



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN  
DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS  
INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

MOSQUERA TUCUNANGO LESTER EFRAIN  
MONTENEGRO PINCAY MARCO ALEXANDER

**TUTOR:**

ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISÓSTOMO, PhD.

La Libertad, Ecuador

2025 - 2

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

---

**TEMA:**

**“PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA  
PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE  
PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE  
SANTA ELENA”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**MOSQUERA TUCUNANGO LESTER EFRAIN  
MONTENEGRO PINCAY MARCO ALEXANDER**

**TUTOR:**

**ING. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISÓSTOMO, PhD.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025 - 2**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Mosquera Tucunango Lester Efraín** y **Montenegro Pincay Marco Alexander**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

## TUTOR

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD.**

## DIRECTOR DE LA CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos. MSc**

La Libertad, a los 10 del mes de diciembre del año 2025

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”, elaborado por los Sres. MOSQUERA TUCUNANGO LESTER EFRAIN y MONTENEGRO PINCAY MARCO ALEXANDER, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

**TUTOR**

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD.**

La Libertad, a los 10 del mes de diciembre del año 2025

# DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Mosquera Tucunango Lester Efraín y Montenegro Pincay Marco Alexander**

## DECLARAMOS QUE:


El Trabajo de Titulación, “**Prototipo generador de espuma para la producción de hormigón celular en la unidad de prácticas industriales de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**La Libertad, a los 10 del mes de diciembre del año 2025**

## LOS AUTORES

f.   
Mosquera Tucunango Lester Efraín

f.   
Montenegro Pincay Marco Alexander

# AUTORIZACIÓN


Nosotros, **Mosquera Tucunango Lester Efraín y Montenegro Pincay Marco Alexander**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, “Prototipo generador de espuma para la producción de hormigón celular en la unidad de prácticas industriales de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**La Libertad, a los 10 del mes de diciembre del año 2025**

## LOS AUTORES

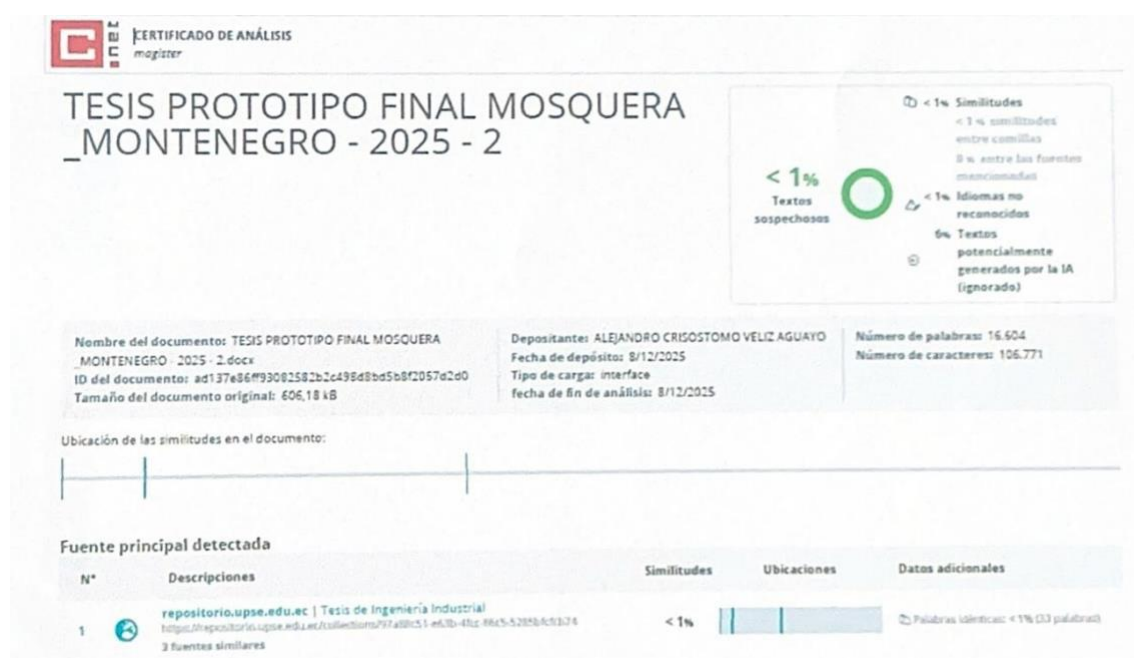
f.   
\_\_\_\_\_  
**Mosquera Tucunango Lester Efraín**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Montenegro Pincay Marco Alexander**

## CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**” elaborado por los Sres. **MOSQUERA TUCUNANGO LESTER EFRAIN** y **MONTENEGRO PINCAY MARCO ALEXANDER** egresados de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio: Compilatio Magister, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 1% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.



FIRMA DEL TUTOR

f. 

**Ing. Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD.**

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

## VALIDACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

### CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniero Industrial, con el tema: **“PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”**. Ha sido desarrollado por los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial: **LESTER EFRAÍN MOSQUERA TUCUNANGO** y **MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que, el trabajo presenta un dominio formal del lenguaje, con expresión clara, coherencia discursiva y solidez interpretativa. Asimismo, garantizando su adecuación a los estándares académicos y formales requeridos.

Por lo expuesto, se expide el presente certificado para que los interesados lo utilicen ante las instancias que correspondan.

Atentamente,



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.  
Magister en Educación Básica  
Correo: misabelp1017@gmail.com  
C.C: 0605353143  
Celular: 0969917044

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios y mi abuela que desde el cielo bendicen mi vida. A mis padres e hijos por ser el impulso de mi vida para la obtención de este logro académico.

Gracias por tanto familia.

*Mosquera Tucunango Lester Efraín*

## **DEDICATORIA**

Le dedico este trabajo de titulación a mis hijos que son mi inspiración y fortaleza  
A mis padres y hermanos que vieron siempre en mi alguien que se supera día a día  
Y le dedico este logro a mi abuela en el cielo que siga sintiéndose orgullosa de mí.

*Mosquera Tucunango Lester Efraín*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a mis amigos Sara, Roberto, Allan y Matraquita por su apoyo incondicional durante toda mi formación. Han sido compañeros tanto en los buenos como en los malos momentos, brindándome siempre su ánimo y compañía. Extiendo mi gratitud a mis profesores, quienes con su dedicación y guía hicieron posible cada aprendizaje. Gracias a su respaldo, nunca me rendí y continué adelante en este largo proceso de aprendizaje.

*Montenegro Pincay Marco Alexander*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi madre y mi hermana, por su amor, apoyo y fortaleza incondicional.

A mis compañeros, por acompañarme en cada desafío académico. Y a mis profesores, por su guía y dedicación durante toda la carrera. Cada esfuerzo compartido ha marcado mi formación profesional.

Gracias a ustedes, hoy estoy cerca de cumplir mi sueño de ser ingeniero.

*Montenegro Pincay Marco Alexander*

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Isabel Del Rocío Balón Ramos, MsC.**

DIRECTOR DE CARRERA.

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Geraldo Antonio Herrera Brunett, PhD.**  
DOCENTE ESPECIALISTA.

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Alejandro Crisóstomo Veloz Aguayo, PhD.**

DOCENTE TUTOR.

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Marco Vinicio Bermeo García, Mgtr.**  
DOCENTE UIC.

# ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN .....	III
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	VII
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....	VIII
AGRADECIMIENTOS.....	IX
DEDICATORIA .....	IX
AGRADECIMIENTOS.....	X
DEDICATORIA .....	X
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	XI
ÍNDICE GENERAL.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
RESUMEN.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes investigativos. ....	4
1.2. Revisión literaria .....	5
1.3. Estado conceptual.....	9
1.4. Descripción del sistema productivo. ....	11
CAPÍTULO II .....	15
MARCO METODOLÓGICO .....	15
2.1. Enfoque de investigación. ....	15
2.2. Tipo de investigación. ....	15
2.3. Diseño de investigación.....	15
2.4. Proceso metodológico de diseño del prototipo .....	16
2.5. Población y muestra .....	19

2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos .....	20
2.7. Validación por expertos .....	23
CAPÍTULO III.....	25
PROPUESTA PROTOTIPO.....	25
3.1. Análisis comparativo.....	63
3.2. Justificación económica .....	68
3.3. Justificación ambiental.....	69
3.4. Justificación social .....	70
CONCLUSIONES .....	73
RECOMENDACIONES .....	74
BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Criterios y ponderación.....	7
<b>Tabla 2:</b> Población objetivo de estudio.....	19
<b>Tabla 3:</b> Muestra representativa .....	19
<b>Tabla 4:</b> Datos de expertos.....	24
<b>Tabla 5:</b> Valoración técnica del boceto inicial.....	25
<b>Tabla 6:</b> Evaluación de atributos.....	26
<b>Tabla 7:</b> Tabulación de encuesta.....	27
<b>Tabla 8:</b> Procesamiento de datos del método Kano.....	28
<b>Tabla 9:</b> Resultados del método Kano.....	28
<b>Tabla 10:</b> Lista de requerimientos funcionales.....	29
<b>Tabla 11:</b> Tabla morfológica de alternativas.....	30
<b>Tabla 12:</b> Tabla de ponderación de alternativas.....	30
<b>Tabla 13:</b> Matriz de decisión estructura .....	31
<b>Tabla 14:</b> Matriz de decisión cámara o tanque de mezcla.....	31
<b>Tabla 15:</b> Matriz de decisión sistema hidráulico.....	32
<b>Tabla 16:</b> Matriz de decisión sistema neumático de aire.....	32
<b>Tabla 17:</b> Matriz de decisión sistema de válvulas.....	33
<b>Tabla 18:</b> Selección de los materiales .....	35

<b>Tabla 19:</b>	Propiedades físicas y mecánicas. ....	38
<b>Tabla 20:</b>	Propiedades del agente espumante. ....	51
<b>Tabla 21:</b>	Cálculo del ciclo de producción. ....	53
<b>Tabla 22:</b>	Cálculo de la eficiencia energética. ....	54
<b>Tabla 23:</b>	Consumo específico de insumos. ....	55
<b>Tabla 24:</b>	Resultados de las pruebas del prototipo generador de espuma. ....	56
<b>Tabla 25:</b>	Indicadores de desempeño ..... 56	56
<b>Tabla 26:</b>	Valoración de contenido por expertos. ....	58
<b>Tabla 27:</b>	Valoración de contenido por estudiantes. ....	59
<b>Tabla 28:</b>	Total, de Estudiantes encuestados. ....	60
<b>Tabla 29:</b>	Fiabilidad del instrumento. ....	61
<b>Tabla 30:</b>	Verificación de hipótesis ..... 61	61
<b>Tabla 31:</b>	Costo Total para la construcción del prototipo ..... 63	63
<b>Tabla 32:</b>	Análisis comparativo del prototipo de espuma ..... 64	64
<b>Tabla 33:</b>	Análisis comparativo ponderado ..... 65	65
<b>Tabla 34:</b>	Ficha técnica del prototipo ..... 66	66
<b>Tabla 35:</b>	Ficha técnica del funcionamiento ..... 67	67
<b>Tabla 36:</b>	Justificación social del prototipo de espuma. ....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Pasos para la revisión sistemática ..... 5	5
<b>Figura 2:</b>	Diagrama PRISMA utilizado en la investigación. .... 6	6
<b>Figura 3:</b>	Herramientas de diseño encontradas. .... 7	7
<b>Figura 4:</b>	Métodos seleccionados. .... 8	8
<b>Figura 5:</b>	Organigrama del taller industrial. .... 14	14
<b>Figura 6:</b>	Diseño de investigación. .... 16	16
<b>Figura 7:</b>	Ciclo metodológico de diseño del prototipo ..... 17	17
<b>Figura 8:</b>	Plan de análisis ..... 21	21
<b>Figura 9:</b>	Etapas del método de Delphi. .... 22	22
<b>Figura 10:</b>	Boceto inicial del prototipo. .... 25	25
<b>Figura 11:</b>	Diagrama de flujo de proceso para la construcción ..... 34	34
<b>Figura 12:</b>	Diseño del prototipo ..... 36	36

