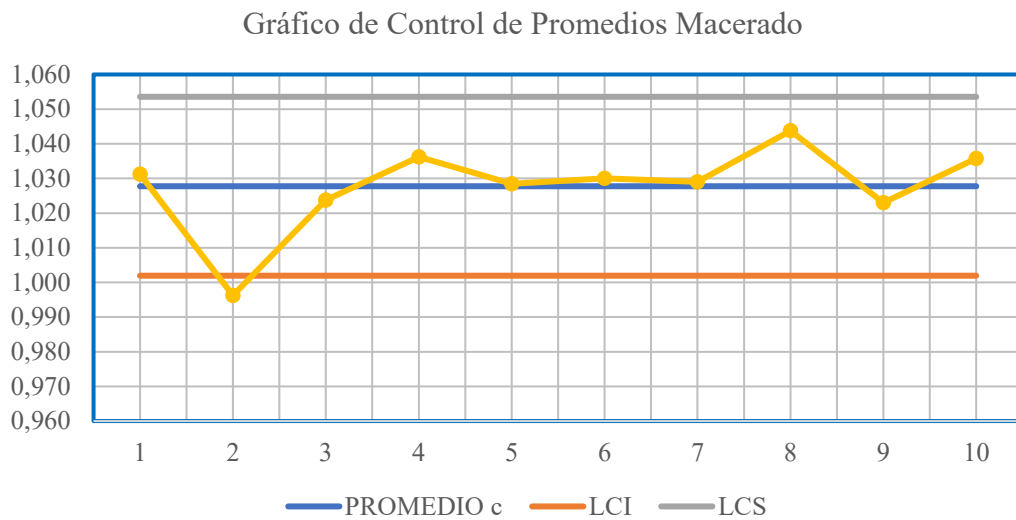


Gráfico 3 Control de promedios del proceso de maceración

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el estudio se presenta los límites representan los valores dentro de los cuales se espera que los datos estén si el proceso está bajo control. Cualquier punto fuera de estos límites podría indicar una variación inusual. Así también la línea central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 1.028.

Además, en el análisis de las muestras sometidas al proceso de macerado, se observan variaciones en la densidad del agua a lo largo del tiempo. En estudio se enfoca la muestra primera en donde su densidad inicial es de 1.016 g/cm³, que aumenta notablemente hasta alcanzar 1.048 g/cm³.

En consideración, la muestra dos desciende según la gráfica de control considerando que mantiene una densidad inicial de 0.955 g/cm³, y manteniendo una tendencia gradual de crecimiento, alcanzando 1.018 g/cm³ a los 60 minutos.

Al identificar dichos datos conjuntos, se constituye como una actuación similar entre la mayoría de las muestras, lo que sugiere que los procesos de maceración afectando las densidades del agua de manera homogénea, aunque con diferentes niveles de incremento.

La variabilidad, en particular en las muestras 2, 4, y 8 como también una constancia en la muestra 5,6 y 7, donde se podría señalar la influencia de factores específicos que afectan más a ciertas muestras que a otras. Al final del proceso, las densidades se agrupan en un rango que permite visualizar las relaciones entre las distintas muestras, facilitando una mejor comprensión de cómo cada una se comporta dentro del contexto del macerado.

Además, se realiza el análisis, que se puede observar en el gráfico 4, de los límites de control (LC) para los rangos en el proceso de maceración, se reflejan a través de las líneas horizontales denominadas Límite de Control Inferior (LCI), con un valor de 0.0000, y Límite de Control Superior (LCS), cuyo valor es 0,0808.

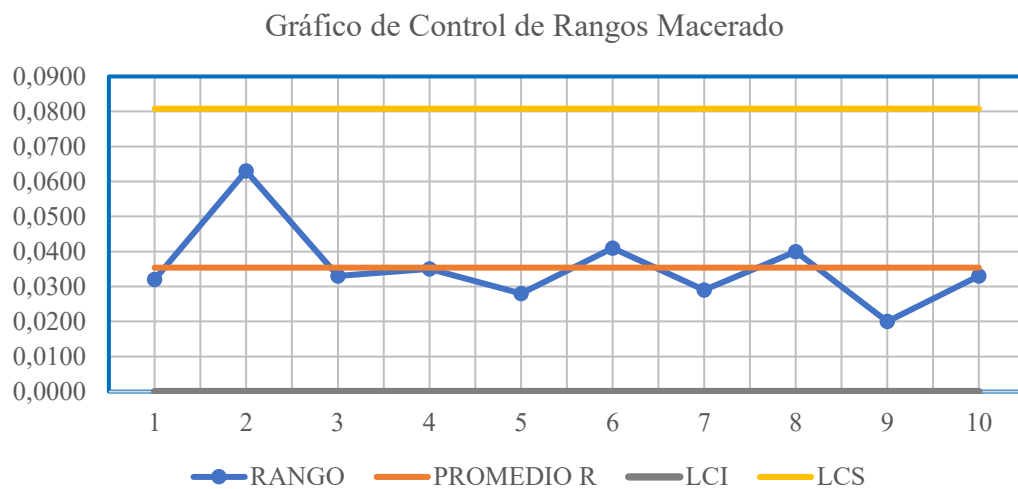


Gráfico 4 Control de los rangos del proceso de maceración

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Por lo tanto, los límites establecidos determinan el rango esperado en el que deberían situarse los datos, siempre que el proceso se mantenga bajo control. La presencia de cualquier punto fuera de estos límites puede señalar una desviación inusual en el proceso. Además, la línea central del gráfico representa el promedio

de los datos, lo que proporciona un punto de referencia esencial para evaluar la estabilidad del proceso, cuyo valor es 0.0354.

Al revisar los valores de los rangos proporcionados, que oscilan entre 0.0200 y 0.0630, se puede constatar que todos ellos se encuentran dentro de los límites de control establecidos. Esto significa que ninguno de los valores supera el Límite de Control Superior (LCS) ni cae por debajo del Límite de Control Inferior (LCI), lo cual es una señal positiva, ya que indica que el proceso se encuentra dentro de los parámetros esperados y no muestra evidencia de fluctuaciones anormales.

A pesar de la variabilidad natural observada en el rango de valores, que fluctúa entre cifras cercanas al límite inferior, se destaca una densidad de 0.0280, 0.0290 y 0.0200, donde no representan una amenaza inmediata, dado que continúan dentro de los límites de control.

En el analizar con mayor detalle la estabilidad de la densidad al final del proceso de maceración, se presenta a continuación el gráfico 5 de valores individuales (I) generada en el programa de prueba estadística (Minitab), enfocada en las mediciones de densidad a los datos T4=60 minutos de la Tabla 20.

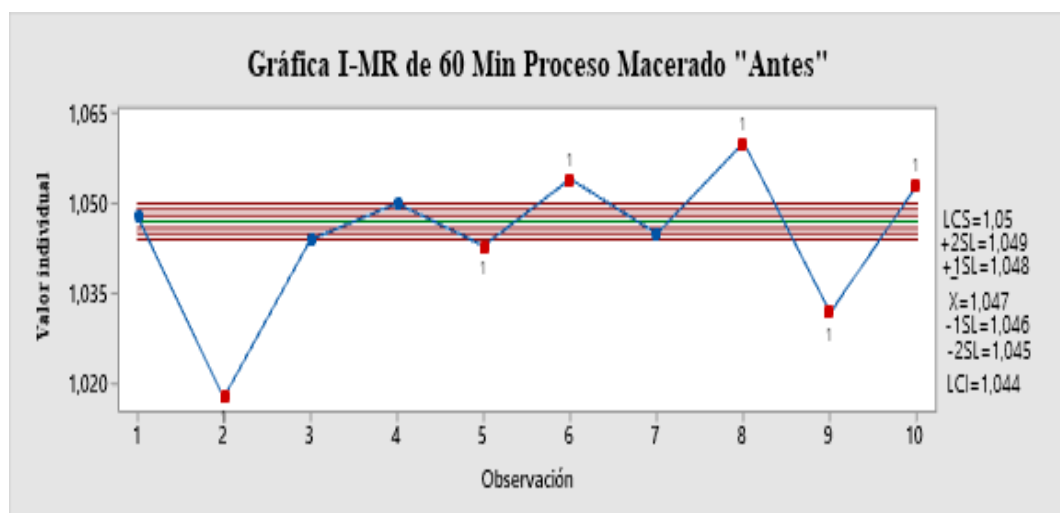


Gráfico 5 Control de Valores Individuales de la Densidad Final (T=60 min) del Proceso de Macerado

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El gráfico de valores individuales (I) de la densidad final (T4=60 min) del macerado, con límites de control a +/- 3 sigmas, revela inestabilidad estadística confirmada por la Prueba Estadística, la cual detectó puntos fuera de 3 desviaciones estándar de la línea central en las observaciones 2, 5, 6, 8, 9 y 10. Adicionalmente, el análisis respecto al objetivo de densidad de 1.047 g/cm³ evidencia que el 60% de las muestras finales 6 de 10, se desvían significativamente de este valor central deseado.

El comportamiento conlleva a una falta de control estadístico, respaldada por la prueba de causas especiales, lo que indica una variabilidad excesiva en la densidad final del proceso de maceración, con el fin de corregir la situación, es necesario implementar acciones que optimicen la consistencia del proceso y garanticen el cumplimiento del parámetro crítico de calidad.

Seguidamente, en la Tabla 22, se presentan los datos obtenidos a partir de las muestras de densidad del agua en función del tiempo durante el proceso de cocción.

Tabla 22 Datos de la densidad en el proceso de cocción

ORDEN	MIN 0	MIN 20	MIN 40	MIN 60
1 MUESTRA	1.048	1.048	1.050	1.054
2 MUESTRA	1.018	1.030	1.048	1.059
3 MUESTRA	1.044	1.047	1.049	1.055
4 MUESTRA	1.050	1.056	1.058	1.056
5 MUESTRA	1.043	1.046	1.048	1.063
6 MUESTRA	1.054	1.057	1.059	1.071
7 MUESTRA	1.045	1.048	1.050	1.055
8 MUESTRA	1.060	1.065	1.070	1.074
9 MUESTRA	1.032	1.040	1.058	1.090
10 MUESTRA	1.053	1.056	1.058	1.059

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el gráfico 6, se evidencia en el diagrama de dispersión que ilustra las variaciones de las densidades del agua durante el proceso de cocción en donde revela la tendencia de los datos recopilados.

A lo largo de las cuatro mediciones realizadas en intervalos de 0, 20, 40 y 60 minutos, se evidencia un patrón general de aumento en la densidad. Esto sugiere que el proceso de cocción favorece la concentración de los componentes presentes en el agua.

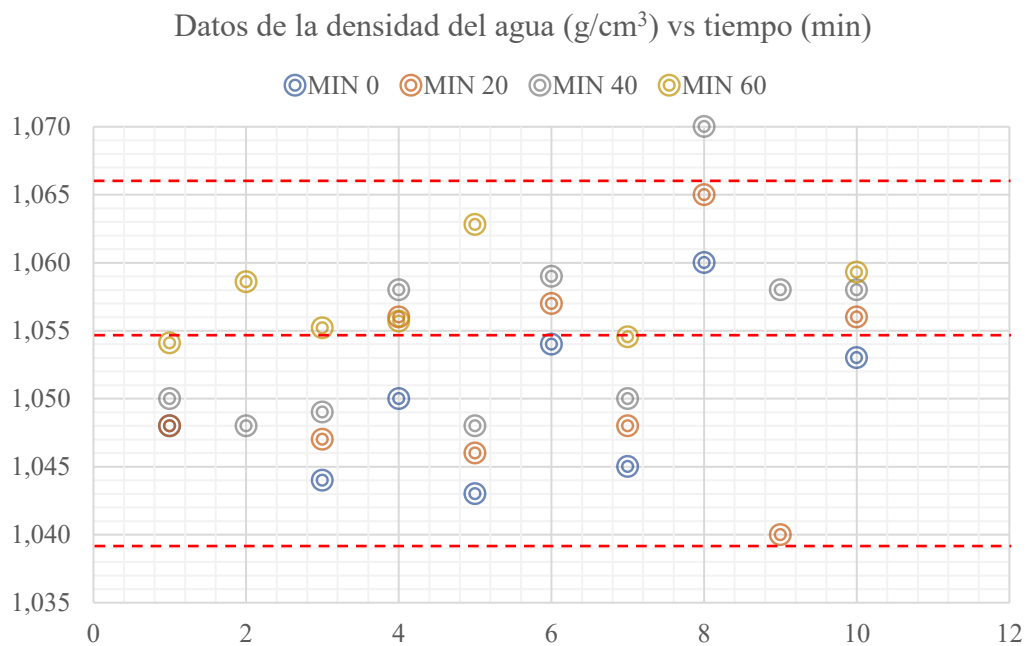


Gráfico 6 Diagrama de dispersión de la densidad en el proceso de cocción

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Por un lado, en la muestra 1, de hecho, la densidad puede considerarse constante, sin embargo, después de los primeros 20 minutos, la densidad era de 1.048 g/cm^3 , que mostró un ligero aumento hasta 1.054 g/cm^3 al final del proceso. Esto indicó una relajación lenta pero constante de los solutos.

Por otro lado, en la muestra 2, hubo para comenzar un aumento más pronunciado en la densidad. Alrededor de los 5 minutos, la densidad ascendió a 1.018 g/cm^3 , aumentando a 1.059 g/cm^3 a los 60 minutos. Dicho aumento puede haber estado relacionado con una mayor solubilidad o disolución de los solutos en comparación con otras muestras.

La muestra 3, por otro lado, tiene un conjunto más atenuado; se observa que la densidad pasa de 1.044 g/cm^3 a 1.055 g/cm^3 . Este rango a su vez sugiere una liberación constante de los componentes, pero a una tasa más lenta en comparación con otras muestras.

La muestra 4, la variante más distintiva, tiene la densidad en aumento de 1.050 g/cm^3 a 1.056 g/cm^3 a los 60 minutos. Este conjunto de datos indica que esta

muestra fue acompañada por una mayor liberación de solutos a lo largo del proceso de cocción.

De la misma manera, el aumento de muestra 6 es uno de los más notables, con 1.054 g/cm³ en el cronometraje inicial y 1.071 g/cm³ en la cima. Por lo tanto, el rendimiento cara a cara exponencial puede interpretarse como una disolución más eficaz de los solutos.

Asimismo, la muestra 8 presenta el mayor aumento de densidad, comenzando desde 1.060 g/cm³ y llegando a 1.074 g/cm³ al final de los 60 minutos. La concluyente liberación de los solutos durante la cocción también se puede observar en la Tabla 22, de los datos de la densidad. En general, los datos presentados revelan que la ebullición acelera la disolución de compuestos que se desintegran en agua.

En la tabla 23, se obtiene datos en el proceso de cocción en la cual se conocerá los promedios, y rangos establecidos para los cuales son esenciales para evaluar el comportamiento del proceso y garantizar que se mantengan las condiciones óptimas.

Tabla 23 Cálculos de los límites de control del proceso de cocción

PROMEDIO g/cm ³	RANGO g/cm ³	LCI [X-A ₂ R] g/cm ³	LCS [X+A ₂ R] g/cm ³	LCI [D ₃ R] g/cm ³	LCS [D ₄ R] g/cm ³
1.050	0.006	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.039	0.041	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.049	0.011	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.055	0.008	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.050	0.020	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.060	0.017	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.049	0.010	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.067	0.014	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.055	0.058	1.0392	1.0669	0	0.0434
1.057	0.006	1.0392	1.0669	0	0.0434

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el gráfico 7 se presentan los (LC) por promedios, representados en el gráfico de control del proceso de cocción, se evidencian a las líneas horizontales determinadas (LCI) cuyo valor es 1.0392 y el (LCS) es 1.0669.

Estos límites definen el rango dentro del cual se espera que los datos se mantengan si el proceso opera bajo control. La presencia de estos puntos fuera de estos límites

podrá señalar una variación inusual. Asimismo, la línea central en el gráfico representa un valor promedio de los datos el cual es 1.053.

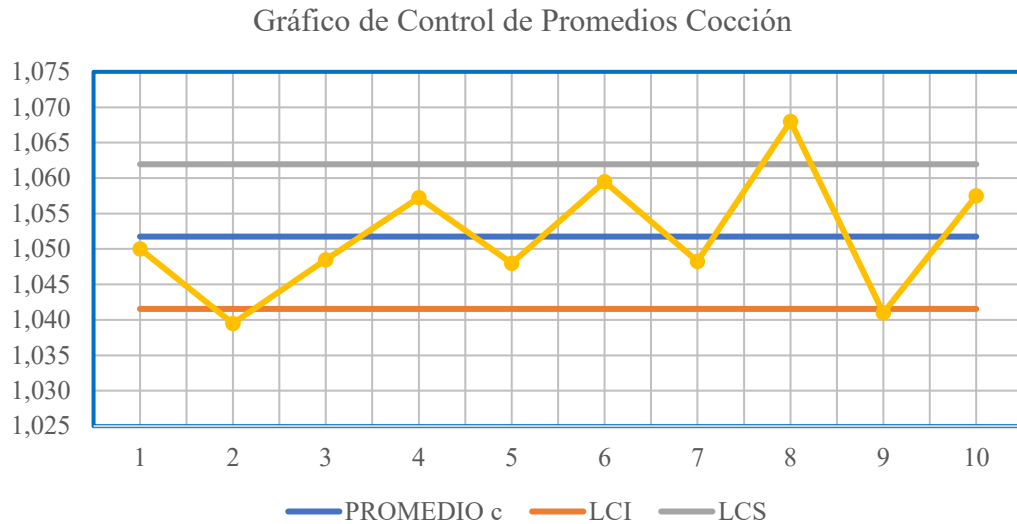


Gráfico 7 Control de los promedios del proceso de cocción

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Se observa que la densidad del agua aumenta a medida que pasa el tiempo, esto debido a que el incremento se observa en todas las muestras a los 60 minutos, donde la densidad es mayor en comparación con los tiempos iniciales es decir que en la muestra 1 se observa que la densidad pasa de 1.048 g/cm³ a 1.054 g/cm³ en 60 minutos, mostrando un aumento constante.

Además, en la muestra 2 desciende del (LCI) teniendo una densidad de 1,018 g/cm³ y aumentado a una densidad de 1,059 g/cm³, dentro del (LC). En la muestra 8, comenzando en 1.060 g/cm³ y alcanzando 1.074 g/cm³ a los 60 minutos, lo que sugiere una reacción o cambio significativo durante el proceso de cocción y por último en las muestras de 2, 5, 6, 8, 9 y 10 que son las más representativas dentro de la gráfica de control.

El análisis de la variación de la densidad del agua durante el proceso de fermentación proporciona una visión detallada de cómo evoluciona este parámetro crítico a lo largo del tiempo y su relación con el contenido de alcohol en volumen (ABV). A lo largo de siete días, las densidades de las diferentes muestras muestran

un descenso progresivo, lo que es típico en los procesos de fermentación, donde los azúcares se convierten en alcohol y dióxido de carbono.

En el gráfico 8, la dispersión de los rangos de las mediciones de la densidad en el proceso de cocción en sus respectivos (LC): (LCI) con un valor de 0 (cero) y el (LCS) con un valor de 0.0434.

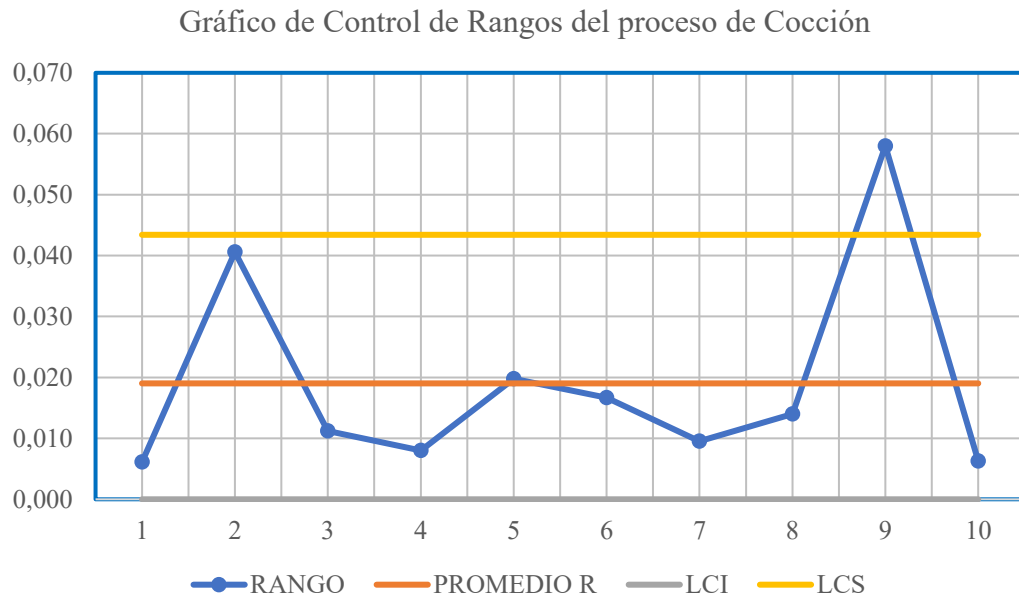


Gráfico 8 Control de los rangos del proceso de cocción

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Dichos límites definen el rango dentro del cual se espera que los datos se encuentren si el proceso está bajo control. Cualquier punto que se sitúe fuera de estos límites podría sugerir una variación fuera de lo común. Además, la línea central en el gráfico indica el promedio de los datos, cuyo valor es 0.019.

Al observar los valores de rango, que varían entre 0.006 y 0.058, se puede constatar que todos se encuentran por debajo del límite superior de 0.0434 excepto la muestra 9 que sobre pasa el límite superior y por encima del límite inferior de 0 (cero).

En lo cual se indica que existen variaciones fuera de lo esperado en el proceso, ya que la muestra 2 con el valor de 0.041 está muy cerca a exceder los límites establecidos, lo que sugiere que el proceso no está operando dentro de los parámetros controlados y presenta anomalías evidentes.

Complementando el análisis de la tendencia general de la densidad durante la cocción, el gráfico 9, se enfoca específicamente en la estabilidad de la densidad alcanzada al final de este proceso a los 60 minutos.

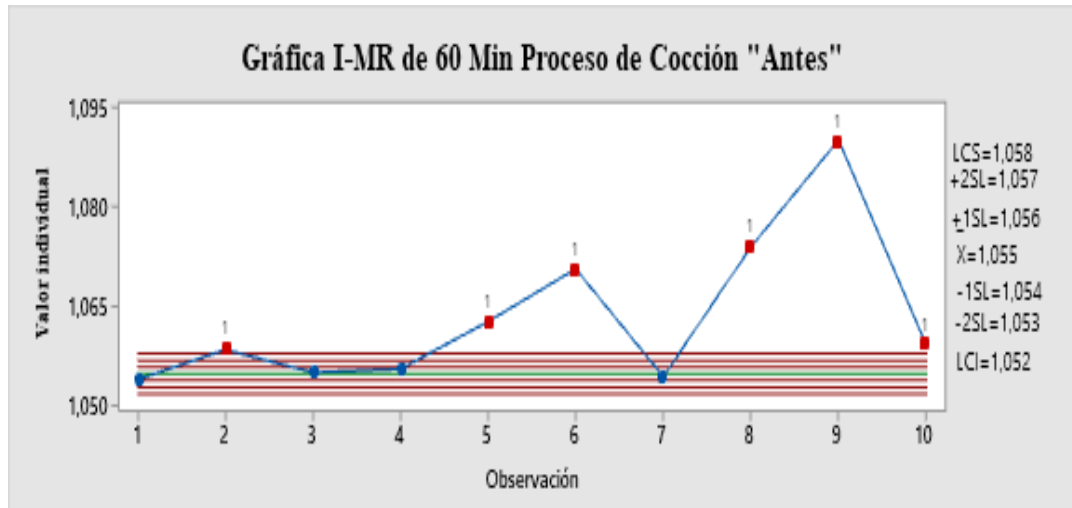


Gráfico 9 Control de Valores Individuales de la Densidad Final (T=60 min) del Proceso de Cocción

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El análisis mediante el gráfico 9, de la densidad final a los 60 minutos del proceso de cocción, con límites de control establecidos en +/- 3 sigmas, pone de manifiesto una falta de control estadístico. En donde el hallazgo se sustenta en la Prueba de Estadística, que identificó puntos que exceden los límites de control en 6 de las 10 observaciones en el 60% en las muestras 2, 5, 6, 8, 9 y 10.

Al considerar el objetivo de densidad para esta fase, fijado en 1.055 g/cm³ y visualizado como la línea central en la gráfica, se destaca la marcada desviación de la muestra 9, cuya densidad se eleva significativamente por encima del límite superior de control 1.058 g/cm³ hasta aproximarse a 1.090 g/cm³, evidenciado según la Tabla 22. Asimismo, las otras cinco muestras fuera de control también contribuyen a esta señal de inestabilidad al exhibir una considerable dispersión en torno al valor objetivo.

En la tabla 24, se muestran los datos obtenidos a partir de las muestras de densidad del agua en relación con el tiempo durante el proceso de enfriamiento.

Tabla 24 Datos de la variación de la temperatura en el proceso de enfriamiento

ETAPA	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)	TEMP. INICIAL (°C)	TEMP. FINAL (°C)	CAUDAL DE AGUA (L/min)
Inicio del proceso	0	84.00		11.93
Enfriamiento 10%	4	84.00	78.70	11.93
Enfriamiento 20%	8	78.70	73.40	11.93
Enfriamiento 30%	12	73.40	68.10	11.93
Enfriamiento 40%	16	68.10	62.80	11.93
Enfriamiento 50%	20	62.80	57.50	11.93
Enfriamiento 60%	24	57.50	52.20	11.93
Enfriamiento 70%	28	52.20	46.90	11.93
Enfriamiento 80%	32	46.90	41.60	11.93
Enfriamiento 90%	36	41.60	36.30	11.93
Enfriamiento 100%	40	36.30	31.00	11.93

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el texto de la tabla 24, se presentan datos detallados sobre el proceso de enfriamiento de la cerveza, enfocándose en tres variables fundamentales como es el tiempo transcurrido, las temperaturas inicial y final de la cerveza en cada etapa, y el caudal de agua utilizado durante el proceso.

El propósito de este análisis es entender cómo la temperatura de la cerveza disminuye de manera progresiva, identificar los factores que influyen en este enfriamiento y asegurar un resultado que no solo sea eficiente, sino que también mantenga la calidad de la cerveza, incluyendo su sabor característico.

El análisis reflejado en el gráfico 10, muestra durante el proceso de enfriamiento, una reducción constante de la temperatura a lo largo del tiempo.

En el proceso inicia a 84°C y desciende de manera gradual hasta alcanzar 31°C en los últimos minutos, lo que representa una disminución aproximada del 57% en relación con la temperatura inicial a lo largo de 40 minutos.

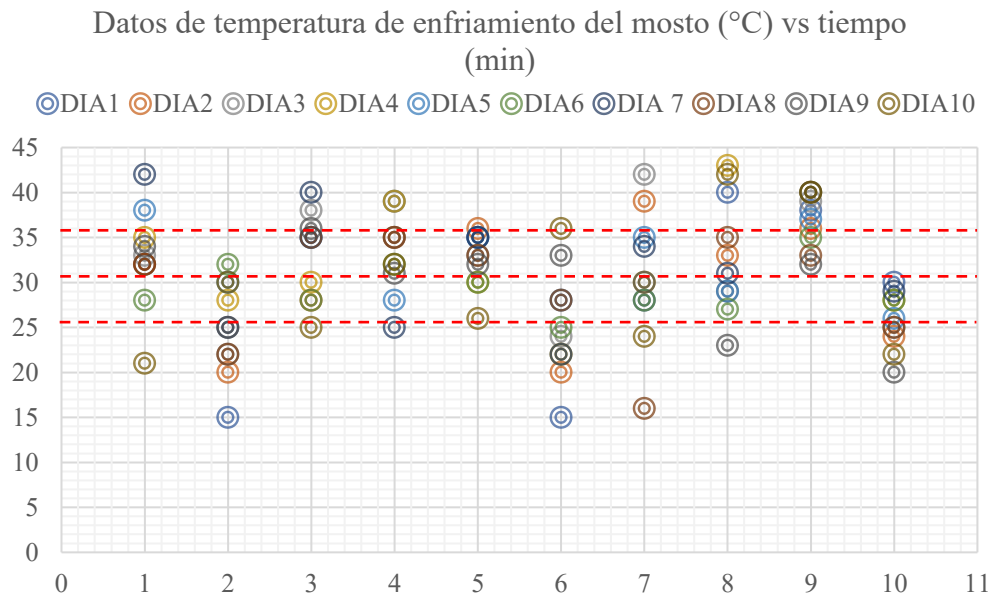


Gráfico 10 Diagrama de dispersión en el proceso de enfriamiento

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En la gráfica 10, se presentan los datos detallados sobre el proceso de enfriamiento de la cerveza, enfocándose en tres variables fundamentales, como es el tiempo transcurrido, las temperaturas inicial y final de la cerveza en cada etapa, y el caudal de agua utilizado durante el proceso.

El propósito del análisis es entender cómo la temperatura de la cerveza disminuye de manera progresiva, identificar los factores que influyen en este enfriamiento y asegurar un resultado que no solo sea eficiente, sino que también mantenga la calidad de la cerveza, incluyendo su sabor característico.

El análisis reflejado en el gráfico 8 muestra, durante el proceso de enfriamiento, una reducción constante de la temperatura a lo largo del tiempo. Este proceso inicia a 84°C y desciende de manera gradual hasta alcanzar 31°C en los últimos minutos, lo que representa una disminución aproximada del 57% en relación con la temperatura inicial a lo largo de 40 minutos.

En el proceso de enfriado es útil para obtener una visión general de la temperatura alcanzada en diferentes puntos del tiempo, y permite asegurar que se cumpla con el perfil térmico deseado para el producto. El cálculo del promedio ayuda a identificar si la temperatura final o el tiempo necesario para enfriar un producto se mantiene dentro de los valores establecidos, evitando tanto un enfriado insuficiente como uno

excesivo, tal como se observa en la siguiente tabla 25 de los cálculos de los promedios y rangos del proceso de enfriamiento.

Tabla 25 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de enfriado

PROMEDIO °C	RANGO °C	LCI [X-A ₂ R] °C	LCS [X+A ₂ R] °C	LCI [D ₃ R] °C	LCS [D ₄ R] °C
32.70	21.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
24.90	17.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
33.00	15.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
33.10	14.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
32.50	10.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
25.30	21.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
30.60	26.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
33.20	20.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
37.00	8.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874
27.00	10.00	25.9404	35.9196	3.6126	28.7874

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el gráfico 11, se presentan los (LC) de promedios, representados en el gráfico por las líneas horizontales correspondientes al (LCI) cuyo valor es 25.94 °C y el (LCS) cuyo valor es 35.91 °C. Estos límites representan los valores dentro de los cuales se espera que los datos estén si el proceso está bajo control. Cualquier punto fuera de estos límites podría indicar una variación inusual. Así también la línea central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 30.93 °C.

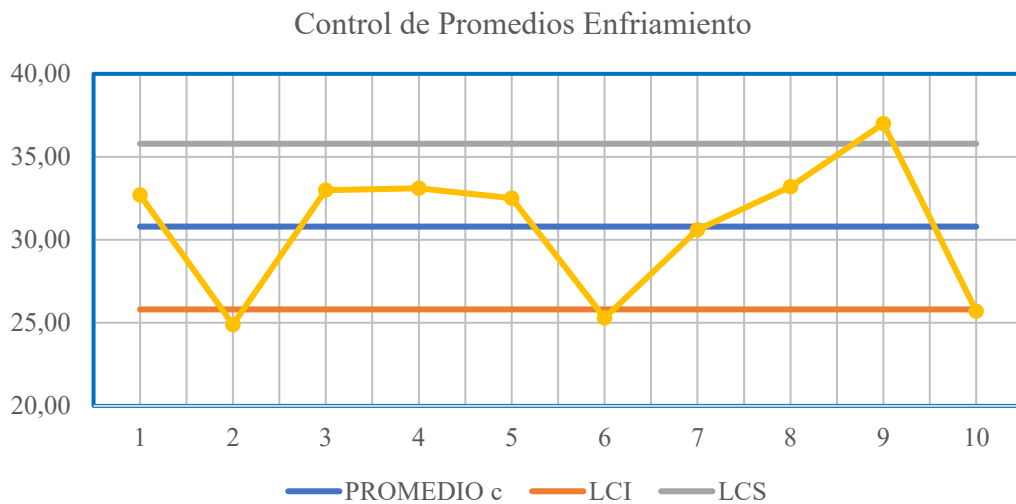


Gráfico 11 Control de promedios en el proceso de enfriamiento

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el gráfico de control, se muestran los (LC) de los promedios, representados por las líneas horizontales que corresponden al (LCI), que tiene un valor de 25. 81 °C, y al (LCS), con un valor de 35. 78 °C.

Dichos límites delimitan el rango en el que se espera que se encuentren los datos si el proceso se encuentra bajo control. Así también la línea central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 30.80 °C.

El proceso de enfriamiento de la cerveza, con una duración total de 40 minutos, muestra una deficiencia en las líneas de tendencia central, alcanzando la temperatura final de 31.00°C, controlada de manera empírica, en donde las primeras etapas del enfriamiento, cuando la temperatura inicial es de 84°C, presentan un mayor diferencial térmico, lo que resulta en una disminución más rápida de la temperatura.

A medida que el proceso avanza y la temperatura se acerca a los 31.00°C, el diferencial térmico se reduce, y la velocidad de enfriamiento disminuye, lo que es característico de los sistemas de enfriamiento, conllevando a tener una desaceleración en el enfriamiento, aunque más lenta, es natural y necesaria para evitar cambios bruscos que puedan afectar la calidad final de la cerveza.

En el gráfico 12, se muestra las líneas horizontales correspondientes al (LCI), con un valor de 3.61 °C, y al (LCS), el valor es 28.78 °C. en donde dichos límites indican el rango dentro del cual se espera que los datos se mantengan si el proceso está bajo control.

Cualquier punto que se encuentre fuera de estos límites podría señalar una variación atípica. Además, la línea central del gráfico representa el promedio de los datos, cuyo valor es 16.20 °C.

Control de Rangos Enfriamiento

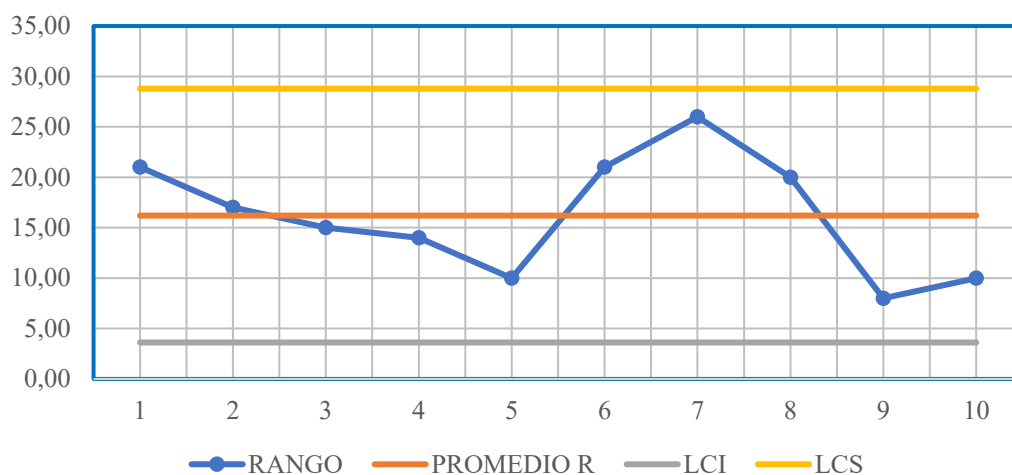


Gráfico 12 Control de rangos en el proceso de enfriamiento

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el estudio es fundamental mencionar que, en la tabla 24, se presentan los promedios que oscilan entre 8.00 y 26.00, lo que refleja cierta variabilidad que podría sugerir ligeras fluctuaciones en el proceso, aunque estas siguen dentro de parámetros aceptables.

En términos generales, la interpretación revela que el proceso permanece bajo control, con variaciones que resultan naturales dentro de los límites establecidos.

El enfriamiento progresivo y controlado es crucial para preservar la integridad del sabor y aroma de la cerveza. Un enfriamiento demasiado rápido o irregular podría dar lugar a la formación de compuestos indeseables, como ácidos o esteroides, que afectarían negativamente el perfil de sabor y provocarían cambios abruptos en las características organolépticas, incluyendo el sabor, el aroma y la textura.

En el análisis de control estadístico del proceso de enfriamiento, y con el fin de evaluar la estabilidad de la temperatura final alcanzada en cada lote en relación con el objetivo deseado de 26°C, se presenta a continuación el gráfico 13, basada en la temperatura final registrada al concluir el proceso de enfriamiento.