<b>Figura 13:</b>	Conexión neumática e hidráulica del generador de espuma.....	37
<b>Figura 14:</b>	Conexión eléctrica mediante CADe_SIMU.....	37
<b>Figura 15:</b>	Esfuerzo normal en la estructura.....	39
<b>Figura 16:</b>	Análisis de deformación.....	40
<b>Figura 17:</b>	Análisis de factor de seguridad.....	41
<b>Figura 18:</b>	Análisis de la velocidad de los fluidos.....	42
<b>Figura 19:</b>	Análisis de presión en el sistema.....	43
<b>Figura 20:</b>	Análisis de presiones.....	44
<b>Figura 21:</b>	Proceso de fabricación del prototipo generador de espuma.....	46
<b>Figura 22:</b>	Preparación del material.....	46
<b>Figura 23:</b>	Construcción de parte hidráulica del prototipo.....	47
<b>Figura 24:</b>	1Diseño de estructura de soporte.....	48
<b>Figura 25:</b>	Montaje y soldadura del prototipo.....	48
<b>Figura 26:</b>	Implementación de la caja de control.....	49
<b>Figura 27:</b>	Diagrama de operaciones del prototipo.....	50
<b>Figura 28:</b>	Preparación y encendido del sistema.....	51
<b>Figura 29:</b>	Proceso de mezcla aire–espumante en el generador.....	52
<b>Figura 30:</b>	Descarga y control de la espuma generada.....	53

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A:</b>	Método SPICE.....	82
<b>Anexo B:</b>	Pregunta de investigación.....	82
<b>Anexo C:</b>	Fuentes de información.....	82
<b>Anexo D:</b>	Criterios de inclusión.....	83
<b>Anexo E:</b>	Selección de datos.....	83
<b>Anexo F:</b>	Matriz de artículos científicos.....	83
<b>Anexo G:</b>	Compilación de datos en RStudio.....	85
<b>Anexo H:</b>	Red de coocurrencias de palabras claves.....	86
<b>Anexo I:</b>	Mapa de países que más publican del tema.....	86
<b>Anexo J:</b>	Nubes de palabras clave del estudio.....	87
<b>Anexo K:</b>	Mapa mundial de colaboración entre países.....	87
<b>Anexo L:</b>	Red de colaboración.....	88

<b>Anexo M:</b>	Tabulación de datos en SPSS.....	88
<b>Anexo N:</b>	Resultados de fiabilidad y correlación del instrumento. ....	88
<b>Anexo O:</b>	Matriz de operacionalización de variables – Preguntas a expertos.....	89
<b>Anexo P:</b>	Matriz de operacionalización de variables – Preguntas a Estudiantes.....	91
<b>Anexo Q:</b>	Encuesta realizada a expertos.....	93
<b>Anexo R:</b>	Encuesta realizada a estudiantes.....	95
<b>Anexo S:</b>	Validación por juicio de expertos.....	97
<b>Anexo T:</b>	Formulario dirigido a expertos.....	99
<b>Anexo U:</b>	Formulario dirigido a estudiantes.....	101
<b>Anexo V:</b>	Ficha validación por juicio de expertos.....	103
<b>Anexo W:</b>	Solicitud como tutor de trabajo de integración. ....	104
<b>Anexo X:</b>	Registro de asistencias a tutorías.....	105
<b>Anexo Y:</b>	Ficha técnica de Bomba Leo APm 150.....	106
<b>Anexo Z:</b>	Ficha técnica de manómetro de acero con glicerina.....	106
<b>Anexo AA:</b>	Diseño de prototipo en SolidWorks.....	107
<b>Anexo BB:</b>	Diseño de sistema neumático e hidráulico en SolidWorks.....	108
<b>Anexo CC:</b>	Diseño de estructura en SolidWorks.....	109
<b>Anexo DD:</b>	Diseño de bomba en SolidWorks. ....	110
<b>Anexo EE:</b>	Diseño del sistema eléctrico en SolidWorks. ....	111
<b>Anexo FF:</b>	Diseño del sistema hidroneumático en SolidWorks.....	112

“PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”

**Autor 1:** Mosquera Tucunango Lester Efraín

**Autor 2:** Montenegro Pincay Marco Alexander

**Tutor:** Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo.

## RESUMEN

En este estudio se trabajó en el diseño y construcción de un prototipo generador de espuma con la intención de mejorar la elaboración de hormigón celular en la Unidad de Prácticas Industriales de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La necesidad del proyecto apareció porque en la zona no se contaba con equipos que permitieran regular adecuadamente los parámetros del espumado, lo que provocaba diferencias en la mezcla y un uso poco eficiente de los insumos. Con este antecedente se propuso un sistema que pudiera ajustar la presión, el caudal y la proporción aire-espumante, tratando de que su operación fuera estable y que su fabricación no implicara procesos demasiado complejos. Para avanzar en la propuesta se aplicaron herramientas de ingeniería como el modelado CAD, análisis estructurales con FEM y algunas simulaciones CFD y más adelante se llevaron a cabo pruebas en laboratorio para observar el desempeño real del equipo. Los resultados señalaron una densidad aproximada de 65,5 g/L, una estabilidad cercana a los 32,5 minutos y una producción continua de unos 6,4 L/s, valores adecuados para trabajar con hormigón celular de 400 kg/m<sup>3</sup>. También se obtuvo un consumo energético próximo a 0,0199 kWh/L y un uso de espumante de 0,055 L/L, lo que permitió calcular una producción diaria cercana a 975 L en una jornada de ocho horas. Todo esto sugiere que el prototipo puede convertirse en una alternativa viable a nivel local y, además, servir como apoyo para las actividades prácticas en la Facultad de Ingeniería de la UPSE.

***Palabras Claves:*** *prototipo generador de espuma, hormigón celular, simulación CFD, análisis estructural, eficiencia energética, sostenibilidad industrial.*

“FOAM GENERATOR PROTOTYPE FOR THE PRODUCTION OF CELLULAR CONCRETE IN THE INDUSTRIAL PRACTICE UNIT OF THE INDUSTRIAL ENGINEERING PROGRAM AT THE UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”

**Autor 1:** Mosquera Tucunango Lester Efraín

**Autor 2:** Montenegro Pincay Marco Alexander

**Tutor:** Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo.

## ABSTRACT

This study focused on the design and construction of a foam-generating prototype aimed at improving the production of cellular concrete at the Industrial Practice Unit of the Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). The need for the project came from the fact that the area lacked equipment capable of properly regulating the main foaming parameters, which often caused variations in the mixture and inefficient use of materials. Based on this situation, a system was proposed to adjust pressure, flow rate, and the air–foaming agent ratio, trying to keep the operation stable and the construction process simple enough to be feasible with local resources. To develop the prototype, several engineering tools were applied, such as CAD modeling, structural analysis using FEM, and some CFD simulations; later, laboratory tests were carried out to observe how the equipment performed under real conditions. The results showed an average foam density of about 65.5 g/L, a stability close to 32.5 minutes, and a continuous output of around 6.4 L/s, which are appropriate values for producing 400 kg/m<sup>3</sup> cellular concrete.

Energy consumption reached about 0.0199 kWh/L, and the use of foaming agent was close to 0.055 L/L. With those values, it was possible to estimate a daily output of around 975 L during an eight-hour workday. Overall, the results point to a prototype that puede funcionar as a local and low-cost option, while also supporting the practical training carried out in the UPSE Faculty of Engineering.

***Keywords:*** *Foam generator device, cellular concrete, CFD simulations, structural analysis, energy efficiency, sustainable industrial development.*

# INTRODUCCIÓN

En la República Eslovaca, el estudio titulado “Effect of Activated Foaming Agent on the Foam Concrete Properties” desarrollado por Kuzielová et al. (2016), examinó cómo la concentración y el tratamiento del agente espumante terminan influenciando la estabilidad, la densidad y la resistencia del hormigón celular. Al reducir y activar el espumante, lograron obtener estructuras más uniformes usando hasta un 50 % menos de producto químico, y sin modificar la resistencia final. Esto deja ver que un control más preciso de la presión, del caudal y de la relación aire-espumante ayuda bastante a mejorar la eficiencia de operación y, en realidad, a disminuir los impactos ambientales del proceso. Por eso, desarrollar un prototipo generador de espuma con un sistema hidráulico-neumático bien ajustado aporta a la eco-eficiencia industrial, ya que permite optimizar recursos y evitar desperdicios en las prácticas experimentales.

En la India, Khan et al. (2025), en su estudio “Sustainable Construction: Analyzing Material Environmental Impact through Ecological Footprint Analysis”, analizaron la huella ecológica de varios materiales de construcción. Reportaron valores entre 0,042 y 0,072 gha/ton para el cemento Portland y alrededor de 0,04674 gha/m<sup>3</sup> para el concreto convencional, cifras que muestran claramente la carga ambiental asociada a estos materiales. Frente a eso, el hormigón celular aparece con un impacto menor debido a su baja densidad y al reducido consumo de cemento por metro cúbico. Ese beneficio solo se consigue cuando el proceso de espumado se mantiene estable y bien controlado. Por esa razón, implementar un sistema de generación de espuma se entiende como una medida de eco-innovación que mejora la dosificación de aire y del agente espumante, permite usar mejor los recursos y promueve prácticas más sostenibles tanto en la academia como en la industria.

En Brasil, Pedro et al. (2017), trabajaron con una mezcla en la que sustituyeron totalmente la arena natural por residuos de ágata (SiO<sub>2</sub>). Con esa propuesta lograron densidades de 430 kg/m<sup>3</sup> y resistencias de 1,07 MPa, además de una reducción del 18 % en los costos y la eliminación de aproximadamente 55 USD/m<sup>3</sup> asociados a la gestión de desechos. Estos resultados dejan ver el potencial de la eco-eficiencia cuando se aprovechan materiales de desecho y se controla de manera adecuada el espumado. Por eso, contar con un prototipo que produzca una espuma estable y repetible puede ayudar a llevar estos principios al ámbito académico y apoyar la formación en tecnologías más limpias.

En Ecuador, Véliz et al. (2023), comentan que los procesos de generación de espuma en los laboratorios universitarios aún presentan una incorporación tecnológica limitada y la ausencia de equipos especializados, lo que provoca procesos menos eficientes y un mayor uso de recursos. En la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE, muchos ensayos siguen realizándose de forma manual, algo que complica la repetibilidad de los resultados y eleva el consumo de insumos. Todo esto deja claro que existe la necesidad de incorporar tecnologías eco-innovadoras que permitan automatizar y controlar mejor el espumado, reduciendo la huella ambiental y mejorando el desempeño operativo. Con esta idea, el prototipo generador de espuma propuesto se plantea como una alternativa tanto técnica como formativa, alineada con los principios de la ingeniería industrial sostenible, orientada a minimizar desperdicios, hacer un mejor uso de los recursos y reforzar la investigación aplicada dentro de la UPSE.

### **Pregunta de investigación.**

¿De qué manera el diseño y construcción de un prototipo generador de espuma influyen en la eficiencia y la sostenibilidad del proceso de producción de hormigón celular en la Unidad de Prácticas Industriales de la carrera de Ingeniería Industrial de la UPSE, especialmente al compararlo con los métodos manuales de mezcla?

### **Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Desarrollar un prototipo generador de espuma para la producción de hormigón celular en la Unidad de Prácticas Industriales de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, buscando la mejora del proceso productivo.

#### **Objetivos específicos.**

- Establecer un marco teórico sobre la generación de espuma aplicada al hormigón celular, apoyándose en una revisión técnica y bibliográfica relacionando los parámetros de operación con la eficiencia del proceso.

- Analizar la situación actual mediante métodos e instrumentos de recolección de datos, identificando las limitaciones operativas y los requerimientos técnicos para el diseño del prototipo.
- Construir el prototipo generador de espuma integrando los componentes estructurales, hidráulicos y neumáticos necesarios, evaluando su desempeño en la Unidad de Prácticas Industriales y comparándolo con la mezcla manual tradicional.

Desde el ámbito teórico y metodológico, este proyecto aporta al conocimiento aplicado de la ingeniería industrial al integrar principios de mecánica, hidráulica y automatización dentro del diseño de un sistema que busca ser funcional. Se puede ver que la construcción del prototipo generador de espuma ayuda a comprobar en la práctica varias ideas sobre eficiencia operativa, control de procesos y uso adecuado de recursos, algo que normalmente queda más en la teoría. En realidad, llevarlo al laboratorio permite medirlo y hacer ajustes que van dando forma a una mejora continua. Además, el enfoque experimental empleado favorece el desarrollo de habilidades de análisis, de registro y de perfeccionamiento en la fabricación de equipos industriales, lo cual coincide con las tendencias actuales de innovación tecnológica sostenible.

En el plano práctico y también en lo social, se puede ver que esta investigación propone una opción tecnológica para superar varias limitaciones presentes en la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE. Lo hace al disponer de un equipo seguro, eficiente y accesible para la formación técnica. El prototipo mejora el trabajo en el entorno académico y, al mismo tiempo, va generando una cultura más cercana a la innovación y a la sostenibilidad tanto en estudiantes como en docentes. Su uso favorece un manejo más cuidadoso de los materiales, ayuda a disminuir los desperdicios y contribuye a formar profesionales capaces de diseñar y aplicar tecnologías ecoeficientes que realmente se adapten a las condiciones productivas y ambientales del contexto local.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos.

En Suiza, Yu et al. (2020) analizaron cómo el proceso de espumado termina influyendo en las propiedades mecánicas del hormigón celular, y lo interesante es que observaron una relación bastante directa entre el control del flujo aire-espumante y aspectos como la densidad, la uniformidad y la resistencia del material. También mencionan que la eficiencia del sistema depende mucho del diseño hidráulico, de la presión con la que se trabaja y de la estabilidad del flujo; son factores que, cuando uno piensa en desarrollar un prototipo real, resultan casi inevitables porque afectan la mezcla y, al final, el consumo de energía.

En México, Borbon et al. (2020) presentaron el diseño y construcción de un prototipo automatizado para generar espuma destinada al hormigón celular. Incorporaron sensores de presión y caudal, y con eso lograron un control más preciso del proceso. Sus resultados muestran una disminución del 22 % en el uso de energía y un 18 % menos en los tiempos de producción, además de una mejora clara en la calidad y repetibilidad del material. Se puede ver que integrar principios de hidráulica, neumática y control de procesos en equipos de laboratorio no es solo un detalle técnico, sino un paso útil para avanzar hacia una innovación industrial más sostenible.

En Ecuador, Reyes et al. (2022). analizaron la producción experimental de bloques de concreto aireado utilizando equipos adaptados para generar la espuma necesaria. Se puede ver que, aunque el hormigón celular representa una alternativa más sostenible frente al concreto convencional, la ausencia de equipos especializados y el control operativo limitado hacen difícil obtener resultados que se mantengan constantes. Los autores señalan la importancia de contar con prototipos funcionales y accesibles, ya que estos permitirían optimizar recursos, mejorar la seguridad durante los ensayos y reforzar el trabajo experimental dentro de los laboratorios universitarios.

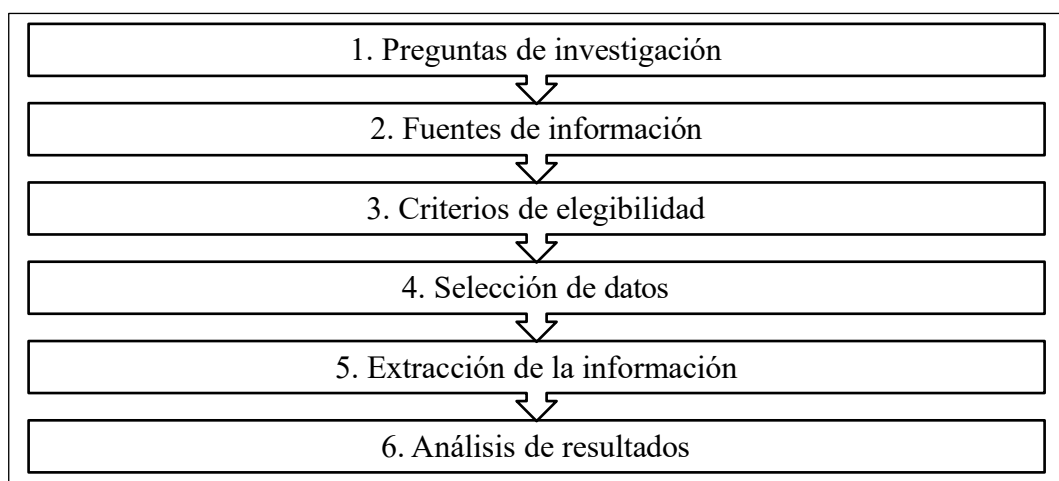
En conjunto, estos antecedentes muestran una tendencia marcada hacia la automatización y la sostenibilidad en los procesos de generación de espuma. El diseño de equipos más eficientes ayuda tanto al uso adecuado de los recursos como a disminuir la huella ambiental, especialmente en ambientes industriales y académicos. Con esta base, el proyecto que se plantea aquí se ajusta bien a los principios de eco-innovación,

proponiendo un prototipo generador de espuma que aporte eficiencia, reduzca desperdicios y sirva como plataforma de aprendizaje tecnológico en la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE.

## 1.2. Revisión literaria.

Para organizar de manera rigurosa la información científica relacionada con el diseño de generadores de espuma y su aplicación en procesos experimentales, se utilizó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este método permite estructurar la revisión de la literatura de forma ordenada, transparente y verificable, facilitando la identificación, selección y análisis de los estudios más relevantes para el desarrollo del prototipo. Según Orte et al. (2025) la metodología PRISMA se compone de seis etapas principales: definición de preguntas de investigación, selección de fuentes, aplicación de criterios de elegibilidad, recopilación de datos, extracción de información y análisis de resultados, las cuales se sintetizan en la **Figura 1**, que muestra el esquema general considerados durante la revisión sistemática.

**Figura 1:** *Pasos para la revisión sistemática.*



*Nota. Elaborado por los autores en base a (Orte Socías et al., 2025).*

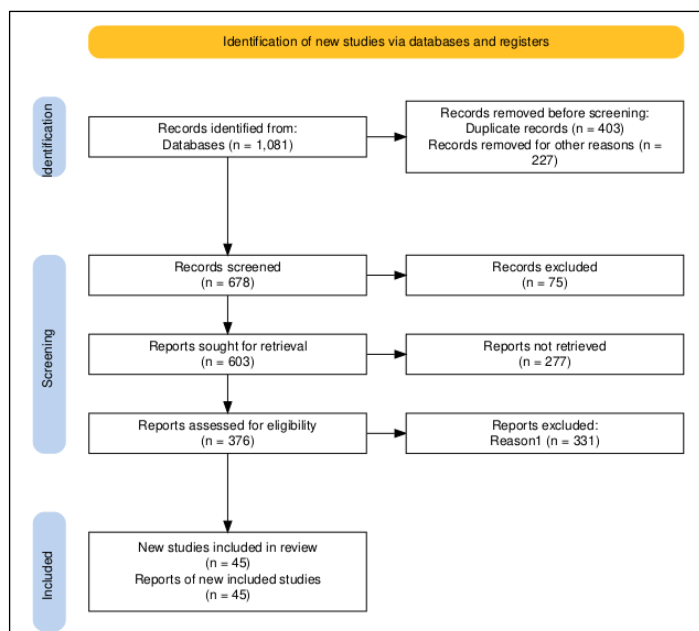
La revisión bibliográfica se llevó a cabo usando las bases de datos Scopus y Dimensions, considerando artículos publicados entre 2020 y 2025. La búsqueda se fue orientando hacia trabajos que describen el diseño y desarrollo de prototipos para la generación de espuma, junto con estudios que analizan la mezcla aire-espumante y las tecnologías que intentan mejorar el proceso de producción. También se revisaron métodos de control hidráulico y neumático, porque ayudan a comprender con más claridad cómo se comportan estos sistemas cuando se aplican en entornos experimentales.

Este conjunto de análisis permitió ubicar estudios que, además de revisar las propiedades del material espumado, profundizan en aspectos de ingeniería, sostenibilidad y control de procesos que terminan influyendo en la estabilidad y en la eficiencia de la espuma. El uso del método sistemático ayudó bastante a reunir información técnica actualizada, y con eso se pudo construir un soporte teórico firme para orientar el diseño del prototipo generador de espuma.

La **Figura 2** resume el procedimiento empleado para seleccionar y depurar los artículos obtenidos durante la búsqueda sistemática. En una primera fase se localizaron 1.081 registros provenientes de Scopus y Dimensions. Luego se descartaron 403 por estar duplicados y 227 porque no fue posible recuperarlos, lo que dejó 678 documentos para la revisión. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, y evaluar la pertinencia temática y metodológica, se seleccionaron finalmente 45 artículos que resultaron adecuados para sustentar esta investigación.

Este proceso permitió asegurarse de que la información utilizada fuera realmente rigurosa y confiable. Con ello fue posible construir un marco teórico apoyado en fuentes actuales y verificadas, todas vinculadas de manera directa con las variables del estudio, que son el prototipo generador de espuma y la producción de hormigón celular.

**Figura 2:** Diagrama PRISMA utilizado en la investigación.

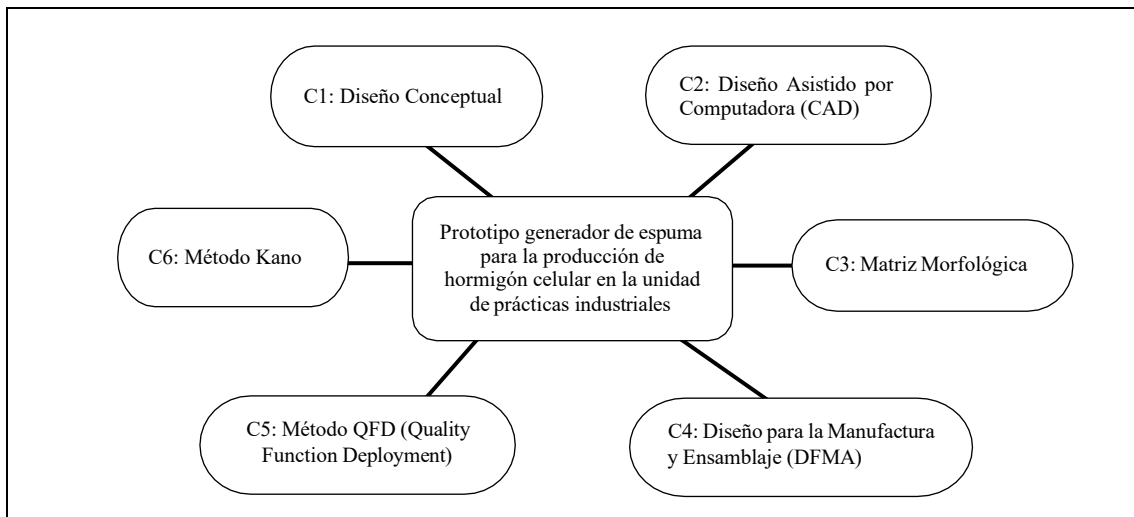


*Nota. Los artículos fueron seleccionados siguiendo los lineamientos de PISMA2020 (Haddaway et al., 2022).*

### Análisis de los resultados.

Según Vargas (2024), el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una herramienta que permite comparar y priorizar opciones a partir de criterios organizados en distintos niveles, lo que ayuda bastante cuando se busca elegir metodologías adecuadas para el diseño y desarrollo de prototipos. Durante la revisión sistemática se identificaron seis metodologías que resultaron relevantes para el diseño de sistemas industriales relacionados con la generación de espuma y con procesos de optimización productiva. En la **Figura 3** se puede ver este conjunto de herramientas, que fueron consideradas como base para avanzar en el desarrollo del prototipo.

**Figura 3:** *Herramientas de diseño encontradas.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Con la aplicación del método AHP se evaluaron las metodologías tomando en cuenta su aporte técnico, la facilidad con la que pueden implementarse, su eficiencia estructural y su relación con los principios de eco-innovación. A partir de estos criterios se elaboró la **Tabla 1**, en la que se muestra la ponderación asignada a cada alternativa metodológica para identificar cuáles eran las más adecuadas para orientar el diseño y la construcción del prototipo generador de espuma.

**Tabla 1:** *Criterios y ponderación.*

Nº	Criterios	Ponderación
1	Diseño para la Manufactura y Ensamblaje (DFMA) (C4)	0,24
2	Diseño Asistido por Computadora (CAD) (C2)	0,20
3	Método Kano (C6)	0,17
4	Diseño Conceptual (C1)	0,15

5	Método QFD (Quality Function Deployment) (C5)	0,13
6	Matriz Morfológica (C3)	0,11

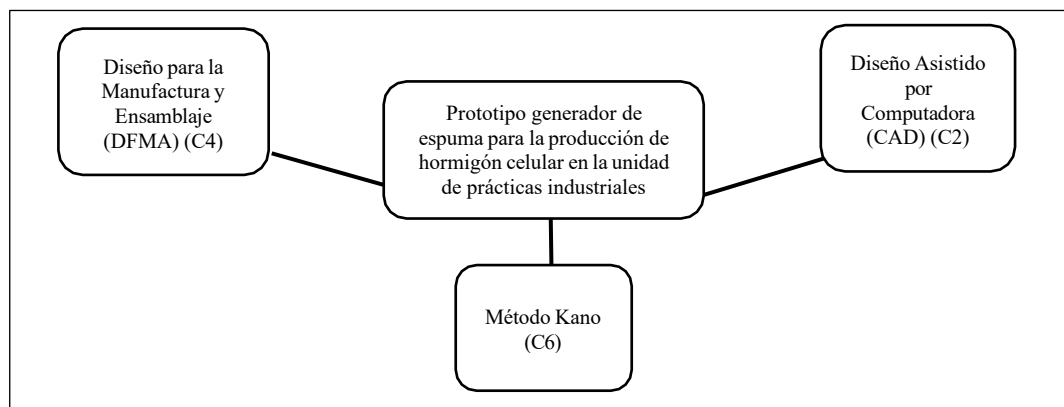
*Nota.* Elaborado por los autores.