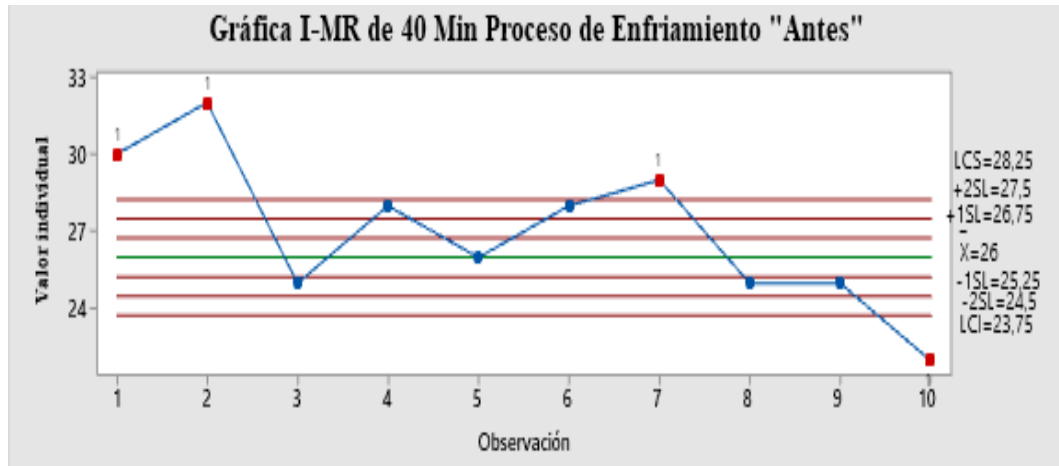


Gráfico 13 Control de Valores Individuales de la Temperatura Final (40 min) del Proceso de Enfriamiento.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El gráfico 13 de la temperatura final del proceso de enfriamiento a los 40 min, con límites de control a ± 3 sigmas, revela inestabilidad estadística confirmada por la Prueba Estadística la cual detectó puntos fuera de 3 desviaciones estándar de la línea central en las observaciones 1, 2, 7 y 10.

En donde se confirma que las muestras 2 y 7 superan el límite superior de control a los 28.25 °C, mientras que la muestra 1 se acerca peligrosamente a este límite. De manera similar, la muestra 10 se encuentra por debajo del límite inferior de control 23.75 °C. Considerando el objetivo de temperatura final de 26°C, representado por la línea central de la gráfica, se evidencia que estas muestras fuera de control se desvían significativamente del valor deseado alcanzado a los 40 minutos.

Este análisis complementario proporciona una visión clara de la inestabilidad del resultado final del proceso de enfriamiento y la inconsistencia en alcanzar el objetivo de temperatura de 26°C en el tiempo establecido de 40 minutos en todas las ejecuciones analizadas.

Por tanto, se puede concluir que el diseño del proceso no solo tiene como objetivo alcanzar la meta técnica de reducir la temperatura, sino que también garantiza la conservación de la calidad del producto final.

En relación con la tabla 26, se destaca que el proceso de fermentación es uno de los pasos más críticos en la producción de la empresa artesanal.

Tabla 26 Datos de la variación de la densidad en el proceso de fermentación

Variación de la densidad del agua (g/cm³) vs tiempo (min) en el proceso de Fermentación							
ORDEN	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
1 MUESTRA	1.054	1.050	1.045	1.039	1.030	1.020	1.017
2 MUESTRA	1.059	1.052	1.048	1.040	1.025	1.020	1.016
3 MUESTRA	1.055	1.049	1.035	1.028	1.020	1.013	1.013
4 MUESTRA	1.056	1.050	1.045	1.039	1.035	1.020	1.017
5 MUESTRA	1.063	1.048	1.042	1.030	1.025	1.020	1.010
6 MUESTRA	1.071	1.069	1.065	1.061	1.059	1.050	1.010
7 MUESTRA	1.055	1.028	1.018	1.015	1.010	1.008	1.006
8 MUESTRA	1.065	1.060	1.042	1.035	1.024	1.019	1.013
9 MUESTRA	1.090	1.045	1.035	1.028	1.020	1.012	1.010
10 MUESTRA	1.059	1.049	1.041	1.036	1.025	1.019	1.014

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En la gráfica 14, que presenta los resultados del cambio en la densidad durante el proceso de fermentación, muestra una tendencia predominante de reducción en la densidad de las muestras durante los siete días de observación.

Dichos fenómenos son típicos en los procesos de la fermentación, en la que los elementos solubles presentes en las muestras son metabolizados y transformados, lo que usualmente conduce a una reducción en la cantidad de sólidos disueltos en el agua, lo que consecuentemente disminuye la densidad.

Teniendo en cuenta que las muestras 1, 2 y 3 inician con 1.054, 1.059, 1.055 g/cm³, respectivamente, y su densidad se reduce progresivamente con el paso de los días.

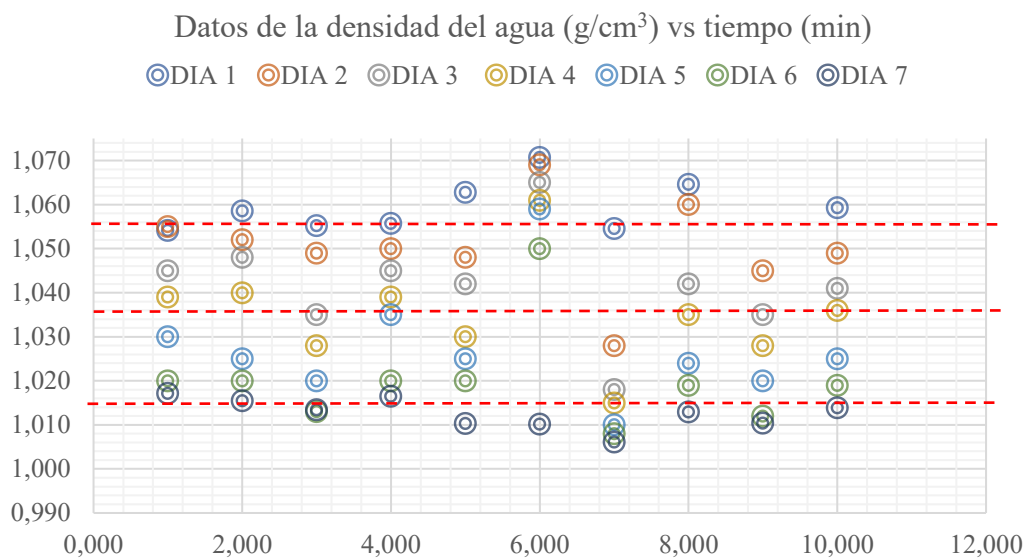


Gráfico 14 Diagrama de dispersión en el proceso de fermentación

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el gráfico 14 del diagrama de dispersión del proceso de fermentación, se observa que en la muestra 1, la densidad disminuye hasta 1.017 g/cm^3 en el séptimo día. En el cambio refleja una liberación continua de solutos durante el proceso de fermentación. Por su parte, la muestra 2 presenta una tendencia similar, aunque con un descenso menos pronunciado, alcanzando 1.016 g/cm^3 al finalizar el periodo.

En cuanto a la muestra 3, se observa una reducción más rápida, comenzando con una densidad de 1.055 g/cm^3 y descendiendo a 1.013 g/cm^3 en el séptimo día, lo que podría indicar una fermentación más activa o una mayor disolución de solutos en los primeros días.

La muestra 4 inicia con una densidad de 1.056 g/cm^3 y finaliza en 1.017 g/cm^3 , mientras que la muestra 5 comienza en 1.063 g/cm^3 y desciende a 1.010 g/cm^3 , mostrando un descenso gradual que sugiere una liberación más moderada de compuestos solubles durante el proceso de fermentación.

Posteriormente, en la muestra 6, la densidad parte de 1.071 g/cm^3 y cae de manera más pronunciada, alcanzando 1.010 g/cm^3 al final del periodo. Donde se sugiere una mayor actividad en la fermentación y una intensa disolución de dichos componentes.

Las muestras 7 y 8, también muestran un descenso en la densidad, especialmente la muestra 9, que inicia con una densidad de 1.090 g/cm^3 y cae drásticamente a 1.010 g/cm^3 en el Día 7, lo que podría indicar un proceso de fermentación muy activo con una liberación significativa de solutos.

En general, todos los resultados reflejan la tendencia esperada en un proceso de fermentación, con la disminución de la densidad indicando la transformación y consumo de los compuestos solubles presentes en las muestras.

En la tabla 27, se presenta el analizar los datos obtenidos durante la fermentación en el cálculo de los promedios y rangos, que permiten evaluar el comportamiento general de estas variables y tomar decisiones informadas sobre el control del proceso.

Tabla 27 Cálculos de los promedios y rangos del procesos de fermentación

PROMEDIO g/cm ³	RANGO g/cm ³	LCI [X-A ₂ R] g/cm ³	LCS [X+A ₂ R] g/cm ³	LCI [D ₃ R] g/cm ³	LCS [D ₄ R] g/cm ³
1.037	0.038	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.037	0.043	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.031	0.042	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.037	0.039	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.034	0.053	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.055	0.061	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.020	0.048	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.037	0.052	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.034	0.080	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963
1.035	0.045	1.0147	1.0566	0.0038	0.0963

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el gráfico 15, se presentan los (LC) promedios, que se encuentran representados en el gráfico donde se evidencia a las líneas horizontales determinadas (LCI) cuyo valor es de 1.0147 y el (LCS) su valor es 1.0566.

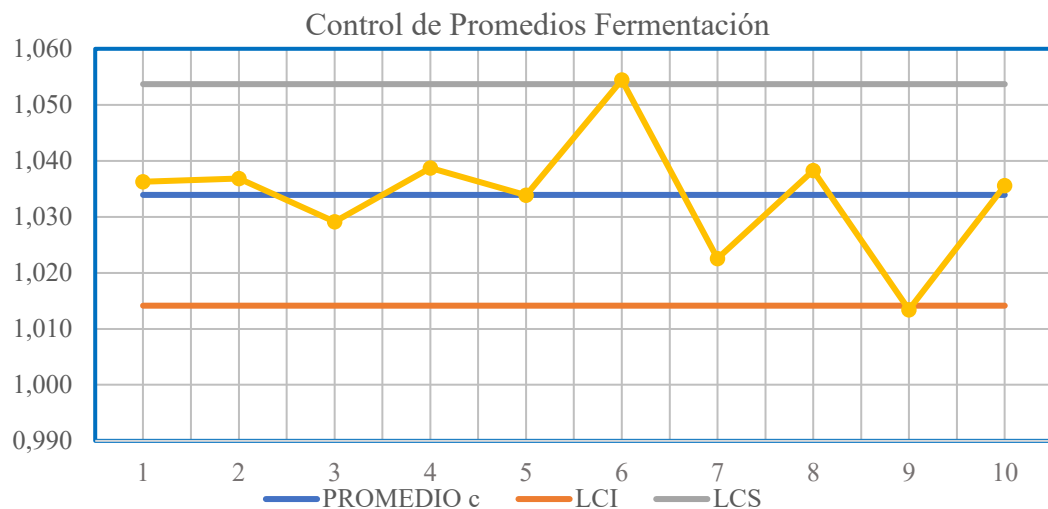


Gráfico 15 Control promedio del proceso de fermentación

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Estos límites representan los valores dentro de los cuales se espera que los datos estén si el proceso está bajo control. Cualquier punto fuera de estos límites podría indicar una variación inusual. Así también la línea central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 1.036.

En el gráfico 16, se observan los (LC) de los rangos, representados por las líneas horizontales correspondientes al (LCI), con un valor de 0.0038, y al (LCS), con un valor de 0.0963.

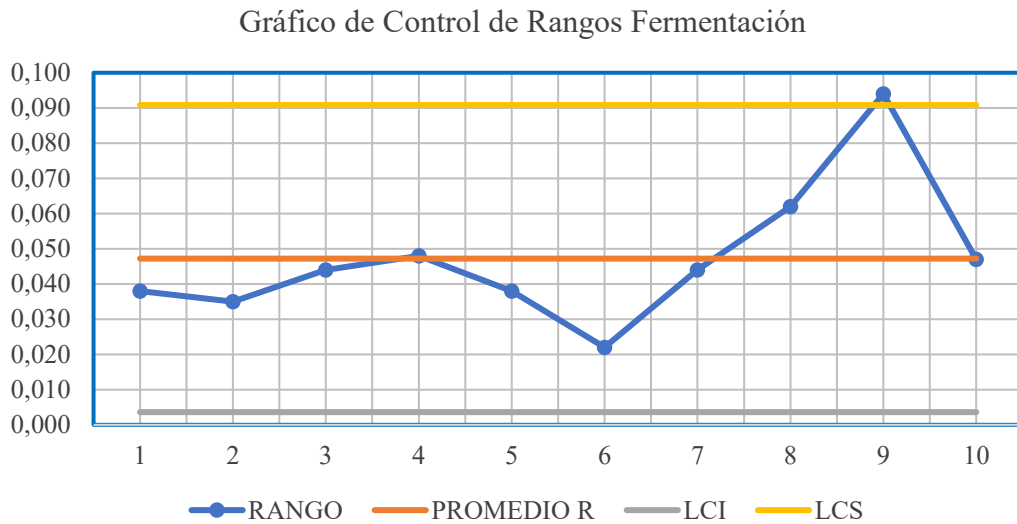


Gráfico 16 Control de rangos del proceso de fermentación

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En estudio se evidencia las limitaciones determinan el rango de datos esperados si el proceso está controlado. Cualquier valor fuera de estos bordes puede indicar un cambio incorrecto. Además, la línea de programación central refleja el valor promedio de datos, su valor es 0.050.

El análisis de los cambios en la densidad durante la fermentación muestra una disminución, incluida la densidad de las muestras en unos pocos días, lo que refleja la efectividad del azúcar en el alcohol.

Las anomalías en algunos datos enfatizan la importancia del monitoreo cuidadoso del proceso para garantizar la calidad del producto final dicha información puede estar dirigida por los ajustes necesarios del proceso de fermentación, ayudando a optimizar la producción manual de cerveza y mejorar su calidad.

El análisis de la estabilidad de la densidad al final del proceso de fermentación, donde el objetivo es alcanzar 1.016 g/cm³, un factor clave que influye directamente

en el contenido alcohólico del producto, se presenta a continuación en el gráfico 17, que se enfoca a la densidad final registrada en cada muestra.

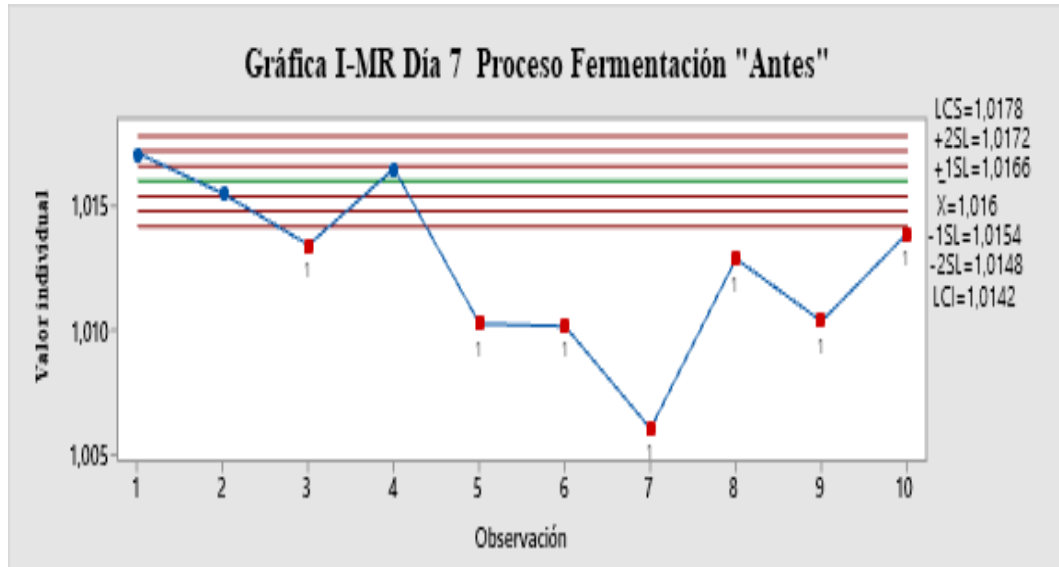


Gráfico 17 Control de Valores Individuales de la Densidad Final (Día 7) del Proceso de Fermentación.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El análisis del estudio de las gráficas de control de promedios y rangos del proceso de fermentación de la Gráficos 15 y 16 reveló la variabilidad inherente a esta etapa crucial, con el fin de evaluar la estabilidad del resultado final de la fermentación, es decir, la densidad alcanzada al séptimo día, donde se requiere obtener una densidad óptima de 1.016 g/cm^3 , se presenta el Gráfico 17, cuyos datos provienen de la Tabla 26, con el valor de la densidad de 1.016 g/cm^3 como referencia central para analizar la dispersión de los resultados. Los límites de control, calculados a partir de la variabilidad de las muestras, señalan que una proporción significativa de los lotes presenta una densidad final que se desvía considerablemente del rango esperado.

En el estudio se enmarca la inestabilidad en la densidad final de la fermentación sugiere que el proceso no está controlado de manera consistente alrededor del objetivo deseado. Dada la influencia directa de la densidad final en el contenido alcohólico del producto, esta variabilidad requiere una investigación exhaustiva de las causas subyacentes para implementar mejoras que aseguren una fermentación más controlada y un producto final de calidad uniforme.

La Tabla 28 se puede evidenciar el cambio del porcentaje de alcohol entre las muestras observadas durante el único período de aislamiento de diez días en el comportamiento de la cerveza, creando muestras variables reflejadas en el nivel de alcohol en cada muestra.

Tabla 28 Datos de los grados de alcohol de la cerveza artesanal

GRADOS DE ALCOHOL DE LA CERVEZA ARTESANAL EN EL PROCESO										
ORDEN	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10
1 MUESTRA	4.85	4.77	4.90	3.17	3.89	5.05	5.00	4.95	4.21	4.65
2 MUESTRA	5.66	6.49	6.81	7.74	5.33	5.87	6.33	6.57	6.07	6.74
3 MUESTRA	5.48	6.02	6.12	6.14	4.92	6.78	2.78	7.11	3.28	5.37
4 MUESTRA	5.15	7.25	4.60	5.81	6.91	5.86	4.80	6.99	6.32	6.14
5 MUESTRA	6.89	6.41	4.30	5.69	7.97	4.56	4.16	6.40	3.73	6.01
6 MUESTRA	7.94	5.42	3.95	4.25	5.33	5.86	4.61	7.05	7.83	6.04
7 MUESTRA	6.36	5.88	6.87	6.73	7.49	8.27	6.09	5.63	5.65	5.47
8 MUESTRA	6.79	3.89	6.46	7.17	5.49	4.47	4.89	6.48	7.16	5.72
9 MUESTRA	10.45	3.74	6.08	3.93	4.20	7.26	4.84	5.01	7.25	5.57
10 MUESTRA	5.96	6.29	6.13	5.97	6.17	8.09	3.83	5.27	6.53	4.13

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En la tabla 29, muestra la efectivas de evaluar y controlar el porcentaje de alcohol es mediante el cálculo de los promedios y rangos del porcentaje de grados de alcohol en diferentes etapas del proceso, en donde los cálculos proporcionan una visión clara de cómo se desarrolla la producción de alcohol a lo largo del tiempo y permiten detectar cualquier irregularidad o desviación en el proceso.

Tabla 29 Cálculos de promedios y rangos del proceso de % de grados de alcohol

PROMEDIO g/cm ³	RANGO g/cm ³	LCI [X-A ₂ R] g/cm ³	LCS [X+A ₂ R] g/cm ³	LCI [D ₃ R] g/cm ³	LCS [D ₄ R] g/cm ³
4.54	1.88	4.6435	6.8950	1.88	6.4950
6.36	2.41	4.6435	6.8950	2.41	6.4950
5.40	4.33	4.6435	6.8950	4.33	6.4950
5.98	2.65	4.6435	6.8950	2.65	6.4950
5.61	4.24	4.6435	6.8950	4.24	6.4950
5.83	3.99	4.6435	6.8950	3.99	6.4950
6.44	2.80	4.6435	6.8950	2.80	6.4950
5.85	3.28	4.6435	6.8950	3.28	6.4950
5.83	6.71	4.6435	6.8950	6.71	6.4950
5.84	4.26	4.6435	6.8950	4.26	6.4950

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El comportamiento del proceso puede analizarse a partir del gráfico 18, donde se establecen los (LC) de promedio que se encuentran representados en el gráfico, se

evidencias a las líneas horizontales determinadas (LCI) cuyo valor es 4.6435 %ABV y el (LCS) su valor es 6.8950 %ABV.

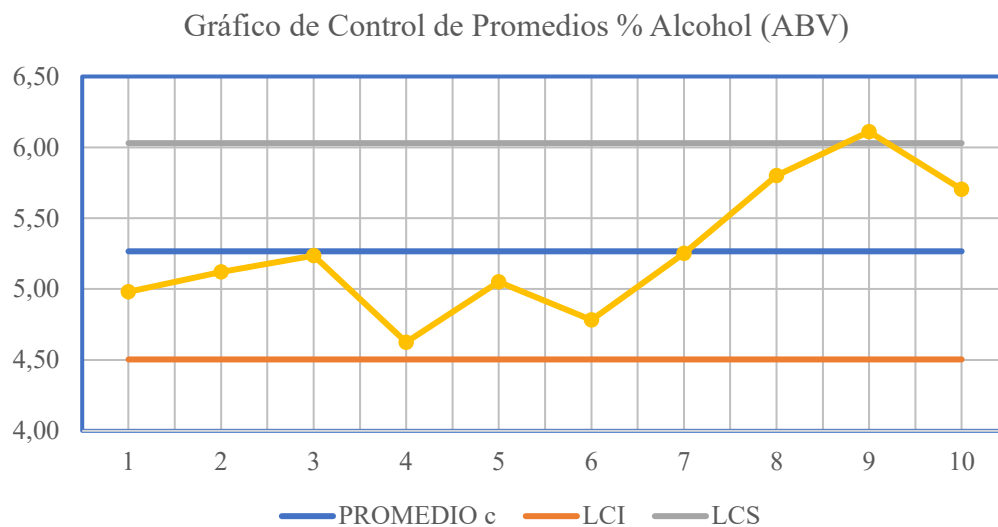


Gráfico 18 Control de promedios del % de alcohol

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Los límites representan los valores dentro de los cuales se espera que los datos estén si el proceso está bajo control.

Cualquier punto fuera de estos límites podría indicar una variación inusual. Así también la línea central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es de 5.76%ABV.

Es así como los niveles de alcohol de cervezas mantienen una tendencia de descenso gradual, como la muestra 1, otras experimentan picos significativos, como la muestra 6, que inicia con un 7.94% de alcohol, sugiriendo una fermentación inicial más intensa o condiciones especiales que favorecieron una mayor producción alcohólica en sus primeras etapas.

En consideración, cuando el proceso progresa, se observa que la mayoría de las muestras tienden a ser estables, con ello se indica que la madurez o la enzima se logra después de la vibración inicial.

Específicamente, en la muestra 9, presentó un patrón singular, comenzando con un porcentaje de alcohol del 10.45% en el primer día, que puede reflejar el pico de la actividad de levadura o el proceso enzimático es muy rápido, debido a que el alto

contenido de alcohol disminuye al desarrollar la enzima, estable de aproximadamente 5.57% al final de la fase de observación.

El gráfico 19, permite visualizar la variabilidad del proceso, donde se establecen los (LC) de los rangos representados por las líneas horizontales correspondientes al (LCI), con un valor de 0.8150% ABV, y al (LCS), el valor es 6.4950% ABV.

Estos límites establecen el rango dentro del cual se espera que los datos se encuentren si el proceso está bajo control. Cualquier medición fuera de estos límites podría indicar una variación anómala. Además, la línea central del gráfico refleja el promedio de los datos, cuyo valor es 3.66% ABV.

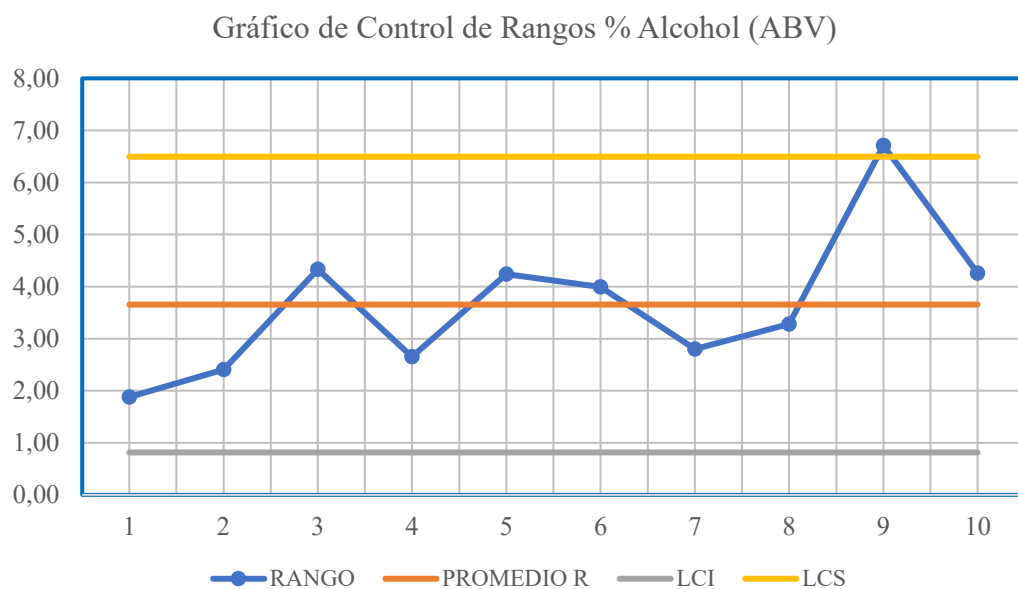


Gráfico 19 Control de rangos del % de alcohol

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Las conductas resaltan la relevancia del manejo de la fermentación en la elaboración artesanal, donde las variaciones en la actividad de las levaduras, las diferencias en temperaturas y la disponibilidad de azúcares pueden modificar el proceso fermentativo y, por lo tanto, la concentración de alcohol en la cerveza.

La atención a las diferentes alteraciones organolépticas y que muestren la esencia incierta de la producción artesanal, aunque puede proporcionar cervezas con atributos singulares, demanda un control meticuloso para lograr la calidad anhelada.

En el análisis de la Gráfica 20, se permite evaluar la estabilidad del contenido alcohólico al cierre del proceso, tomando como referencia los datos obtenidos en el décimo día de maduración. La variabilidad observada en los valores individuales muestra la influencia de los factores fermentativos sobre el perfil final de la cerveza, lo que refuerza la necesidad de monitoreo constante para garantizar el cumplimiento del objetivo establecido de 5.20% ABV ± 0.15 dentro de tres sigmas.

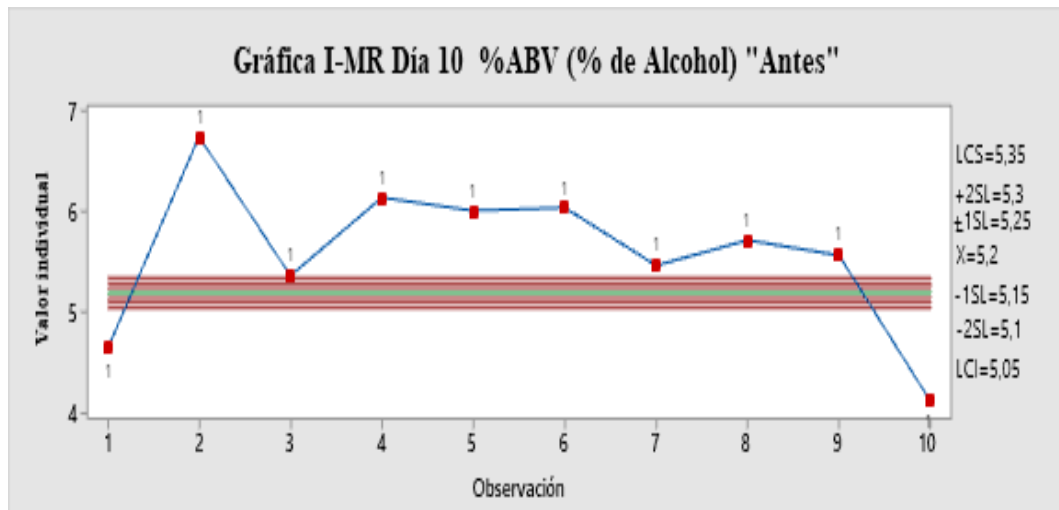


Gráfico 20 Control de Valores Individuales (I) del % de Alcohol (Día 10) ("Antes")
Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

El gráfico 20, presenta la variabilidad del contenido alcohólico en el décimo día, permitiendo analizar la estabilidad del proceso en función del objetivo establecido de 5.20% ABV ± 0.15 dentro de tres sigmas. Para este análisis, se han tomado los valores individuales de la Tabla 28, los cuales reflejan las mediciones obtenidas tras completar el ciclo de fermentación y los tres días de estabilización.

La selección del día 10 como punto de medición se fundamenta en la estructura del proceso, donde la fermentación culmina al séptimo día y se complementa con tres días adicionales de estabilización. Sin embargo, los valores fuera de control evidencian la necesidad de optimizar el control del proceso, asegurando que la concentración alcohólica se mantenga dentro del rango esperado de 5.20% ABV ± 0.15 .

Este comportamiento en la variabilidad del contenido alcohólico destaca la importancia de evaluar la capacidad del proceso de producción, ya que la eficiencia

en la conversión de azúcares y la estabilidad del producto final dependen de factores clave como la densidad inicial del agua y las condiciones de fermentación.

Capacidad de producción

En el estudio de la capacidad de producción, basado en las cifras de densidad del agua, proporciona datos esenciales sobre el procedimiento de fermentación y su impacto en la producción de cerveza artesanal.

En primera instancia, la diversidad inicial varía entre 1.015 g/cm³ y 1.061 g/cm³, indicándose que existe unas discrepancias en los ingredientes o en las circunstancias de fermentación. A pesar de que esta variabilidad es común, puede afectar la efectividad del proceso y las cualidades finales del producto, como se muestra en la tabla 30, se identifica la capacidad productiva.

Tabla 30 Capacidad de producción

ORDEN	Variación Promedio (% ABV)	Límite inferior	Límite superior	% ABV ideal	Desv. Estándar	Capacidad Potencial (CP)	CPI	CPS	Capacidad Real (CPK)
1 MUESTRA	4.54	5.05	5.35	5.20	0.609	0.082	-0.277	0.441	-0.277
2 MUESTRA	6.36	5.05	5.35	5.20	0.682	0.073	0.640	-0.494	-0.494
3 MUESTRA	5.40	5.05	5.35	5.20	1.409	0.035	0.083	-0.012	-0.012
4 MUESTRA	5.98	5.05	5.35	5.20	0.923	0.054	0.337	-0.228	-0.228
5 MUESTRA	5.61	5.05	5.35	5.20	1.378	0.036	0.136	-0.063	-0.063
6 MUESTRA	5.83	5.05	5.35	5.20	1.411	0.035	0.184	-0.113	-0.113
7 MUESTRA	6.44	5.05	5.35	5.20	0.905	0.055	0.513	-0.403	-0.403
8 MUESTRA	5.85	5.05	5.35	5.20	1.150	0.043	0.232	-0.145	-0.145
9 MUESTRA	5.83	5.05	5.35	5.20	2.049	0.024	0.127	-0.079	-0.079
10 MUESTRA	5.84	5.05	5.35	5.20	1.213	0.041	0.216	-0.134	-0.134

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Los resultados presentados en el gráfico 21, evidencian el comportamiento del contenido alcohólico (%ABV) de diez muestras de cerveza artesanal. Se consideran parámetros como la variación promedio, la media del proceso, la desviación estándar, la capacidad potencial del proceso (CP) y la capacidad real (CPK).

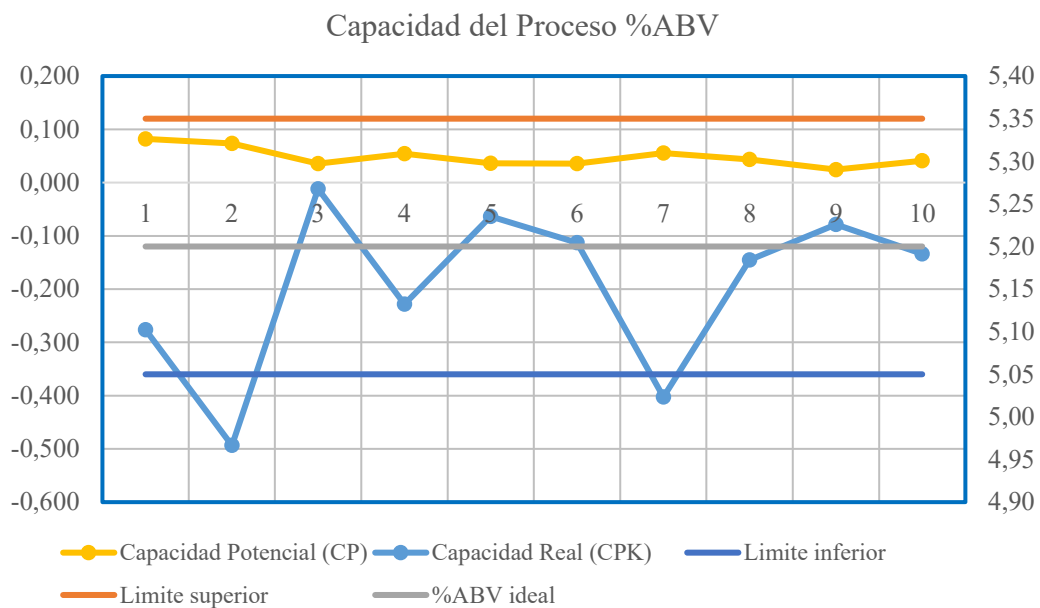


Gráfico 21 Capacidad de procesos % (ABV)

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Las alteraciones promedio de %ABV indican que, las muestras poseen un nivel de alcohol bastante próximo a la cifra óptima de 5.20%. Sin embargo, el promedio del proceso difiere entre las muestras, lo que sugiere algunas variaciones. Las muestras que se aproximan más a los valores deseados, como la muestra 3; que es de 5.40%, evidencian un control correcto durante la fermentación.

En contraste, la muestra 1, con una media de 4.54%, se aleja considerablemente del objetivo, lo que podría sugerir un proceso menos eficiente o problemas durante la fermentación.

Así también, el índice de capacidad potencial mide la habilidad del proceso para mantenerse dentro de los límites establecidos 5.05% a 5.35%, en donde dichos valores cercanos a cero o negativos en las muestras indican que el proceso no siempre cumple con las especificaciones ideales.

En otras palabras, la muestra 3 presenta una Capacidad Potencial de 0.035, lo cual indica que el proceso está muy próximo al rango óptimo. En contraste, la muestra 9, exhibe un valor considerablemente bajo de 0.024, lo que señala que el proceso es menos eficiente para mantener el contenido alcohólico en el nivel deseado.

La Capacidad Potencial del Proceso (CP) y el Índice de Capacidad Real del Proceso (CPK) muestran cómo los resultados obtenidos se comparan con los límites predefinidos. En este sentido, las muestras con valores negativos en el CPI, tal como la muestra 5, con un valor absoluto del (-0.063) o la muestra 9, con (-0.079), donde se indica que el proceso no está logrando alcanzar los valores ideales y podría estar generando una cerveza con un contenido alcohólico que excede los parámetros establecidos.

Así también, es relevante mencionar que las muestras 4, 6, 8, 9 y 10 revelan valores significativamente más elevados en cuanto a %ABV, llegando a 5.98%, 5.83%, 5.85%, 5.83% y 5.84%, respectivamente. En donde se sugiere que estas muestras están por encima del contenido alcohólico ideal, lo que podría ser consecuencia de un proceso de fermentación incontrolado o un exceso de producción de alcohol.

Por consiguiente, dichos resultados se presentan junto a desviaciones estándar más elevadas, como se observa en la muestra 9 con 2.049, lo que refuerza la idea de que la variabilidad en el proceso ha sido mayor en estas muestras.

Resumen de los parámetros de los procesos intervenidos

En la tabla 31, se analiza la intervención de los parámetros antes de la intervención de la optimización, mediante la Prueba Estadística, en la que se ofrece una visión cuantitativa del estado del proceso de producción antes de aplicar mejoras, destacando desviaciones relevantes respecto a los valores objetivo en cada etapa.