El análisis AHP permitió identificar las metodologías más apropiadas para el proyecto, destacando el DFMA por su aporte a la optimización del ensamblaje y la reducción de desperdicios; el diseño CAD por su capacidad de modelado y simulación previa a la construcción; y el Método Kano por integrar las necesidades del usuario dentro del proceso de diseño.

#### **Delineación del método.**

Del análisis realizado se estableció un procedimiento lógico compuesto por tres etapas principales: el método Kano, orientado a definir los requerimientos y parámetros funcionales del sistema; la aplicación de DFMA, centrada en optimizar la estructura y simplificar el ensamblaje; y el uso de CAD, que permitió el modelado tridimensional, la simulación y la verificación previa del diseño. Estas etapas se integran de manera secuencial dentro del esquema metodológico ilustrado en la **Figura 4**, donde se visualizan los métodos seleccionados para guiar el desarrollo del prototipo.

**Figura 4:** *Métodos seleccionados.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Este enfoque metodológico permitió ir ordenando el desarrollo del prototipo generador de espuma de una manera más clara, y se puede ver que ayudó a obtener un diseño funcional y sencillo de reproducir. También facilitó que el trabajo se mantuviera alineado con los principios de eco-innovación que se aplican en el ámbito industrial, lo que le da coherencia al proceso y a los resultados obtenidos.

### **1.3. Estado conceptual.**

#### **1.3.1 Ingeniería de materiales**

La ingeniería de materiales se ocupa de entender cómo la composición y la microestructura terminan influyendo en el comportamiento mecánico de los materiales que se usan en la industria. En realidad, cuando se trabaja con hormigón celular, la presencia de espuma cambia de manera notable la densidad, la absorción y la resistencia a la compresión, y estas variaciones necesitan evaluarse de forma experimental. Según Gołaszewski et al. (2022), señalan que la elección de aditivos, la granulometría del cemento y la calidad del agente espumante define buena parte de las propiedades térmicas, mecánicas y de durabilidad del material, algo clave para valorar su desempeño dentro de criterios de sostenibilidad.

#### **1.3.2 Hormigón celular.**

El hormigón celular es un material ligero que contiene burbujas de aire finas y uniformes generados por espuma preformada, lo que reduce su densidad y peso sin comprometer su cohesión estructural (Mohamed et al., 2024) indican que la porosidad y su distribución influyen directamente en la resistencia a la compresión: al aumentar el volumen de espuma, crece la porosidad y disminuye la resistencia mecánica. Estas características hacen del hormigón celular un material eficiente energéticamente, con menor masa y alta capacidad de aislamiento térmico, atributos vinculados con la sostenibilidad en la construcción.

#### **1.3.3 Generador de espuma**

Según el Concrete Pavement Technology Center (2021) un generador de espuma es un equipo que mezcla un agente espumante, agua y aire para producir espuma preformada estable. Su desempeño depende de parámetros como la presión de inyección, caudal de aire, y relación aire–espumante, los cuales determinan la estabilidad y tamaño de las burbujas. Gołaszewska et al. (2025) señalan que la eficiencia del espumante y su dosificación afectan la hidratación del cemento y la microestructura resultante, mientras que el uso de estabilizantes puede mejorar la durabilidad y resistencia final del material (Rudziewicz et al., 2025).

#### **1.3.4 Diseño de equipos**

El diseño de equipos industriales suele requerir una combinación de criterios mecánicos, hidráulicos y neumáticos para que el sistema funcione con seguridad y buena eficiencia. Esto fue decisivo en el caso del prototipo generador de espuma, porque todo el diseño terminó girando alrededor del control de variables como la presión, el caudal y la mezcla aire–espumante, usando módulos que hagan más simple la calibración y el mantenimiento. Rahatulain et al. (2021) comentan que un prototipo debe permitir ajustes rápidos y mediciones que puedan repetirse con fiabilidad, algo que facilita bastante el uso racional de los recursos y el tiempo de trabajo. También se puede ver que las herramientas CAD y las simulaciones de flujo aportan al modelado del sistema y van abriendo espacio para una mejora continua del diseño.

#### **1.3.5 Ensayos de laboratorio y normas**

Los ensayos de laboratorio resultan fundamentales para comprobar cómo se comportan los materiales y también los equipos. En el caso del hormigón celular, se utilizan pruebas estandarizadas de densidad aparente, absorción de agua y resistencia a la compresión, tal como establecen la ACI 523.1R-06 y la INEN 2380:2011. Estas evaluaciones permiten vincular la calidad de la espuma con las propiedades finales del hormigón, y ayudan a verificar si mantiene la estabilidad y la uniformidad esperada. En realidad, los datos que se obtienen sirven como una referencia objetiva para comparar el desempeño del prototipo frente a los métodos manuales tradicionales.

#### **1.3.6 Prototipo y validación experimental**

Un prototipo es una representación funcional construida para experimentar, validar y comunicar decisiones de diseño. Según Yeshiwas et al. (2025) los prototipos aceleran los ciclos de desarrollo al permitir ensayos de contextos reales con distintos niveles de fidelidad. En ingeniería industrial, el prototipo generador de espuma no solo sirve para validar parámetros técnicos, sino también como herramienta educativa y de innovación aplicada. La prototipación rápida y las pruebas controladas facilitan identificar puntos de mejora, ajustar el diseño y optimizar el rendimiento energético del sistema.

#### **1.3.7 Practicas industriales y control de procesos**

Las prácticas industriales reúnen el uso de distintos métodos, equipos y normas que hacen posible llevar a cabo procesos de producción y ensayos de materiales, lo que

ayuda a vincular la formación académica con el trabajo real que se desarrolla en el ámbito productivo. Galoul et al. (2024) mostraron que elegir bien el agente espumante y controlar de forma precisa los parámetros de operación tiene un efecto directo en el comportamiento térmico y mecánico del material final; se puede ver que ese detalle marca bastante la diferencia en el desempeño. Con esta idea en mente, el uso del prototipo dentro de la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE permitirá registrar las variables de operación y observar cómo influyen en la eficiencia del sistema, algo que refuerza tanto la formación técnica como el aprendizaje experimental.

### **1.3.8 Sostenibilidad e innovación tecnológica**

La sostenibilidad en el contexto académico y de investigación también se entiende como un compromiso con la formación de profesionales capaces de proponer soluciones a los desafíos globales del cambio climático, la escasez de agua, la pérdida de biodiversidad y la contaminación ambiental. El hormigón celular aporta a la sostenibilidad por su menor masa en materia prima y transporte de energía, por su alto aislamiento térmico, el cual reduce cargas operativas, se considera que al usarse como alternativa bajo carbono es viable para muros de corte integrando desempeño estructural y métricas de impacto (Gencel et al., 2022).

### **1.3.9 Innovación tecnológica**

La sostenibilidad industrial implica optimizar el uso de recursos naturales, reducir emisiones y minimizar desperdicios. En la producción de materiales ligeros, el uso racional de agua, aire y energía eléctrica puede disminuir significativamente la huella ambiental. Por su parte, la innovación tecnológica mediante automatización, sensores e instrumentación de control permite cuantificar variables operativas en tiempo real y mejorar la trazabilidad del proceso. Markin et al. (2025) destacan que las nuevas técnicas de fabricación controlada no solo mejoran la calidad del producto, sino que también promueven la eco-innovación, base del presente estudio.

## **1.4. Descripción del sistema productivo.**

### **1.4.1 Estructura y carcasa**

La estructura funciona como el soporte principal del prototipo y permite montar los distintos componentes operativos, como la bomba, el compresor, el tanque de mezcla y la cámara de espumado. Se puede ver que su diseño debe ofrecer estabilidad mecánica

y, además, absorber las vibraciones que aparecen mientras el equipo está en marcha. Para este tipo de aplicación se suele usar acero inoxidable AISI 304, principalmente por su resistencia a la corrosión y su buen comportamiento en zonas húmedas; aunque el acero al carbono con un recubrimiento anticorrosivo también resulta útil cuando se busca equilibrar costo y durabilidad. La elección de estos materiales tiene que ver con su rigidez, el poco mantenimiento que requieren y su vida útil larga, algo que ayuda a reducir gastos operativos y evita impactos ambientales asociados a reemplazos prematuros.

#### **1.4.2 Tanque de mezcla (agua + espumante)**

El tanque almacena la mezcla de agua y agente espumante antes de que pase a la cámara donde se genera la espuma. Su diseño debe evitar cualquier fuga, reacción indeseada o cambio de presión que pueda afectar la uniformidad de la mezcla. El material más apropiado para este componente es el acero inoxidable 304, debido a su buena resistencia química y térmica. En aplicaciones menos exigentes también puede utilizarse PVC de alta presión tipo SCH40, siempre que cumpla con los requisitos de compatibilidad química y resistencia estructural.

#### **1.4.3 Bomba de agua/mezcla**

La bomba es la encargada de impulsar la mezcla hacia la cámara generadora, manteniendo un flujo continuo y una presión estable. Por lo general, su cuerpo se fabrica en acero inoxidable o bronce, y utiliza un rotor hecho de polímeros técnicos de alta resistencia, materiales capaces de soportar tanto la acción química del espumante como las altas velocidades de rotación. Cuando el flujo no es uniforme o la bomba no trabaja adecuadamente, la espuma se forma de manera irregular, lo que afecta la densidad y calidad del hormigón celular. Por este motivo, la bomba debe proporcionar un caudal constante, sin pulsaciones y con pérdidas de carga mínimas.

#### **1.4.4 Compresor de aire**

El compresor es el encargado de aportar el aire comprimido necesario para que la espuma se forme de manera estable. Para lograrlo, debe entregar una presión y un caudal adecuados que mantengan la relación aire–espumante en el nivel correcto. Los compresores fabricados en aluminio fundido, con componentes internos de acero tratado, suelen ofrecer un buen equilibrio entre resistencia, eficiencia térmica y bajo consumo energético. Cuando la presión es baja, se generan burbujas grandes y la espuma pierde

estabilidad; en cambio, una presión demasiado alta puede provocar el colapso de la estructura de microburbujas.

#### **1.4.5 Sistema de tuberías y válvulas**

El sistema de tuberías y válvulas es el encargado de enlazar los subsistemas de mezcla, suministro de aire y salida de espuma. Su función exige que no existan fugas, que la pérdida de presión sea mínima y que los materiales resistan los agentes químicos del proceso. Para este fin se optó por PVC de alta presión (SCH40 o SCH80), ya que es ligero, económico y fácil de ensamblar. En áreas donde la presión es mayor o hay fricción constante, resulta más adecuado emplear acero inoxidable o tubería HDPE. Las válvulas de retención, control y alivio permiten dirigir el flujo correctamente y protegen al equipo frente a posibles sobrepresiones.

#### **1.4.6 Cámara generadora de espuma**

La cámara generadora funciona como el núcleo del sistema, porque es ahí donde el aire comprimido se mezcla con la solución espumante para formar la espuma. Su desempeño depende de que el flujo se reparta de manera adecuada y de que el tamaño de las burbujas se mantenga bastante uniforme, algo que influye directamente en la calidad del espumado. Normalmente se fabrica en acero inoxidable 304 o 316, ya que estos materiales ofrecen buena resistencia química, se limpian con facilidad y soportan bien el uso continuo. En su interior se coloca una malla metálica o un filtro sinterizado que ayuda a producir microburbujas más homogéneas, lo que termina dando mayor estabilidad a la espuma y hace que el proceso sea más consistente.

#### **1.4.7 Sistema de control**

El sistema de control se encarga de ajustar las condiciones bajo las que funciona el prototipo, manejando variables como la presión, el caudal y la proporción aire–espumante. Está compuesto por manómetros, válvulas reguladoras, sensores de flujo y un controlador electrónico sencillo, y todo esto permite revisar los parámetros mientras el equipo está en operación. Estos elementos, que suelen fabricarse en acero inoxidable, ABS o nylon técnico, se instalan dentro de un tablero protegido contra la humedad. Con esta configuración se logra repetir el proceso con buena fiabilidad, registrar datos y validar los resultados de forma experimental, algo que sirve tanto para actividades académicas como para comparar el funcionamiento del prototipo frente a los métodos manuales tradicionales.