Tabla 31 Análisis de desviaciones en los parámetros del proceso de producción antes de las mejoras

Parámetros del Proceso	Antes	Ideal	%Fuera de Rango	Error antes	% Eficiencia
Maceración gr/cm ³	1.045	1.047	60%	0.002	99.81%
Cocción gr/cm ³	1.063	1.055	60%	0,008	99.24%
Enfriamiento °C	27.00	26.00	40%	1	96.15%
Fermentación gr/cm ³	1.013	1.016	70%	0,003	99.70%
% ABV (% alcohol)	5.76	5.20	100%	0,56	89.23%
Total, global Antes					96.83%

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En la maceración, donde se buscaba una densidad de 1.047 gr./cm³, se obtuvo un promedio de 1.045 gr./cm³, con un 60 % de las muestras fuera del rango de los datos

obtenidos de la Prueba Estadística, por ende, se encuentran ligera disminución sugiere una eficiencia reducida en la extracción de azúcares fermentables; pero su nivel de eficiencia del 99.81%.

En la cocción, el valor ideal era 1.055 gr./cm³, pero se registró un promedio de 1.063 gr./cm³. El 60 % de las muestras presentaron desviaciones, posiblemente debido a excesos en el tiempo de ebullición o variaciones en la concentración del mosto, con el nivel de eficiencia del 99.24%.

Durante el enfriamiento, se alcanzó una temperatura promedio de 27.00 °C, superando el valor óptimo de 26.00 °C. El 40 % de las muestras estuvieron fuera del rango, lo que pudo haber afectado la viabilidad de las levaduras y, por tanto, la eficiencia fermentativa, y obteniendo un nivel de eficiencia del 96.15%.

En la fermentación, se esperaba una densidad final de 1.016 gr./cm³, pero el promedio fue de 1.013 gr./cm³. El 70 % de las muestras mostraron desviaciones, lo que evidencia una actividad fermentativa irregular, posiblemente por condiciones térmicas o nutricionales no controladas, en donde se obtiene un nivel de eficiencia del 99.70%.

El contenido alcohólico (%ABV) presentó la mayor desviación: se obtuvo un promedio de 5.76 % frente al objetivo de 5.20 %, con el 100 % de las muestras fuera del límite. Esto indica una falta de control en la transformación de azúcares en etanol, comprometiendo la uniformidad del producto, en consideración se obtuvo un nivel de eficiencia del 89.23%. en donde el análisis revela una falta de estabilidad y control en todo el proceso, con desviaciones significativas en cada fase. La fermentación y el ABV son especialmente críticos, al mostrar las mayores inconsistencias.

Los resultados evidencian la necesidad de implementar mejoras que reduzcan las variabilidades detectadas, garanticen mayor consistencia operativa y aseguren que el producto final cumpla con los estándares definidos. La identificación de estas deficiencias constituye el punto de partida del presente estudio, enfocado en optimizar la línea de producción de cerveza artesanal mediante acciones correctivas dirigidas a estabilizar el proceso y mejorar la calidad del producto.

Área de estudio

El proyecto busca mejorar la línea de producción de cerveza artesanal, optimizando la eficiencia, reduciendo desperdicios y asegurando la calidad del producto final. Se enmarca en ingeniería y gestión industrial, aplicando principios técnicos y organizativos. La tabla 32, muestra el área de estudio correspondiente.

Tabla 32 Área de estudio

ÁREA DE ESTUDIO	DELIMITACIÓN DEL OBJETIVO DE ESTUDIO
Dominio	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación	Sistemas Industriales
Campo	Ingeniería
Área	Gestión de sistemas productivos
Aspecto	Optimización de la Línea de Producción de Cerveza Artesanal en la Empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. ubicada en la ciudad de Machachi.
Objeto de estudio	Optimizar la línea de producción de cerveza artesanal, en la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. ubicada en la ciudad de Machachi, para el mejoramiento eficiente de las operaciones, potencializando la calidad artesanal del producto.
Análisis y/o implementación	Noviembre 2024 – Febrero 2025

Nota: Elaborado por el investigador a partir del Formato establecido por la Universidad Indoamérica.

Modelo operativo

A continuación, la Figura 6, muestra el esquema del modelo operativo que tiene como base los elementos de la mejora continua:

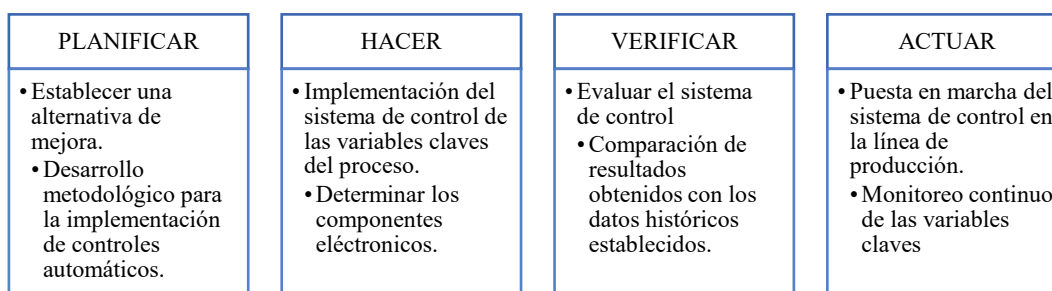


Figura 6 Diagrama del modelo operativo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

En el estudio metodológico basado en el ciclo PDCA permite implementar, verificar y ajustar un sistema de control automático en un proceso productivo de manera sistemática y eficiente.

El proceso comienza con una planificación adecuada, pasa por una implementación controlada, sigue con una verificación rigurosa del sistema y culmina con una implementación en producción que permita un monitoreo continuo y mejoras a largo plazo. Por ende, la metodología no solo asegura una mayor eficiencia en el proceso, sino también una mejora continua y una adaptación a cambios en las condiciones de producción.

Desarrollo del modelo operativo

El estudio para la optimización de la línea de producción en la empresa artesanal "BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.", se desarrollará en varias fases claramente delineadas, cada una con objetivos específicos y técnicas adecuadas para asegurar la consecución de los resultados esperados como se puede observar en la siguiente tabla 33, de las fases del modelo operativo del estudio.

Tabla 33. Modelo operativo del estudio

Fase	Modelo	Actividades	Estrategias
Fase 1: Establecer una alternativa de mejora	Planifica	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo metodológico para la implementación de controles automáticos: Peso de agua, sensores de temperatura en el enfriamiento del mosto. 	Diseño del circuito de automatización del proceso mediante el empleo de la tarjeta Arduino juntamente con sensores temperatura, nivel de líquido y electroválvulas. Elaboración del cronograma de actividades empleando el diagrama de Gantt. Análisis de costos curva S, se lo realiza con la metodología de la planificación.
Fase 2: Implementación del sistema de control de las variables claves del proceso	Hace	<ul style="list-style-type: none"> Automatización de los procesos de pesado y enfriamiento empleando componentes electrónicos y el IoT 	Especificaciones y requerimientos de los componentes electrónicos MDS Investigación y selección de proveedores en costos Cotos Evaluación de la tecnología compatible en este caso a la tarjeta de Arduino.
Fase 3: Evaluación del sistema de control	Verifica	<ul style="list-style-type: none"> Comparación de resultados obtenidos con los datos históricos establecidos 	Se debe realizar pruebas y validación de los componentes electrónicos Medición del proceso mediante cartas de control. Tabla de análisis comparativo de los procesos mediante el estadígrafo T de Welch
Fase 4: Puesta en marcha del sistema de	Actúa	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo continuo de las variables claves 	Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real Establecimiento de umbrales de alerta

Fase	Modelo	Actividades	Estrategias
control en la línea de producción.			Mantenimiento predictivo y preventivo

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

En la fase 1 del proceso de mejora de la línea de producción, el primer paso es establecer una alternativa de mejora que permita optimizar el proceso actual, enfocándose en el control y la automatización para aumentar la eficiencia operativa, una de las principales área clave a mejorar es la medición del peso del agua y la temperatura en el enfriamiento del mosto, conlleva a que cualquier variación en estos parámetros podría afectar la calidad y eficiencia del proceso.

Para ello, se implementarán sensores de temperatura en puntos estratégicos del sistema de enfriamiento y sensores de peso para monitorear la cantidad de agua utilizada en cada ciclo, en donde se conllevara a tener un control automático de los procesos críticos con el fin de gestionar los datos en tiempo real a través de un microcontrolador, permitiendo realizar ajustes automáticos y mantener las variables dentro de los rangos ideales, reduciendo la intervención manual y asegurando la estabilidad del proceso.

En la fase 2, la atención se centra en la ejecución del sistema de control de las variables esenciales del proceso. Esto implica una cuidada elección de los componentes electrónicos necesarios para asegurar un rendimiento óptimo. Este procedimiento comienza con la identificación de las especificaciones y requisitos para los componentes electrónicos, que incluyen sensores de temperatura, sensores de nivel de líquidos y electroválvulas.

Se procede a seleccionar los proveedores adecuados, tomando en consideración los costos de los componentes y evaluando la compatibilidad tecnológica, prestando especial atención a la tarjeta de Arduino, la cual debe ser compatible con los sensores y el sistema de control. Este análisis garantiza que los componentes seleccionados sean los más apropiados en términos de calidad, costo y rendimiento para satisfacer las necesidades del proceso de automatización, asegurando así la eficiencia y confiabilidad del sistema de control.

En la fase 3, se realiza una evaluación del sistema de control, enfocándose en la comparación de los resultados obtenidos con los datos históricos previamente establecidos para determinar si el sistema automatizado está funcionando de manera eficiente y dentro de los parámetros deseados.

La fase requiere llevar a cabo pruebas y validaciones de los componentes electrónicos, asegurando que cada sensor y dispositivo cumpla con las especificaciones y opere correctamente en condiciones reales. Además, se implementa la medición del proceso a través de gráficos de control, lo que permite monitorear la variabilidad del proceso y detectar cualquier desviación significativa en tiempo real.

El fin de realizar un análisis más exhaustivo, se utiliza una tabla de comparación, aplicando el estadístico T de Welch para contrastar los resultados del proceso automatizado con los históricos, evaluando la significancia estadística de cualquier diferencia detectada y validando la efectividad del nuevo sistema de control en comparación con el proceso anterior.

En la fase 4, se pone énfasis en la implementación del sistema de control en la línea de producción, asegurando que el sistema automatizado esté totalmente integrado y funcionando de manera eficiente.

Para asegurar su rendimiento óptimo, se establece un monitoreo continuo en tiempo real, lo cual permite la supervisión constante de las variables críticas del proceso y la detección inmediata de cualquier anomalía.

Como parte de esta estrategia, se establecen umbrales de alerta para cada variable clave, lo que permite generar notificaciones automáticas cuando los parámetros se acercan a niveles fuera de los rangos predefinidos, facilitando una intervención rápida.

Además, se incorpora un sistema de mantenimiento predictivo y preventivo, que, mediante el análisis de datos recolectados, permite anticipar fallos en los equipos antes de que ocurran, programando acciones preventivas y evitando paradas no planificadas en la producción.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta

La activación del sistema de control en la cadena de producción representa un paso significativo en la adopción de un método más eficaz y automatizado. En la investigación, se pasa a la operación del sistema automático, lo que conlleva la incorporación y el funcionamiento de los elementos previamente elegidos, como son los sensores de temperatura, el sensor de nivel de líquido y las electroválvulas, junto a la placa Arduino, para asegurar que la supervisión de las variables clave del proceso se realice de forma constante y exacta.

La presente propuesta se basa en gestionar las variables del proceso mediante el control automático, lo que facilita la evaluación y ajuste de aspectos como la temperatura en el enfriamiento del mosto y el control del nivel del agua, todo manejado en tiempo real, con el objetivo de que el sistema de automatización elimine la necesidad de intervención manual, mejorando la exactitud y disminuyendo los márgenes de error.

Así mismo, se implemente el monitoreo continuo, que no solo permite observar en tiempo real las variables críticas, sino que también establece límites de alerta para detectar de manera rápida cualquier desviación y tomar acciones correctivas en el momento adecuado.

La optimización en los tiempos de respuesta, se asegura la estabilidad del proceso y se mejora la calidad del producto, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa esto con la finalidad de que se integren un mantenimiento predictivo y preventivo, basado en los datos recolectados por los sensores, lo que anticipa posibles fallos y facilita el mantenimiento programado, evitando paradas no planificadas y prolongando la vida útil de los equipos.

El sistema automatizado no solo mejora el control de las variables en la producción, sino que también optimiza el rendimiento global del proceso, reduciendo costos y asegurando una mayor calidad en el producto final, en la siguiente tabla 34, se establece los criterios propuestos para la optimización de la línea de producción.

Tabla 34 Criterios propuestos para la optimización de la línea de producción

Proceso	Acción de Optimización	Objetivo de Optimización	Impacto Esperado
Pesado de Agua	Automatización Implementar el control automático que ajusten las cantidades de agua de acuerdo con la receta.	Mejorar la precisión y en el control del nivel del agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de errores humanos. • Aumento en la precisión del nivel del agua
	Capacitación continua del personal: Entrenar al equipo en el uso adecuado de los equipos y protocolos de pesaje.	Asegurar que todos los operadores sigan procedimientos estándar y minimicen errores.	<ul style="list-style-type: none"> • Consistencia en el proceso de pesaje. • Reducción de errores por falta de conocimiento.
Enfriamiento del Mosto	Optimización del sistema de enfriamiento: Control de la temperatura y tiempo de enfriamiento.	Se debe garantizar que el mosto alcance la temperatura ideal para la fermentación	<ul style="list-style-type: none"> • Control de temperatura entre 10 °C y 30 °C según el tipo de levadura utilizada
	Monitoreo de temperatura en tiempo real: Instalar sensores de temperatura conectados a un sistema de control que regule automáticamente el proceso.	Mejorar la precisión en el control de temperatura para evitar fluctuaciones y asegurar una mejor fermentación.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura controlada con mayor precisión. • Mejora en la calidad del mosto.
	Mantenimiento preventivo regular Establecer un plan de mantenimiento preventivo para los sistemas automáticos.	Asegurar que todos los equipos funcionen correctamente para evitar fallos que afecten la calidad del producto.	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la vida útil de los equipos. • Minimización de paradas no programadas.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la empresa.

Resultados esperados

La propuesta conlleva a la implementación de un control automático en los procesos críticos de la producción de cerveza artesanal en donde el objetivo principal es optimizar y estandarizar las mediciones, asegurando que las variables se mantengan dentro de los rangos esperados, en donde la implementación de los equipos reducirá las variaciones y el tiempo invertido en el proceso, contribuyendo significativamente a la eficiencia productiva

La implementación del sistema automatizado, se eliminarán los errores humanos y las fluctuaciones propias de los métodos manuales, lo que permitirá que la cantidad de agua medida sea constante y ajustada a las necesidades específicas de cada receta específica a incorporarse al proceso, con el fin de evitar la sobreutilización o la subutilización de agua, optimizando los recursos.

Así también, la automatización contribuirá a la reducción del tiempo necesario para completar el proceso de pesaje, considerando que se debe eliminar la intervención manual y mejorar la coordinación de los distintos componentes del sistema, se optimiza cada paso, lo que permite realizar las tareas de forma más rápida y eficiente, con el fin de incrementar la productividad para mejorar los tiempos de producción y facilitar una operación continua sin interrupciones innecesarias.

Adicionalmente, para asegurar el adecuado el mecanismo del sistema, se desarrollará un programa de formación exhaustivo dirigido a los operadores. Según lo indicado en los parámetros de la tabla 34, se planea que todos los operadores reciban capacitación, garantizando su habilidad para manejar el sistema automatizado de manera efectiva.

La capacitación abarcará no solo la utilización de los dispositivos y sus componentes, sino también la comprensión de los datos generados por el sistema, lo cual será fundamental para mantener un control apropiado y resolver cualquier problema que pueda aparecer durante su uso.

El sistema automatizado incluirá varios elementos esenciales para asegurar su funcionamiento correcto; entre ellos se encuentra el Arduino 1, que funcionará como el controlador principal encargado de procesar las señales y realizar las

órdenes correspondientes. Los componentes electrónicos estarán resguardados por materiales de baquelita y baquelita no perforada, garantizando su aislamiento y protección.

La regulación del flujo de agua se efectuará mediante módulos de relés y electroválvulas, permitiendo manejar el flujo de agua en función de las mediciones en tiempo real. Para monitorear el nivel y el caudal del agua, se utilizarán un sensor de nivel y un sensor de caudal, los cuales proporcionarán datos precisos sobre el estado del sistema.

Además, se incluirán resistencias de 10 K para regular la temperatura del sistema, y el termopar Pt 100 se empleará para medir la temperatura del agua, asegurando que se mantenga dentro de los rangos adecuados para obtener mediciones precisas.

El ESP32, un microcontrolador con capacidad de comunicación permitirá la integración del sistema con otros dispositivos y partes de la red de control, lo que facilitará la supervisión remota y la recopilación de datos, de igual manera los elementos deben estar integrados para aquello se utiliza la caja de impresora 3D, brindando flexibilidad en el diseño y aumentando la durabilidad de la estructura.

Y por último la fuente de alimentación de 12V DC y 5A, es el dispositivo encargado de proporcionar la energía necesaria para que todos los componentes funcionen correctamente, mientras que las borneras facilitarán las conexiones eléctricas seguras.

Los leds de alta potencia servirán como indicadores visuales para mostrar el estado del proceso y activar posibles alarmas, mientras que el display LCD 16x2 proporcionará datos en tiempo real sobre el proceso de la fabricación de cerveza artesanal.

La obtención de los componentes facilita no solo la creación de un sistema con gran automatización, sino también un procedimiento más exacto y regulado, maximizando la utilización de recursos y elevando la calidad del producto terminado.

Cada uno de estos elementos se ensamblará de forma armoniosa, garantizando que el sistema de control automático opere de manera continua y eficaz, siempre preservando los criterios de calidad y exactitud exigidos.

En la siguiente tabla 35, se presenta un desglose detallado de los elementos adquiridos para llevar a cabo el proceso de control automático.

Tabla 35 Elementos adquiridos para el proceso de control automático

Elementos	Función	Característica
Arduino 1	Microcontrolador utilizado como cerebro del sistema, permitiendo la automatización y control de las operaciones a través de programación.	Placa base con microprocesador, pines de entrada/salida para sensores y actuadores.
Baquelita	Material aislante utilizado para la fabricación de circuitos y componentes electrónicos.	Alta resistencia eléctrica, térmica y mecánica.
Módulos de relés	Actuadores electromecánicos que permiten controlar dispositivos de alta potencia a través de señales de bajo voltaje.	Contiene una bobina electromagnética que, al energizarse, activa o desactiva los contactos del relé.
Sensor de nivel	Detecta el nivel de un líquido en un recipiente o tanque.	Puede ser ultrasónico, capacitivo, de flotador, etc.
Electroválvula	Válvula controlada electrónicamente que regula el flujo de líquidos o gases.	Dispositivos que abren o cierran el paso de fluido mediante un actuador eléctrico.
Sensor de caudal	Mide la cantidad de fluido que pasa por una tubería en un periodo de tiempo.	Sensores basados en principio de turbina o ultrasónicos.
Resistencias de 10 K	Componente pasivo utilizado para limitar el flujo de corriente en el circuito.	Resistencia de 10 kilohmios, adecuada para controlar la corriente en algunos sensores o circuitos.
Las Fuentes de Alimentación de 5 A -12V DC	Proporcionan de una energía eléctrica adecuada que involucra los componentes del sistema en su totalidad	Según los elementos, la fuente de energía necesita proporcionar el voltaje y la corriente correctos
Las Borneras	Los conectores de los terminales para realizar uniones entre cables o conductores de manera segura.	Usualmente de metal y plástico, permiten conexiones fáciles y seguras
ESP = 32	Los Microcontroladores con Wi-Fi y Bluetooth integrados, son utilizados para controlar sistemas que permiten la comunicación remota.	Soportan programaciones múltiples en las plataformas (Arduino IDE, Espressif)
Display LCD 16x2	Pantalla que muestra información visualmente al usuario en formato texto.	Pantalla de 16 columnas por 2 filas de texto, típicamente usada en proyectos de visualización simple
Termopar Pt 100	Sensor de temperatura basado en la variación de resistencia de un material	Alta precisión y rango amplio de medición de temperatura.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

- **Control programable**

Un controlador programable es un dispositivo utilizado para el control automático en sistemas electrónicos. Este instrumento cuenta con una memoria interna que permite almacenar los procesos necesarios para generar órdenes con secuencias variables en el manejo de las entradas y salidas.

Arduino

Arduino se considera como una placa electrónica de acceso libre para la programación, diseñada con una estructura orientada a la educación, y con un software de fácil uso tal como se puede evidenciar en el pictograma de la figura 7.

Esta placa permite conectar entradas como sensores de luz, relés, botones o teclados electrónicos, y activar salidas como motores o indicadores LED. Para ejecutar diversas instrucciones, se utiliza el software Arduino IDE (Arduino, 2024).

Hay una amplia variedad de placas disponibles, entre las cuales se incluyen Arduino UNO, Arduino MEGA, Arduino DUE, Arduino COOKBOOK, Arduino DUEMILANOVE, Arduino ETHERNET, Arduino FIO, entre otras.



Figura 7 Arduino UNO

Nota: Extraída la información de la fuente Arduino (Arduino, 2024).

Conexión con Arduino

Se utiliza la librería específica para el lector RFID en Arduino, que debe ser instalada correctamente; en este caso, la librería llamada RC522. Sin ella, no será posible cargar el programa al dispositivo. Cada tarjeta RFID tendrá un código único

que se leerá o se comunicará con los dispositivos RFID de Arduino, lo cual es un requisito fundamental de esta librería para establecer la conexión que permita registrar varios tags para su identificación.

Almacenamiento de tags para su registro

Para leer los tags de 13.56 MHz con el Arduino UNO, se obtiene el código en hexadecimal de los 15 tags que se registran en la programación de la tarjeta, asociando a cada cliente con su producto. Estos datos se vinculan con las 4 entradas digitales del PLC, las cuales se configuran mediante el software del autómata.

Conexión de los pines RC522 al Arduino

En un protoboard, se realizan las conexiones de los pines del dispositivo RC522, el cual no estará energizado inicialmente. Sin la estantería del Arduino, no será posible cargar el archivo al dispositivo. Una vez conectados los pines de la antena, se puede cargar la programación al dispositivo en el pictograma de la figura 8, se evidencia la conexión eléctrica.

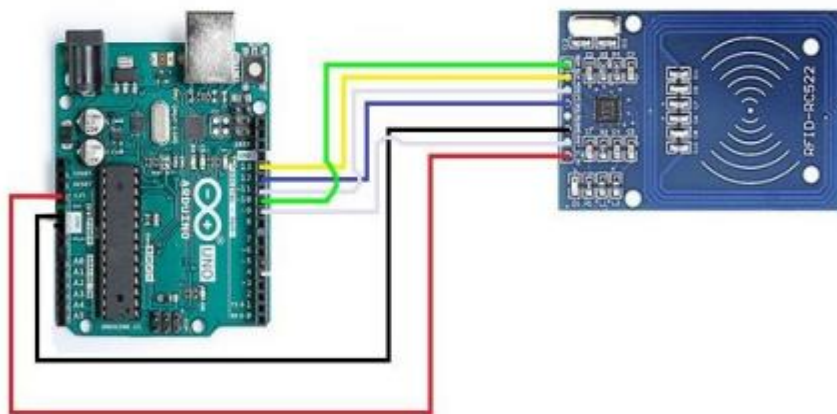


Figura 8 Conectividad eléctrica

Nota: Extraída la información de la fuente Valle (Valle, 2023).

- **Conexión de RC522 Arduino**

En la figura 9, se evidencia la conexión del RC32, en la que se utiliza el armario correspondiente para el lector RFID en Arduino, es necesario soldar adecuadamente los pines de la antena, siguiendo las indicaciones. Sin esta librería, el código del dispositivo RC522 no podrá ejecutarse.



Figura 9 RFID RC522

Nota: Extraída la información de la fuente Valle (2023).

La implementar un sistema de monitoreo para supervisar el pesaje de agua durante la producción, permitirá detectar cualquier problema en tiempo real, como desviaciones en el proceso y mejorando la optimización de los mismos como se detalla a continuación.

Modulo SP 32

El ESP32-WROOM-32 en donde el enfoque del módulo de alto rendimiento que combina Wi-Fi, Bluetooth y BLE (Bluetooth Low Energy), diseñado para una amplia gama de aplicaciones, desde redes de sensores de bajo consumo hasta tareas de mayor demanda, como la codificación de voz, decodificación de archivos MP3 entre otros.

El corazón de este módulo es el chip ESP32-D0WDQ6, el cual está diseñado para ser escalable y flexible. Este chip cuenta con dos núcleos de CPU, que pueden ser gestionados de manera independiente, y la frecuencia de reloj de la CPU puede ajustarse entre 80 MHz y 240 MHz.

Además, incorpora un coprocesador de bajo consumo, que puede usarse en lugar de la CPU para realizar tareas de bajo requerimiento energético, como la supervisión de periféricos. En la figura 10, se evidencia el ESP32 también ofrece una amplia

variedad de periféricos, que incluyen sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, interfaz para tarjetas SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I²S e I²C.



Figura 10 Modulo SP 32

Nota: Extraída la información de la fuente Rivera, (2022)

El ESP32-WROOM-32, es un procesamiento avanzado, conectividad inalámbrica y eficiencia energética. En las Tareas de alto rendimiento como codificación y decodificación de audio lo distingue de otro.

Sensores

Los sensores son dispositivos diseñados para detectar magnitudes químicas o físicas, conocidas como variables de instrumentación, y convertirlas en señales eléctricas. Estas variables pueden incluir presión, temperatura, intensidad de luz, distancia, inclinación, aceleración, fuerza, movimiento, humedad, pH, entre otras.

Siempre que los sensores estén energizados o activados, recopilarán de manera continua información sobre el entorno en el que se encuentran. Posteriormente, la placa Arduino o un servidor será el encargado de leer estos datos, tomar decisiones sobre cómo actuar, y las señales obtenidas pueden ser tanto analógicas como digitales (García, 2024).

- **Sensor de temperatura**

En la selección del sensor de temperatura se realiza un proceso comparativo, tomando en cuenta la accesibilidad, parámetros técnicos que mejor se acopló al proyecto, como se evidencia en la tabla 36.

Tabla 36 Sensor de temperatura

Modelos	Termocupla	Termopar	LM35
Tipo	K	Pt100	
Rango de temperatura	0 ~ 400	-50 ~ 400	-55~ 400
Tamaño de sonda	5	0.5 x 10 cm	
Material externo	Plástico, metal, goma	Plástico, metal, goma	Plástico, metal

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

El sensor considerado para la aplicación en el proyecto es el termopar PT 100 de la marca Ootdty, que es un detector de temperatura RTD (Detector de Temperatura por Resistencia) cuya fabricación es alambre de platino, y dichos sensores a los 0°C tienen 100 ohms, y al aumentar la temperatura incrementa su resistencia eléctrica, además las características se pueden observar en la siguiente tabla 37.

Tabla 37 Datos técnicos del sensor Pt100.

Datos Técnicos	
Marca	Ootdty
Nombre	Termopar
Tipo	PT100
Tamaño de sonda	0.5x
Diámetro de la rosca	8 mm
Material externo	Plástico
Longitud total	1 metro
Espacio de terminal de horquilla	5




Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

- **Sensores de niveles de líquido**

El dispositivo de medición de líquidos es un flotador que sirve para identificar la altura del líquido dentro de la olla. En donde dichos dispositivos están situados en las partes superior e inferior de la olla y son responsables de activar y desactivar las válvulas eléctricas y la bomba. Es fundamental conocer el nivel mínimo de líquido para iniciar el proceso de mantenimiento de la temperatura, así como confirmar que la olla esté completamente vacía al concluir la fase de maceración, lo que asegura que la bomba se detenga completamente.

De igual manera se instala otro sensor que establece el nivel máximo de llenado en la olla, previniendo así posibles derrames de líquido. En la tabla 38 se evidencia los varios modelos y marcas de este tipo de sensores, y se realizó una comparación entre algunos de ellos.

Tabla 38 Comparación de sensores de nivel de liquido

Marcas Modelos	Eicos La32n-40	Salida Zp5210-P	Keenso KeensoTbq
			
Peso	30	16 gramos	50 gramos
Voltaje de alimentación	0 ~ 110 V	0 ~ 100 V	0
Material	Polifital	Por favor	C.A
Conexión	2	2 millas	2 hilos
Temperatura de trabajo	-10 ~ 125	-	0~
Presión de trabajo	2 baños	1 Mpa	1 megapíxel
Corriente de trabajo	0,5 ~ 1	0,5 ~ 1	0,5 ~ 1 A

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

El sensor seleccionado para este proyecto es el modelo KeensoTbq, fabricado en acero inoxidable, lo que lo hace ideal para su uso en la industria alimentaria, ya que garantiza que el producto no se contaminará. Este sensor es liviano, fácil de instalar y su funcionamiento es sencillo. Las características detalladas de este sensor se encuentran en la tabla 39.

Tabla 39 Características del censored KeensoTbq

Datos Técnicos	
Marca	Keenso
Número de pieza	Mantener
Peso	50 gramos
Material	Acero
Conexión	2 hilos
Corriente de trabajo	0.5 ~ 1 A
Presión de trabajo	1 Mpa
Presión máxima de resistencia	5
Potencia	10 ~ 50 W

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

- **Pulsador**

Los pulsadores, se emplean para iniciar o detener el proceso donde el pulsador verde se utiliza para arrancar, mientras que el rojo sirve para detener el funcionamiento de la aplicabilidad ambos presentan las mismas características donde el voltaje soportado es de 380V y el corriente soportado 6A, esto se puede observar en el pictograma de la figura 11.






Figura 11 Pulsadores

Nota: Extraída la información de la fuente Valle (2023).

- **Electroválvulas solenoides**

En la tabla 40, se evidencia los diversos modelos y marcas de electroválvulas, se lleva a cabo un análisis comparativo para seleccionar la que mejor se ajuste a las especificaciones del proyecto.

Tabla 40 Comparación de la electroválvula

Especificación	Electroválvulas		
	U.S. Solid	MM	Bacoeng
Modelo	USS2	D232	2W-20
			
Peso	762 g	900 g	599 g
Presión	0~7 bar	0~50 bar	0~10 bar
Voltaje	220V	110V	110V
Temperatura	-10~120 °C	-10~130 °C	-5~80 °C
Precio	\$60	\$80	\$50

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

Teniendo en cuenta las características de cada modelo, se eligió la electroválvula solenoide Bacoeng 2W-20, por su buen precio y por cumplir con los requisitos necesarios para el proyecto.

Se utilizarán dos de estas electroválvulas, la primera controla el paso del fluido de agua caliente proveniente del proceso de filtración y preparación, dirigiéndolo hacia la olla de maceración.

La electroválvula tiene dos estados: uno abierto para permitir el paso del líquido y otro cerrado para retenerlo, además la segunda electroválvula regula el paso del agua para la recirculación del mosto, también con dos estados: uno abierto para permitir la recirculación y otro cerrado para mantener el mosto en la olla de maceración. Las características detalladas de esta electroválvula se muestran en la siguiente tabla 41.

Tabla 41 Características de la electroválvula solenoide Bacoeng 2W-20

Especificación	Detalle
Marca	Bacoeng
Modelo	2W-20
Peso	599 g
Presión	0~10 bar
Voltaje	110 V-AC
Temperatura	-5 ~ 80 °C
Medida	3/4 pulgada

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

- **Interfaz de usuario Arduino**

La interfaz de usuario con Arduino conlleva a un sistema que permite a los usuarios interactuar con un proyecto basado en Arduino de forma sencilla y eficaz. En la tabla 42, se evidencia la existen diferentes formas de crear interfaces de usuario dependiendo de los dispositivos que se utilicen, como pantallas LCD, pantallas táctiles, aplicaciones móviles o programas de escritorio.

Tabla 42 Comparación de las diferentes interfaces de usuario con Arduino

Criterio	Pantalla LCD	Pantalla Táctil	Interfaz PC (Conexión Serial)	Aplicación Móvil (Blynk)
Componentes necesarios	Arduino, pantalla LCD 16x2, cables	Arduino, pantalla TFT táctil, cables	Arduino, cable USB, PC, Software (Processing, Python)	Arduino con módulo Wi-Fi, app móvil (Blynk, etc.)
Conexión	Pines de comunicación (SDA, SCL, o pines digitales)	SPI o pines de comunicación de la pantalla TFT	Puerto Serial (COM) entre Arduino y PC	Conexión Wi-Fi entre Arduino y el móvil
Interactividad	Básica, solo muestra información estática	Alta, permite interacción táctil con botones y menús	Depende del software, interacción con PC	Alta, permite control remoto a través de móvil
Facilidad de implementación	Alta, fácil de conectar y programar	Media, requiere bibliotecas y configuración avanzada	Media, requiere programación y configuración en PC	Alta, plataformas como Blynk simplifican el proceso
Costo	Bajo	Medio (pantallas táctiles suelen ser más caras)	Bajo (solo necesitas un cable y PC)	Bajo a medio (dependiendo del módulo Wi-Fi y app)
Tipo de información mostrada	Textos, valores numéricos simples	Gráficos, botones, texto, controles avanzados	Gráficos complejos, interacción con sensores o controles	Gráficos, botones, control remoto de dispositivos
Ventajas	Simplicidad, bajo costo	Alta interactividad, permite menús y botones gráficos	Flexibilidad, permite control y visualización más compleja	Control remoto, accesibilidad desde cualquier lugar
Desventajas	Interactividad limitada, solo texto o números	Requiere más recursos, más compleja de implementar	Requiere software adicional, depende de la PC	Depende de la conexión a Internet, requiere módulos adicionales

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

Para el presente proyecto se aplicará un interfaz de usuario con Arduino en la opción 2 es decir con pantalla táctil, ideal para proyectos que requieren una gestión más avanzada e interactiva.

Puedes monitorear todos los parámetros temperatura, nivel de líquido, control de electroválvulas y ajustar los valores directamente desde la pantalla, lo que la convierte en una excelente opción para un proceso de fabricación de cerveza artesanal.

Si el caso lo amerita, también se puede realizar un interfaz PC, ya que es excelente si buscas control total y detallado del proceso de fabricación de cerveza, la dependencia de este se hace más práctico para las operaciones en entornos cerrados.

- **Componentes o elementos en interfaz con Arduino**

Los elementos mencionados Sensor PT 100, Controlador de temperatura, Válvula de control de flujo y Válvula solenoide son aplicables para usar con una placa electrónica Arduino.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada uno de estos componentes puede requerir ciertos accesorios adicionales para funcionar correctamente con Arduino, debido a sus características técnicas.

La tabla 43, hace énfasis a la interfaz de aplicabilidad usando Arduino describe componentes que, al ser integrados, permiten la creación de sistemas automatizados para controlar y monitorear diversas variables en aplicaciones industriales.

Los componentes, como sensores de temperatura en donde los niveles, válvulas de control de flujo y solenoides, además de las pantallas táctiles, trabajan en conjunto para mejorar la eficiencia y precisión en sistemas de control.

Tabla 43 Componentes en interfaz con Arduino

Componente	Compatibilidad con Arduino	Cómo Usarlo	Aplicación
Sensor PT 100 (Modelo Oodty)	Requiere un convertidor de señal, como un amplificador de puente de Wheatstone o un termómetro digital como el MAX31865, para convertir la señal en una forma legible para Arduino.	Se debe realizar una conexión el sensor PT 100 al módulo MAX31865 y usando la comunicación SPI entre el Arduino y el módulo para tomar la lectura de la temperatura.	Monitorear y controlar la temperatura en el sistema de refrigeración, y en la aplicación de la industria.
El Sensor de nivel magnético (Modelo Keenso TBQ)	Identifica el nivel de líquidos usando un flotador magnético que ofrece salida digital o analógica.	Conecta el sensor de nivel magnético a un pin digital o analógico de Arduino, según su tipo de salida, para encender o apagar actuadores de acuerdo al nivel del líquido.	Supervisión del nivel de líquidos en contenedores, reservorios de agua o sistemas de almacenamiento de líquidos, perfecto para la industria de alimentos.

Componente	Compatibilidad con Arduino	Cómo Usarlo	Aplicación
Los controladores de temperatura	En el Arduino debe operar como un controlador de temperatura, ajustando los dispositivos como válvulas para mantener una temperatura constante.	Usar Arduino para leer la temperatura de sensores (PT 100, DHT11, DS18B20), y activar o desactivar dispositivos como válvulas solenoide o relés para mantener la temperatura deseada.	Automatización de sistemas de control de temperatura.
Las válvulas de control de flujo	Requiere una señal de control (PWM o voltaje variable) para regular el flujo de líquidos. Existen versiones electrónicas controlables por Arduino.	Usar un módulo de válvula con actuadores eléctricos que respondan a señales PWM de Arduino para controlar la apertura o cierre de la válvula.	Regulación automatizada de flujo de líquidos o gases en sistemas.
La válvula solenoide (Modelo Bacoeng 2W-20)	Su funcionamiento es con corriente continua (DC) y alcanza a ser controlada mediante señales digitales de Arduino, si bien necesita de un transistor o relé para manejar la corriente/voltaje más alto.	Unir la válvula solenoide Bacoeng a un relé o a un transistor que se gestione a través de un pin digital de Arduino, lo que permite encenderla o apagarla utilizando señales de nivel alto o bajo.	Se emplea en sistemas de automatización para controlar la apertura o el cierre del flujo de líquidos.
Interfaz con pantalla táctil o PC	Compatible con Arduino mediante interfaces como I2C o SPI.	Conectar una pantalla táctil o una PC a Arduino mediante las interfaces adecuadas para mostrar datos de sensores y controlar el sistema.	Visualización y control interactivo del sistema de monitoreo y control, ideal para aplicaciones industriales.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto tomado *del DataSheet*.

La facilidad de integración de estos dispositivos con Arduino otorga flexibilidad, escalabilidad y capacidad de personalización a los sistemas automatizados, permitiendo que se adapten a las necesidades específicas de diferentes sectores industriales.

- **ThingSpeak**

ThingSpeak se le define una plataforma en la nube de código abierto diseñada para vincularse y relacionarse con los individuos y el dispositivo, permitiendo el almacenamiento y recuperación de datos a través del protocolo HTTP o mediante una conexión LAN con análisis de MATLAB.

En su versión gratuita, los datos se transmiten con una frecuencia de entre 1 y 15 segundos, con un límite de aproximadamente 8,200 mensajes diarios o 3 millones anuales. Además, las limitaciones que presente el dispositivo son que versión gratuita solo permite el uso de hasta cuatro canales y no admite la creación de canales de imágenes, restringiendo los formatos compatibles a JPEG/JPG con un tamaño máximo de 5 MB. Por otro lado, la versión de código abierto carece de aplicaciones integradas (Holbraad, 2019).

Además, se pueden enviar datos desde cualquier dispositivo conectado a Internet directamente a ThingSpeak utilizando una API Rest o MQTT. Además, las integraciones de nube a nube con The Things Network, Senet, la puerta de enlace Libelium Meshlium y Particle.io permiten que los datos de los sensores lleguen a ThingSpeak a través de conexiones LoRaWAN® y celulares 4G/3G (MathWorks , 2025).

El desempeño del sistema automático conlleva a tener datos en tiempo real detectados por los sensores, los cuales la información recolectada es enviada a la plataforma ThingSpeak, dicha información puede ser transmitidas a una aplicación desarrollada como MIT desde un teléfono móvil; computador portátil con sistema operativo Android, donde se pudieron observar la fluctuación de las variables de manera constante.

- **Código Arduino diagramados**

La diagramación del código Arduino conlleva a ser fundamental para planificar y comprender el flujo de un programa antes de su aplicación e implementación. Los diagramas de flujo permiten visualizar de manera secuencial las operaciones que realizará el código, facilitando la detección de posibles errores y el control automático de los procesos. Por ende, las herramientas de Arduino IDE 2.3.4, un software de código abierto, permiten diseñar circuitos electrónicos y documentar prototipos basados en Arduino, ayudando a los diseñadores a pasar de prototipos a productos finales tal como se puede evidenciar en la siguiente programación:

```

trnas.ino
1  #include "ThingSpeak.h"
2  #include <WiFi.h>
3  #include <WiFiMulti.h>
4  WiFiMulti wifiMulti;
5
6  #define RXD2 16 // GPIO6 (RX) del ESP32 conectado al TX del Arduino Uno
7  #define TXD2 17 // GPIO7 (TX) del ESP32 (no se usa en este caso)
8
9  // const char* ssid = "WIFI-SOCIOS"; // "CBVISION-Jorge Leon"; // Nombre de la red WiFi
10 // const char* pass = ""; // "1724936198"; // Contraseña de la red WiFi
11
12 WiFiClient client;
13 unsigned long Channel_ID = 2851489; // ID de canal en ThingSpeak
14 const char* WriteAPIKey = "1S2QECSW9WMVJHN8"; // API Key de escritura
15
16 float caudal, temperatura;
17 int SENSOR_30L, SENSOR_60L, Estado;
18
19 unsigned long previousMillis = 0; // Para controlar el tiempo de envío
20 const long interval = 500; // Enviar datos cada 15 segundos
21
22 const uint32_t TiempoEsperaWifi = 5000;
23
24 String datos;
25
26 void(* resetFunc) (void) = 0;
27
28 void setup() {
29     Serial.begin(9600);
30
trnas.ino
31 // Conectar a WiFi
32 Serial.println("\nIniciando multi Wifi");
33
34 wifiMulti.addAP("WIFI-SOCIOS", ""); // ("Claro_COLOMA0003414754", "3837342123268");
35 wifiMulti.addAP("CBVISION-Brangus_EXT", "1724936198"); // ("Germy S8", "universo1");
36 //wifiMulti.addAP("ssid_3", "contrasenna_3");
37
38 WiFi.mode(WIFI_STA);
39 Serial.print("Conectando a Wifi ..");
40 while (wifiMulti.run(TiempoEsperaWifi) != WL_CONNECTED) {
41     Serial.print(".");
42 }
43 Serial.println(".. Conectado");
44 Serial.print("SSID:");
45 Serial.print(WiFi.SSID());
46 Serial.print(" ID:");
47 Serial.println(WiFi.localIP());
48
49 // Iniciar comunicación con ThingSpeak
50 ThingSpeak.begin(client);
51 }
52
53 void loop() {
54     ActualizarWifi();
55
56     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
57         Serial.println("Codigo con Wifi");
58     } else {
59         resetFunc();
60

```

Figura 12 Lenguaje del código Arduino Diagramado

Nota: Elaborado por el investigador a partir de Arduino IDE 2.3.4.

- **El Diagrama del Circuito Electrónico**

Los diagramas constituyen una representación gráfica y esquemática de la disposición y conexión de los componentes electrónicos que integran un circuito, facilitando así su diseño, análisis y construcción. A través del uso de símbolos estandarizados, es posible interpretar la funcionalidad de cada elemento y comprender la interacción entre ellos, lo cual resulta esencial para la optimización y resolución de problemas en dispositivos electrónicos. De este modo, el estudio y la aplicación de los diagramas de circuitos se vuelven imprescindibles en el diseño y mantenimiento de tecnologías avanzadas, asegurando su eficiencia y funcionalidad, (Ver el anexo 2).

Reducción de tiempos de producción

La automatización de procesos clave en la optimización de los recursos que permitirán a BRANGUS CAVA COMPANY optimizar el tiempo de producción, lo que facilitará aumentar el volumen de cerveza sin comprometer la calidad, y mejorará los tiempos de entrega a los clientes.

La calidad del producto final y su consistencia

En la implementación de sistemas de monitoreo continuo del control automático en la producción de cerveza permite garantizar una mayor consistencia en cada lote, asegurando la supervisión constante de variables críticas como la temperatura, el flujo de ingredientes, los niveles de fermentación y la densidad de la mezcla.

El sistema es ajustado a tiempos reales en donde se obtiene parámetros que garanticen que cada lote cumpla con las especificaciones y condiciones óptimas para una producción estándar.

Además, faciliten la trazabilidad y el registro de datos de cada lote, lo que no solo permite identificar desviaciones en la calidad de forma rápida, sino también ajustarlas automáticamente para mantener la calidad deseada.

Con el control automático, se asegura una producción eficiente y alineada con los altos estándares, generando una ventaja competitiva que diferencia a la marca en el mercado.

La reducción de los desperdicios y costos operativos

Una gestión más eficaz de la mejora continua, junto con la integración de la eficiencia energética, conduce a disminuir los gastos en materias primas y energía. Al mismo tiempo, la automatización facilitará una producción más efectiva, previniendo el derroche de recursos, con el objetivo de optimizar la línea de producción.

La capacidad de producción sin comprometer la calidad

La optimización de los procedimientos y el incremento de la eficacia en las operaciones permitirá un crecimiento en la producción, preservando el carácter artesanal que caracteriza a la cerveza. De esta manera, BRANGUS CAVA COMPANY podrá satisfacer una demanda mayor sin sacrificar la calidad de sus productos.

El fortalecimiento de la competitividad en los mercados

Al optimizar su eficiencia, disminuir gastos y asegurar la calidad superior de sus productos, BRANGUS CAVA COMPANY estará en una mejor situación para rivalizar en el ámbito local e internacional. La firma tendrá la capacidad de brindar una mayor gama de productos y permanecer en la delantera dentro de un sector en continuo desarrollo.

Cronograma de actividades

A continuación, en la tabla 44, te presento un cronograma de actividades para la Optimización de la Línea de Producción de Cerveza Artesanal para BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., dicho cronograma está organizado por fases, con una duración estimada de cada actividad. Las fechas son orientativas y pueden ajustarse según las necesidades del proyecto.

Tabla 44 Cronograma Valorado para la optimización de la línea de producción

Componente	Actividad	Responsables	Indicador	Recursos Necesarios	Costos	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
						S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
1. Automatización	Propuesta de mejoras tecnológicas (sensores, automatización, etc.).	Ingeniero de automatización, Gerente de proyectos	Número de propuestas=Total de propuestas planificadas/Propuestas tecnológicas evaluadas ×100	Software de simulación, datos de producción, proveedores de tecnología	50	\$25	\$25														
	Selección de equipos y componentes (sensores, electroválvulas, etc.).	Ingeniero de compras, responsable de tecnología	Porcentaje de selección adecuada=Total de equipos seleccionados/Equipos seleccionados conforme a especificaciones×100	Catálogos de proveedores, presupuesto de compra	250	\$50	\$50	\$50	\$50	\$50											
	Elaboración del plan de instalación y distribución de equipos.	Ingeniero de proyectos, Técnico de mantenimiento	Tiempo de elaboración del plan=Fecha final del plan-Fecha de inicio del plan	Planos de instalación, lista de equipos necesarios, software de planificación	60						\$20	\$20	\$20								

Componente	Actividad	Responsables	Indicador	Recursos Necesarios	Costos	Noviembre				Diciembre				Enero			Febrero			
						S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
2. Implementación de la Optimización	Adquisición de equipos y materiales.	Responsable de compras, Gerente de producción	Porcentaje de adquisición a tiempo=Total de equipos y materiales planificados/Equipos adquiridos a tiempo×100	Proveedores de equipos, presupuesto de compra, equipo de almacén	50					25	25									
	Instalación de sensores, electroválvulas y otros equipos.	Ingeniero de instalación, Técnico de mantenimiento	Tiempo de instalación=Tiempo estimado de instalación/Tiempo de instalación real×100	Herramientas de instalación, equipos adquiridos	45					15	15	15								
	Integración con el sistema de control (Arduino o similar).	Ingeniero de automatización, Técnico de control	Porcentaje de integración=Total de equipos a integrar/Equipos integrados correctamente×100	Arduino, sensores, electroválvulas, software de control	20							20								
	Pruebas de funcionamiento de los nuevos equipos y sistemas.	Ingeniero de pruebas, Técnico de mantenimiento	Tasa de éxito de pruebas=Total de pruebas realizadas/Pruebas exitosas×100	Equipos instalados, herramientas de prueba	30							15	15							
3. Pruebas y Ajustes	Ajuste de configuraciones de los sensores y electroválvulas.	Ingeniero de automatización, Técnico de mantenimiento	Número de ajustes=Número de ajustes requeridos /total de equipos instalados	Configuración de sistemas, software de calibración	20							20								

Análisis de costos

- **Cronograma valorado de componentes y actividades**

Los costos de los componentes se basan en estimaciones comunes en la industria de producción de cerveza artesanal, además de los costos de las actividades de instalación, capacitación y pruebas se calculan en base a tarifas promedio de ingenieros, técnicos y personal de capacitación.

- **Curva “S”**

Al calcular la curva S, es necesario crear una tabla con los valores planificados de las actividades y los costos totales de cada fase considerando el Costo Acumulado Total Planificado en las semanas y las actividades desarrolladas de la tabla 45.

El Cronograma Valorado se puede evidencia en la tabla 45.

Tabla 45 Costos valorados para la curva S

Costos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Costos Total	75	75	50	50	70	60	60	50	115	65	35	45	25
Costo Acumulado Total Planificado	75	150	200	250	320	380	440	490	605	670	705	750	775
Coto real	100	90	80	80	90	110	90	60	150	90	50	60	50
Costo Real Acumulado	100	190	270	350	440	550	640	700	850	940	990	050	1100

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto

El análisis del Costo Acumulado Total Planificado el gráfico 22; se visualiza el diagrama S donde muestra un aumento progresivo de los costos a lo largo del tiempo, indicándose que en la semana 13 alcanza \$775, lo que refleja la planificación y el control de los costos del proyecto lo que es indicativo de un proyecto planificado en fases en las que se requieren inversiones y posteriormente se estabilizan.

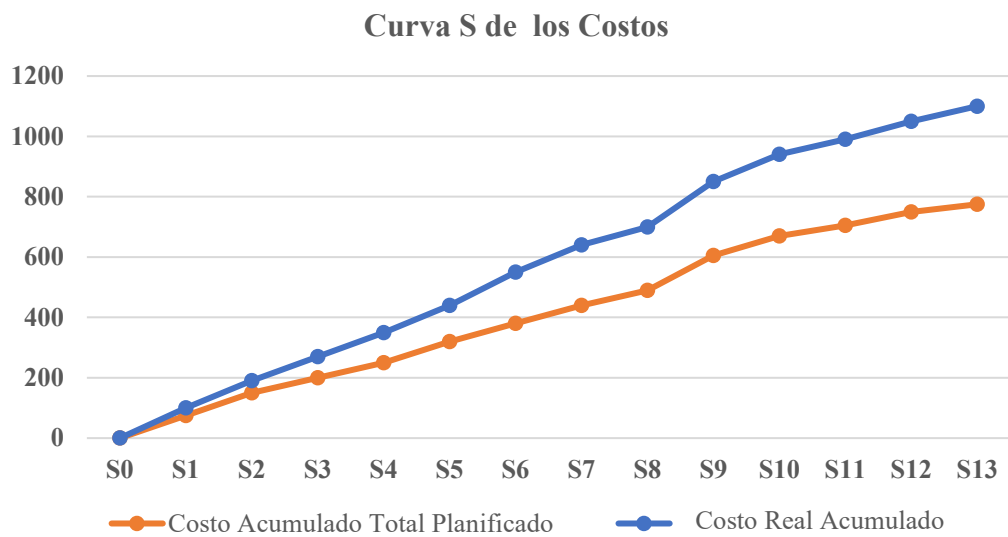


Gráfico 22 Curva de “S”

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

La planificación en las semanas propuesta permite una buena planificación financiera, que inicia desde la primera semana de noviembre 2024 hasta la primera semana de febrero del 2025, en la cual siempre es importante monitorear las desviaciones reales en comparación con los costos planificados para asegurar que el proyecto se mantenga dentro del presupuesto establecido.

El comportamiento de los costos indica que el proyecto está siendo ejecutado de manera estructurada, con aumentos controlados en las inversiones necesarias para la implementación exitosa del mismo.

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución

La continua búsqueda de la mejora en los procesos de producción es vital para preservar la competitividad y asegurar productos de alta calidad. En el ámbito de la producción de cerveza artesanal, la exactitud en el control de los parámetros críticos del proceso es esencial para lograr un producto final que sea consistente y de primera calidad.

Dentro de la empresa, la optimización de la línea de producción no solo tiene como objetivo mejorar la calidad del mosto, sino también garantizar una mayor eficiencia en la utilización de recursos y disminuir los tiempos de producción. La adopción de un sistema automático de control de calidad, que se basa en tecnologías avanzadas como la medición precisa de la temperatura, sensores de nivel de líquido y electroválvulas, representa una iniciativa fundamental.

Los parámetros de temperatura y los niveles de agua en las diversas ollas son cruciales en las fases del proceso de enfriamiento y mezcla, afectando de manera directa la fermentación y el sabor final de la cerveza. La automatización de estos controles facilitará una mayor precisión y consistencia, reduciendo los errores humanos y asegurando que las condiciones del proceso se mantengan dentro de los rangos óptimos establecidos para cada lote.

El sistema que se sugiere unirá dispositivos para medir la temperatura, un sensor para el nivel de líquidos y válvulas eléctricas, todo ello con un control automático que responda en tiempo real a los cambios que ocurran en el proceso. Esta tecnología se implementará no solo para mejorar la calidad del producto terminado, sino también para hacer un uso más eficiente de los recursos, recortar los gastos operativos y garantizar un progreso constante en la producción.

Justificación de la ejecución

La elaboración de cerveza artesanal se distingue por su atención cuidadosa en cada fase del proceso, donde la exactitud en los parámetros de producción es fundamental para asegurar un producto de calidad superior. No obstante, la posibilidad de mantener una uniformidad en esos parámetros puede ser complicado debido a elementos como cambios en las condiciones del entorno, la intervención humana y la naturaleza variable del proceso de fermentación.

La adopción de un sistema de control automatizado, que incorpore herramientas tecnológicas modernas para el monitoreo exacto de la temperatura y el peso del agua, se vuelve una necesidad estratégica para la empresa que busca mejorar su línea de producción, elevar la calidad de su cerveza y disminuir los costos operativos.

Desde un enfoque técnico, los parámetros de temperatura y los niveles de agua en función de su peso son esenciales en el proceso de fabricación de cerveza, particularmente en la etapa de enfriamiento del mosto y en la incorporación de agua para diluir los ingredientes.

Las variaciones en la temperatura pueden influir directamente en la velocidad de fermentación y, por ende, en el sabor final del producto. Por otro lado, un control exacto del peso del agua garantiza que la proporción de los ingredientes esté adecuadamente equilibrada, evitando desviaciones que podrían afectar la uniformidad del producto.

En un entorno artesanal, donde cada lote debe adherirse a los estándares de calidad, la automatización de estos controles se vuelve indispensable para lograr resultados coherentes.

Por ende, la importancia de la implementación de un sistema automático no solo asegura que estos parámetros se mantengan dentro de los rangos óptimos de manera continua, sino que también facilita una respuesta rápida ante cualquier desviación de los valores establecidos, mejorando la precisión del proceso y reduciendo la posibilidad de errores humanos.

La tecnología permitirá a que la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C. monitorear y ajustar en tiempo real los procesos de producción, optimizando el uso de los recursos y evitando pérdidas derivadas de una medición imprecisa y que la misma constituya un tipo de control basado en la sostenibilidad al reducir los recursos de materia prima, materiales, humanos y otros insumos dentro de los procesos, lo que particularmente relevante para una empresa que valora tanto la eficiencia como el compromiso con el medio ambiente.

Además, la automatización contribuirá al fortalecimiento de la capacidad operativa del personal, que recibirá capacitación continua en el uso de estas nuevas tecnologías, en donde no solo eleva el nivel de conocimiento del equipo de trabajo, sino que también promueve un entorno de mejora continua, donde las decisiones pueden basarse en datos precisos y en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas que impacten positivamente en la calidad y eficiencia de la producción.

Desarrollo y seguimiento

Automatización

En esta fase inicial, se propondrán mejoras tecnológicas para el proceso de producción, incluyendo la integración de cada uno de los elementos detallados en la tabla 46, con el fin de que el sistema de automatización sea efectivo y eficiente en los procesos críticos considerando los estándares de medición de temperatura y pesado de agua con los sensores, electroválvulas y otros dispositivos que permitirán un monitoreo más preciso y una mayor eficiencia.

Tabla 46 Elementos adquiridos para el proceso de control automático

Elementos	Numero
Arduino 1	1
Baquelita	1
Módulos de relés	4
Baquelita sin perforar	1
Sensor de nivel	2
Electroválvula	2
Sensor de caudal	1
Resistencias de 10 K	9
Fuente de alimentación	1
Borneras	8
Leds de alta potencia	2
Caja de impresora 3D	1
ESP=32	1
Display LCD 16x2	1
Termopar Pt 100	1
i2c	1

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

Entre los elementos adquiridos se incluyen componentes como un Arduino Uno, que sirve como una unidad de control central, junto con módulos de relés y un ESP32, que permitirá la conectividad Wi-Fi y Bluetooth para la comunicación remota.

Se incorporaron sensores de nivel y sensores de caudal para medir el flujo de líquidos y asegurar una correcta dosificación, mientras que las electroválvulas permitirán la automatización en el control de los flujos de agua. Además, se adquirieron termocuplas tipo K para medir la temperatura con alta precisión, y se integraron displays LCD 16x2 para visualizar los parámetros en tiempo real.

Otros componentes como resistencias, baquelita, borneras, y leds de alta potencia configuraran el sistema de seguridad del sistema como parte preventiva de la ejecución automática, permitiendo una conexión y control adecuado de todos los sensores y actuadores.

La fuente de alimentación garantiza la estabilidad del sistema, mientras que la caja impresa en 3D permitirá la creación de estructuras personalizadas para el montaje de los componentes.

Por lo tanto, el uso de este sistema de control automático no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también optimiza la calidad del producto final y disminuye la posibilidad de errores humanos.

Implementación de la optimización

Después de determinar qué equipos son necesarios, se procederá a adquirir los materiales y componentes requeridos. Luego, se instalarán sensores, electroválvulas y otros dispositivos de automatización que son fundamentales para iniciar el desarrollo del sistema mejorado. Posteriormente, se integrará todo el sistema al control central, lo cual se puede hacer a través de plataformas como Arduino o sistemas similares, lo que hará más sencilla la gestión remota y eficiente de los equipos.

Montaje de elemento para el control automático

La adecuación de las instalaciones para la integración de dispositivos electrónicos en el proceso de automatización, en particular dentro de las ollas de maceración y fermentación, representa una etapa fundamental que abarca tanto la intervención mecánica como la correcta disposición de los sistemas de regulación.

En este procedimiento tiene como meta garantizar que todos los equipos se encuentren conectados de forma eficiente para la supervisión y el control adecuado de los parámetros en tiempo real, como el nivel de líquido, el cual es vital durante las fases de maceración y fermentación.

En el procedimiento de instalación y supervisión de los niveles de líquido en una olla de maceración, se necesita una intervención técnica para garantizar que los sensores de nivel se coloquen en los lugares idóneos para medir con precisión el volumen del líquido.

Por ende, en la figura 13, se realizan dos perforaciones en la olla de maceración, específicamente diseñadas para colocar roscas de medida M10.



Figura 13 Perforación en la olla de macerado

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

En la figura 14, se realiza las soldaduras de la roscas M10, que permitirá la correcta instalación de los sensores de nivel, que estarán destinados a monitorear los volúmenes de líquido en dos puntos específicos: 30 litros y 60 litros.



Figura 14 Soldadura de la rosca M10

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

La rosca M10 es una norma común que se utiliza para garantizar que los sensores se coloquen de manera segura y que no haya fugas o problemas durante la medición. Las perforaciones en los volúmenes de 30L y 60L permiten un monitoreo preciso de los niveles de macerado, lo que ayuda a seguir el proceso en varias etapas y asegura que se mantenga la exactitud necesaria para la calidad del producto final.

- **Sensor de nivel KeensoTbq**

La instalación de los sensores de nivel es fundamental porque aseguran que los líquidos se mantengan en los niveles correctos durante la maceración. Además, estos sensores ayudan a automatizar el proceso, lo que resulta en una mayor eficiencia y seguridad en la producción.



Figura 15 Colocación del sensor de nivel KeensoTbq

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

- **Sensor de temperatura Pt100**

En la gestión y seguimiento de la temperatura en las fases de fermentación y enfriamiento del mosto, es crucial disponer de un sistema exacto que asegure condiciones térmicas ideales. A tal fin, se efectúa una perforación específica en el cuerpo de un fermentador de 120 litros. En la apertura debe tener el propósito de permitir la instalación de un sensor Pt100, el cual es utilizado para medir y regular la temperatura con precisión durante las fases críticas del proceso.

En donde se realizar la perforación, se procede a soldar una tuerca con rosca M6 en el lugar correspondiente, lo que brinda un soporte sólido y seguro para el sensor. La rosca M6 asegura que el sensor Pt100 esté firmemente instalado y se mantenga en su ubicación durante todo el proceso de fermentación y enfriamiento del mosto.

La selección de este sensor es crucial, dado que el Pt100 es reconocido por su gran precisión y estabilidad a lo largo del tiempo, lo que lo convierte en una opción ideal

para la medición de temperaturas en contextos industriales como la fermentación de bebidas.



Figura 16 Colocación del sensor de temperatura P,100

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

- **Válvula de control de Flujo YF-S201**

En un sistema de enfriamiento de mosto, el control preciso del flujo de agua es esencial para mantener la temperatura constante durante el proceso de enfriamiento, asegurando la calidad del producto final. Para ello, se instala una válvula de control de flujo en la tubería de red municipal, ubicada estratégicamente antes del enfriador de placas, también conocido como "chiller".

Esta válvula es un componente clave, ya que regula la cantidad de agua que fluye hacia el enfriador, lo que a su vez influye directamente en la capacidad del sistema para enfriar el mosto de manera eficiente.

El enfriador de placas funciona mediante el intercambio de calor entre el agua fría proveniente de la red municipal y el mosto caliente que se va a enfriar.

El flujo de agua que ingresa al chiller es crucial, ya que debe ser suficiente para absorber el calor del mosto sin que la temperatura del mosto fluctúe demasiado, por

ello, la válvula de control de flujo permite ajustar de manera precisa el caudal de agua que entra al enfriador, manteniendo una temperatura constante y adecuada del mosto antes de ser enviado al fermentador; por ende, en los siguientes pictogramas de la figura 17, se puede evidenciar su instalación.

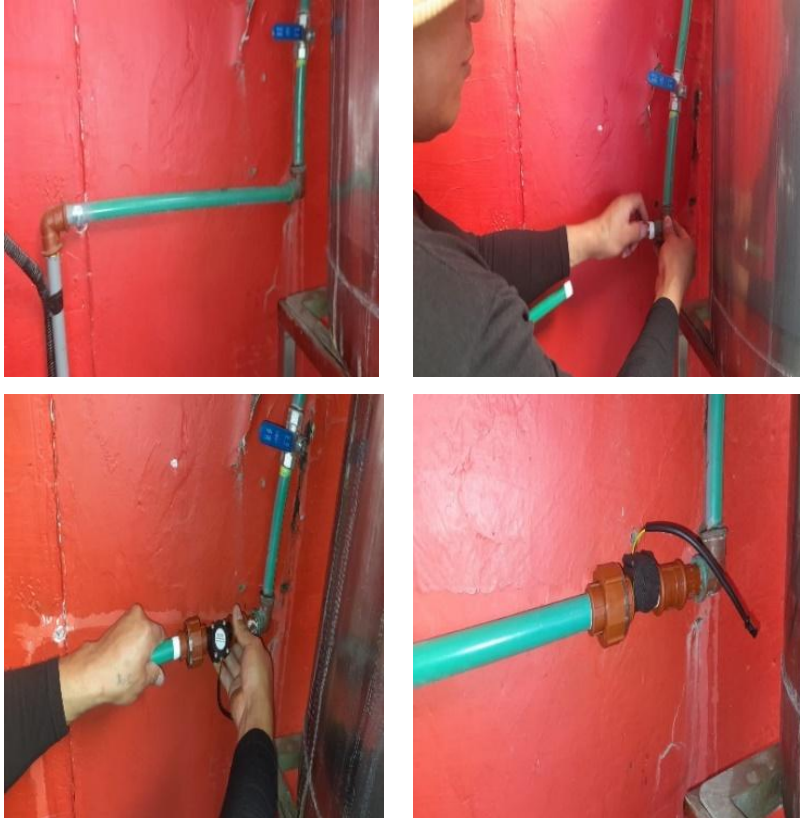


Figura 17 Colocación del medidor de caudal YF-S201

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

Además, cabe recalcar que, si el flujo de agua es demasiado bajo, el enfriamiento será ineficaz, lo que podría provocar un aumento no deseado en la temperatura del mosto. Así también, un flujo de agua excesivo puede generar un enfriamiento demasiado rápido, lo que también puede afectar la calidad del proceso de fermentación posterior.

Instalación de los elementos para el control automático

La instalación de los elementos adquiridos para la implementación del sistema de control automático se llevará a cabo en una serie de actividades cuidadosamente

planificadas. A continuación, se detallan las principales actividades que se ejecutarán durante el proceso:

Instalación del Arduino Uno y ESP32

Al conectar el Arduino Uno al control central del sistema, asegurándose que esté se encuentre conectado correctamente al suministro de alimentos y a cualquier entrada o salida requerida y con ello que se encuentre conectado al suministro de alimentos y a cualquier entrada o salida requerida, en la figura 18, se puede observar su instalación.



Figura 18 Arduino Uno y ESP32

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

El equipo ESP32, se instala al sistema para habilitar la conectividad inalámbrica (Wi-Fi/Bluetooth) y configurar adecuadamente la red de comunicación para integrarlo con otros dispositivos del sistema de control automático como también se debe realizar las pruebas básicas de encendido y confirmando que ambos dispositivos funcionan según lo previsto.

Montaje de la Caja para Componentes

Se debe instalar cada componente a la caja de impresora 3D, la cual se utiliza como protección y organización para el sistema de control, es importante que el Arduino Uno, el ESP32, se conecten a la alimentación, junto con los demás elementos, asegurándose de que se encuentren debidamente fijados con las debidas medidas de seguridad de los riesgos eléctricos, tal como se evidencia en la figura 19.



Figura 19 Montaje de la caja y sus componentes

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

Se recomienda que la caja mantenga los orificios adecuados para la ventilación y para el paso de cables.

Conexión de los Sensores y Actuadores

La instalación de los sensores de nivel, sensores de caudal se encuentren ubicados de forma adecuado dentro del sistema de producción para monitoreo del flujo de líquidos, y con ello asegurar que cada elemento se encuentre conectado a las entradas de Arduino Uno y correctamente posicionados para una medición precisa, en los siguientes pictogramas se la figura 20, evidencian la instalación.



Figura 20 Conexión de los sensores y actuadores

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

La conexión de las electroválvulas se ubica a las salidas correspondientes del sistema, en las que se encuentren correctamente alimentadas con el fin de que puedan ser controladas por los relés. Se debe realizar una verificación de todos los cables y conexiones con el fin de que se encuentren bien asegurados y no presenten riesgo de desconexión.

Instalación del sensor de temperatura Pt100

Se conecta el sensor Pt100 a la entrada correspondiente del Arduino Uno, con el fin de medir la temperatura en el proceso de producción de la cervecería artesanal, asegurándose que la termocupla se encuentre ubicada en un lugar estratégico donde pueda medir correctamente la temperatura del proceso y con el enfoque en la calibración los sensores de temperatura utilizando un termómetro de referencia para asegurar lecturas precisas, en la figura 21, se observa la instalación del dispositivo.



Figura 21 Instalación del sensor de temperatura Pt100

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

Montaje de la Display LCD 16x2

Se instala el dispositivo display LCD 16x2, en la caja 3D, y en un lugar accesible con visualización con el fin de que los operadores puedan ver los datos de temperatura, nivel, caudal y otros parámetros en tiempo real. El display debe estar conectado a una alimentación continua de energía y garantizando que la señal de

comunicación esté correcta, en la figura 22, se observa el montaje ordenado y su funcionamiento con cada uno de los dispositivos.

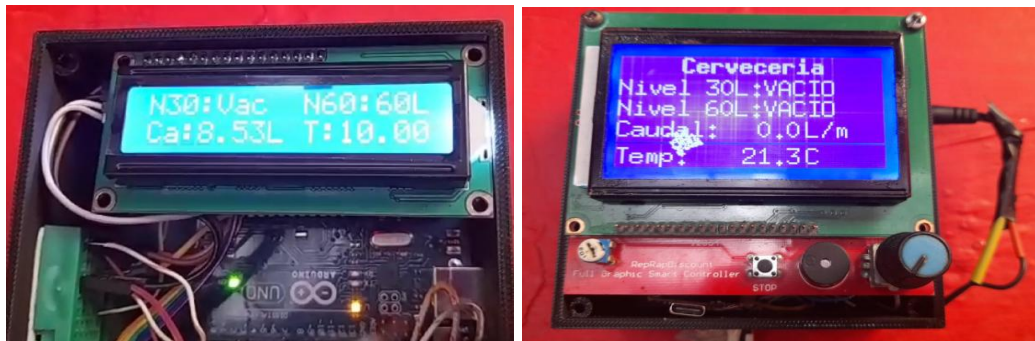


Figura 22 Montaje del display LCD

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

Conexión de los Módulos de Relé

Instalar los módulos de relé para controlar las electroválvulas y otros actuadores. Asegurarse de que cada relé esté correctamente conectado a los pines de salida del Arduino y que los cables de alimentación sean adecuados para soportar la carga requerida, además se debe verificar que la energía proporcione la tensión y corriente correcta para todos los componentes, especialmente para el Arduino Uno, ESP32 y los actuadores, tal como se puede evidenciar en los pictogramas de la figura 23.

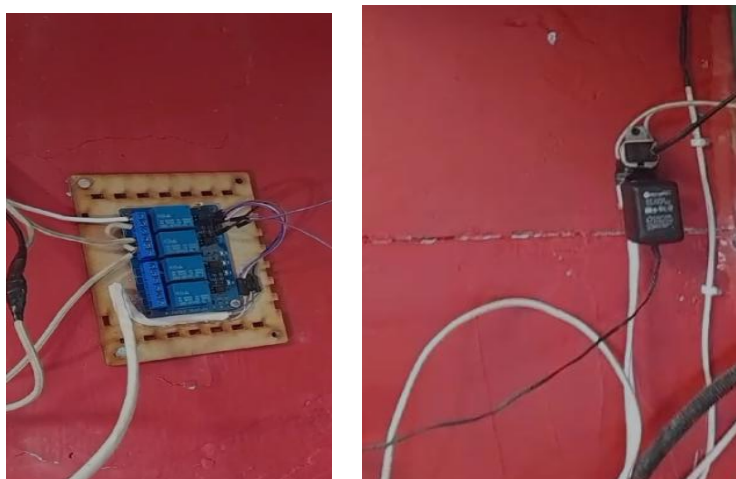


Figura 23 Conexión de los relés de control de las electroválvulas

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

Conexión de los Sensores y Actuadores a la Baquelita

Se emplea baquelita con perforaciones para la instalación de los sensores y los módulos de relé, garantizando que los cables de conexión estén ordenados y no interfieran con otras secciones del sistema. Asimismo, es fundamental asegurar que los sensores de nivel y los de caudal estén correctamente fijados a la baquelita para prevenir daños o desconexiones, como se muestra en la figura 24, que ilustra su instalación.



Figura 24 Conexión de sensores y actuadores

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

A continuación, se presenta el desarrollo de un diagrama de flujo de operación que ilustra la operación de los diferentes elementos del sistema que interactúa en el proceso de maceración, destacando especialmente el papel de la bomba encargada de alimentar el flujo de agua a la olla.

Y el sistema automático, mediante el Arduino Uno que gestiona los aspectos de manera precisa y continua, optimizando el proceso, reduce la intervención manual y mejora la eficiencia en la producción, proporcionando un control total sobre los parámetros críticos del proceso como se puede evidenciar en la figura 25.

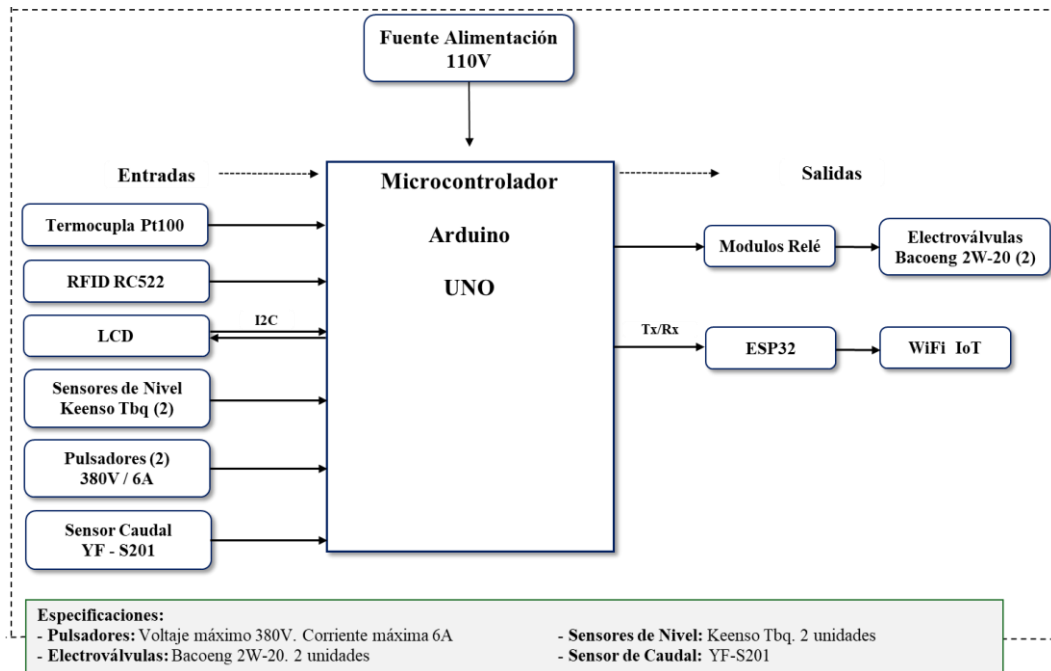


Figura 25 Diagrama de conexión

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

Pruebas y Ajustes

En el aseguramiento de que todos los equipos del sistema funcionen de manera óptima, se lleva a cabo pruebas funcionales, con el fin de establecer ajustes de las configuraciones de los sensores y electroválvulas con el fin de asegurar su sincronización con el sistema de control, además todo el proceso no solo busca una operación eficiente, sino que también garantiza que los estándares de calidad no se vean comprometidos tal como se puede evidenciar en los siguientes pictogramas de la figura 26.