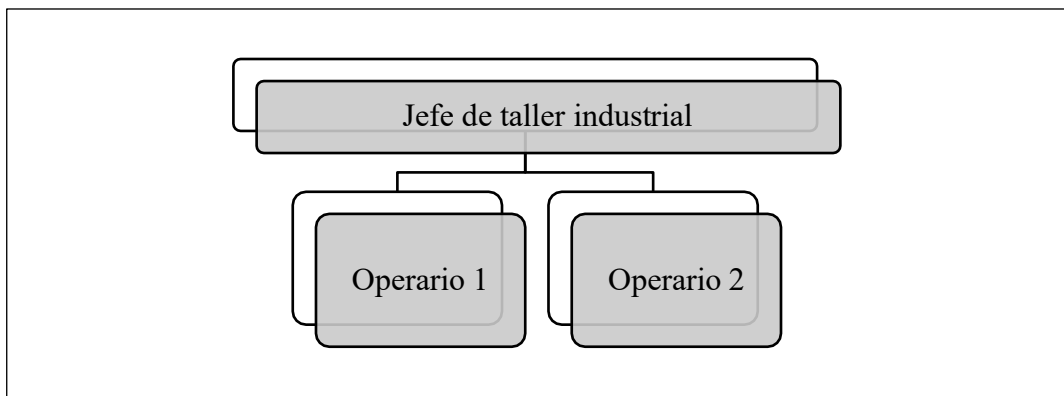
#### 1.4.8 Accesorios (mangueras, uniones y soportes)

El conjunto de accesorios complementa el funcionamiento general del sistema e incluye mangueras de alta presión, uniones roscadas, conectores rápidos y pernos de fijación. Las mangueras suelen fabricarse en caucho reforzado con malla textil o metálica, mientras que los conectores y pernos se recomiendan en acero galvanizado o inoxidable para evitar problemas de corrosión. Estos elementos permiten mantener la seguridad del equipo, su integridad mecánica y la continuidad de la operación durante el uso.

#### 1.4.9 Organigrama del taller industrial

La Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) dispone de un taller industrial equipado con maquinaria de torneado, fresado, amolado, taladrado y soldadura, donde se desarrollan actividades de diseño, manufactura y ensamblaje de prototipos. En este espacio opera un equipo conformado por tres personas: un jefe de taller encargado de la supervisión y control de las operaciones, y dos operarios que brindan apoyo técnico en las tareas de fabricación. La estructura funcional de este equipo se muestra en la **Figura 5**, donde se representa el organigrama correspondiente al taller industrial.

**Figura 5:** *Organigrama del taller industrial.*



*Nota. Elaborado por los autores.*

# CAPÍTULO II

## MARCO METODOLÓGICO

### **2.1. Enfoque de investigación.**

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo y deductivo, que resulta adecuado cuando se busca diseñar, construir y validar un prototipo generador de espuma pensado para mejorar el proceso de producción de hormigón celular. Este tipo de enfoque permite medir con objetividad cómo influyen variables como la presión, el caudal o la proporción aire–espumante en la eficiencia del sistema. Según González (2019), el método cuantitativo ayuda a obtener y analizar datos numéricos que permiten comprobar hipótesis y reconocer patrones que pueden repetirse dentro de un experimento. Esto es lo que hace posible evaluar el desempeño técnico del prototipo y estimar su efecto en la reducción de desperdicios y en un uso más razonable de los recursos.

### **2.2. Tipo de investigación.**

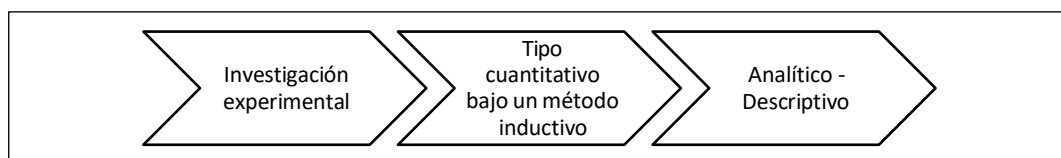
El estudio se considera una investigación aplicada porque busca llevar conocimientos teóricos a soluciones que puedan usarse directamente dentro del campo de la ingeniería industrial. De acuerdo con Zúñiga et al. (2023), explican que este tipo de investigación se orienta al desarrollo de herramientas o procesos que ayudan a mejorar situaciones reales, algo que aquí se refleja bastante bien. Eso se nota en la construcción de un prototipo funcional que aporta a la eco-innovación industrial, ya que logra reducir el consumo de agua, energía y agente espumante en las prácticas que se realizan en la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE. Además, la investigación no solo comprueba el rendimiento técnico del equipo, también permite ver su aporte a la sostenibilidad y al desarrollo de competencias tecnológicas en los estudiantes.

### **2.3. Diseño de investigación.**

El estudio se apoya en un diseño experimental, lo que implica manejar variables bajo control para observar cómo varían los resultados del proceso de generación de espuma. Este enfoque facilita revisar paso a paso la relación entre el desempeño del prototipo y la eficiencia del hormigón celular obtenido, permitiendo notar con más claridad el efecto que tiene cada ajuste dentro del sistema.

Según González (2019), los diseños experimentales se utilizan cuando es necesario controlar condiciones específicas y evaluar los resultados bajo parámetros que puedan verificarse. Eso resume bien la lógica del estudio. La estructura general del diseño de investigación aplicado se muestra en la **Figura 6**, donde aparecen las etapas metodológicas que guiaron el desarrollo del trabajo.

**Figura 6:** *Diseño de investigación.*



*Nota. Elaborado por los autores.*

El estudio experimental se desarrolló con un alcance descriptivo y tiene la intención de observar, de manera bastante directa, el comportamiento del prototipo durante las pruebas de operación. Este seguimiento hace posible analizar la estabilidad de la espuma, el consumo energético y la uniformidad de la mezcla, tres variables que permiten entender mejor cómo rinde el sistema en condiciones reales.

De acuerdo con Patricia et al. (2020), los estudios descriptivos ayudan a identificar las propiedades esenciales de un fenómeno y a ordenar los resultados siguiendo criterios que puedan medirse con claridad. Eso es lo que se espera aquí, ya que este tipo de análisis permitirá reconocer mejoras en la eficiencia operativa, la reducción de costos y un uso más responsable de los recursos. Todo esto aporta información que puede servir como base para futuras innovaciones en el diseño de equipos industriales sostenibles.

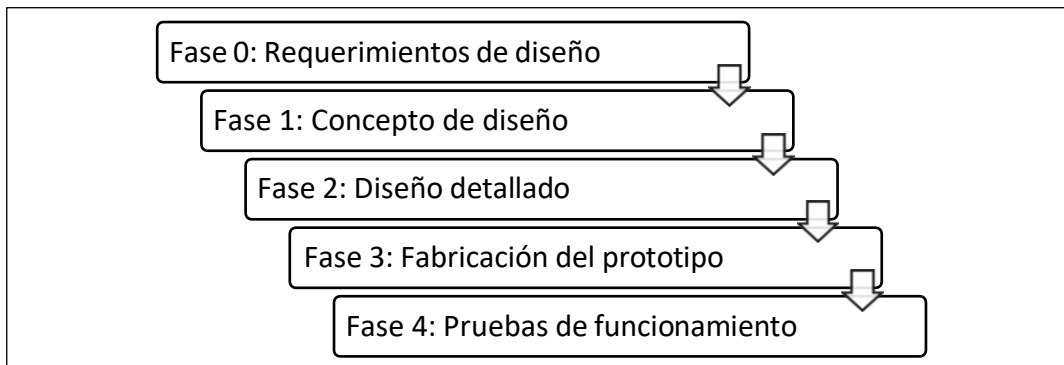
#### **2.4. Proceso metodológico de diseño del prototipo**

El desarrollo metodológico de este proyecto se organizó tomando como base el ciclo de diseño propio de la ingeniería concurrente, que permite trabajar de forma simultánea la planificación, el diseño, la fabricación y la validación del prototipo generador de espuma. Lo interesante de este enfoque es que facilita una retroalimentación constante entre las fases, lo cual ayuda a reducir tiempos y a asegurar que el resultado final cumpla con criterios de eficiencia operativa, sostenibilidad y viabilidad técnica. De acuerdo con Valverde & Sastre (2016), mencionan que la ingeniería concurrente permite considerar desde etapas tempranas aspectos como la calidad, los costos, el mantenimiento y el ciclo de vida del producto, algo que termina generando diseños más sólidos y sostenibles.

En el proceso se utilizaron tres enfoques que fueron tomando sentido a medida que avanzaba el proyecto. El método Kano sirvió para identificar los requerimientos funcionales del prototipo, mientras que el DFMA permitió organizar la construcción procurando simplicidad y poco desperdicio. Y, el apoyo del CAD fue decisivo, pues permitió revisar previamente las dimensiones y los puntos críticos en la pantalla antes de fabricar cualquiera de los componentes.

La estructura general del ciclo metodológico seguido puede verse en la Figura 7, donde se muestran las etapas que fueron marcando el rumbo del proceso y que, poco a poco, permitieron dar forma al desarrollo del prototipo.

**Figura 7:** *Ciclo metodológico de diseño del prototipo*



*Nota. Elaborado por los autores.*

#### **Fase 0.- Requerimientos de diseño.**

Para esta fase se siguió el método Kano descrito por Montesinos-González et al. (2016), Se aplicó un cuestionario técnico dirigido a especialistas en mecánica, automatización y materiales de construcción, con el objetivo de clasificar los requerimientos funcionales y de desempeño del prototipo. Este análisis permitió ordenar varias necesidades: las básicas, relacionadas directamente con la capacidad del equipo para generar espuma; las de desempeño, que incluyen el control de presión, caudal y estabilidad; y finalmente algunos aspectos de atractivo, como la facilidad de uso y el bajo mantenimiento. Con todos estos elementos se pudieron definir los parámetros iniciales del diseño.

#### **Fase 1.- Concepto de diseño.**

En esta etapa se trabajó en los primeros bocetos del sistema, donde se representaron los componentes estructurales, hidráulicos y neumáticos. Para comparar distintas posibilidades se utilizó la matriz morfológica, lo que permitió evaluar alternativas y escoger las que mostraban mejor viabilidad técnica y económica. Con ello

se llegó a un esquema base del sistema de espumado, conformado por la bomba, el compresor, la cámara de mezcla, las válvulas de control y la estructura soporte, siempre tomando en cuenta criterios de ergonomía, seguridad y eficiencia energética. También se elaboró el diagrama de operaciones del proceso, que muestra la secuencia de acciones desde la preparación de la mezcla aire–espumante hasta obtener finalmente la espuma.

### **Fase 2.- Diseño detallado.**

En esta parte del proceso se estudiaron diferentes materiales para determinar cuáles ofrecían las mejores condiciones para el prototipo, considerando su capacidad de carga, la vida útil y qué tan accesibles eran dentro del contexto local. Finalmente, el acero inoxidable AISI 304 y el PVC de alta presión se definieron como las opciones más adecuadas. Junto con esto se elaboró un primer cálculo de costos y se revisó el modelo conceptual en SolidWorks, ejercicio que permitió ajustar uniones, tolerancias y ciertos espesores que mostraban alguna sensibilidad en el diseño.

### **Fase 3.- Fabricación del prototipo.**

La fabricación del prototipo se desarrolló aplicando los principios del DFMA, procurando que los procesos fueran lo más simples y seguros posibles, y que generaran poco desperdicio. Para avanzar con seguridad se elaboraron diagramas de esfuerzo y análisis estructurales, lo que ayudó a ubicar los puntos donde la carga era más crítica y a definir los procedimientos apropiados de corte, soldadura y ensamblaje. Cada una de las piezas se fabricó mediante técnicas de mecanizado convencional dentro del taller de la Unidad de Prácticas Industriales, respetando las normas de seguridad y usando únicamente las herramientas disponibles en el lugar. La etapa terminó con el ensamblaje completo del equipo y una primera revisión de las conexiones hidráulicas y neumáticas.

### **Fase 4.- Pruebas de funcionamiento.**

En esta etapa se efectuaron las pruebas de funcionamiento, que en realidad fueron esenciales para ver cómo respondía el prototipo en condiciones reales. Se utilizaron distintas proporciones de agua y agente espumante, lo que permitió medir la estabilidad de la espuma, su densidad y el caudal producido. Una vez recopilados los datos, se comparó el rendimiento del sistema con los métodos manuales, poniendo atención en el consumo de energía, la uniformidad de la mezcla y la disminución de desperdicios. Con esos resultados se hicieron los ajustes necesarios para lograr una producción de espuma más estable, más controlada y con una orientación clara hacia la sostenibilidad.