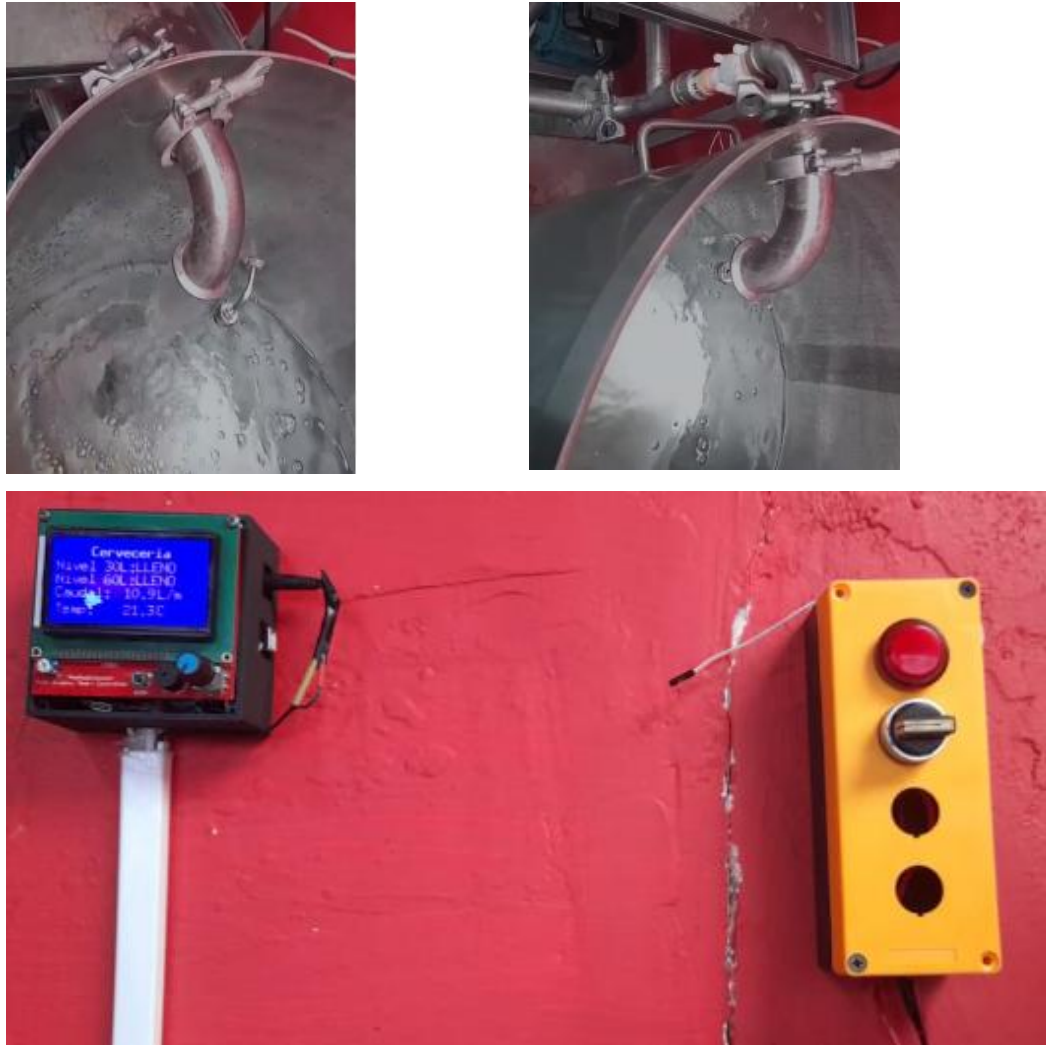


Figura 26 Pruebas y ajustes del proceso automático

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las evidencias de la optimización de la empresa.

En los pictogramas presentados en la gráfica 26, se observan que el sistema mantiene un caudal constante de 8,30 litros dentro de un rango de operación definido por un límite inferior de 30 litros y un límite superior de 60 litros, con una temperatura de 10,50 grados Celsius, lo que sugiere que el sistema tiene la capacidad de regular y controlar tanto el flujo de líquido como las condiciones térmicas dentro de estos parámetros establecidos.

Capacitación del Personal

La formación del equipo debe asegurar el correcto funcionamiento del sistema automático de control de agua durante el proceso de maceración y del control de

temperatura en la fermentación. Es esencial que el personal responsable de estas operaciones reciba una educación completa y especializada. Se necesita un programa de capacitación bien organizado que permita a los trabajadores conocer a fondo las distintas funciones y aspectos del sistema.

Por ello, se llevarán a cabo sesiones de formación enfocadas en el uso y mantenimiento de los sistemas automatizados, asegurando que el equipo humano pueda adaptarse sin contratiempos a la modernización operativa, en donde la capacitaciones no solo abordarán el funcionamiento general de los equipos instalados, sino que también profundizarán en aspectos específicos, como la gestión de la interfaz de usuario y también interpretar la lectura de datos otorgados por el dispositivo display LCD 16x2; con el fin de que, el operadores puedan monitorear y controlar los sistemas en tiempo real, optimizando así la eficiencia y reduciendo posibles errores en la operación, (Ver anexos 3).

Puesta en Marcha y Seguimiento

Una vez que los sistemas hayan sido ajustados y el personal capacitado, se procederá con la puesta en marcha de la producción utilizando los sistemas optimizados. Durante esta fase, se evalúa constantemente el desempeño y la calidad del proceso, donde también se deberá realizar ajustes si fuese necesarios con el fin de garantizar que la producción cumpla con los estándares establecidos y sea más eficiente que antes de la implementación de las mejoras.

Además, la modernización del proceso productivo a través de la automatización no solo representa un avance tecnológico, sino una evolución en la filosofía de trabajo de la empresa, al garantizar una cerveza artesanal de calidad, elaborada con procesos optimizados y controlados con precisión, se fortalece la identidad de la marca y se consolida su posicionamiento en un mercado cada vez más exigente.

Componente 6: Evaluación Final y Cierre

Al finalizar el proceso de optimización, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los resultados alcanzados, revisando la efectividad del sistema automático que se ha establecido. Esto tiene como objetivo definir métricas fundamentales, como la constancia de la temperatura durante las etapas de maceración y fermentación, la

exactitud en el manejo de los niveles de líquido y su repercusión en los tiempos de producción. También se realizará una comparación de los resultados alcanzados con las cifras anteriores a la optimización, lo que permitirá tener una evaluación precisa de los progresos realizados.

Resultados obtenidos

Una vez que se ha instaurado el sistema automatizado de control en la elaboración de cerveza artesanal, resulta fundamental estudiar los datos recopilados para determinar su repercusión real en el procedimiento. Dichos datos no solo reflejan la efectividad técnica del sistema, sino que también ofrecen información crucial sobre la estabilidad y la eficiencia en cada fase de la producción.

En consideración, se ha utilizado gráficos de control que permiten observar el comportamiento de las variables críticas antes y después de la optimización. La comparación entre estos gráficos ayuda a identificar las mejoras en la estabilidad del proceso y el cumplimiento de los criterios establecidos. De esta forma, se puede evidenciar con mayor claridad el impacto de la automatización en el rendimiento de cada etapa, garantizando que las condiciones operativas sean óptimas para sostener la calidad y la eficacia del sistema.

En cada fase del proceso, se analizan los gráficos de control de medias y de rangos, lo que posibilita evaluar tanto la estabilidad de la media como la variabilidad dentro de los límites de control. Por consiguiente, en los siguientes apartados se presentan las comparaciones entre los gráficos de control obtenidos antes y después de la optimización, permitiendo examinar las tendencias, variaciones y ajustes logrados con la implementación del sistema automatizado.

En la tabla 47, se muestran los datos extraídos del proceso de maceración tras la optimización, que incluye información fundamental para evaluar el comportamiento de las variables clave y su estabilidad a lo largo del tiempo, proporcionando una base para el análisis de las condiciones del proceso.

Tabla 47 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de maceración después de la optimización

PROMEDIO g/cm³	RANGO g/cm³	LCI [X-A₂R] g/cm³	LCS [X+A₂R] g/cm³	LCI [D₃R] g/cm³	LCS [D₄R] g/cm³
1.031	0.032	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.028	0.033	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.024	0.033	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.037	0.030	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.030	0.032	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.028	0.033	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.030	0.032	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.035	0.030	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.028	0.033	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728
1.035	0.031	1.0072	1.0537	0.0000	0.0728

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Los datos muestran que la densidad promedio del mosto después de la optimización varía entre 1.024 g/cm³ y 1.037 g/cm³, con un valor más frecuente cercano a 1.030 g/cm³, una densidad dentro de este rango es fundamental para garantizar que la fermentación posterior genere el contenido alcohólico previsto y que la cerveza tenga el cuerpo y las características deseadas por ende se indica que el proceso de maceración se mantiene dentro de los rangos esperados para la producción de cerveza artesanal.

Los (LC), de los promedios de macerado después de la automatización en la que se encuentran representados en el gráfico 24, donde se evidencias a las líneas horizontales determinadas en base a la densidad en el (LCI) cuyo valor es 1.0072 g/cm³ y el (LCS) su valor es 1.0537 g/cm³, indicándose que los límites representan los valores se encuentran dentro de y bajo el proceso de control.

Gráfico de Control de Promedios en Etapa de Macerado Después de la Optimización

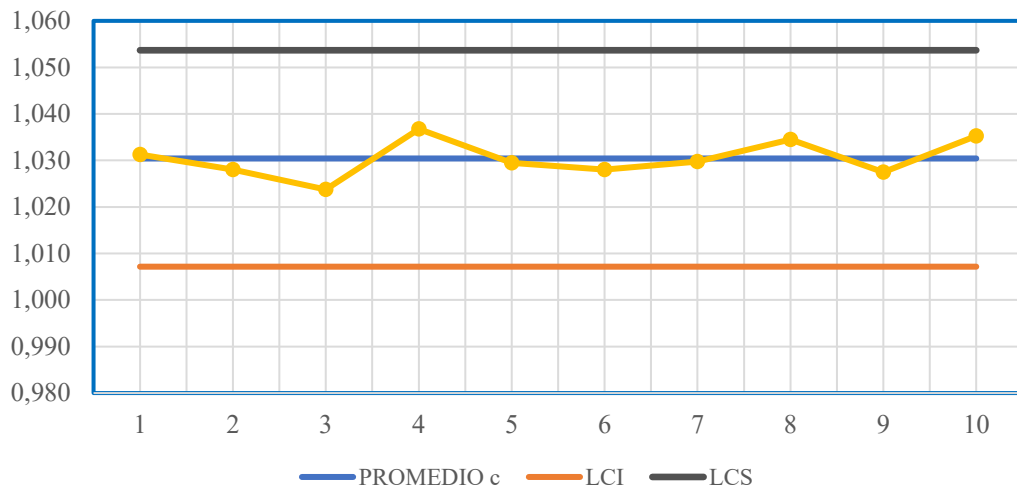


Gráfico 23 Promedios del proceso de maceración después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Cualquier punto fuera de estos límites podría indicar una variación inusual, por ende, la línea de tendencia central representa el promedio de los datos cuyo valor es 1.0304 g/cm³.

Los (LC), de los rangos de macerado después de la automatización en la que se encuentran representados en el gráfico 24, donde se evidencias a las líneas horizontales determinadas en base a la densidad en el (LCI) cuyo valor es 0 (cero) g/cm³ y el (LCS) su valor es 0.0728 g/cm³, indicándose que los límites representan los valores se encuentran dentro de y bajo el proceso de control.

Gráfico de Control de Rangos en Etapa de Macerado Después de la Optimización

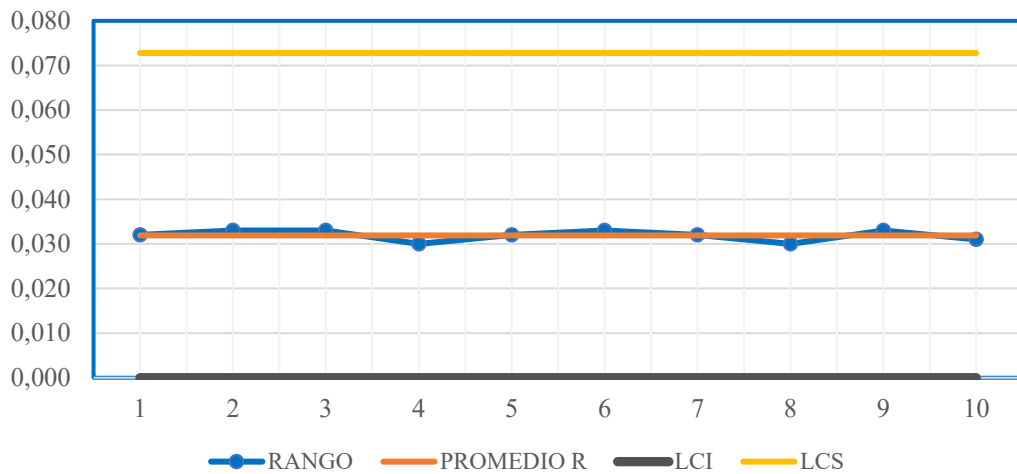


Gráfico 24 Rangos del proceso de maceración después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Cualquier punto fuera de estos límites podría indicar una variación inusual, por ende, la línea de tendencia central representa el promedio de los datos cuyo valor es 0.032 g/cm^3 .

A continuación, en los pictogramas del gráfico 25, se desarrolla la comparación de los promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de maceración antes y después de la automatización, con el fin de entender el comportamiento de las densidades, eliminando la incertidumbre de la producción de la cervecera artesanal.

Gráfico de Control de Promedios del Macerado Antes de la Optimización del Proceso

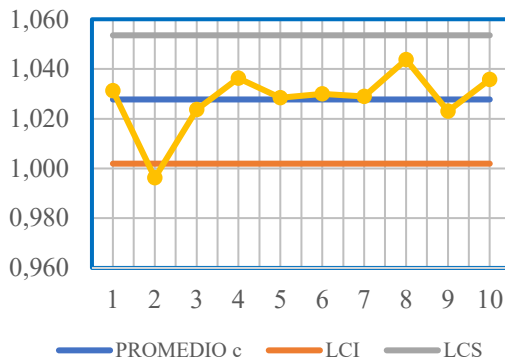


Gráfico de Control de Rangos Macerado Antes de la Optimización del Proceso

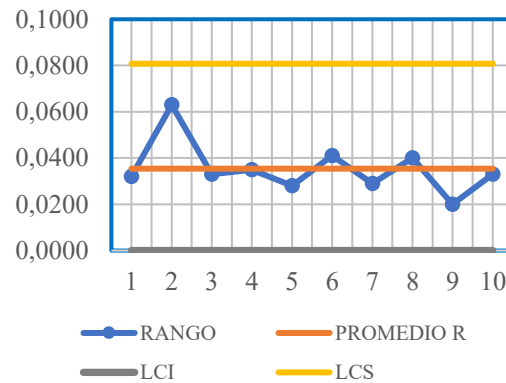


Gráfico de Control de Promedios Macerado Después de la Optimización

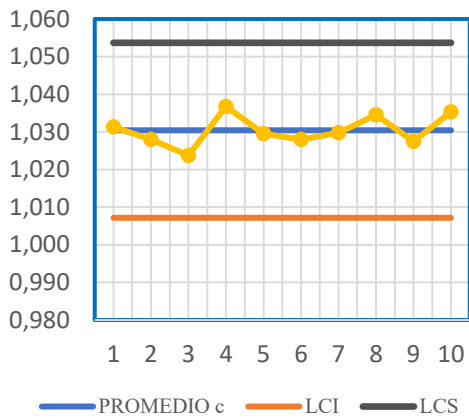


Gráfico de Control de Rangos Macerado Después de la Optimización

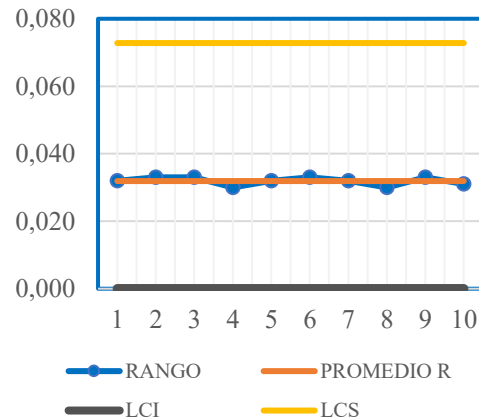


Gráfico 25 Pictogramas de comparación de promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de maceración antes y después de la automatización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

El análisis de los gráficos de control del proceso de maceración antes y después de la optimización revela cambios significativos en la estabilidad y eficiencia del proceso, por ende, en primera instancia antes de la automatización, en el gráfico de control de promedios, se observa una alta variabilidad en los valores del proceso de maceración. Las variaciones constantes, especialmente cuando los valores se acercan o exceden los límites de control inferior (LCI) y superior (LCS), indican que el proceso presentaba inestabilidad y era propenso a errores.

En el gráfico de control de rangos del proceso de maceración, se evidencia una variabilidad significativa, lo que sugiere que el rango de las fluctuaciones de las variables durante el proceso de maceración era amplio. En donde señala que, sin un adecuado control, el proceso carecía de la estabilidad necesaria, lo que podría resultar en lotes que no cumplieran con los estándares de calidad requeridos.

Una vez que se implementó el sistema control automático, en las gráficas de control de promedios y rangos de la maceración muestran una notable mejora, destacándose que, en la gráfica de control de promedios de la maceración, se observa una disminución considerable en la variabilidad de los valores. En donde se indica que el proceso se ha vuelto mucho más estable y predecible, permitiendo un ajuste continuo y preciso de las variables críticas, como temperatura y tiempo, lo que optimiza la consistencia del proceso.

El gráfico de control de rangos de la maceración también presenta una reducción en el rango de variabilidad, lo que confirma que el proceso ahora se mantiene dentro de los parámetros establecidos, disminuyendo el riesgo de producir lotes fuera de especificación. En el mantenimiento de estos valores bajos refleja que el sistema automatizado está funcionando de manera eficiente y alineado con los objetivos de calidad.

Además, mediante el análisis de la Prueba Estadística se evidencian, que el estudio se complementa con el enfoque del análisis, se presenta el Gráfico 26, correspondiente a las Cartas de Control de Valores Individuales (I) de la Densidad Final ($T = 60$ min) del proceso de maceración, tanto en la condición “Antes” como “Después” de la implementación del sistema automatizado.

En las gráficas ofrecen una visión más detallada de la estabilidad de cada medición individual de densidad al finalizar el macerado. En particular, las gráficas fueron construida con los datos de densidad final registrados. La comparación entre ambas permite evidenciar los efectos positivos del sistema automatizado sobre la consistencia y el control del proceso, mostrando una mejora en la estabilidad de los valores individuales.

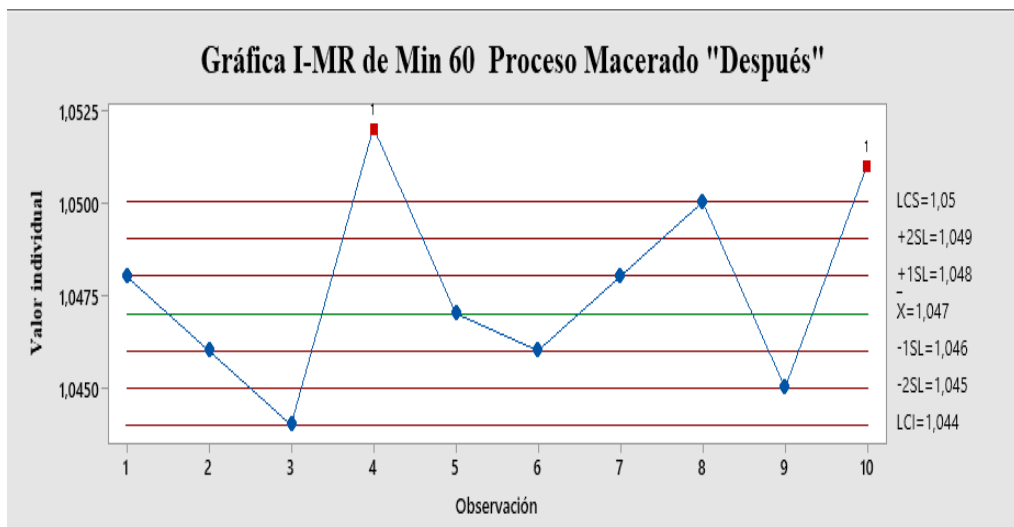
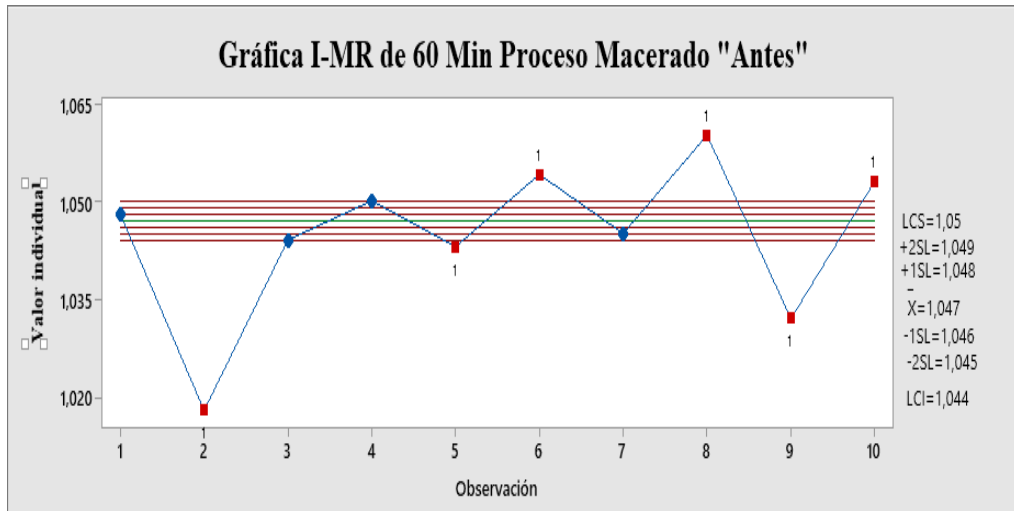


Gráfico 26 Densidad Final (T=60 min) del Macerado: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

La comparación entre las cartas de control de valores individuales (I) del proceso de macerado, antes y después de la implementación del sistema automatizado, evidencia una mejora significativa en la estabilidad del proceso.

En el estado "Antes", previamente analizado en el capítulo 2, se detectaron 6 (seis) puntos fuera de control, con el 60% de las muestras alejadas del valor objetivo de densidad (1.047 g/cm³), lo que refleja una alta variabilidad.

Tras la mejora, como muestra la carta "Después", solo 2 dos puntos de las muestras 4 y 10 fueron identificados fuera de control según la Prueba Estadística, sin transgresiones de los límites de control. Además, se redujo al 20% la proporción de muestras fuera del rango objetivo. Por ende, el sistema automatizado ha contribuido a estabilizar el proceso de maceración, disminuyendo la variabilidad y acercando los resultados al valor deseado. Aunque persisten indicios de causas especiales, la tendencia general apunta hacia un proceso más controlado y confiable.

Una vez analizado el proceso de maceración, se procede a evaluar el comportamiento del proceso de cocción. En la optimización, en la tabla 48, se exponen los datos del proceso de cocción, evidenciando un mayor control sobre la estabilidad de los promedios y rangos. La reducción en la variabilidad sugiere una mejora en la consistencia del proceso, asegurando condiciones óptimas para el desarrollo de esta etapa.

De igual manera, en la tabla se realiza el análisis de los resultados de las densidades en el proceso de cocción después de la implementación de mejoras en la línea de producción en los cuales arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 48 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de Cocción después de la optimización

PROMEDIO g/cm³	RANGO g/cm³	LCI [X-A₂R] g/cm³	LCS [X+A₂R] g/cm³	LCI [D₃R] g/cm³	LCS [D₄R] g/cm³
1.052	0.008	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.050	0.010	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.049	0.012	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.055	0.005	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.051	0.008	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.050	0.009	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.051	0.006	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.053	0.006	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.049	0.011	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181
1.054	0.005	1.0456	1.0572	0.0000	0.0181

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Los valores promedio mostrados en esta tabla varían entre 1.049 y 1.055 g/cm³, lo cual señala una notable estabilidad en la densidad, dado que todas las mediciones se encuentran dentro de un rango bastante limitado. En donde los hallazgos sugieren

que el procedimiento de medición es fiable y que no existen variaciones notables que puedan señalar problemas en la producción.

Además, el rango de variabilidad, que está entre 0.005 g/cm^3 y 0.012 g/cm^3 , también indica que las fluctuaciones en la densidad son mínimas, lo que sugiere que el proceso de medición sigue siendo bastante exacto.

Las diferencias entre los valores de rango pueden deberse a variaciones mínimas en las condiciones del proceso, pero estas fluctuaciones están bien dentro de los límites establecidos y no sugieren fallos importantes.

En el gráfico 27, correspondiente a los (LC), en el proceso de cocción se presentan el promedio de las densidades después de la optimización los (LCI) y superior (LCS) para los promedios de densidad están fijados entre 1.0456 y 1.0572 g/cm^3 .

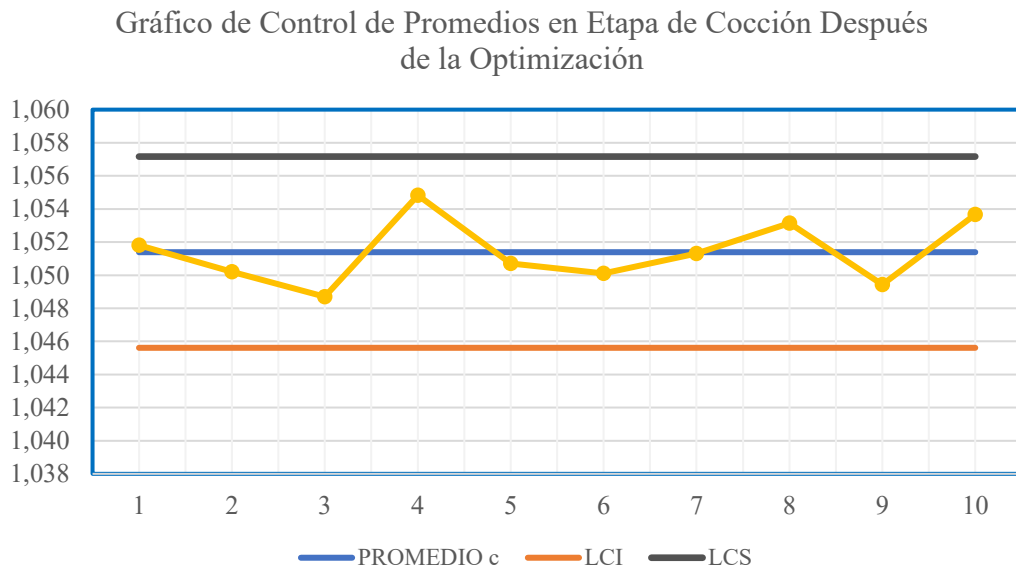


Gráfico 27 Promedios del proceso de cocción después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Lo que significa que todas las mediciones están dentro de estos márgenes y donde el comportamiento dentro de los límites establecidos muestra que el proceso se mantiene controlado y bajo los parámetros establecidos, garantizando la calidad

consistente del producto, además la línea de tendencia central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 1.0456 g/cm³.

De igual manera, en el gráfico 28, los (LC), en el proceso de cocción se presentan el rango de las densidades después de la optimización en donde se evidencian que las líneas del (LCI) posee un valor de 0 (cero) y las líneas del (LCS) cuyo valor es 0.0181 g/cm³. Los límites representan los valores dentro de los cuales los datos están bajo control y donde la línea de tendencia central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 1.008 g/cm³.

Gráfico de Control de Rangos en la Etapa de Cocción Después de la Optimización

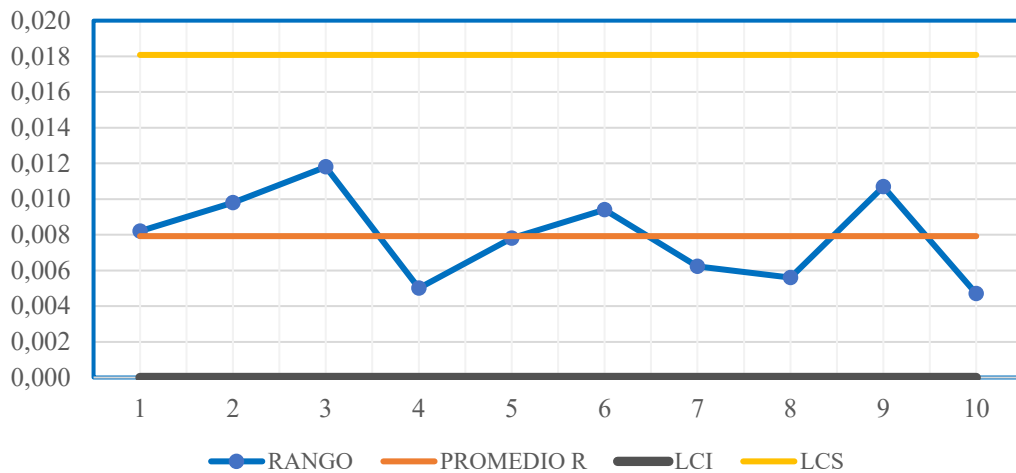


Gráfico 28 Rango del proceso de cocción después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

En el estudio similar, en los pictogramas comparativos del gráfico 29, se realiza la comparación de los promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de cocción antes y después de la automatización, con el propósito de comprender el comportamiento de las densidades en la producción de la cervecería artesanal.

Los pictogramas presentados brindan una imagen clara de la comparación entre el comportamiento de las variables de control durante la fase de cocción antes y después de haber optimizado el proceso.

El análisis facilita la comprensión de cómo las variaciones en los promedios y los rangos han cambiado, subrayando los efectos de las mejoras aplicadas en el proceso de producción.

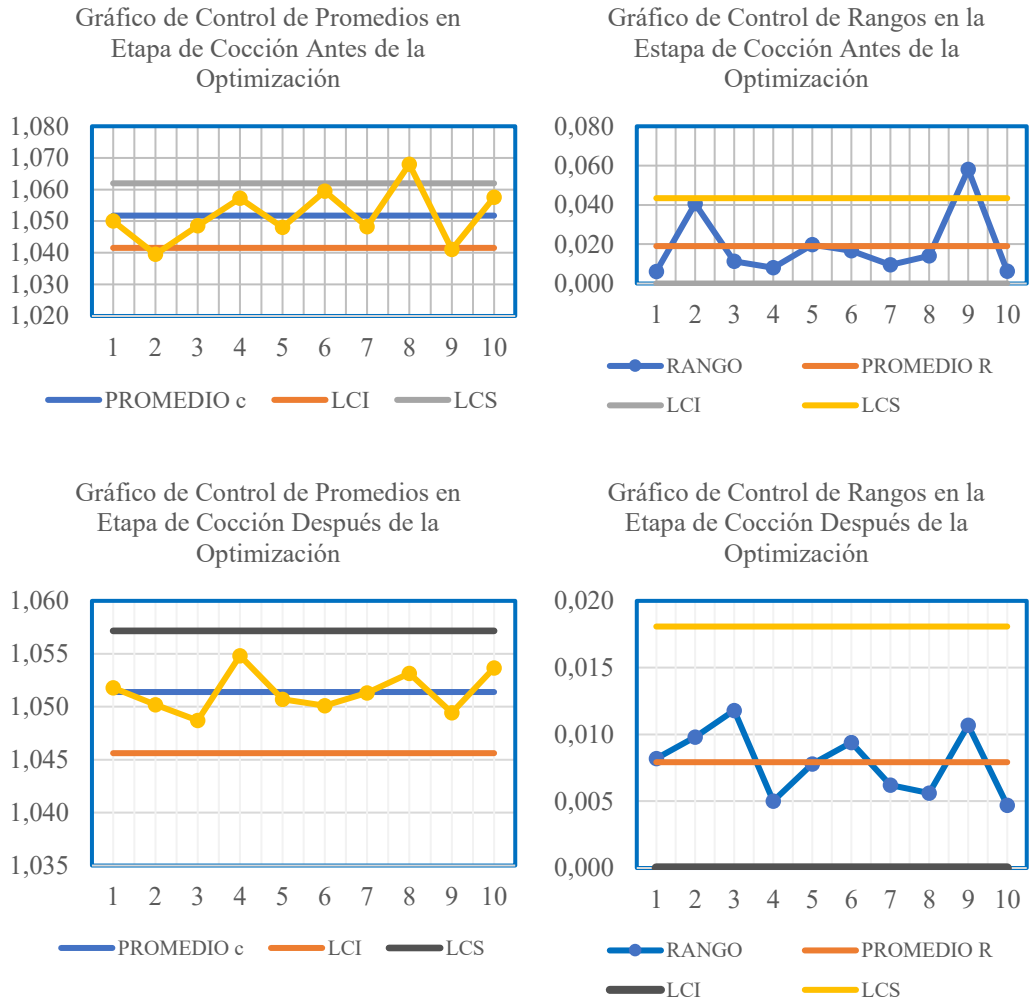


Gráfico 29 Pictogramas de comparación de promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de cocción antes y después de la automatización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

En el gráfico 29, del control estadístico de promedios antes de la optimización, se observa una variabilidad significativa en los valores de la densidad.

Las fluctuaciones notorias a lo largo de las mediciones sugieren que el proceso de cocción estaba experimentando irregularidades, lo que podría ser consecuencia de factores como fluctuaciones de temperatura, control ineficiente de tiempos de

cocción o variabilidad en los ingredientes, dichas inestabilidad en los promedios muestra que el proceso no estaba funcionando de manera óptima, lo que podría haber afectado la calidad del producto final.

En el resultado, al evaluar el control de promedios tras la optimización, se nota una evidente disminución en la variabilidad. Las mediciones ahora se encuentran más concentradas alrededor del valor promedio, lo que sugiere que la optimización ha logrado estabilizar el proceso de cocción.

Esta mejora no solo permite un proceso más eficiente, sino que además asegura una mayor uniformidad en la calidad del producto final.

En contraste, al examinar el control de rangos, se evidencia que antes de la optimización, el rango de variabilidad era considerable, señalando que existían grandes diferencias entre las mediciones, lo que indicaba un proceso menos controlado. Sin embargo, tras la optimización, el rango se reduce notablemente, apoyando la noción de que el proceso de cocción se ha estabilizado y se ha vuelto considerablemente más predecible.

De igual forma, mediante el análisis de la Prueba Estadística se evidencias, que el estudio se complementa con el enfoque del análisis, se presenta el Gráfico 30, correspondiente a las Cartas de Control de Valores Individuales (I) de la Densidad Final ($T = 60$ min) del proceso de cocción, sobrellevando a tener una comparación Antes como Después de la implementación del sistema automatizado.

En las gráficas ofrecen una visión más detallada de la estabilidad de cada medición individual de densidad al finalizar la cocción. En particular, las gráficas fueron construida con los datos de densidad final registrados.

La comparación entre ambas permite evidenciar los efectos positivos del sistema automatizado sobre la consistencia y el control del proceso, mostrando una mejora en la estabilidad de los valores individuales.