## 2.5. Población y muestra

### 2.4.1 Población

En investigación, la población se refiere al conjunto de personas, eventos u objetos que comparten rasgos importantes para el problema que se analiza. En este caso, la población estuvo formada por los estudiantes de cuarto a octavo semestre de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, pertenecientes al período académico 2025-2. Se puede ver que este grupo es el que mantiene una relación directa con el uso y la evaluación del prototipo generador de espuma, además de su utilidad dentro de la formación académica. La distribución de esta población aparece en la Tabla 2, donde se detallan los niveles académicos considerados para aplicar el instrumento de encuesta.

**Tabla 2:** *Población objetivo de estudio.*

Docentes y estudiantes	N. de personas
Cuarto semestre	68
Quinto semestre	45
Sexto semestre	14
Séptimo semestre	12
Estudiantes de octavo	16
<b>Total, de docentes y estudiantes</b>	<b>155</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 2.4.2 Muestra

La muestra constituye un segmento representativo del universo de estudio, elegido con criterios específicos para permitir la generalización de los resultados obtenidos debido a que su propósito fundamental es facilitar la observación y evaluación de fenómenos sin la necesidad de escoger a todo el conjunto, minimizando recursos y tiempos Sampieri et al. (2018).

Como se aprecia en la **Tabla 3**, los cursos que serán tomados en cuenta dado que son los que mayor mente asisten a realizar prácticas al laboratorio de calidad donde se tomó a consideración los estudiantes teniendo un total de 155 que serán reducidos al aplicar el cálculo de muestra para poblaciones finitas.

**Tabla 3:** *Muestra representativa.*

Curso/ Paralelo	Femenino	Masculino	Total
Cuarto 1/1 y ½	48	20	68
Quinto 5/1 y 5/2	32	13	45

Sexto 1/1 y ½	10	4	14
Séptimo 1/1 y 1/2	9	3	12
Octavo 1/1	13	3	16
Total	112	43	155

*Nota.* Elaborado por los autores.

Para calcular el tamaño de la muestra, se efectuó la fórmula de muestreo para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95%, nivel de error permisible del 15%, seguido de la población con un total de 155 estudiantes, bajo la probabilidad de que ocurra con el 50% y con la probabilidad que no pase del 50%. Mediante los resultados obtenidos de este cálculo que se muestran en la ec1, se estableció una muestra definida por 40 estudiante de la carrera de ingeniería industrial, por esta razón solo a este segmento se les aplicó un cuestionario bajo un muestreo aleatorio, brindando confiabilidad a la investigación.

$$Ec1: n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

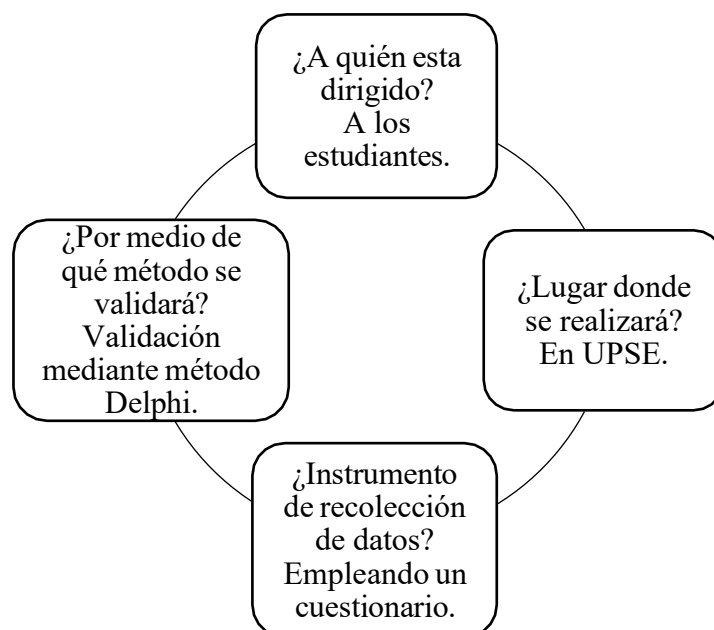
$$n = \frac{155 * 3.84 * 0.25}{3.77} = 40$$

## 2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos

### 2.5.1 Métodos de recolección de los datos

El método de investigación empleado en el estudio es el inductivo, Del Cid et al. (2011) este método permite analizar y organizar la información desde casos particulares hasta obtener conclusiones generales, facilitando la comprensión de los fenómenos asociados al funcionamiento del prototipo generador de espuma. Bajo este enfoque, la recolección de datos se estructuró de forma ordenada para garantizar la validez del estudio, siguiendo las etapas mostradas en la **Figura 8**, donde se representa el plan general de análisis aplicado en la investigación.

**Figura 8:** Plan de análisis.



*Nota: Elaborado por los autores en base a (Del Cid et al., 2011).*

La recolección de datos enfatiza el desarrollo de una organización estructurada que mantenga las generalidades del problema, según Sampieri et al. (2018), alude que la planificación se basa en una etapa definida, donde se enfatizan los grupos encuestados, el lugar, tipo de cuestionario y técnica de recopilación.

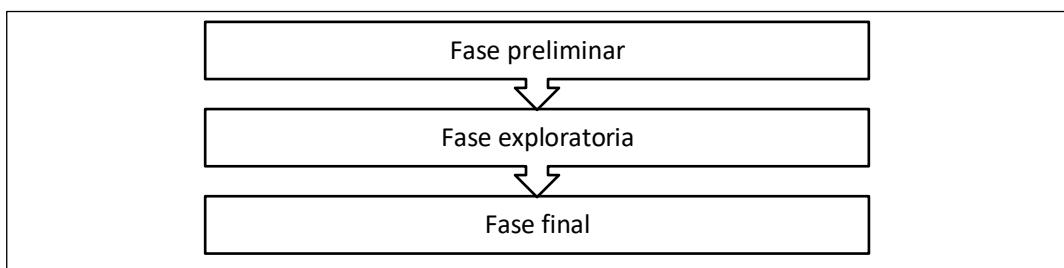
### **2.5.2 Técnicas de recolección de los datos**

Como técnica bajo el resultado del análisis bibliométrico de la literatura sección 1.2 se identificó que el diseño de una encuesta ayudará a identificar las percepciones de las personas inmersas al estudio. Consecuentemente, se desglosa un segmento inicial que proporciona criterios elocuentes del caso, por esta razón, la aplicación de este método ayuda a medir la confiabilidad de la información en relación al cumplimiento de los objetivos, para garantizar la validez de los mecanismos desarrollados Sampieri et al. (2018). Por tal motivo, se realizó una encuesta dirigida a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial de 4 hasta 8 semestre, empleando una ronda de interrogantes con un total de 20 ítems, a su vez estará divididas por 10 preguntas relacionada a la variable independiente y 10 para la dependiente, estas pasarán un proceso de validación por un grupo de especialista en el tema.

### 2.5.3 Procedimiento de validación de la encuesta.

Para asegurar que el instrumento dirigido a los expertos fuera realmente válido y confiable, se recurrió al método Delphi, una técnica bastante utilizada en estudios de ingeniería cuando se necesita revisar y confirmar cuestionarios de tipo técnico. Este método funciona gracias a varias rondas de revisión que permiten llegar a un consenso entre especialistas, tal como señala Blasco Mira (2010). En la Figura 9 se muestran las etapas que se aplicaron durante el proceso, donde se puede ver la secuencia que se siguió para depurar los ítems y fortalecer el contenido del instrumento.

**Figura 9:** *Etapas del método de Delphi.*



*Nota: Elaborado por los autores basado en (Blasco Mira, 2010).*

#### **Fase preliminar**

Para comenzar el proceso, se integró un panel de expertos formado por docentes y técnicos con trayectoria en diseño mecánico, procesos industriales, sostenibilidad y gestión ambiental. Este equipo revisó si las preguntas del cuestionario eran pertinentes y claras, sobre todo aquellas relacionadas con el diseño, la construcción y el desempeño del prototipo generador de espuma. Se puede ver que su tarea fue verificar que cada ítem realmente correspondiera a las variables del estudio. A partir de sus primeras observaciones se ajustó la redacción y la escala de valoración, lo que permitió afinar la coherencia interna del instrumento.

#### **Fase exploratoria**

En esta fase se aplicó la primera versión del cuestionario a los expertos, buscando identificar oportunidades de mejora tanto en el contenido técnico como en los aspectos conceptuales del instrumento. A partir de las observaciones recibidas se elaboró una versión revisada, organizada con una escala Likert de cinco niveles para medir el grado de acuerdo respecto a la claridad, la relevancia y la coherencia de los indicadores incluidos. Después, los resultados se analizaron con técnicas de estadística descriptiva, lo que permitió visualizar el nivel de consenso entre los participantes y dejar definidos los ajustes finales antes de establecer la versión definitiva del cuestionario.

### **Fase final**

Después de aplicar las recomendaciones realizadas por los especialistas, se estableció la versión final del cuestionario. Al analizar la información obtenida se observó que cada ítem medía con suficiente precisión los elementos vinculados con la eficiencia operativa, el uso responsable de los recursos y los criterios ambientales del prototipo generador de espuma. Se puede ver que este procedimiento ayudó a fortalecer la coherencia del instrumento y a mantenerlo ajustado a los objetivos definidos desde la perspectiva de la eco-innovación industrial.

### **Variables de estudio.**

El estudio analiza la factibilidad técnica y también la ambiental del prototipo generador de espuma, prestando atención a cómo su uso podría mejorar el proceso de producción de hormigón celular dentro de la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE.

A partir de este enfoque, se establecen las siguientes variables:

**Variable independiente:** Prototipo generador de espuma

**Variable dependiente:** Proceso de producción de hormigón celular

### **2.5.4 Operacionalización de las variables**

La operacionalización de las variables permitió definir de manera precisa las dimensiones, indicadores y preguntas que orientan la medición de los objetivos planteados. En el **Anexo O** se presenta la tabla de operacionalización correspondiente, donde se detallan los criterios técnicos aplicados para evaluar la relación entre el diseño y funcionamiento del prototipo y la eficiencia del proceso de producción. Esta estructura metodológica contribuye a garantizar la coherencia entre las variables, los instrumentos de medición y los resultados esperados, permitiendo una evaluación objetiva del impacto del prototipo generador de espuma como herramienta de eco-innovación y optimización tecnológica en los procesos industriales sostenibles de la UPSE.

### **2.7. Validación por expertos**

#### **Fase preliminar**

Para iniciar el proceso de validación por expertos se aplicó un cuestionario estructurado que tomó como referencia los requerimientos técnicos del prototipo generador de espuma, sobre todo en lo relacionado con su diseño, su desempeño operativo y los criterios de sostenibilidad. La elección de los especialistas se hizo considerando su

trayectoria profesional, su formación en ingeniería industrial y su experiencia en procesos orientados a la ecoeficiencia. Con esto se buscó garantizar una revisión equilibrada tanto en lo técnico como en lo ambiental.

Los criterios planteados para elegir a los participantes fueron tres: contar con una trayectoria profesional de entre 10 y 35 años, disponer de un título de tercer nivel y estar dispuestos a colaborar en el proceso. Con estos requisitos se integró un grupo de cinco especialistas, cuyos perfiles y años de experiencia aparecen resumidos en la **Tabla 4**. Todos cumplían lo que se había establecido y aportaron una revisión técnica coherente con los objetivos del estudio.

**Tabla 4:** *Datos de expertos.*

N.º	Perfil Profesional	Años de experiencia
1	Magister en Gerencia Educativa	20 años
2	Ingeniero Químico	10 años
3	Magister en Ciencias e Ingeniería	15 años
4	PhD en Ciencias Ambientales	35 años
5	Ingeniero Industrial	15 años

*Nota: Elaborado por los autores.*

El grupo evaluador revisó cada uno de los ítems del cuestionario para asegurarse de que fueran claros, pertinentes y realmente acordes con las variables definidas en el estudio. A partir del análisis se pudo ver que el instrumento cumplía con lo necesario para medir la relación entre el diseño del prototipo y la eficiencia del proceso de producción de hormigón celular. En conjunto, estos resultados respaldan la confiabilidad del método aplicado y su coherencia con los principios de eco-innovación industrial que guiaron el proyecto.