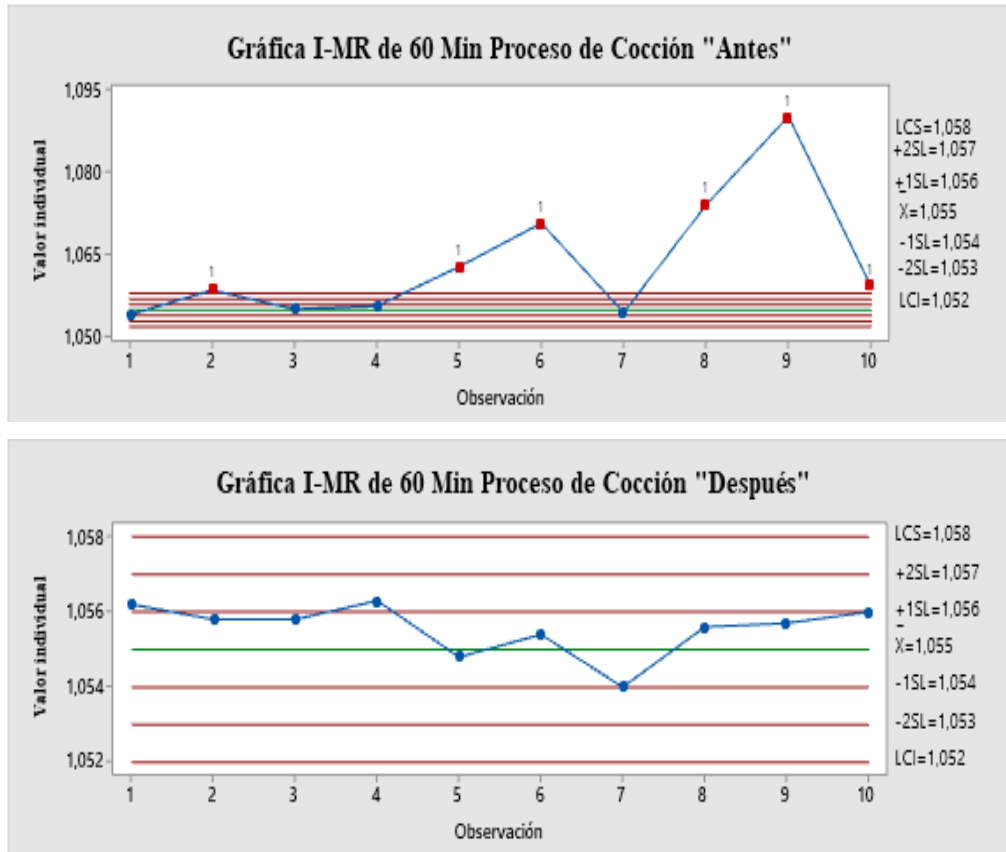


Gráfico 30 Densidad Final (T=60 min) de cocción: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

La comparación entre las cartas de control de valores individuales (I) del proceso de cocción de antes y después de la implementación del sistema automatizado, evidencia una mejora significativa en la estabilidad del proceso.

En el estado "Antes", previamente analizado en el capítulo 2, se detectaron 6 (seis) puntos fuera de control, con el 60% de las muestras alejadas del valor objetivo de densidad (1.047 g/cm³), lo que refleja una alta variabilidad.

Posteriormente, a la mejora, como se evidencia en la carta "Después", dentro del sistema de control en donde según la Prueba Estadística, sin tener las violaciones de los límites de control. Además, se redujo al 0% la proporción de muestras fuera del rango objetivo. Por ende, el sistema automatizado ha contribuido a estabilizar

el proceso de cocción, disminuyendo la variabilidad y acercando los resultados al valor deseado.

De igual manera en la tabla 49, se evidencia el análisis exhaustivo de las densidades obtenidas durante el enfriamiento, las cuales fueron evaluadas luego de aplicar las mejoras en la línea de producción, los datos obtenidos conllevan a observar la fluctuación de las densidades en los promedios y rangos.

Tabla 49 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de enfriamiento después de la optimización

PROMEDIO °C	RANGO °C	LCI	LCS	LCI	LCS
		[X-A ₂ R] °C	[X+A ₂ R] °C	[D ₃ R] °C	[D ₄ R] °C
27.00	6.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
25.40	5.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
26.90	6.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
26.70	8.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
26.80	7.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
27.00	8.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
26.10	7.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
25.60	8.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
26.00	6.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059
26.40	6.00	24.3264	28.4536	1.4941	11.9059

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

En el examen de la tabla, se puede notar que el promedio de temperatura varía entre 25,4 y 27,0 °C, lo que señala una notable diversidad en los valores térmicos a lo largo de las mediciones realizadas. A pesar de que los valores se sitúan dentro de un marco relativamente próximo, la variabilidad detectada podría sugerir que el proceso de producción no es del todo estable y podría estar siendo influido por factores como la temperatura, la composición del mosto, o alteraciones en la manipulación de los insumos.

El intervalo de las mediciones también exhibe diferencias, fluctúan entre 5 y 8 °C. Esta amplitud comparativamente amplia implica que existen cambios significativos en las mediciones dentro de cada conjunto de datos, lo que denota una inconsistencia en el proceso que puede tener un impacto en la calidad del producto final. Un rango más restringido sugeriría una mejor estabilidad, pero en este caso, los datos indican una variabilidad que podría optimizarse con ajustes en el proceso.

En el gráfico 31, los (LCI) y superior (LCS), reflejan valores de en donde se mantienen constantes a lo largo de todas las mediciones, lo que implica que se ha establecido un rango de control predefinido para la temperatura del 24, 32 y 28, 45 °C, respectivamente.

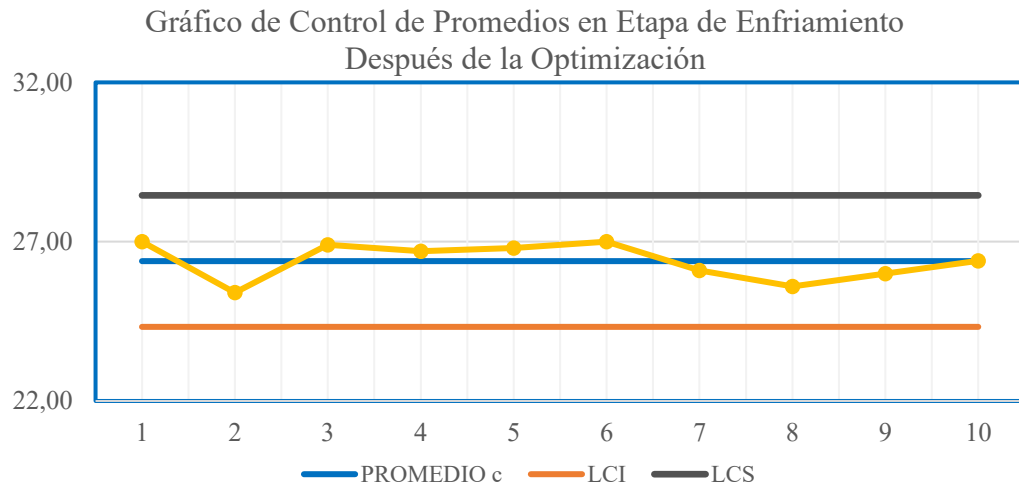


Gráfico 31 Control de promedios del proceso de enfriamiento después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Sin embargo, dado que las mediciones varían entre los límites establecidos, se puede inferir que el proceso podría beneficiarse de una optimización para reducir la variabilidad y lograr una mayor precisión en el control de la densidad.

Del mismo modo en el gráfico 32, de (LC), en el proceso de enfriamiento se presentan el rango de las temperaturas después de la optimización en donde se evidencian que las líneas de los (LCI) posee un valor de 1.4941 °C y las líneas de (LCS) cuyo valor es 11.9059 °C.

Gráfico de Control de Rangos en la Etapa de Enfriamiento Después de la Optimización

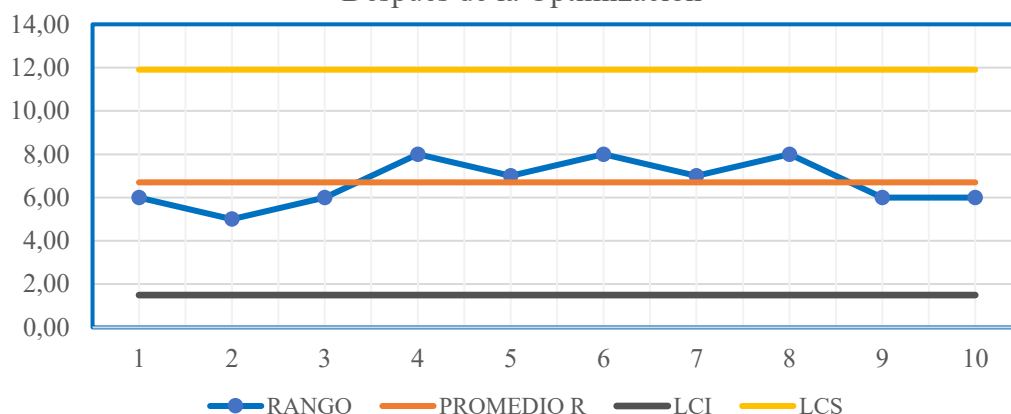


Gráfico 32 Control de rango del proceso de enfriamiento después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Los límites representan los valores dentro de los cuales los datos están bajo control y donde la línea de tendencia central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 6.70 °C.

De igual manera, en los pictogramas comparativos del gráfico 33, se realiza un análisis de los promedios y rangos en las gráficas de control relacionadas con los procesos de enfriamiento, tanto previos como posteriores a la automatización.

Gráfico de Control de Promedios en Etapa de Enfriamiento Antes de la Optimización

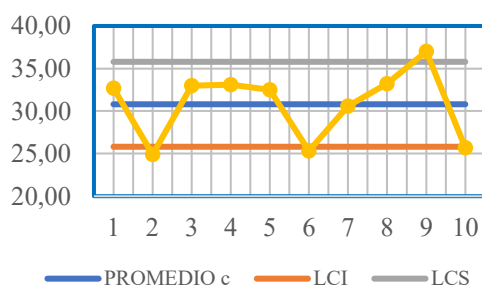
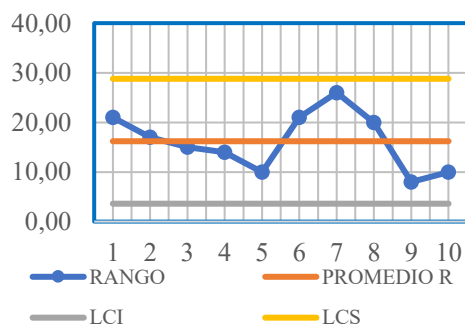


Gráfico de Control de Rangos en la Etapa de Enfriamiento Antes de la Optimización



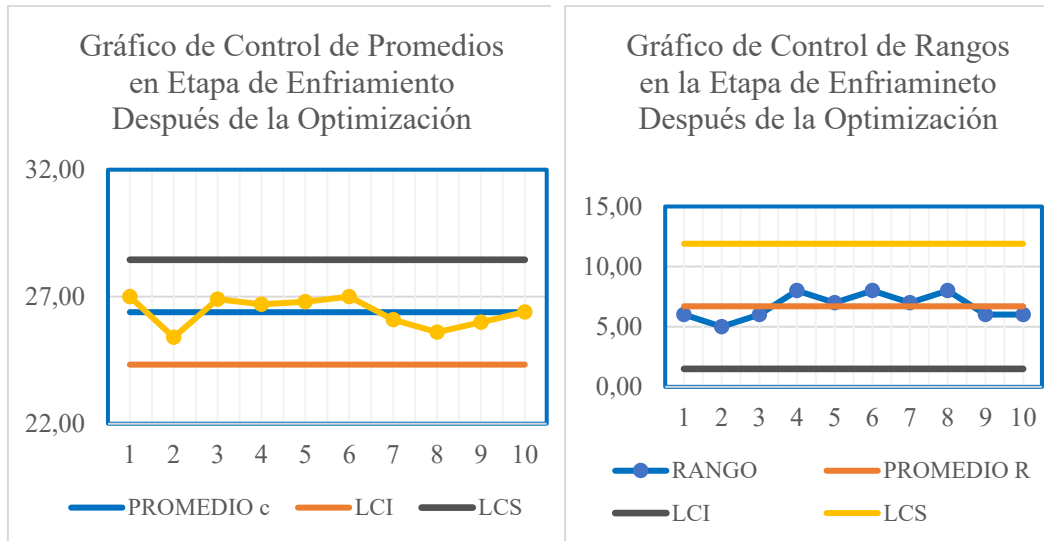


Gráfico 33 Pictogramas de comparación de promedios y rangos de los gráficos de control de los procesos de enfriamiento antes y después de la automatización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

El análisis de los gráficos de control de promedios y rangos en la etapa de enfriamiento antes y después de la optimización refleja cambios significativos en la estabilidad y control del proceso.

Antes de la optimización, el gráfico de control de promedios muestra una variabilidad considerable, con valores que fluctúan ampliamente dentro de los límites establecidos, en consecuencia, la inestabilidad sugiere que el proceso de enfriamiento presentaba inconsistencias, lo que podría estar relacionado con variaciones en la temperatura, tiempos de enfriamiento desiguales o deficiencias en el control del sistema de refrigeración.

Así mismo, el gráfico de control de rangos revela una alta dispersión en los datos, lo que refuerza la noción de que el proceso carecía de consistencia, en donde tras la optimización, se nota una notoria mejora en la estabilidad del proceso, donde el gráfico de control de promedios muestra una tendencia más constante, con variaciones reducidas y valores más fiables, lo que indica que la implementación de avances en la automatización ha facilitado un control más exacto de la temperatura y los períodos de enfriamiento, garantizando condiciones más uniformes en cada lote.

De manera similar, el gráfico de control de rangos muestra una disminución significativa en la dispersión de los datos, lo que verifica una estabilidad mayor y una menor variabilidad en el proceso.

Consiguiente, mediante el análisis de la Prueba Estadística, se evidencias, que el estudio se complementa con el enfoque del análisis en el Gráfico 34, correspondiente a las Cartas de Control de Valores Individuales (I) de las Temperaturas (T = 40 min) del proceso de enfriamiento, tanto en la condición “Antes” como “Después” de la implementación del sistema automatizado.

Las gráficas compartidas de la antes y después del enfriamiento ofrecen una visión más detallada de la estabilidad de cada medición individual de la temperatura, en donde la gráfica del “Después” fue construida con los datos de la temperatura (T = 40 minutos). La comparación entre ambas graficas conlleva as evidenciar los efectos positivos del sistema automatizado.

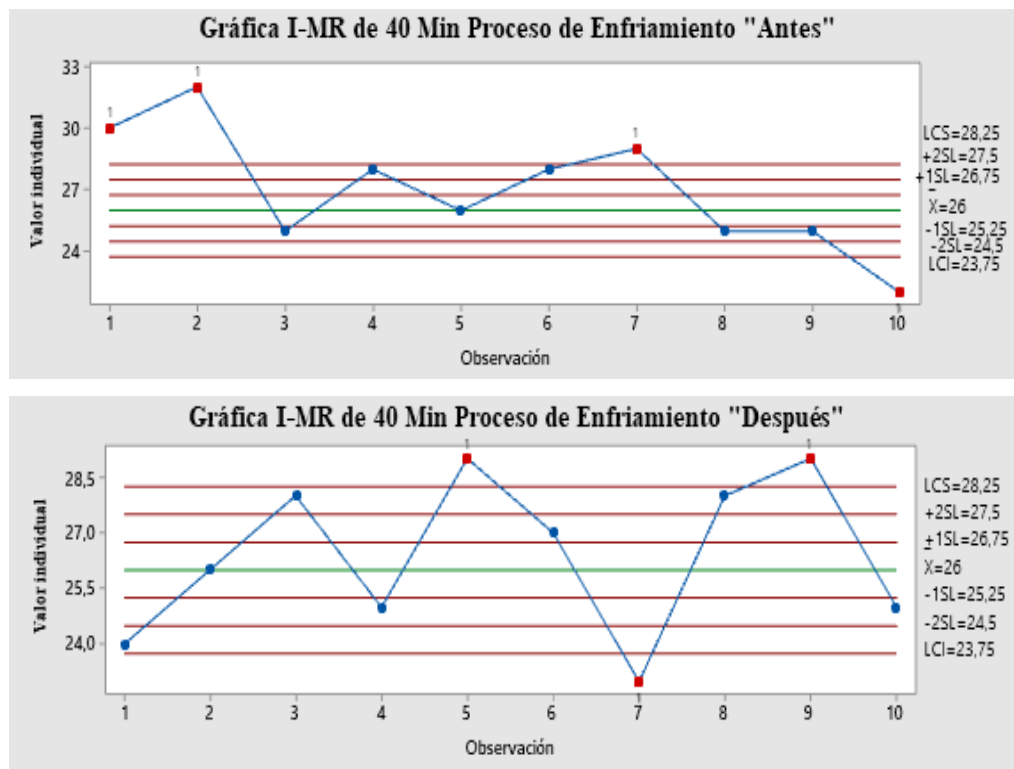


Gráfico 34 Temperatura (T=40 min) del proceso de enfriamiento: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

La comparación entre las cartas de control de valores individuales (I) del proceso de macerado, antes y después de la implementación del sistema automatizado, evidencia una mejora significativa en la estabilidad del proceso.

En el estado "Antes", previamente analizado en el capítulo 2, se detectaron cuatro puntos fuera de control, generándose un 40% de las muestras alejadas del valor objetivo de 26 °C, grados cencios, lo que refleja una mediana variedad en el sistema de control estadístico.

Tras la mejora, como muestra en la carta "Después", se evidencia 3 puntos fuera de rango en las muestras 5, 7 y 9, de los datos obtenidos de la Prueba Estadística de los límites de control. Además, se redujo al 30% la proporción de muestras fuera del rango objetivo. Además, el sistema automatizado ha contribuido a estabilizar el proceso de enfriamientos, disminuyendo la variabilidad y acercando los resultados al valor deseado.

En la tabla 50, se muestra un análisis exhaustivo de las densidades registradas durante la fase de fermentación, evaluadas tras la introducción de las mejoras en la línea de producción.

El estudio permite reconocer los cambios y beneficios logrados después de la optimización del proceso, ofreciendo información precisa sobre la estabilidad y la uniformidad de la fermentación.

Tabla 50 Cálculos de los promedios y rangos del proceso de fermentación después de la optimización

PROMEDIO g/cm ³	RANGO g/cm ³	LCI [X-A ₂ R] g/cm ³	LCS [X+A ₂ R] g/cm ³	LCI [D ₃ R] g/cm ³	LCS [D ₄ R] g/cm ³
1.031	0.040	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.034	0.039	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.032	0.039	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.036	0.040	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.033	0.039	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.034	0.040	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.031	0.038	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.032	0.040	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.031	0.040	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761
1.037	0.040	1.0163	1.0495	0.0030	0.0761

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Al examinar la tabla 50, se observa que el promedio de las densidades se sitúa en un rango bastante limitado, variando entre 1.031 y 1.037 g/cm³. En donde se sugiere que el proceso, en líneas generales, mantiene una buena consistencia.

La escasa variabilidad en estos promedios indica que la producción opera dentro de un margen controlado, evitando fluctuaciones significativas. Las pequeñas oscilaciones en los promedios demuestran que la densidad de las muestras se mantiene estable, lo cual es un indicativo positivo sobre la calidad del producto final.

Respecto al rango de variabilidad, los valores oscilan entre 0.038 y 0.040 g/cm³, evidenciando también una baja variabilidad. Las diferencias entre las mediciones individuales dentro de cada lote se mantienen pequeñas, lo que sugiere que el proceso de producción se está desarrollando de manera eficiente y con un adecuado nivel de control.

La baja variabilidad en los rangos asegura que no exista diferencias importantes entre las mediciones de densidad, lo cual es crucial para garantizar la estabilidad del producto. En el gráfico 35, los (LCI) y superior (LCS) para los promedios en el proceso de la fermentación después de la optimización reflejan valores de 1.0163 g/cm³ y 1.0495 g/cm³, respectivamente.

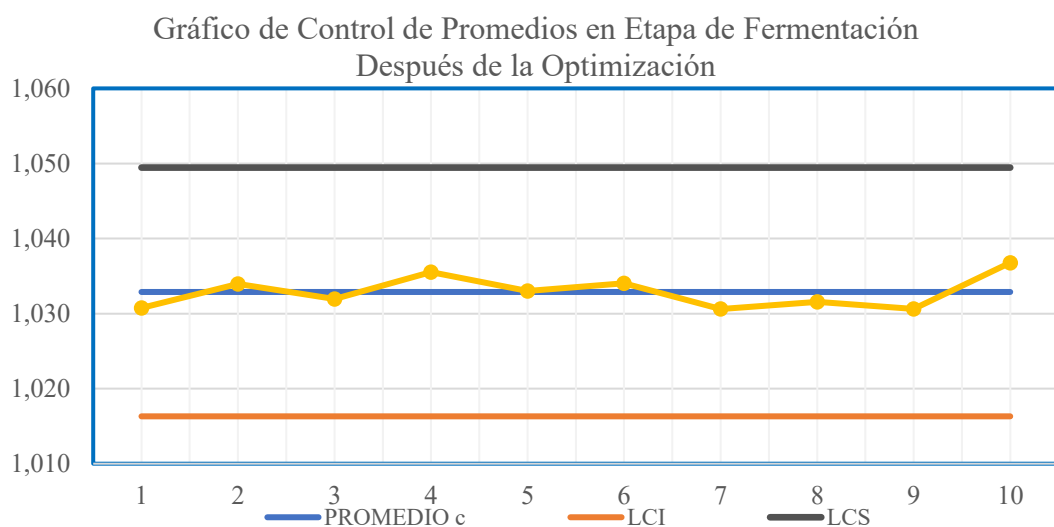


Gráfico 35 Promedios del proceso de fermentación después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Todas las mediciones de densidad se mantienen dentro de estos límites, lo que indica que el proceso se encuentra bajo control y no hay valores fuera de especificación, y la línea de tendencia central es de 1.033 g/cm³.

Deduciendo que se demuestra que el sistema de medición y control está funcionando correctamente, asegurando que las variaciones en la densidad de las muestras estén dentro de los parámetros aceptables en el proceso de cocción se presentan el promedio de las densidades después de la optimización

Así también, en el gráfico 36, de los (LC), en el proceso de fermentación se presentan el rango de las densidades después de la optimización en donde se evidencian que las líneas del (LCI) posee un valor de 0.0030 g/cm³ y las líneas del (LCS) cuyo valor es 0.0761 g/cm³.

Gráfico de Control de Rangos en la Etapa de *fermentación*
Después de la Optimización

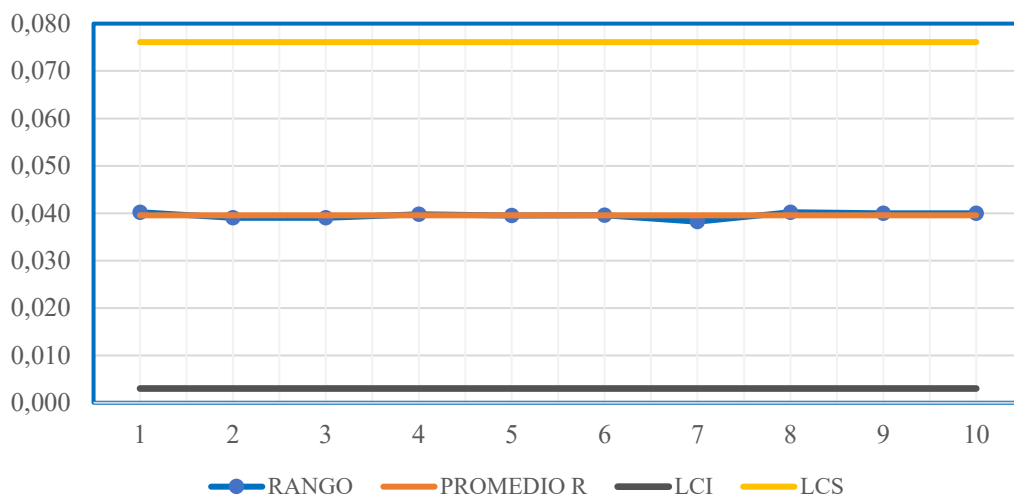


Gráfico 36 Rango del proceso de fermentación después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Los límites representan los valores dentro de los cuales los datos están bajo control y donde la línea de tendencia central en el gráfico representa el promedio de los datos cuyo valor es 0.040 g/cm³.

Asimismo, en los pictogramas comparativos del gráfico 37, se lleva a cabo un análisis de los promedios y rangos en las gráficas de control correspondientes a los procesos de fermentación, tanto antes como después de la automatización. Donde el estudio conlleva a analizar y comprender cómo varían las densidades durante la producción de cerveza artesanal y evaluar el impacto de la automatización en la estabilidad

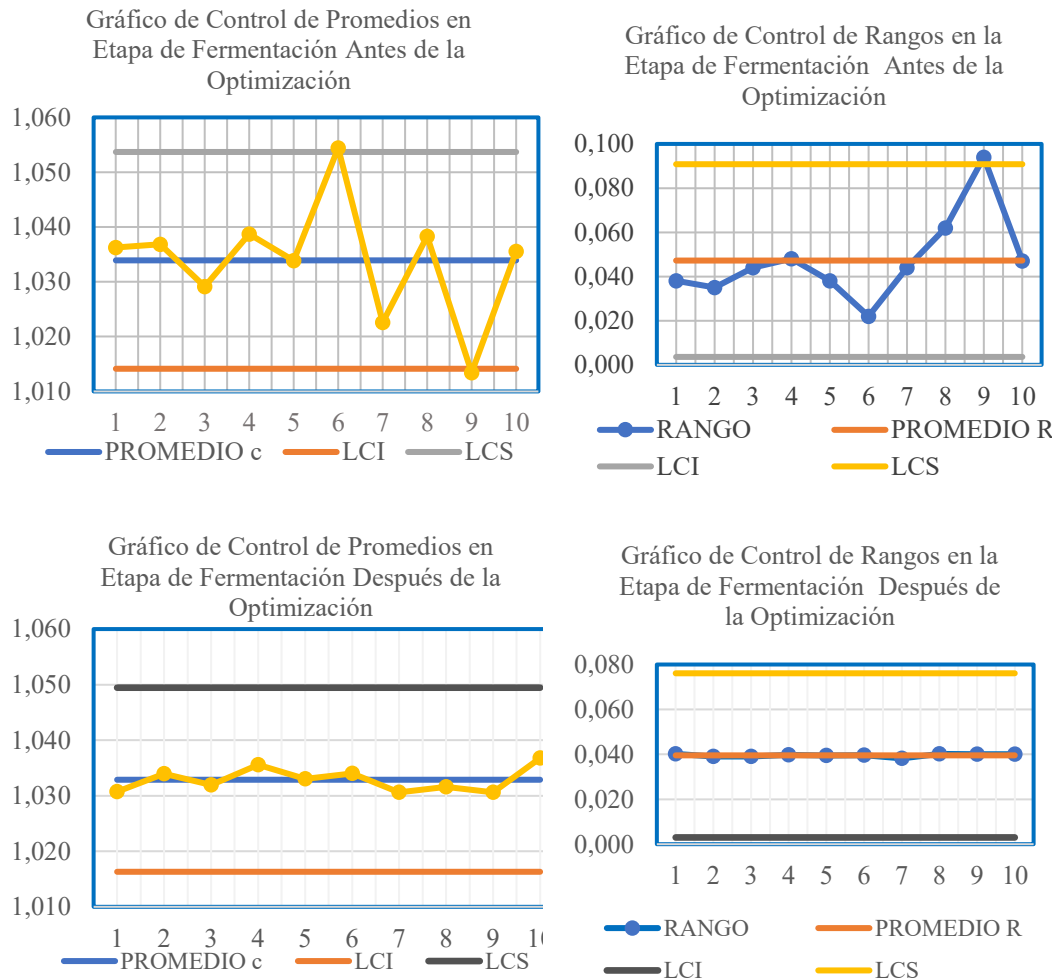


Gráfico 37 Pictogramas de comparación de promedios y rangos de los gráficos de control de los procesos de fermentación antes y después de la automatización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Antes de la optimización, el gráfico de control de promedios muestra una notable variabilidad en los valores de densidad, en donde las fluctuaciones constantes

indican que el proceso de fermentación era inestable, lo que sugiere que existían factores no controlados que afectaban la uniformidad de la densidad del producto.

Entre estos elementos se incluyen fluctuaciones en la temperatura, tiempos de fermentación inconstantes, o incluso variaciones en la composición del mosto. Además, el gráfico de control de rangos también indica valores altos, lo que apoya la noción de que el procedimiento carecía de un control efectivo, resultando en una mayor inestabilidad y variabilidad durante la fermentación.

A pesar de, tras los procesos de automatización del procedimiento, los gráficos muestran una notable mejora. En el gráfico de promedios, se puede ver que la dispersión de los datos ha disminuido de manera significativa, y los valores de densidad son ahora mucho más uniformes y cercanos a la media.

Las mediciones se encuentran dentro de los límites de control establecidos, lo que sugiere que el proceso de fermentación se ha tornado más estable y predecible, y estos cambios también se reflejan en el gráfico de rangos, donde se nota una reducción considerable en la variabilidad.

Los valores más homogéneos indican una mejora en el control del proceso, lo que garantiza una mayor precisión y consistencia en cada lote.

Posteriormente, en el análisis de la Prueba Estadística se evidencian, que el estudio se complementa con el enfoque del análisis, se presenta el Gráfico 38, correspondiente a las Cartas de Control de Valores Individuales (I-MR) de la Densidad en los 7 días del proceso de fermentación, tanto en la condición “Antes” como “Después” de la implementación del sistema automatizado.

Las gráficas ofrecen una perspectiva más clara y detallada sobre la estabilidad de cada medición individual de densidad al concluir el proceso de maceración. En particular, se elaboraron a partir de los datos de densidad final registrados, lo que permite una evaluación precisa del comportamiento del proceso.

La comparación entre ambas gráficas resalta los efectos positivos de haber implementado el sistema automatizado, evidenciando una mejora notable en la consistencia y el control, así como una mayor estabilidad en los valores obtenidos.

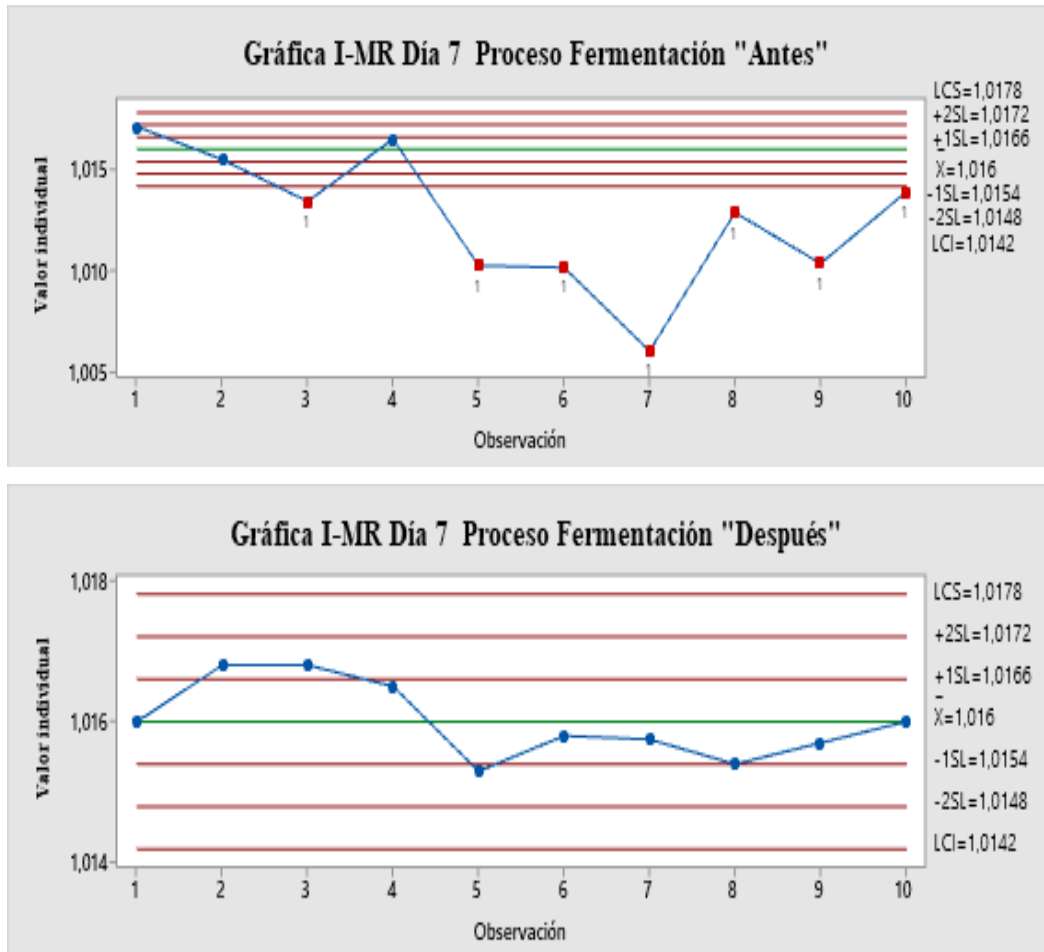


Gráfico 38 Densidad del día 7 del proceso de fermentación: Control de Valores Individuales (I) “Antes” y “Después” de la Optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

La comparación de las cartas de control de valores individuales (I) relacionadas con el proceso de fermentación, tanto antes como después de implementar el sistema automatizado, muestra claramente una mejora significativa en la estabilidad del proceso. Este análisis pone de manifiesto una disminución en la variabilidad de las mediciones, lo que sugiere un mejor control y uniformidad en las condiciones operativas.

Así, la automatización no solo mejoró la supervisión en tiempo real, sino que también ayudó a mantener los parámetros del proceso dentro de los límites establecidos, lo que a su vez refuerza la calidad y confiabilidad del producto final. En el estado "Antes", previamente analizado en el capítulo 2, se detectaron siete

puntos fuera de control, en las muestras 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10; generado un 70% de las muestras alejadas del valor objetivo de densidad (1.016 g/cm³), lo que refleja una alta variabilidad.

Tras la mejora, como muestra la carta "Después", no se evidencian puntos fuera del control estadístico según la Prueba Estadística, considerando que se produjo una reducción del 0%, en proporción a las muestras fuera del rango objetivo. Por ende, el sistema automatizado ha contribuido a estabilizar el proceso de maceración, disminuyendo la variabilidad y acercando los resultados al valor deseado.

Así también en la tabla 51, se analiza el porcentaje de alcohol por volumen (% ABV), considerando los promedios y los rangos en la variación de las muestras la como se evidencia de la siguiente a continuación:

Tabla 51 Cálculos de los promedios y rangos del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV)

PROMEDIO (% ABV)	RANGO (% ABV)	LCI [X-A ₂ R] (% ABV)	LCS [X+A ₂ R] (% ABV)	LCI [D ₃ R] (% ABV)	LCS [D ₄ R] (% ABV)
5.22	0.14	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.21	0.20	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.22	0.21	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.21	0.25	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.18	0.16	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.18	0.23	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.19	0.23	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.19	0.20	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.22	0.22	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675
5.16	0.23	5.1342	5.2616	0.0461	0.3675

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

En la tabla 51, se analiza los valores promedio del porcentaje de alcohol oscilan entre 5.16% y 5.22%., en donde la variabilidad sugiere que, en general, el proceso de producción mantiene un control constante sobre el contenido de alcohol. Las fluctuaciones en los promedios son mínimas, lo que indica que, aunque existen pequeñas diferencias, el proceso está bajo control y dentro de los parámetros aceptables.

Los rangos de variabilidad en los datos del % ABV, oscilan entre 0.14 y 0.25%. Aunque existe una variación, el rango no es tan amplio como para generar

preocupaciones sobre la estabilidad del proceso. Sin embargo, hay una pequeña tendencia hacia una mayor dispersión en algunos casos, como se observa en los valores de 0.25%. Este comportamiento podría estar relacionado con pequeñas variaciones en factores operativos, como la temperatura o la fermentación, que afectan levemente el resultado final del producto.

En el gráfico 39, en los límites de control inferior (LCI) y superior (LCS), de los de promedios del proceso del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) después de la optimización se encuentran entre 5.1342% y 5.2616%, lo que establece un margen estrecho dentro del cual el % ABV debe mantenerse.

Gráfico de Control de Promedios del % ABV Después de la Optimización

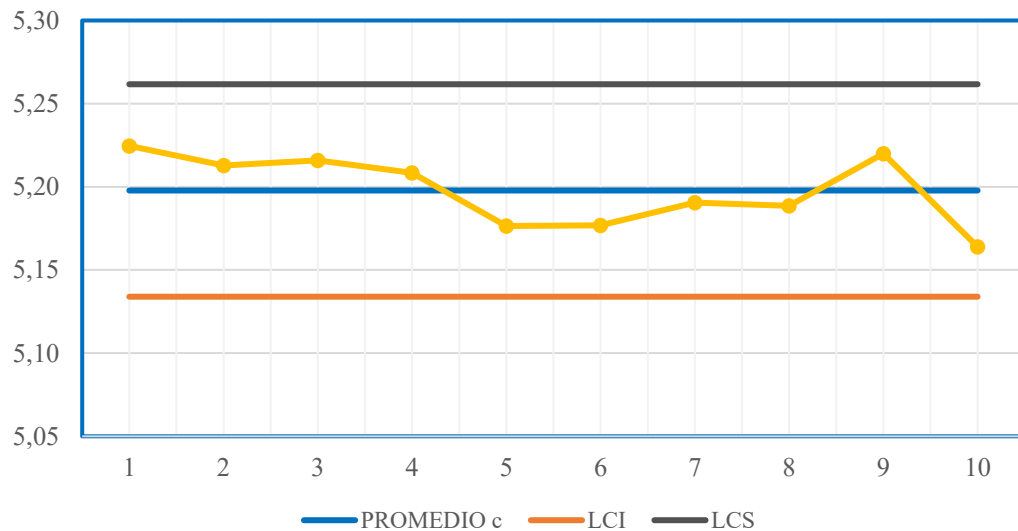


Gráfico 39 Control de promedios del proceso del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

El hecho de que todos los valores de % ABV caigan dentro de este rango demuestra que el proceso de producción está siendo controlado adecuadamente, ya que no se observa ninguna medición fuera de los límites permitidos.