# CAPÍTULO III

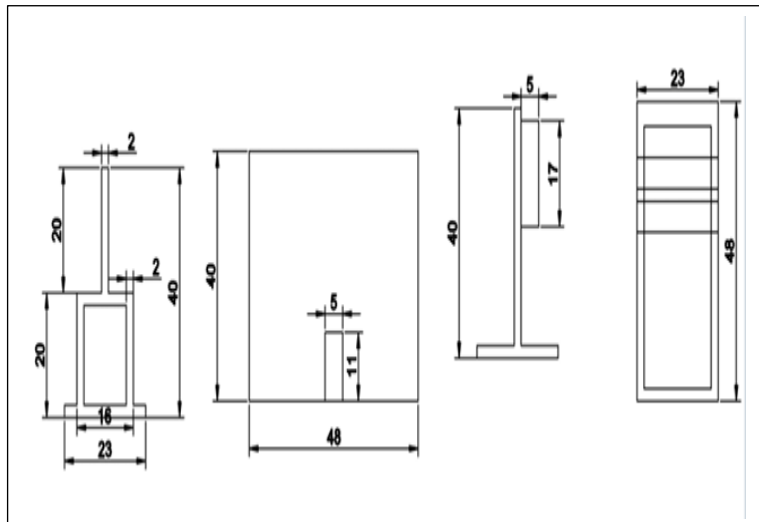
## PROPUESTA PROTOTIPO

### Fase exploratoria

#### Boceto inicial del prototipo

Para comenzar, se elaboró un boceto preliminar del prototipo en AutoCAD, mostrado luego en la **Figura 10**. Este dibujo reunió los componentes básicos del sistema y sirvió para una primera valoración técnica por parte del panel de especialistas. A partir de esa revisión se discutieron mejoras en la organización interna del prototipo, en la manera de operar los controles y en el manejo del flujo aire-espumante, ya que estos aspectos influyen directamente en la estabilidad y el rendimiento del proceso.

**Figura 10:** *Boceto inicial del prototipo.*



*Nota. Elaborado por los autores en AutoCAD.*

#### Fase 0: Requerimiento de diseño.

Con base en esta presentación, se aplicó un instrumento de 20 ítems mediante el método Delphi, con el objetivo de valorar el diseño, la integración de los sistemas y la factibilidad técnica del prototipo. Los expertos evaluaron parámetros relacionados con la estructura, control de variables, seguridad y mantenimiento, cuyas valoraciones se resumen en la **Tabla 5**. Para poder cumplir con el requerimiento y lograr si son o no aplicables, con el fin de tener una mayor aceptación y poder cumplir con el método Kano.

**Tabla 5:** *Valoración técnica del boceto inicial.*

Nº	Resultado	Comentarios
----	-----------	-------------

1	100	El diseño presenta buena estabilidad y distribución del peso; se sugiere reforzar el soporte del tanque para evitar vibraciones.
2	100	Correcta disposición de las válvulas; se recomienda reubicar el regulador de presión para mejorar el acceso operativo.
3	100	Flujo bien definido; añadir drenaje inferior para limpieza y evitar acumulación de residuos.
4	100	La mezcla aire-espumante se comprende visualmente; incluir mirilla para control visual del espumado.
5	100	Incorporar protecciones en puntos de conexión y etiquetas de flujo; se recomienda base anti vibratoria bajo el compresor.

*Nota.* Elaborado por los autores.

Los resultados muestran que los expertos coincidieron por completo en su evaluación, alcanzando un 100 % de aceptación técnica. Con esto se puede ver que el primer boceto del prototipo responde de manera adecuada a los criterios mecánicos, hidráulicos y neumáticos definidos. Las observaciones que hicieron fueron más de carácter preventivo, sobre detalles como reforzar el soporte del tanque, mejorar el acceso a ciertas válvulas o añadir elementos que faciliten la supervisión visual del espumado.

En realidad, ninguna de estas sugerencias pone en duda la estructura; más bien apuntan a detalles que permitirían mejorar la estabilidad del prototipo, facilitar su manipulación y obtener un desempeño más uniforme durante la operación. La valoración final respalda la factibilidad técnica del diseño, manteniendo condiciones de seguridad acordes y coherentes con los principios de eco-innovación industrial. Con esto se deja una base firme para avanzar hacia la fabricación y las pruebas experimentales.

#### **Aplicación del método Kano.**

#### **Evaluación de atributos del método Kano.**

La evaluación de los atributos se hizo aplicando el método Kano, que sirve para organizar las características del diseño según la influencia que tienen en la percepción del evaluador. Se puede ver que esta forma de clasificar ayuda a identificar qué elementos realmente aportan valor dentro del desarrollo del prototipo.

**Tabla 6:** *Evaluación de atributos.*

		Requerimientos disfuncionales (Negativos)					
Atributos			Ineficiente	Poco aceptable	Regular	Aceptable	Eficiente
			1	2	3	4	5
Reque rimien tos	Ineficiente	1	INV	INV	INV	INV	D
	Poco aceptable	2	INV	I	I	I	O

<b>Regular</b>	<b>3</b>	INV	I	I	I	O
<b>Aceptable</b>	<b>4</b>	INV	I	I	I	O
<b>Eficiente</b>	<b>5</b>	D	A	A	A	U

Nota. Elaborado por los autores en base a (Hernandez Yoshito, 2012).

La **Tabla 6** muestra los atributos que evaluaron los expertos sobre el prototipo generador de espuma. Están ordenados según el nivel de satisfacción obtenido durante la aplicación del método Kano. Lo llamativo es que esta matriz permite ver, casi de forma directa, la relación entre los requerimientos funcionales y los disfuncionales que podrían afectar el desempeño. A partir de esta base se construye luego la tabulación y el análisis.

### Tabulación de la encuesta del método Kano

**Tabla 7:** *Tabulación de encuesta.*

		<i>Expertos encuestados</i>					<i>Expertos encuestados</i>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>							
<i>Preguntas funcionales (Positivos)</i>	<b>1</b>	5	5	5	5	5	<i>Preguntas disfuncionales (Negati</i>	<b>1</b>	3	3	3	3	3
	<b>2</b>	5	5	5	5	5		<b>2</b>	3	3	3	3	3
	<b>3</b>	5	5	5	5	5		<b>3</b>	3	3	3	3	3
	<b>4</b>	5	5	5	5	5		<b>4</b>	3	3	3	3	3
	<b>5</b>	5	5	5	5	5		<b>5</b>	3	3	3	3	3
	<b>6</b>	5	5	5	5	5		<b>6</b>	3	3	3	3	3
	<b>7</b>	5	5	5	5	5		<b>7</b>	3	3	3	3	3
	<b>8</b>	5	5	5	5	5		<b>8</b>	3	3	3	3	3
	<b>9</b>	5	5	5	5	5		<b>9</b>	3	3	3	3	3
	<b>10</b>	5	5	5	5	5		<b>10</b>	3	3	3	3	3

Nota. Elaborado por los autores.

En la **Tabla 7** se pueden observar los datos obtenidos a partir de la encuesta aplicada a los cinco expertos, quienes evaluaron veinte ítems vinculados tanto con los atributos funcionales como con los disfuncionales del prototipo. Cada uno asignó valores entre 1 y 5, donde 1 corresponde al menor grado de conformidad y 5 al nivel más alto.

Al observar la tabla, es evidente que las respuestas de los evaluadores fueron muy similares, sobre todo en los elementos funcionales, donde las calificaciones resultaron elevadas. Eso deja una idea clara sobre la percepción del desempeño. En cambio, los aspectos disfuncionales recibieron valores intermedios, algo más neutral. En conjunto, los datos sugieren que el diseño tiene buena viabilidad técnica y operativa.

## Procesamiento de datos del método Kano

**Tabla 8:** *Procesamiento de datos del método Kano.*

		Docentes encuestados				
		1	2	3	4	5
Atributos evaluados	1	A	A	A	A	A
	2	A	A	A	A	A
	3	A	A	A	A	A
	4	A	A	A	A	A
	5	A	A	A	A	A
	6	A	A	A	A	A
	7	A	A	A	A	A
	8	A	A	A	A	A
	9	A	A	A	A	A
	10	A	A	A	A	A

*Nota.* Elaborado por los autores.

En la **Tabla 8** se muestran los datos obtenidos con el método Kano, donde se puede ver cómo los docentes expertos calificaron los atributos del prototipo generador de espuma. Lo notable es que todos los ítems quedaron en la categoría “Atractivos (A)”, evidenciando un buen nivel de satisfacción hacia el diseño. En esta categoría se agrupan características que aumentan la aceptación cuando se incluyen, aunque su ausencia no genera una respuesta negativa automática.

## Resultados

**Tabla 9:** *Resultados del método Kano.*

Contenido Abreviado de las preguntas		A	O	U	INV	D	I	T	C
1	Pregunta 1	5	0	0	0	0	0	5	A
2	Pregunta 2	5	0	0	0	0	0	5	A
3	Pregunta 3	5	0	0	0	0	0	5	A
4	Pregunta 4	5	0	0	0	0	0	5	A
5	Pregunta 5	5	0	0	0	0	0	5	A
6	Pregunta 6	5	0	0	0	0	0	5	A
7	Pregunta 7	5	0	0	0	0	0	5	A
8	Pregunta 8	5	0	0	0	0	0	5	A
9	Pregunta 9	5	0	0	0	0	0	5	A
10	Pregunta 10	5	0	0	0	0	0	5	A

*Nota.* Elaborado por los autores.

En la **Tabla 9** se pueden ver los resultados consolidados del análisis realizado con el método Kano, donde aparece una valoración claramente positiva de los veinte atributos evaluados por los cinco expertos. Todas las respuestas terminaron ubicándose en la categoría Atractiva (A), lo que deja ver que las características del diseño del prototipo generador de espuma fueron percibidas como útiles, novedosas y con un aporte real al

desarrollo del equipo. Esta correspondencia uniforme muestra un nivel de aceptación que respalda la propuesta técnica.

### Lista de requerimiento funcionales

**Tabla 10:** *Lista de requerimientos funcionales.*

Requerimiento Funcional	Necesidad / Deseo	Aspectos Técnicos
<b>Cumplimiento de los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada</b>	Necesidad	Implementar un sistema aire–espumante que mantenga una relación constante entre presión y caudal mediante válvulas de control y reguladores de aire.
<b>Selección adecuada de materiales estructurales</b>	Necesidad	Utilizar acero al carbono estructural y tubería galvanizada según norma ASTM A53, asegurando rigidez, durabilidad y resistencia a la corrosión.
<b>Funcionamiento óptimo del sistema hidráulico y neumático</b>	Necesidad	Incorporar bomba centrífuga de 2 HP y compresor de aire regulado entre 120–220 psi para garantizar caudal y presiones estables durante la mezcla.
<b>Flujo eficiente del sistema de tuberías y válvulas</b>	Deseo	Diseñar un circuito con trayectos cortos y diámetros progresivos entre ½” y 1”, utilizando conexiones herméticas de PVC y metálicas.
<b>Control de las variables de operación (presión, caudal y relación aire–espumante)</b>	Necesidad	Instalar manómetros calibrados y válvulas reguladoras que permitan ajustar la presión y el caudal de forma precisa y manual.
<b>Repetibilidad del proceso bajo las mismas condiciones de operación</b>	Deseo	Estandarizar el sistema mediante reguladores y válvulas de retención que aseguren un flujo constante y resultados reproducibles.
<b>Seguridad operativa para usuarios en prácticas universitarias</b>	Necesidad	Incorporar válvulas de alivio, protecciones en zonas presurizadas, breakers eléctricos y base anti vibratoria para evitar accidentes.
<b>Facilidad de mantenimiento y limpieza del sistema</b>	Deseo	Añadir drenajes inferiores, conexiones rápidas y uniones roscadas para facilitar el desmontaje, limpieza y revisión del sistema.
<b>Integración de principios de innovación tecnológica y sostenibilidad industrial</b>	Deseo	Aplicar criterios de eco-eficiencia en el diseño, utilizando materiales reciclables, bajo consumo energético y mínima pérdida de insumos.
<b>Posibilidad de replicar el diseño en otros laboratorios o talleres</b>	Deseo	Diseñar la estructura modular, con componentes normalizados y planos técnicos estandarizados para su fácil fabricación y montaje.

*Nota.* Elaborado por los autores.

La **Tabla 10** presenta los requerimientos funcionales definidos para el prototipo generador de espuma a partir del análisis realizado por los especialistas. Cada uno fue clasificado como necesidad, cuando su presencia es esencial para la seguridad y el funcionamiento, o como deseo, cuando constituye una mejora que completa el desempeño del sistema. Se aprecia que los criterios técnicos se orientan hacia la eficiencia de los

circuitos hidráulico y neumático, la estabilidad de la estructura, el mantenimiento sencillo y la posibilidad de reproducir el diseño en el entorno universitario.

### Fase final

Con las respuestas reunidas en las etapas anteriores se pudieron reconocer los ajustes que requería el primer boceto técnico del prototipo generador de espuma. Lo interesante es que las observaciones favorables y las sugerencias de los expertos ayudaron a depurar varios aspectos del diseño, dando más peso a elementos relacionados con la estabilidad estructural, la eficiencia en la mezcla y la facilidad para realizar mantenimiento.