En el gráfico 40, se evidencia la diferencia entre el (LCI) y el (LCS), de los magos del proceso del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) después de la

optimización se encuentran 0.0462% y 0.3685% respectivamente, lo que sugiere que el proceso de producción tiene un control preciso sobre el % ABV.

Gráfico de Control de Rangos del % ABV Después de la Optimización

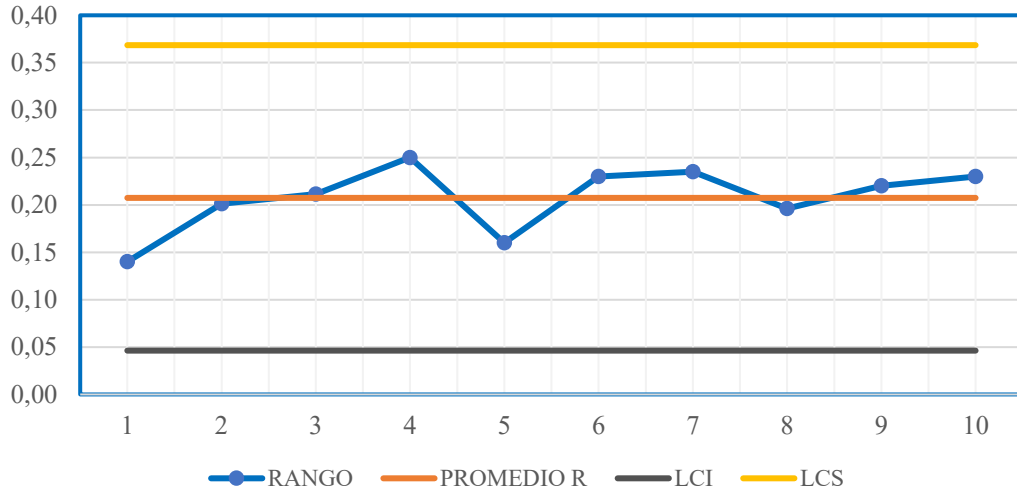


Gráfico 40 Control de rango del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) después de la optimización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

Por lo tanto, el limitado rango de cambio es ideal para conservar la calidad de la cerveza conforme a los parámetros fijados, garantizando que el nivel de alcohol se mantenga uniforme de un lote a otro.

Gráfico de Control de Promedios del % ABV Antes de la Optimización

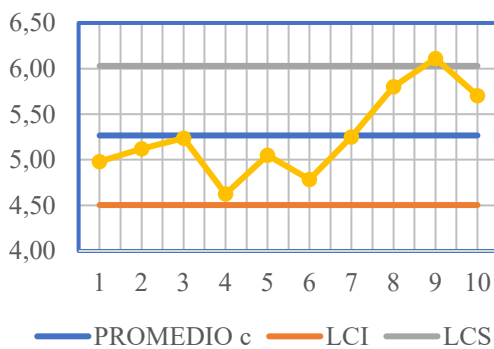
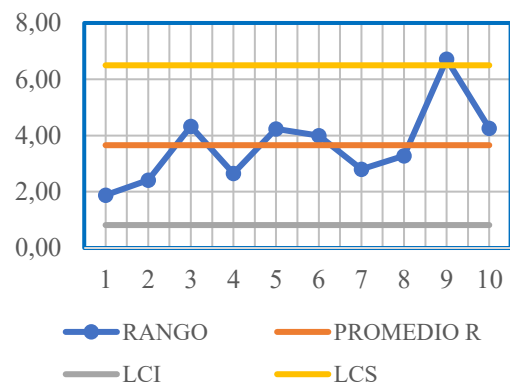


Gráfico de Control de Rangos del % ABV Antes de la Optimización



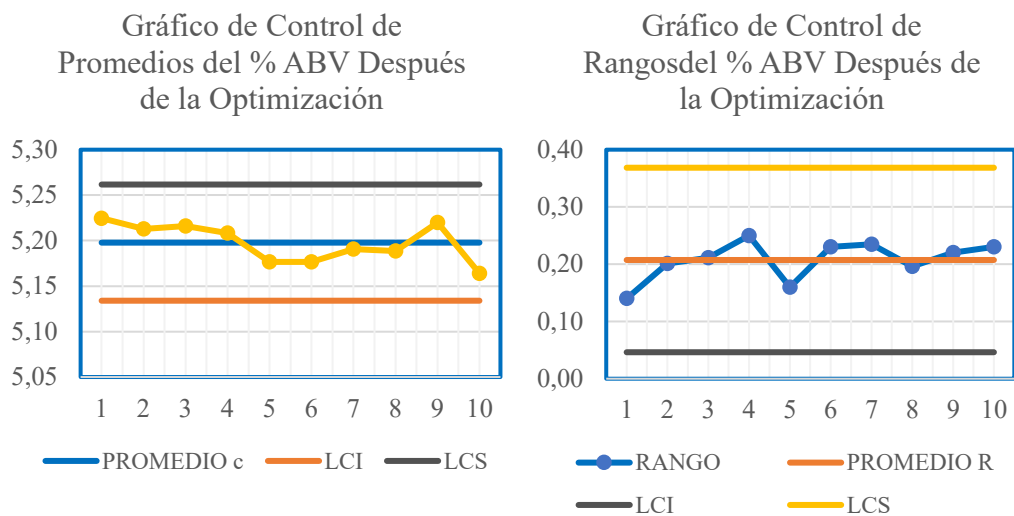


Gráfico 41 Pictogramas de comparación de promedios y rangos de las gráficas de control de los procesos de rango del porcentaje de alcohol por volumen (% ABV), antes y después de la automatización

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

En los pictogramas de los gráficos 41, se muestran una alta variabilidad en los valores del % ABV, con fluctuaciones significativas en las muestras. Esto indica que el proceso de fermentación no estaba completamente bajo control, lo que podría haber sido causado por una serie de factores incontrolados, como la temperatura de fermentación, la duración de este proceso o las variaciones en los ingredientes utilizados.

Una vez que se llevaron a cabo las mejoras, los resultados evidencian un incremento notable en la estabilidad del proceso, en donde cada uno de los gráficos de control de promedios muestra una disminución significativa en la variabilidad, con valores mucho más consistentes que se alinean dentro de los límites de control establecidos.

En la disminución de las dispersiones señalas en el proceso de fermentación conlleva a indica que se encuentra mejor regulado y es más predecible, lo que ha resultado en una producción más exacta del porcentaje de alcohol en cada muestra.

La exactitud asegura que el contenido de alcohol permanezca constante y dentro de los parámetros deseados, algo que es esencial para garantizar una calidad uniforme del producto.

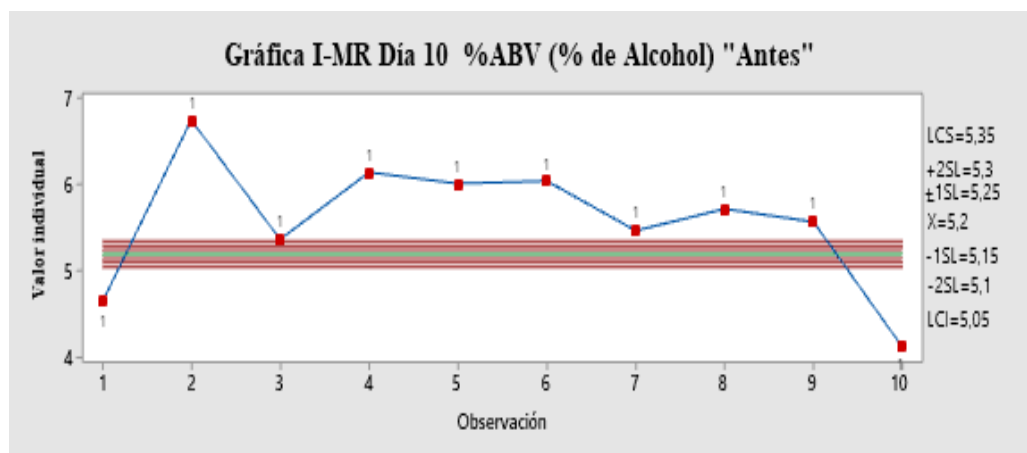
Además, en los gráficos de control de rangos se observa también una reducción notable en la variabilidad, lo que refuerza la percepción de que el proceso es ahora más estable y menos vulnerable a fluctuaciones inesperadas.

La menor variabilidad en el rango sugiere que los controles establecidos en el proceso de fermentación han sido efectivos, asegurando que los lotes de cerveza conserven características más homogéneas, lo que es crucial tanto para la calidad del producto como para la satisfacción del consumidor.

De igual forma, mediante el análisis de la Prueba Estadística se evidencian, que el estudio se complementa con el enfoque del análisis, se presenta el Gráfico 42, correspondiente a las Cartas de Control de Valores Individuales (I) de la Densidad Final (T = 60 min) del proceso de cocción, sobrellevando a tener una comparación “Antes” como “Después” de la implementación del sistema automatizado.

En las gráficas ofrecen una visión más detallada de la estabilidad de cada medición individual de densidad al finalizar la cocción. En particular, las gráficas fueron construida con los datos de densidad final registrados.

La comparación entre ambas permite evidenciar los efectos positivos del sistema automatizado sobre la consistencia y el control del proceso, mostrando una mejora en la estabilidad de los valores individuales.



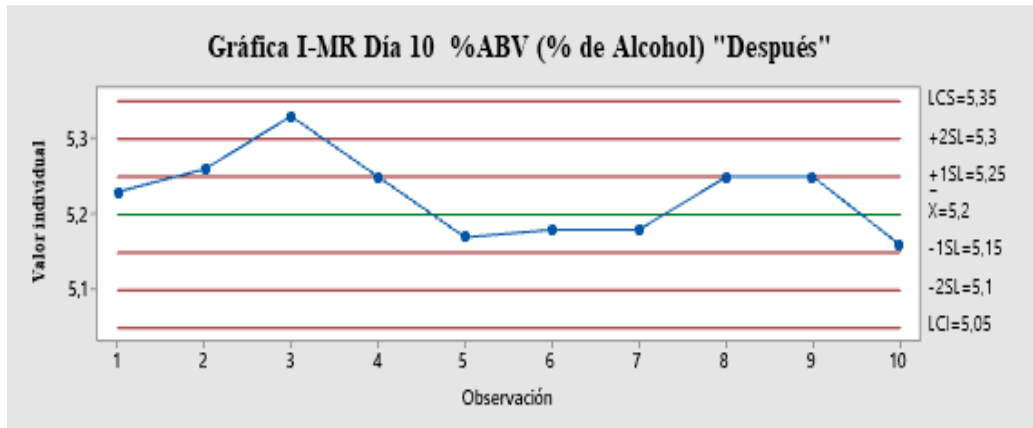


Gráfico 42 Control de Valores Individuales (I) del % de Alcohol (Día 10) "Antes" y "Después" de la optimización.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

La comparación entre las cartas de control de valores individuales (I) del % de Alcohol en el Día 10, antes y después de la implementación del sistema automatizado, evidencia una mejora significativa en la estabilidad del proceso.

En el estudio del % ABV, antes previamente analizado en el capítulo 2, se detectaron que las 10 muestras de los puntos de dispersión se encuentren fuera de control, entonces se genera un 100% de deficiencia considerando que el objetivo de estandarización es de 5.20% ABV, lo que refleja una muy alta variabilidad.

Posteriormente, a la mejora, como se evidencia en la carta de análisis del después, dentro del sistema de control en donde según la Prueba Estadística (Minitab), sin tener las violaciones de los límites de control. Además, se redujo al 0% la proporción de muestras fuera del rango objetivo, Por ende, el sistema automatizado ha logrado estabilizar el proceso a los estándares de calidad finales del 5.20% ABV.

Además, en el programa del Minitab, se establece las Desviaciones Estándar Individuales del % de Alcohol Antes y Después de la mejora considerando su eficiencia en los promedios y rangos del estudio se pueden visualizar en la figura 27.

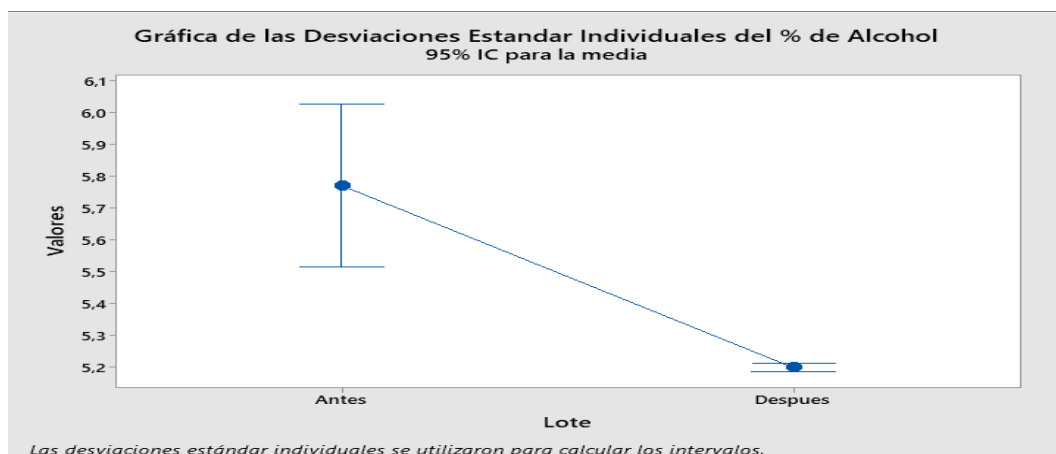


Figura 27 Desviaciones Estándar individuales del porcentaje de alcohol, Antes y Después de la Optimización del Proceso.

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

A continuación, en la Tabla 52, se presentan los porcentajes de mejora en los promedios y rangos para cada uno de los procesos analizados, incluyendo maceración, cocción, enfriamiento, fermentación y % ABV.

Para cuantificar la mejora obtenida en la estabilidad del proceso, se utilizó las fórmulas de *Introduction to Statistical Quality Control* de Montgomery (2020), que establece cómo calcular la mejora en la variabilidad y la estabilidad del proceso.

$$\text{Porcentaje de mejora de los promedios} = \frac{\bar{x}_{\text{antes}} - \bar{x}_{\text{después}}}{\bar{x}_{\text{antes}}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$\text{Porcentaje de mejora de los rangos} = \frac{R_{\text{antes}} - R_{\text{después}}}{R_{\text{antes}}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Tabla 52 Porcentaje de Mejora en los Promedios y Rangos de los Procesos de Elaboración de Cerveza

Proceso	Promedio Antes	Promedio Después	% Mejora en Promedio	Rango Antes	Rango Después	% Mejora en Rango
Maceración gr/cm ³	1.028	1.030	0.25	0.035	0.032	9.89
Cocción gr/cm ³	1.053	1.051	0.20	0.019	0.008	58.42
Enfriamiento °C	30.80	26.39	14.32	16.20	6.70	58.64
Fermentación gr/cm ³	1.036	1.033	0.26	0.040	0.050	26.52
%ABV (% alcohol)	5.76	5.19	9.75	3.655	0.214	94.15

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información de la optimización de la mejora en la empresa.

Los datos presentados en la tabla 50 indican avances notables en la estabilidad y en la disminución de la variabilidad de las densidades durante las etapas de maceración, cocción, enfriamiento y %ABV, lo cual favorece una mayor uniformidad en el producto final. La posibilidad de mejoras se manifiesta en los gráficos de control, que revelan una reducción en los rangos de variación de los parámetros esenciales.

Las mejoras observadas en los promedios han llevado a una disminución significativa en la variabilidad, lo que sugiere un control y una uniformidad superiores en los procesos. En particular, el proceso de cocción muestra una reducción notable del 58.42% en su rango, lo que señala un proceso más consistente.

De igual manera, en el proceso de enfriamiento presentando una mejora en el promedio del 14.32% y una disminución del 58.64% en el rango, lo que indica una mayor eficiencia y estabilidad en esta etapa. Y, por último, en el %ABV, se observa una disminución del 9.75%, ajustando el contenido alcohólico del 5.76% al 5.19% acercándose al valor óptimo de 5.20% ABV, manteniendo una eficiencia de mejora continua del 99,85%, tal como se evidencia en la tabla 52.

Tabla 53 %ABV después de la optimización

	%ABV	% de mejora
Antes de la optimización	5.76	90.10%
Después de la optimización	5.19	99.85%
Ideal	5.20	100%

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

En resumen, las mejoras implementadas en los procesos de maceración, cocción, enfriamiento, fermentación y % ABV, han logrado una reducción significativa de la variabilidad, lo que ha conducido a una mayor estabilidad y control del proceso de producción. Los resultados obtenidos muestran una mejora notable en la consistencia del producto final, garantizando un contenido alcohólico más preciso y estable dentro de los parámetros deseados.

Por consiguiente, el aumento en la variabilidad del proceso de fermentación indica la necesidad de realizar ajustes adicionales para optimizar completamente esta

etapa, lo que permitirá alcanzar una calidad aún más homogénea y constante en los lotes de producción.

Resumen de los resultados obtenidos

En tabla 54, se desarrolla el resumen de los resultados esperados mediante los análisis estadísticos en el programa de la Prueba Estadística, se evidenciará la eficacia de la optimización de manera estadística en cada uno de los procesos analizados maceración, cocción, enfriamiento, fermentación y % ABV.

Tabla 54 Resumen de la mejora Antes y después de la optimización de los Procesos de Elaboración de cerveza

Parámetros del Proceso	Antes	Ideal	Fuera de Rango	Diferencia Antes	% de eficacia	Después	Fuera de Rango Después	Diferencia Después	% de Eficacia	% de Eficiencia
Maceración gr./cm ³	1,045	1,047	60%	0,0020	99,81 %	1,048	20%	0,0010	99,90 %	66,67 %
Cocción gr./cm ³	1,063	1,055	60%	0,0080	99,24 %	1,056	0%	0,0010	99,91 %	100,00 %
Enfriamiento °C	27	26	40%	1,0000	96,15 %	26,4	30%	0,4000	98,46 %	25,00 %
Fermentación gr./cm ³	1,013	1,016	70%	0,0030	99,70 %	1,016	0%	0,0000	100,0 %	100,00 %
% ABV (% de Alcohol)	5,76	5,20	100%	0,5600	89,23 %	5,19	0%	0,0100	99,81 %	100,00 %
Total			66,00 %		96,83 %				99,62 %	78,33 %

Nota: Elaborado por el investigador a partir de la información data de la optimización de la mejora en la empresa.

El análisis del porcentaje de eficiencia se calcula mediante las ecuaciones 2 y 3 expresadas anteriormente, considerando la diferencia absoluta del valor ideal con el valor de antes entre el valor ideal, lo que se logra obtener los valores de eficiencia antes y después de la optimización.

De igual forma para el cálculo del % de la eficiencia de los procesos se considera los datos obtenidos de la prueba estadística considerados como fuera de rangos antes y después para la cual se aplica las ecuaciones antes expuestas para el cálculo porcentual.

Por consiguiente, el análisis comparativo de los parámetros del proceso productivo antes y después de implementar el sistema automatizado, con datos críticos de cada proceso y el promedio de estos, en donde se observa una notable mejora en la eficiencia general, que ha pasado del 96,83% al 99,62%. Aunque la diferencia

porcentual puede parecer mínima, en realidad refleja una optimización significativa en términos de precisión, estabilidad y control de calidad.

Los avances más destacados se registraron en la fermentación y el contenido alcohólico, donde se alcanzó una eficacia del 100%, eliminando desviaciones anteriores y superando los límites de alerta. Asimismo, la cocción también ha mostrado un progreso notable, con una considerable reducción en su variabilidad.

En cuanto a la maceración, aunque ha mejorado su estabilidad, aún presenta ligeras variaciones. Por su parte, el enfriamiento fue el parámetro que menos progreso experimentó, con una mejora modesta en eficacia y una reducción limitada en su porcentaje fuera de rango.

En términos generales, las condiciones fuera de rango se han reducido drásticamente, pasando del 66% al 14%, después de la optimización. Este 14% resulta de aplicar la mejora del 78.33% al porcentaje inicial fuera de rango ($66\% \times (1-0.7833) \approx 14\%$), lo que representa una significativa reducción en la variabilidad del proceso y demuestra el impacto positivo de las mejoras implementadas en la estabilidad y el cumplimiento de los parámetros críticos de elaboración.

Visualización en ThingSpeak

A través de ThingSpeak, se puede evidenciar los datos generados por los sensores implementados en un sistema de control automático pueden ser representados en gráficos dinámicos, facilitando el análisis y la toma de decisiones en tiempo real. En donde se visualiza en que permite identificar tendencias, detectar anomalías y ajustar parámetros operativos para optimizar el desempeño del sistema.

En la figura 29, se observa los pictogramas en representación del tiempo real de los datos obtenidos por los sensores instalados en el sistema de control automático. La interfaz gráfica muestra valores actualizados periódicamente, lo que proporciona una visión clara del comportamiento del sistema y permite evaluar la respuesta de los sensores ante distintos estímulos.

Esta funcionalidad es clave en aplicaciones industriales, domóticas y en proyectos de IoT (Internet de las Cosas), donde la automatización y el monitoreo remoto son esenciales para garantizar la seguridad y el rendimiento óptimo de los procesos.



Figura 28 Indicadores ThingSpeak en tiempo real

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

En el primer epígrafe, se presenta cómo varía el nivel de agua en litros con el tiempo, mostrando cambios con picos y caídas en diferentes momentos. Esto sugiere que el sistema ajusta la cantidad de agua de forma intermitente, posiblemente a través de un control automático que responde a las necesidades del proceso específico.

Por otro lado, el segundo epígrafe describe el nivel del líquido durante la optimización de la cerveza, el monitoreo y optimización del caudal de agua en el chiller desempeña un papel crucial en la eficiencia del proceso de enfriamiento en la producción cervecera.

En donde el flujo de agua que se está midiendo corresponde exclusivamente al caudal de ingreso al chiller, el cual no influye directamente en la eficiencia de la producción de cerveza, sino en la eficacia del enfriamiento. Un control preciso de este parámetro permite asegurar un proceso térmico estable, lo que impacta en la calidad y consistencia del producto final.

En lo que respecta al pictograma del Campo 3, este ilustra el caudal del líquido medido en litros por minuto (L/min). Se evidencia un aumento repentino en el flujo, seguido por una estabilización con pequeñas variaciones. Por esta razón, el comportamiento indica que el sistema realiza ajustes automáticos para mantener un flujo persistente, asegurando así una producción eficiente de cerveza.

El pictograma correspondiente al Campo 4 se centra en la temperatura del sistema, expresada en grados Celsius (°C). Se observa un incremento abrupto al inicio, tras el cual la temperatura permanece bastante estable con ligeras fluctuaciones. Esto sugiere que el sistema puede mantener la temperatura en un rango controlado, lo cual es crucial para asegurar condiciones óptimas en la fabricación.

Además de las gráficas, se incluyen que, tras la mejora implementada, el caudal necesario para alcanzar una temperatura final de 26 °C es de 13.05 L/min. En donde el dato debe ser verificado directamente en el archivo para validar la consistencia de los registros y corroborar la eficiencia del proceso

La visualización de datos en la plataforma ThingSpeak, conlleva a ser la herramienta permite monitorear en tiempo real las variables clave del sistema, lo que facilita la supervisión continua y el ajuste de los parámetros de operación.

A través de esta información, es posible no solo optimizar el consumo de agua en el chiller, sino también emplear los datos recopilados para realizar cálculos adicionales, como la densidad final de la fermentación, considerando la temperatura

a la que concluye dicho proceso, en consideración se evidencia la fluctuación de los datos tal como se puede observar en el Anexo. 4.

Evaluación de la ejecución

Análisis estadístico

En el presente estudio se plantea una hipótesis central basada en la premisa de que la implementación de un sistema automatizado en el proceso de producción de cerveza artesanal permitiría mejorar la estabilidad en la fermentación y, con ello, garantizar un grado de alcohol más homogéneo en cada lote.

La variabilidad en la fermentación es un desafío constante en la industria cervecera artesanal, ya que factores como la temperatura, y la oxigenación del mosto, entre otros, pueden influir significativamente en el resultado final. En este contexto, las hipótesis formuladas para evaluar el impacto de la mejora en el %ABV son las siguientes:

- **H₀ (nula):** no hay diferencia significativa en el %ABV antes y después de la mejora ($\mu_1 = \mu_2$).
- **H₁ (alternativa):** hay diferencia significativa en el %ABV antes y después de la mejora ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Para aplicar la prueba t -welch para dos muestras independientes se debe cumplir con 2 requisitos, los datos deben seguir una distribución normal y se debe realizar un análisis de varianzas para determinar si son similares – homogéneas.

Comprobación de normalidad

En el cálculo de la normalidad se utiliza el método de Kolmogórov-Smirnov (KS) para evaluar si un conjunto de datos sigue una distribución normal antes de realizar análisis estadísticos que requieren esta suposición.

Dicha prueba no solo determina si los datos se ajustan a una distribución normal, sino que también compara la distribución empírica de la muestra con una distribución teórica esperada.

El resultado de la prueba indica la diferencia máxima entre ambas distribuciones y, si esta diferencia es significativa, se rechaza la hipótesis de normalidad.

Las hipótesis para la prueba de Kolmogórov-Smirnov son:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos siguen una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no siguen una distribución normal.

Para el nivel de significancia de $\alpha=0,05$ y un tamaño de muestra mayor a 40, el valor crítico del estadístico se obtiene aplicando la fórmula:

$$D\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}} \quad (\text{Sarasola, Josemari, 2021}) \text{ Ecuación 4.}$$

Donde $n = 100$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$D\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{100}} = \frac{1.36}{10} = 0.136$$

Este valor crítico se obtiene a partir de la tabla de Kolmogórov-Smirnov (Sarasola, Josemari, 2021).

En la tabla 55, el análisis de la prueba de Kolmogórov-Smirnov (KS) muestra que el estadístico calculado es (0.0444) es menor que el valor crítico (0.136), no se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que los datos analizados no presentan evidencia suficiente para descartar la normalidad, en los datos tomados de la tabla del Anexo 5,

Tabla 55 Calculo de KS del %ABV antes de la mejora de la optimización

Estadístico KS	0.04440942
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	100
Estadístico tabla	0.136
RESULTADO	SE ACEPTA H_0

Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

En otras palabras, se acepta que los datos siguen una distribución normal según el resultado de la prueba KS, lo que valida su uso para aplicar pruebas estadísticas posteriores que requieran esta suposición, según se observa en la figura 29.

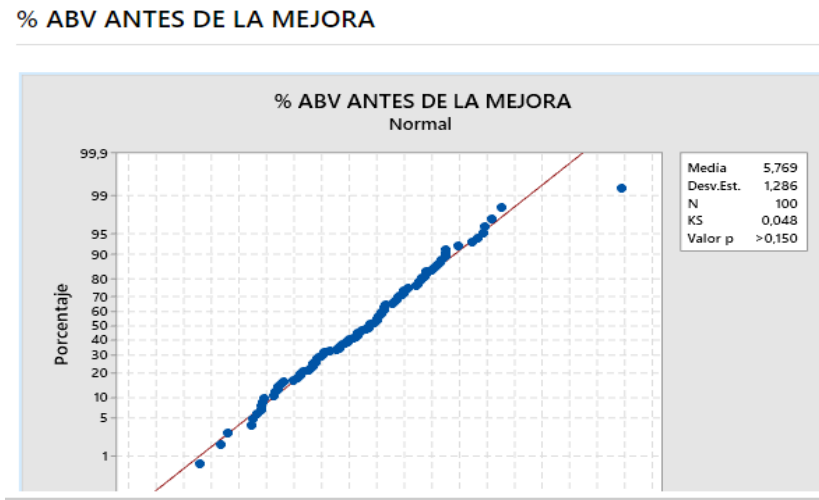


Figura 29 Distribución normal del %ABV antes de la mejora de la optimización
Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

En la tabla 56, se evidencia el análisis de la prueba de KS para el %ABV después de la mejora. Se observa que el estadístico calculado es 0.1095, el cual se compara con el estadístico de la tabla. Este valor crítico, obtenido a partir de la tabla de Kolmogórov-Smirnov, cuyo valor es 0.136 para un nivel de significancia de 0.05 y con 100 grados de libertad (Sarasola, Josemari , 2021).

Con estos resultados, se indica que no se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que no hay suficiente evidencia para afirmar que los datos se desvían de una distribución normal.

Tabla 56 Calculo de KS del %ABV después de la mejora

Estadístico KS	0.10951627
Nivel de significancia	0.05
Grados de libertad	100
Estadístico tabla	0.136
RESULTADO	SE ACEPTA H₀

Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

Por lo tanto, se acepta que los datos del %ABV después de la mejora siguen una distribución normal. Este resultado refuerza la confiabilidad del análisis y valida la normalidad de los datos para la aplicación de pruebas estadísticas adicionales.

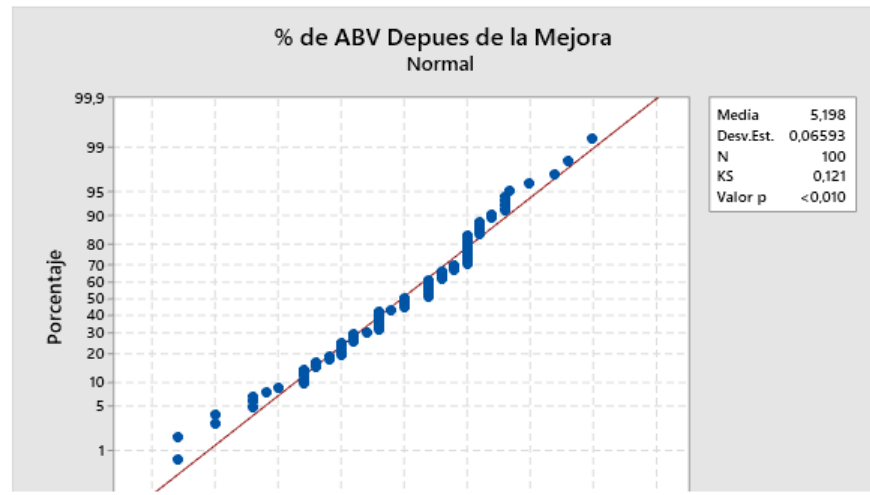


Figura 30 Distribución normal del %ABV después de la mejora de la optimización
Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

Comprobación de varianzas similares prueba de Bartlett

La prueba de Bartlett se utiliza para evaluar si las varianzas de las dos muestras son homogéneas. Esta prueba verifica si las varianzas son iguales, lo cual es fundamental para realizar comparaciones entre grupos, como en el caso de comparar el porcentaje de alcohol por volumen (%ABV) antes y después de la optimización del proceso. A continuación, se aplica la fórmula correspondiente.

$$\chi^2 = \frac{(N - k) \ln(S_p^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(S_i^2)}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N - k} \right)}$$

Ecuación 5.
(Arsham, 2020)

En la siguiente tabla 57, se presenta el análisis de la prueba de Bartlett, utilizada para evaluar la homogeneidad de las varianzas en distintas muestras. Durante este análisis, se calculan los principales estadísticos, como el valor de la prueba de Bartlett, los grados de libertad y el valor p, con el propósito de contrastar las hipótesis sobre la igualdad de las varianzas:

- Hipótesis nula (H₀): Las varianzas de ambas muestras son iguales.
- Hipótesis alternativa (H₁): Las varianzas de ambas muestras son diferentes.

Tabla 57 Cálculo de la aplicación de la formula para la prueba de Bartlett

Variab	Valores	Calculado
S_i² (Varianza de cada muestra)	1.65451446	0.0043472
n_i (número de datos de cada muestra)	100	100
N (Numero de datos de todas las muestras)	200	
k (número de muestras)	2	
(n_i - 1) S_i²	163.796931	0.43037286
N - k	198	
$S_p^2 = \frac{1}{N - k} \sum_i (n_i - 1) S_i^2$	0.82943083	
ln (S_p²)	-0.18701556	
(n_i - 1) ln (S_i²)	49.8472511	-538.384096
∑ (n_i - 1) ln (S_i²)	-488.536845	
Numerador	451.507764	
1/(3*(k-1))	0.33333333	
1/ (n_i - 1)	0.01010101	0.01010101
∑ 1/ (n_i - 1)	0.02020202	
1/ (N - k)	0.00505051	
Denominador	1.00505051	
Estadístico de prueba X²	449.23888	
Calcular el p - valor	1.056E-99	

Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

El análisis de los resultados de la Tabla 55, obtenidos mediante la prueba de Bartlett para evaluar la homogeneidad de varianzas entre dos muestras, muestra que el valor calculado del estadístico de prueba χ^2 es de 449.23888, mientras que el valor p asociado (DISTR.CHICUAD.CD) es 1.056×10^{-99} .

Dado que este valor p es considerablemente menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de 0.05, se rechaza la hipótesis nula, que establece que las varianzas de ambas muestras son iguales. En otras palabras, las varianzas entre las dos muestras son significativamente diferentes.

Este resultado implica que las muestras no presentan varianzas homogéneas, lo cual es un aspecto clave al seleccionar las pruebas estadísticas posteriores. Dado que la prueba t de Student para muestras independientes asume varianzas iguales, no sería apropiada en este caso. En su lugar, se recomienda la prueba t de Welch, que es más adecuada para situaciones en las que las varianzas son desiguales.

Prueba de t-welch

En la Tabla 58, se presenta la correlación de las variables del %ABV antes y después de la mejora mediante la optimización, utilizando la Prueba de t-Welch. Los resultados obtenidos muestran que la diferencia en los valores del %ABV antes y después de la optimización es estadísticamente significativa.

Tabla 58 Correlación de variables

Variable	Nº	Promedio	Desv Estándar	Varianza	t de student	P (valor)
(%ABV) Antes	100	5.769	1.286	1.655	4.435723	0.000023
(%ABV) Mejorado	100	5.198	0.066	0.004	4.435723	0.000023

Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

En la Tabla 58, se analiza esta correlación, donde se aplica el estadístico de la prueba t de Student, obteniendo un valor $t = 4.435723$ y un p-valor de 0.000023. Dado que el p-valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, que planteaba que no hay diferencia significativa en el %ABV antes y después de la mejora.

En su lugar, se acepta la hipótesis alternativa, lo que indica que existe una diferencia significativa en el %ABV antes y después de la mejora en el proceso de producción de la cerveza. En el Anexo 6 se incluye la información requerida para llevar a cabo los cálculos necesarios.

Evaluación Económica

La evaluación económica

La evaluación económica se los realiza mediante la planificación y control de costos en la implementación del presente proyecto del cronograma de actividades planificadas y ejecutadas que son fundamentales para garantizar su viabilidad, por ende, los recursos económicos se encuentran inmersamente ligadas a los costos por aquello es necesario evaluar tres indicadores clave que permiten medir el desempeño financiero en cada fase del proyecto.

- **Costo Total Planificado (CTP):** Este es el costo total planificado para cada fase.
- **Porcentaje Planificado de cada fase (PPF):** Dividimos el costo de cada fase entre el costo total de implementación y lo multiplicamos por 100 para obtener el porcentaje correspondiente a cada fase.
- **Costo Ejecutado (CE):** Esta columna reflejará los valores ejecutados. Aquí asumo que se va ejecutando el proyecto en su totalidad al final de cada fase, es decir, el costo ejecutado para cada fase es igual al costo planificado de esa fase en este caso.

La fórmula para obtener el porcentaje planificado de cada fase es:

$$PPF = \frac{\text{Costo Total de la fase}}{\text{Costo Total de implementación}} \times 100 \quad \text{Alvarado y Morín (2021), Ecuación 6.}$$

Ahora bien, la tabla 59, se presenta los valores planificados y ejecutados. Se asume que el costo ejecutado es igual al costo planificado hasta ese momento.

Tabla 59 Curva de “S” de los valores planificados y ejecutados

Fase	Duración en días	Planificado (%)	% Acumulado Planificado	Ejecutado (%)	% Acumulado Ejecutado	Costo Total Planificado (USD)	% costos Planificado	% costos Acumulados Planificados
Inicio		0	0	0	0	0	0	0
1. Diseño de Soluciones	68	23%	23%	20%	20%	\$380.00	46.91%	46.91%
2. Implementación de la Optimización	92	31%	54%	27%	47%	\$100.00	12.35%	59.26%
3. Pruebas y Ajustes	36	12%	66%	11%	58%	\$110.00	13.58%	72.84%
4. Capacitación del Personal	34	11%	78%	10%	68%	\$100.00	12.35%	85.19%
5. Puesta en Marcha y Seguimiento	42	14%	92%	13%	81%	50	6.17%	91.36%
6. Evaluación Final y Cierre	24	8%	100%	7%	88%	\$70.00	8.64%	100.00%
Total	296	100%		89%		810	100%	

Nota: Elaborado por el investigador a partir del análisis estadístico de los resultados del proyecto.

Análisis de la curva S

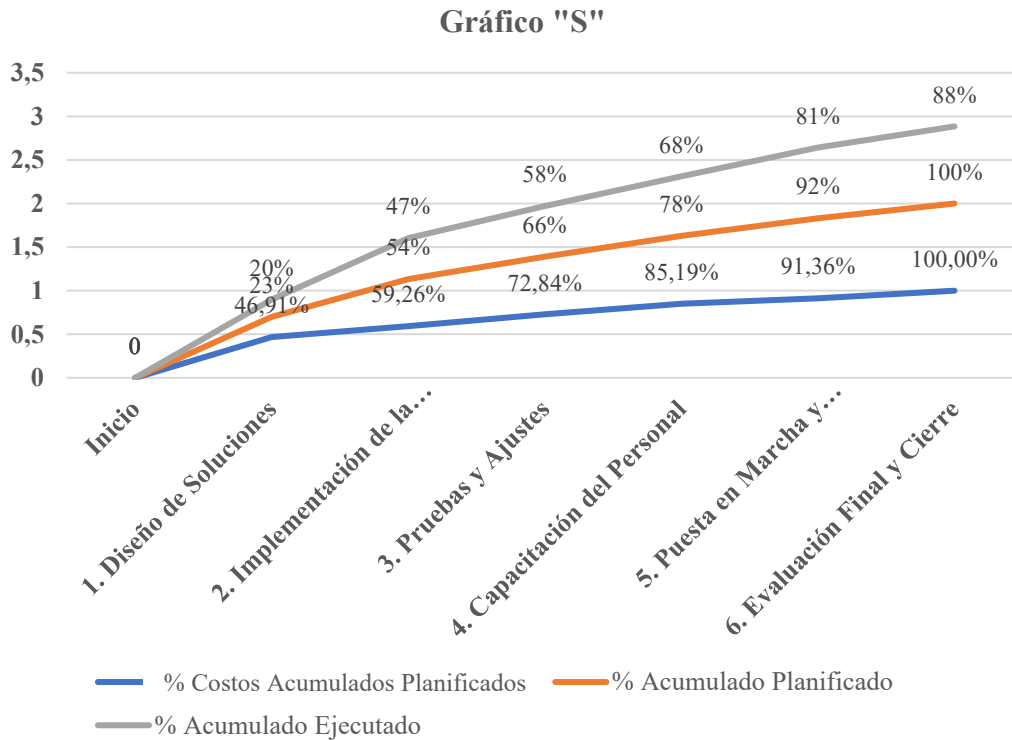


Gráfico 43 Curva de "S"

Nota: Elaborado por el investigador a partir de las actividades ejecutadas en el proyecto.

El avance programado sugiere que las etapas iniciales del proyecto, en particular el Diseño de Soluciones y la Implementación de la Optimización, están desarrollándose conforme a lo establecido o incluso con un leve retraso. Esto es común, ya que las etapas iniciales suelen requerir más tiempo debido a la planificación exhaustiva, la elección de recursos y la formulación de estrategias.

Es esencial señalar que la fase de pruebas y ajustes, así como la capacitación del personal, presentan pequeñas discrepancias entre el progreso planeado y el real, dado que podría reflejar retrasos o cambios inesperados, lo cual es habitual en esta etapa, donde pueden aparecer imprevistos o modificaciones en los procedimientos.

Respecto a los costos, la asignación parece estar en concordancia con lo previsto, aunque el avance real se encuentra un poco por debajo del avance planificado en la mayoría de las etapas. Esto puede deberse a que el trabajo en ciertas actividades puede haberse completado de manera más eficiente o lenta de lo previsto. Para

consultar el detalle y justificación de los costos propuestos en los valores planificados y ejecutados, ver Anexo 7."

Además, El total de acumulado ejecutado es del 89%, lo que se sugiere que el proyecto está cerca de completarse, pero podría haber alguna desviación en términos de tiempo o costos que deba ajustarse al final del proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Mediante la implementación del Análisis de Modo y Efecto de la Falla, se señalaron los elementos críticos en la producción de cerveza artesanal, tomando en cuenta las cualidades de calidad. Se estableció que las fases de pesar el agua y de enfriar el mosto tienen un riesgo elevado ($NPR \geq 100$). La evaluación de la línea de fabricación de cerveza artesanal en la entidad BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C. mostró variaciones en los procedimientos de maceración, cocción, enfriamiento y fermentación, lo que repercute en la calidad final del producto. Entre los descubrimientos más significativos se encuentran:

Maceración: Se halló un punto que excede los límites de control, con fluctuaciones en la densidad que varían entre 0.955 y 1.060 gr./cm³, lo que provoca inestabilidad en el porcentaje de alcohol final.

Cocción: Se identificaron dos puntos fuera de los límites de control (puntos 2 y 8), con densidades que varían entre 1.018 y 1.090 gr./cm³., generando variabilidad en las densidades finales, lo que afecta la fermentación y el contenido alcohólico del producto.

Enfriamiento: Se notó la fluctuación de la temperatura en los puntos 2, 6 y 9, los cuales superan los parámetros de control, saliendo del rango ideal de 20 a 30 °C.

Fermentación: Se notaron cambios en los puntos 6 y 7 que se acercan a los límites de control tanto superior como inferior, lo que sugiere una modificación en las densidades debido a variaciones en la temperatura de enfriamiento, afectando la eficacia de la levadura en la transformación de azúcares fermentables en alcohol.

El análisis permitió reconocer los principales elementos que impactan la calidad del producto, estableciendo las bases para crear estrategias de mejora en el proceso de producción.

- Los resultados del diagnóstico realizado en la línea de producción de cerveza artesanal en la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., se ha diseñado una propuesta de mejora que integra herramientas de Lean Manufacturing y tecnologías de Internet de las Cosas (IoT).

Las mejoras propuestas son las siguientes:

Maceración: Implementación de sensores de nivel de agua para garantizar la precisión en la cantidad utilizada en el proceso.

Enfriamiento: Instalación de un medidor de caudal para optimizar el flujo y mantener la temperatura dentro del rango de control.

Fermentación: Incorporación de un sensor de temperatura para monitorear y regular el proceso, asegurando condiciones óptimas para la levadura.

IoT: Integración de un sistema de monitoreo en tiempo real para verificar los datos de temperatura y caudal, permitiendo un mejor control y análisis del proceso.

La propuesta tiene un presupuesto estimado de \$1100.00 y un período de implementación de cuatro meses (noviembre 2024 - febrero 2025). Con estas mejoras, se espera reducir la variabilidad en las etapas críticas del proceso, mejorar la calidad del producto final y optimizar la eficiencia operativa de la empresa.

- La automatización del sistema de producción en BRANGUS CAVA COMPANY, a través de la combinación de elementos como el ESP32, Arduino, relés, termopares y sensores de flujo, ha facilitado una notable

optimización en el control y supervisión instantánea de variables esenciales, entre las cuales se incluyen la temperatura y el flujo de agua necesaria para el enfriamiento del mosto.

La adopción del sistema automatizado ha permitido un incremento en el porcentaje de alcohol, evidenciándose una reducción del 9.75% en el contenido alcohólico, ajustando el %ABV de 5.76% a 5.19%, acercándose al nivel ideal de 5.20% ABV, logrando una efectividad del 99.85% en el %ABV. Estos desarrollos han resultado en una mejora considerable en la calidad del producto final y han ayudado a disminuir los costos de operación.

Dicho progreso establece a BRANGUS CAVA COMPANY como un líder en innovación y calidad dentro del sector cervecero, permitiéndole responder a la creciente demanda mientras mantiene la esencia artesanal de la marca.

- La valoración de las mejoras introducidas en la línea de producción de BRANGUS CAVA COMPANY S. C. C, muestra que la efectividad de la implementación es notable mejora en la eficiencia general, que ha pasado del 96,83% al 99,62%., resultando ser un hallazgo excepcional, con un claro avance en precisión, control y eficiencia en los procedimientos.

Además, un valor agregado mediante la incorporación de un sistema de monitoreo en tiempo real que genera alertas por cualquier desviación de los parámetros fijados ha contribuido en gran medida a la elevación de la calidad del producto final y la eficiencia total de la producción. Con relación a los procesos específicos examinados, se obtuvieron los siguientes resultados:

Maceración: La mejora en el promedio fue de 0.25% y la reducción del rango de 9.89% demuestra una mayor consistencia y calidad uniforme en la cerveza elaborada.

Cocción: Aunque la mejora promedio es modesta con 0.20%, la drástica reducción en el rango de 58.42% señala que el proceso se ha vuelto más homogéneo y controlado.

Enfriamiento: Este proceso se destacó con una mejora promedio de 14.32% y una disminución del 58.64% en el rango, indicando un proceso más eficiente y estable, crucial para garantizar una fermentación adecuada y un producto final de alta calidad.

Fermentación: En este proceso, se registró una ligera mejora en el promedio de 0.26%, con un aumento del 26.52% en el rango.

%ABV: Se apreció una notable mejora en el control del contenido alcohólico, donde el promedio antes de la optimización era de 5.76%, con un porcentaje de mejora del 90.10%, y tras la optimización, se alcanzó un promedio de 5.19%, mostrando una mejora del 99.85%, lo que indica un control más preciso del porcentaje de alcohol, cuyo nivel ideal es de 5.20% ABV, resultando en una mayor uniformidad en la cerveza producida.

Las pruebas estadísticas realizadas han demostrado que las mejoras aplicadas en el proceso de producción de cerveza han sido efectivas y significativas.

Otro de los análisis realizados se centra en los niveles obtenidos en las pruebas de Kolmogórov-Smirnov (KS), Bartlett y t de Welch, que respaldan los hallazgos conseguidos en la optimización del método de elaboración de cerveza artesanal; en la evaluación de Kolmogórov-Smirnov (KS), los valores del estadístico KS antes y después de las mejoras fueron 0.0444 y 0.1095, respectivamente, y ambos se encuentran por debajo del valor crítico de 0.136.

En donde se valida la aceptación de la hipótesis nula, implicando que los datos siguen una distribución normal, lo que a su vez justifica el uso de pruebas paramétricas en el estudio.

En la Prueba de Bartlett, el estadístico de Bartlett (X^2) resultó ser 449.24, con un valor p de 1.056E-99 (0.0000), que es muy pequeño en relación con el umbral de 0.05. Así, se concluye que se rechaza la hipótesis nula, sugiriendo que las varianzas de las muestras son equivalentes, lo que señala que las mejoras aplicadas han disminuido la variabilidad en la mayoría de los procedimientos.

En la Prueba t de Welch: La prueba t de Welch registró un valor p de 0.000023, considerablemente inferior a 0.05. Esto lleva a descartar la hipótesis nula que sostiene que no hay diferencias significativas entre los promedios antes y después de la optimización. Por ende, se corrobora que las mejoras realizadas han tenido un efecto positivo y notable en el control del porcentaje de alcohol (%ABV).

Recomendaciones

- Se recomienda que los resultados y hallazgos obtenidos indican una necesidad apremiante de fortalecer las tácticas de mejora mediante un seguimiento constante del rendimiento de la línea productiva. Es crucial definir métricas clave de desempeño que faciliten la evolución continua de los métodos, descubriendo oportunidades que optimicen tanto la efectividad como la calidad del producto final.
- Se sugiere llevar a cabo un monitoreo constante y una calibración regular de los dispositivos de medición de temperatura y flujo para garantizar la exactitud y confiabilidad de los datos en tiempo real. También es vital establecer un plan de mantenimiento preventivo para los aparatos IoT, asegurando su funcionamiento eficaz y disminuyendo el riesgo de fallos.
- Asimismo, se recomienda seguir formando al personal en técnicas de mejora continua, optimización de procesos y manejo de tecnologías IoT, fomentando una cultura organizacional centrada en la eficacia y la calidad. Esto facilitará maximizar el efecto de las mejoras implementadas y garantizará la durabilidad del sistema de producción a largo plazo.
- Para mejorar la automatización en la línea de producción de BRANGUS CAVA COMPANY, se aconseja crear un programa de análisis predictivo basado en los datos del sistema de monitoreo IoT ya existente. Este sistema debe ser capaz de identificar patrones y prever cambios en la temperatura y el flujo antes de que ocurran, optimizando la respuesta ante posibles inconvenientes en el proceso. De igual forma, es fundamental validar con regularidad los sensores IoT, como los termómetros y los medidores de

flujo, para asegurar su corrección a largo plazo y mantener un rendimiento óptimo. Deben implementarse protocolos de calibración para garantizar que las mediciones se mantengan dentro de los límites establecidos, reduciendo así cualquier margen de error en el proceso.

- Es aconsejable llevar a cabo un análisis pormenorizado del retorno de inversión (ROI) de las tecnologías automatizadas, para evaluar la repercusión económica de la automatización a lo largo del tiempo y basar decisiones en futuras actualizaciones o mejoras en el sistema de producción. Además, se recomienda realizar revisiones periódicas sobre el impacto de las mejoras realizadas y considerar ajustes estratégicos en función de las tendencias del mercado y las demandas de la empresa, asegurando de este modo una operación sostenible y competitiva en el sector de la cerveza artesanal.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Aldea , Andrea . 2021. Influencia del rediseño de los procesos productivos de una empresa de envolturas flexibles basado en la mejora continua. [book auth.] Ingeniera industrial por la Universidad Alas Peruanas. 2021, Vol. 24, pp. 7-22.

Alvarado, Roldán Lizbeth y Morín, Maya Eduardo. 2021. GUÍA PARA LA PREPARACIÓN POR FASES (PPF) DE PROYECTOS DE TRANSPORTE MASIVO. [aut. libro] Centro de Estudios para la preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP). 2021.

Arduino. 2024. Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. s.l. : <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>, 2024.

Arsham, H. & Lovric, Miodrag. 2020. Bartlett's Test. 2020, págs. 1-3.

Balderrabano, Briones Jazmin, Hernández, Torres Xochitl y Vazquez, Tzitzihua Leticia. 2019. Calidad e Innovación en los Procesos Productivos. [aut. libro] RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. *Red Iberoamerica de academia de investigación* . s.l. : <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2019/03/Calidad-e-Innovacio%CC%81n-06-7.pdf>, 2019, págs. 1-321.

Ekos. 2023. 6 millones de litros de cerveza artesanal al año se produce en Ecuador. *ekosnegocios.com*. [En línea] 18 de Julio de 2023. <https://ekosnegocios.com/articulo/6-millones-de-litros-de-cerveza-artesanal-al-ano-se-produce-en-ecuador>.

Estrada, Angel M. 2015. Gestión de Operaciones: Control Estadístico de Procesos, Gestión de Calidad. [En línea] Elección y Construcción del Gráfico de Control apropiado en el Control Estadístico de Procesos (CEP), 09 de Agosto de 2015. [Citado el: 12 de Diciembre de 2024.] <https://www.gestiondeoperaciones.net/tag/limites-de-control-estadistico/>.

García, Ignacio. 2024. Los tipos de sensores más usados: definición y funcionalidad. s.l. : <https://elecproy.com/es/blog/tipos-de-sensores/>, 2024.

Holbraad, Martin. 2019. Can the Thing Speak? [aut. libro] University College London. London : s.n., 2019.

Kaizen Institute . 2021. Comprender el FMEA: análisis de los modos de fallo para una gestión de riesgos más eficiente. 2021.

López, Sánchez Alicia Yesenia, González, Lara Aida Lucina y Alcaraz, Corona Sergio. 2021. Simulación para la optimización de la producción de ejes en la línea de ensamblaje de una empresa de manufactura. [aut. libro] Universidad Autónoma de Nuevo León. 2021, Vol. Vol (20), págs. 1-9.

Martínez, Gómez Christian Alonso. 2019. *Análisis prospectivo al 2020 de la industria de la cerveza artesanal en el Ecuador como generadora de crecimiento económico.* s.l. : Universidad Andina Simón Bolívar, 2019.

MathWorks . 2025. ThingSpeak for IoT Projects: Data collection in the cloud with advanced data analysis using MATLAB. [aut. libro] Cadmus Dave Korn. 2025.

Mercado Latinoamericano de Cerveza Artesanal. 2023. Dinámica del Mercado y Panorama Competitivo. *www.informesdeexpertos.com.* [En línea] 21 de Octubre de 2023. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-cerveza-artesanal#:~:text=El%20mercado%20de%20cerveza%20artesanal,millones%20de%20USD%20en%202032..>

Montgomery, D. C. 2020. *Introduction to Statistical Quality Control.* 8th ed. s.l. : Wiley., 2020.

Montgomery, Dauglas C. y Cahyono, Calle. 2022. Diseño y análisis de experimentos, 9.^a edición. s.l. : Editorial: John Wiley & Sons,, 2022, Vol. 12.

Palomo, González Miguel Ángel y Pedroza, Zapata Álvaro Rafael. 2021. *La Competitividad Empresarial: El Desarrollo Tecnológico.* s.l. : Academia de Ciencias Administrativas, A. C., 2021.

Peña, Ariza Lina Vanessa y Felizzola, Jimenez Heriberto Alexander. 2020. Optimización de la capacidad de producción en una empresa de alimentos usando simulación de eventos discretos. [aut. libro] Colombia. Universidad de La Salle.

Departamento de Ingeniería Industrial. Bogotá. s.l. : https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000200277, 2020.

Rivera, Morales Jose Antonio. 2022. ESP32 C v4 WROOM 32. [En línea] 12 de Febrero de 2022. <https://pasionelectronica.com/esp32-caracteristicas-y-pines/>.

Salinas, Pedro José. 2019. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. s.l. : http://botica.com.ve/PDF/metodologia_investigacion.pdf, 2019.

Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. 2018. Metodología de la investigación. México : McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A., 2018.

Santacruz, Salas Angie Paola, y otros. 2022. Sostenibilidad en la industria cervecera: una revisión crítica de los residuos generados y su gestión. [aut. libro] Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. s.l. : <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v21n2/1692-3561-bsaa-21-02-178.pdf>, 2022, págs. 161-177: v. 21, n. 2, .

Sarasola, Josemari . 2021. Sigmalitika. *Hirusta*. [En línea] 2021. [Citado el: 11 de marzo de 2025.] https://sigmalitika.hirusta.io/wp-content/uploads/2021/11/table_kolmogorov_smirnov_castellano.pdf.

Serrano, Gómez Lupita y Ortiz, Pimiento Néstor Raúl. 2019. Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño. [aut. libro] Universidad Pontificia Bolivariana Facultad de Ingeniería Industrial. 2019, Vol. Vol (1), págs. 13-22: .

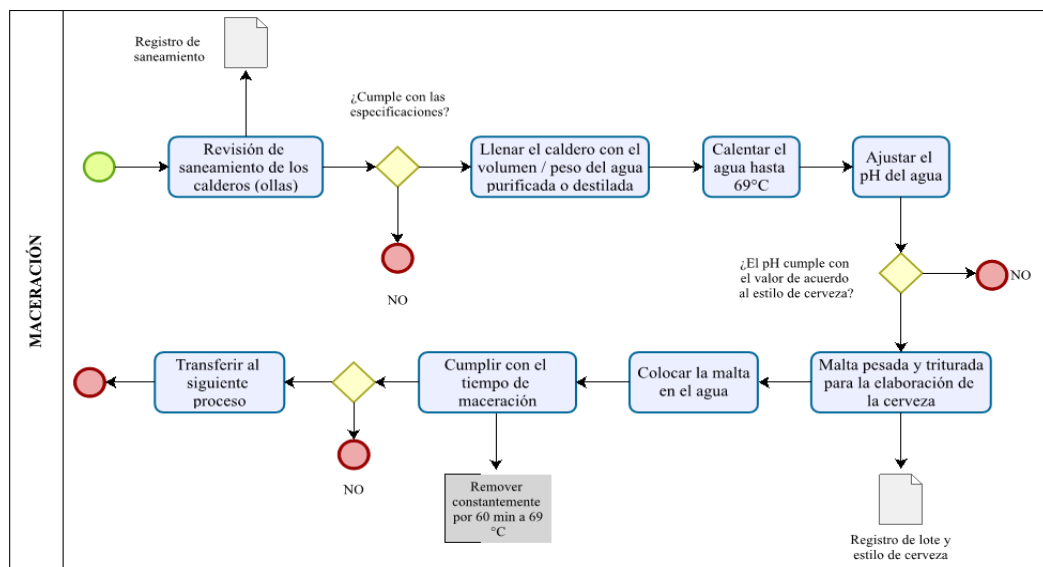
Valle, Hernández Luis del. 2023. Amplificador HX711 con Arduino para crear una báscula digital. s.l. : <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/hx711-arduino-bascula-digital/>, 2023.

Anexos

Anexo 1 Diagrama de flujo del proceso

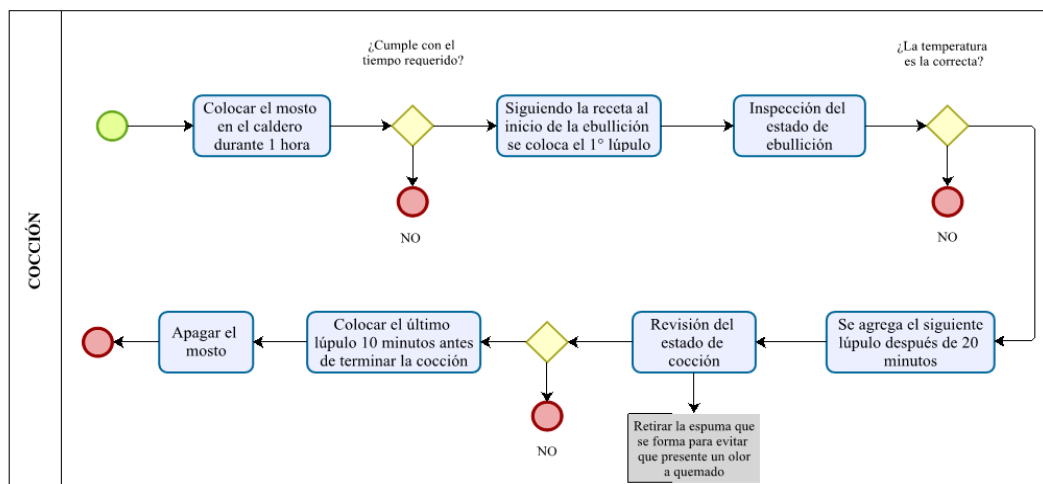
Así también en el análisis de la situación actual de la empresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C., Se llevó a cabo un diagnóstico del proceso productivo, enfocado en la elaboración de cerveza artesanal. Esto incluyó la creación de diagramas que permiten analizar las distintas etapas del proceso y definir las actividades necesarias para alcanzar el producto final.

Diagrama de flujo del proceso de maceración



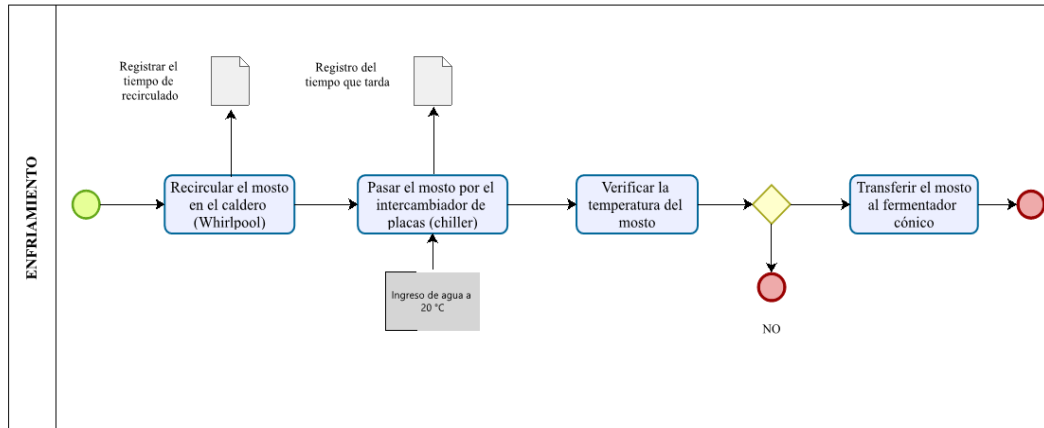
Nota: Elaborado por el investigador.

Diagrama de flujo del proceso de cocción



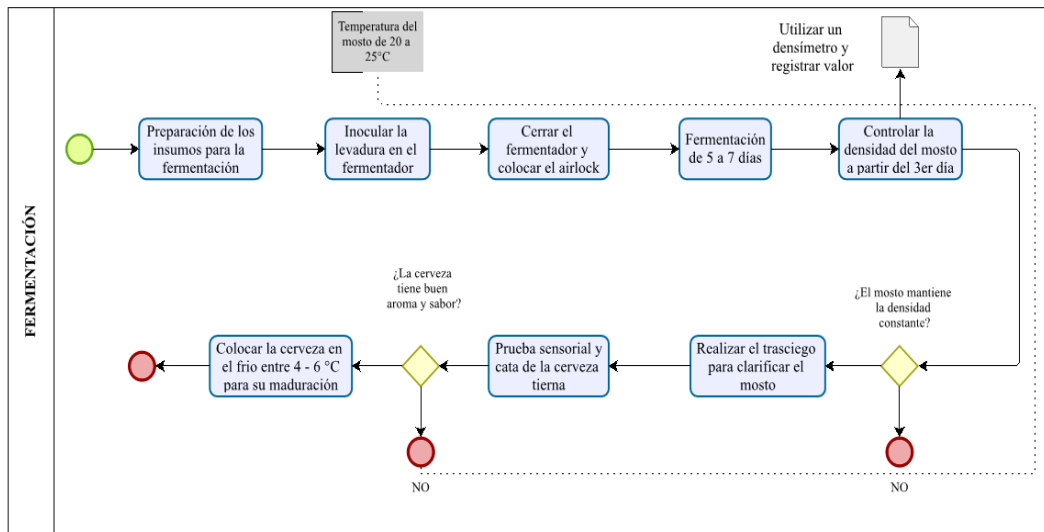
Nota: Elaborado por el investigador.

Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento



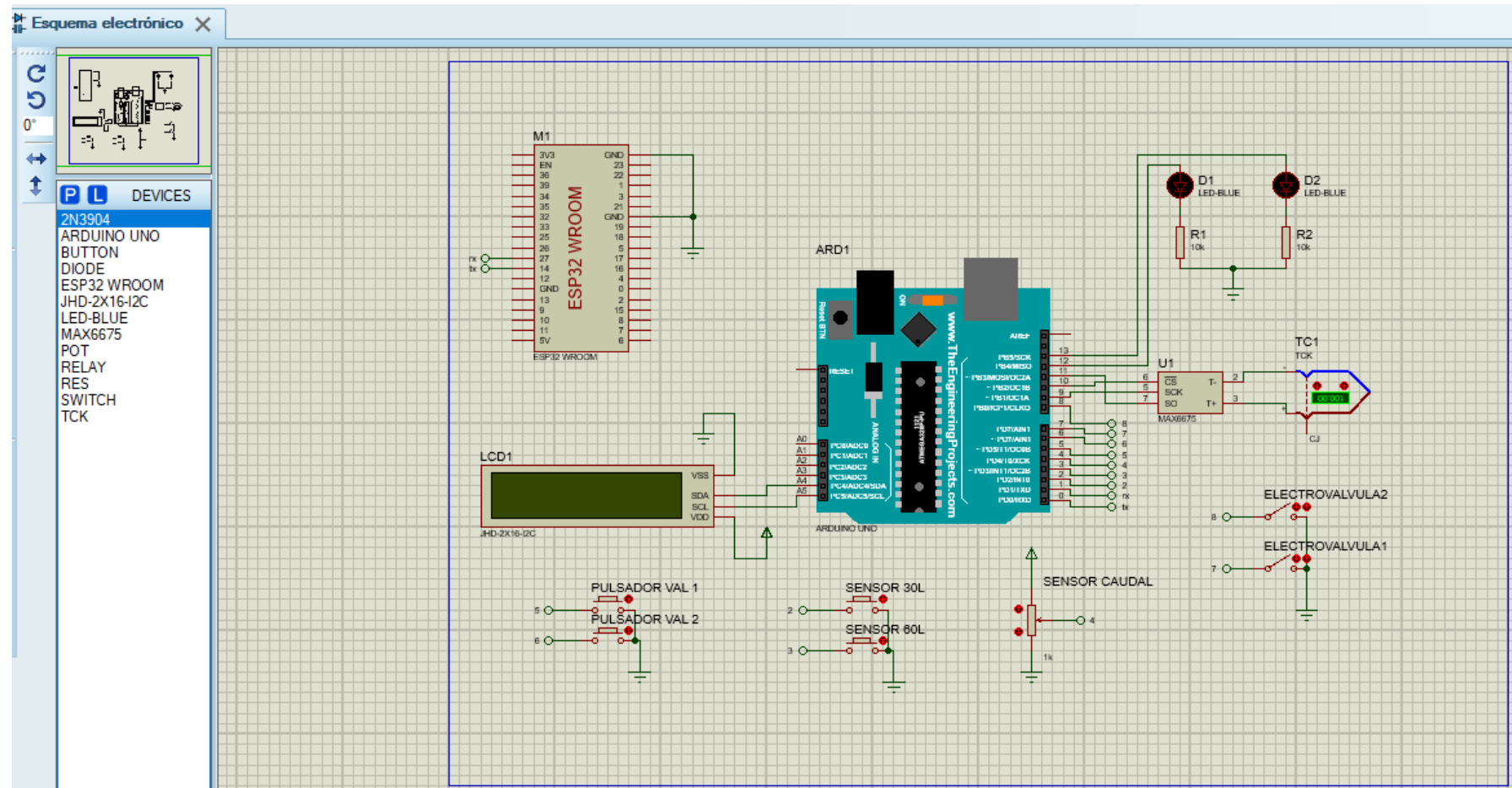
Nota: Elaborado por el investigador.

Diagrama de flujo del proceso de fermentación



Nota: Elaborado por el investigador.



Anexo 2 Esquema Electrónico




Anexo 3 Evidencia de capacitación

Nombre de la Microempresa:	BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.
Tema de la Capacitación:	Uso de nuevos sistemas y equipos de la implementación de un sistema automático
Fecha y Duración:	[Machachi, 12 de febrero del 2025]
Lugar:	Mejía - Machachi, en las instalaciones de la microempresa BRANGUS CAVA COMPANY S.C.C.
Objetivo de la Capacitación:	Instruir a los operadores en el manejo, mantenimiento y optimización del nuevo sistema automático implementado en la empresa. Se buscó garantizar un uso eficiente de los equipos, mejorar la productividad y reducir los errores operativos.
Contenidos Abordados:	<ul style="list-style-type: none"> - [Introducción al sistema automático: componentes y funcionamiento.] - [Procedimientos de operación y mantenimiento preventivo.] - [Seguridad y mejores prácticas en el uso del sistema]

Participantes:

Nombre	Cargo	Firma
[Andrés Albuja] C.C. 0604002071	[Operador 1]	
[Daniel Enríquez] C.C. 1716993827	[Operador 2]	

Facilitador(es):

Nombre	Cargo	Firma
[José Hilario Yáñez Ávalos] C.C. 0502617343	[Maestro Cervecerero – Socio de la Microempresa]	

Evidencia Fotográfica:





Observaciones y Conclusiones:

[Durante la capacitación, los operadores demostraron un alto nivel de interés y participación en cada una de las actividades propuestas. Se evidenció un compromiso significativo en la adquisición de nuevos conocimientos y habilidades relacionadas con el uso del sistema automático.

Se identificaron algunas inquietudes relacionadas con la integración del nuevo sistema en los procesos ya existentes dentro de la empresa. Estas dudas fueron abordadas y resueltas durante la capacitación, garantizando una mejor comprensión del funcionamiento del sistema y su aplicación en el entorno laboral.

Se recomienda la realización de capacitaciones periódicas con el objetivo de reforzar los conocimientos adquiridos, atender posibles dudas futuras y mantener actualizados a los trabajadores sobre mejoras y nuevas funcionalidades del sistema automático. Asimismo, se sugiere implementar un sistema de monitoreo y evaluación del desempeño de los operadores para asegurar la correcta aplicación de los conocimientos impartidos.]

Validación:



Firmado electrónicamente por:
**DARWIN OMAR
YANEZ AVALOS**

Darwin Omar Yáñez Ávalos
Firma del Representante de la Empresa
Fecha: 22 de febrero del 2025

Anexo 4 Fluctuación de los datos en la plataforma ThingSpeak



Anexo 5 Tabla de la prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra: valores críticos del estadístico

n	$\alpha = 0.20$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.01$
1	0,900	0,950	0,975	0,99	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,9	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,656	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,358	0,41	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,43	0,48	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,489
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,39	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,33
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,29	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,25	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,19	0,218	0,242	0,270	0,290
31	0,187	0,214	0,238	0,266	0,285
32	0,184	0,211	0,234	0,262	0,281
33	0,182	0,208	0,231	0,258	0,277
34	0,179	0,205	0,227	0,254	0,273
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
36	0,174	0,199	0,221	0,247	0,265
37	0,172	0,196	0,218	0,244	0,262
38	0,170	0,194	0,215	0,241	0,258
39	0,168	0,191	0,213	0,238	0,255
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
> 40	$1.07/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.52/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Anexo 6 Datos estadísticos

<i>Medidas de estadística</i>	<i>(%ABV) Antes de la mejora</i>	<i>(%ABV) Después de la mejora</i>
Media	5,769249375	5,197942391
Varianza	1,654514458	0,004347201
Observaciones	100	100
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	100	
Estadístico t	4,435723312	
P(T<=t) una cola	1,18058E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,660234326	
P(T<=t) dos colas	0,00002361	
Valor crítico de t (dos colas)	1,983971519	

Anexo 7 Evidencias de los costos de implementación



RIVERA VILLAMAR VICTOR EDUARDO

RG SOLUTION

Dirección: Calle: RAFAEL ALBORNOZ Numero: 125 Intersección: EMILIO ESTRADA
Matriz:

Dirección: Calle: RAFAEL ALBORNOZ Numero: 125 Intersección: EMILIO ESTRADA
Sucursal:

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: NO

CONTRIBUYENTE NEGOCIO POPULAR - RÉGIMEN RIMPE

R.U.C.: 0603997867001

FACTURA

Nº: 001-901-00000085

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

080520250106039978670012001901000000856739047412

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 08/05/2025 16:54:17

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

06039978670012001901000000856739047412

Razón Social / Nombres y Apellidos: YANEZ AVALOS JOSE HILARIO

Identificación: 8920817343

Fecha: 08/05/2025

Dirección: Calderon-Quito

Placa / Matrícula: Gula

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cantidad	Descripción	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio sin Subsidio	Descuento	Precio Total
E01		1.00	ARDUINO UNO		16.50	0.00	0.00	0.00	16.50
E03		1.00	SENSOR RFID		9.50	0.00	0.00	0.00	9.50
E02		1.00	ARDUINO NANO		8.00	0.00	0.00	0.00	8.00
E04		1.00	MODULO DE 4 RELAYS		5.00	0.00	0.00	0.00	5.00
E05		1.00	ESP32		18.50	0.00	0.00	0.00	18.50
E06		1.00	ELECTROVALVULA 3/4		65.00	0.00	0.00	0.00	65.00
E07		1.00	ELECTROVALVULA 1/2		45.00	0.00	0.00	0.00	45.00
E08		1.00	SENSOR DE TEMPERATURA		12.00	0.00	0.00	0.00	12.00
E09		1.00	SENSOR DE NIVEL		12.50	0.00	0.00	0.00	12.50
E10		1.00	PANTALLA LCD 128X64		25.00	0.00	0.00	0.00	25.00
E13		1.00	BAQUELITA		3.00	0.00	0.00	0.00	3.00
E11		1.00	IMPRESION 3D		15.00	0.00	0.00	0.00	15.00
E12		1.00	JUGGO DE RESISTENCIAS		1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Información Adicional	
Telefono:	0988359155
Email:	josehilarioyanez@gmail.com

Forma de pago	Valor
01 - SIN UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	236.00

SUBTOTAL 0%	236.00
SUBTOTAL NO OBJETO DE IVA	0.00
SUBTOTAL EXENTO DE IVA	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	236.00
TOTAL DESCUENTO	0.00
ICE	0.00
IRBPNR	0.00
PROPINA	0.00
VALOR TOTAL	236.00
VALOR TOTAL SIN SUBSIDIO	0.00
AHORRO POR SUBSIDIO: (Incluye IVA cuando corresponda)	0.00

FACTURA

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

FACTURA: N°173-629-000396625

FECHA: 23/04/2025

Nombre: Yanez Avaks Jose H-Taric

Número: 09 8835 9155

Dirección: Calderon-Quito

ARTÍCULO	CANT.	PRECIO	Subtotal
Capacitacion de programación y conexiones de la tarjeta esp32.	1	\$100.00	\$100.00
Implementación de sensores, caja para microcontrolador y electrovalvulas.	1	\$50.00	\$50.00
Puesta en marcha del sistema y seguimiento de conectividad wifi.	1	\$150.00	\$150.00

Subtotal \$300.00

IVA (15%) \$45.00

TOTAL \$350.00



Firma

Contacto:

09 69725238 | censesa-capacitadores@hotmail.com | Calderón: calle Carapungo Oe5-212 y Panamericana Norte Km 17.