### Fase1: Concepto de diseño

#### Selección de componentes.

**Tabla 11:** *Tabla morfológica de alternativas.*

Función / Alternativas	A1	A2	A3
<b>Estructura del prototipo</b>	Tubo cuadrado negro de acero (3/4" x 1,5 mm)	Tubo rectangular galvanizado	Tubo de aluminio estructural
<b>Cámara o tanque de mezcla</b>	Acero inoxidable AISI 304	Acero galvanizado	Polietileno de alta densidad (HDPE)
<b>Sistema hidráulico de alimentación</b>	Bomba centrífuga de 2 HP, 180–240 V	Bomba de diafragma de 1,5 HP	Bomba manual de paleta
<b>Sistema neumático de aire comprimido</b>	Compresor de 120–220 psi	Compresor portátil de 100 psi	Aire manual presurizado con válvula de paso
<b>Sistema de válvulas y control de flujo</b>	Válvulas de bola + válvulas de retención	Válvulas de aguja y regulador de aire	Válvulas de mariposa plásticas

*Nota. Elaborado por los autores.*

En la **Tabla 11** se muestran las alternativas que resultaron más relevantes para definir el diseño funcional y operativo del prototipo generador de espuma. Durante el análisis se compararon varias configuraciones y se puede ver que las más viables fueron aquellas que cumplían criterios de resistencia, eficiencia hidráulica, durabilidad y un mantenimiento accesible. La combinación elegida termina dando un diseño sólido y fácil de operar, construido con materiales disponibles en el mercado local y alineado con los principios de ecoeficiencia y sostenibilidad planteados en el proyecto.

**Tabla 12:** *Tabla de ponderación de alternativas*

Criterio	Desempeño	Mantenimiento	Accesibilidad a repuestos	Seguridad	Operatividad	Costo	Total	Ponderación
<b>Desempeño</b>	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	<b>8,0</b>	<b>0,24</b>

<b>Mantenimiento</b>	0,8	1	1,1	1,2	1,3	1,4	<b>6,8</b>	<b>0,20</b>
<b>Accesibilidad a repuestos</b>	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,3	<b>6,2</b>	<b>0,18</b>
<b>Seguridad</b>	0,6	0,8	0,9	1	1,2	1,3	<b>5,8</b>	<b>0,17</b>
<b>Operatividad</b>	0,7	0,9	1,1	1,2	1	1,4	<b>6,3</b>	<b>0,19</b>
<b>Costo</b>	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1	<b>4,9</b>	<b>0,15</b>
<b>Total</b>							<b>38,0</b>	<b>1,00</b>

*Nota. Elaborado por los autores.*

En la **Tabla 12**, se presenta la matriz de ponderación de criterios técnicos, herramienta empleada para determinar el peso relativo de los factores que influyen en la selección final de materiales y sistemas del prototipo generador de espuma.

**Tabla 13:** *Matriz de decisión estructura*

Estructura del prototipo		A1		A2		A3	
Indicadores	Ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
<b>Desempeño</b>	0,24	4	0,96	4	0,96	4	0,96
<b>Mantenimiento</b>	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80
<b>Accesibilidad a repuestos</b>	0,18	4	0,72	2	0,36	3	0,54
<b>Seguridad</b>	0,17	3	0,51	3	0,51	4	0,68
<b>Operatividad</b>	0,19	4	0,76	3	0,57	4	0,76
<b>Costo</b>	0,15	4	0,60	2	0,30	2	0,30
<b>Total</b>	1,13	<b>23</b>	<b>4,35</b>	18	3,50	21	4,04

*Nota. Elaborado por los autores.*

En la **Tabla 13** se muestran las alternativas A1, A2 y A3, cada una relacionada con el diseño estructural del prototipo. Al revisar los resultados del análisis ponderado, se puede ver que la alternativa A1 (tubo cuadrado negro de acero de 3/4" x 1,5 mm) alcanzó la valoración más alta, con un total de 4,35. Este resultado tiene sentido porque el material ofrece una buena rigidez, resiste bien impactos y permite una soldadura relativamente sencilla. Estas características favorecen la estabilidad del sistema durante el funcionamiento hidráulico y neumático, además de facilitar el mantenimiento.

**Tabla 14:** *Matriz de decisión cámara o tanque de mezcla*

Cámara o tanque de mezcla		A1		A2		A3	
Indicadores	ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
<b>Desempeño</b>	0,24	5	1,20	4	0,96	3	0,72
<b>Mantenimiento</b>	0,20	4	0,80	3	0,60	3	0,60
<b>Accesibilidad a repuestos</b>	0,18	3	0,54	2	0,36	2	0,36
<b>Seguridad</b>	0,17	4	0,68	3	0,51	2	0,34

<b>Operatividad</b>	0,19	4	0,76	3	0,57	2	0,38
<b>Costo</b>	0,15	3	0,45	2	0,30	2	0,30
<b>Total</b>	1,13	23	4,43	17	3,30	14	2,70

*Nota. Elaborado por los autores.*

En la **Tabla 14** se analizaron las alternativas propuestas para el tanque de mezcla del sistema aire–espumante. Se puede ver que la alternativa A1, fabricada en acero inoxidable AISI 304, obtuvo la valoración más alta con un total de 4,43. Este resultado tiene sentido porque el material ofrece un buen desempeño, es seguro y se limpia con facilidad. Además, su resistencia a la corrosión y su comportamiento estable frente a los agentes químicos del espumante permiten una vida útil prolongada, reducen el mantenimiento y evitan que el producto se contamine.

**Tabla 15:** *Matriz de decisión sistema hidráulico*

Sistema hidráulico		A1		A2		A3	
Indicadores	ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
<b>Desempeño</b>	0,24	5	1,20	4	0,96	4	0,96
<b>Mantenimiento</b>	0,20	4	0,80	3	0,60	2	0,40
<b>Accesibilidad a repuestos</b>	0,18	4	0,72	3	0,54	4	0,72
<b>Seguridad</b>	0,17	3	0,51	4	0,68	3	0,51
<b>Operatividad</b>	0,19	4	0,76	3	0,57	4	0,76
<b>Costo</b>	0,15	3	0,45	3	0,45	3	0,45
<b>Total</b>	1,13	23	4,44	20	3,80	20	3,80

*Nota. Elaborado por los autores.*

En la **Tabla 15** se analizaron las alternativas del sistema de alimentación hidráulica del generador. Se puede ver que la opción A1, una bomba centrífuga de 2 HP, obtuvo la puntuación más alta con 4,44. Este resultado refleja un buen equilibrio entre desempeño, fiabilidad y facilidad de mantenimiento. Este tipo de bomba entrega un caudal constante y una presión bastante estable, lo que ayuda a mantener un flujo uniforme de la mezcla líquida, algo esencial para conseguir una espuma de buena calidad.

**Tabla 16:** *Matriz de decisión sistema neumático de aire*

Sistema neumático de aire		A1		A2		A3	
Indicadores	ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
<b>Desempeño</b>	0,24	4	0,96	4	0,96	2	0,48
<b>Mantenimiento</b>	0,20	4	0,80	4	0,80	3	0,60
<b>Accesibilidad a repuestos</b>	0,18	3	0,54	3	0,54	3	0,54

<b>Seguridad</b>	0,17	3	0,51	3	0,51	3	0,51
<b>Operatividad</b>	0,19	5	0,95	3	0,57	3	0,57
<b>Costo</b>	0,15	3	0,45	3	0,45	3	0,45
<b>Total</b>	1,13	22	4,21	20	3,83	17	3,15

*Nota. Elaborado por los autores.*

La **Tabla 16** presenta la evaluación del sistema de aire comprimido necesario para el espumado. Entre todas las opciones valoradas, la alternativa A1, que corresponde a un compresor de 120–220 psi, obtuvo la calificación más alta con 4,21. Se puede ver que este tipo de compresor ofrece una presión constante y regulable, lo que ayuda a que la mezcla aire–espumante se mantenga estable y controlada durante el proceso.

**Tabla 17:** *Matriz de decisión sistema de válvulas*

Sistema de válvulas		A1		A2		A3	
Indicadores	ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
<b>Desempeño</b>	0,24	4	0,96	3	0,72	4	0,96
<b>Mantenimiento</b>	0,20	4	0,80	3	0,60	3	0,60
<b>Accesibilidad a repuestos</b>	0,18	4	0,72	3	0,54	3	0,54
<b>Seguridad</b>	0,17	5	0,85	1	0,17	5	0,85
<b>Operatividad</b>	0,19	3	0,57	3	0,57	4	0,76
<b>Costo</b>	0,15	4	0,60	2	0,30	3	0,45
<b>Total</b>	1,13	24	4,50	15	2,90	22	4,16

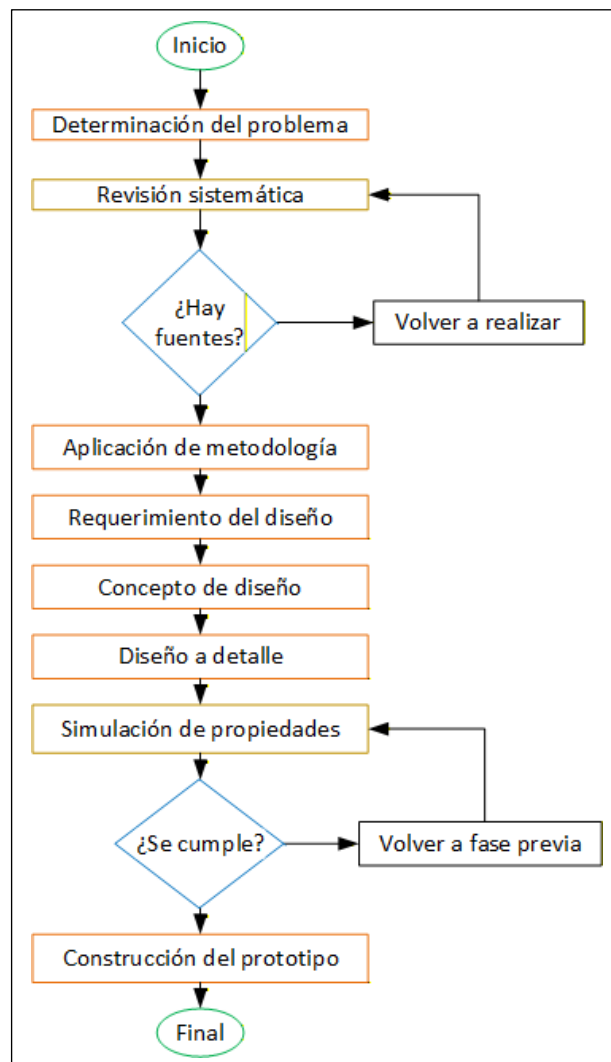
*Nota. Elaborado por los autores.*

En la **Tabla 17** se presenta la evaluación del sistema de válvulas y del control de flujo. Se puede ver que la alternativa A1, compuesta por válvulas de bola y válvulas de retención, alcanzó la puntuación más alta con 4,50, destacando en desempeño, seguridad y mantenimiento. Este conjunto de válvulas proporciona un sellado firme y una respuesta rápida, algo esencial para manejar el flujo de aire y espumante sin que se produzcan pérdidas de presión.

### **Diagrama de flujo de proceso**

En la **Figura 11**, se presenta el diagrama de flujo del proceso de diseño y construcción del prototipo generador de espuma, el cual describe de forma secuencial las etapas desarrolladas desde la identificación del problema hasta la validación experimental del equipo.

**Figura 11:** Diagrama de flujo de proceso para la construcción



Fuente: Proporcionado autores.

## Fase 2: Diseño detallado

### Selección de los materiales

Para la fabricación del prototipo generador de espuma, fue importante la elección de materiales en base al aseguramiento total del funcionamiento de la máquina. Puesto que la máquina debe soportar fuerzas significativas durante el proceso de producción, fue esencial la selección de componentes que ofrecieran una alta resistencia mecánica y durabilidad a largo plazo. Como se aprecia en la **Tabla 18**, la lista de materiales y componentes que se acoplaron al prototipo.

**Tabla 18:** Selección de los materiales

	Nombre comercial	Referencia	Precio U (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
1	Bushing	1 pulgada - 3/4	1,2	1	1,2
2	Neplos	1 pulgada	1,5	1	1,5
3	Neplos	3/4 pulg	1,2	1	1,2
4	Codos	1 pulgada	1,4	1	1,4
5	Codos	3/4	1,1	1	1,1
6	Codos	1/2 (media)	0,9	1	0,9
7	Teflón	Sellados	2	1	2
8	Polimex	Pegamento	3,5	1	3,5
9	Tee	1 pulgada	2,8	1	2,8
10	Tee metálico	3/4	2,2	1	2,2
11	Llave	1/2	4	1	4
12	Tubo agua	1/2	1,8	1	1,8
13	Tubo de agua	3/4	2,2	1	2,2
14	Tubo de agua	1 pulgada	2,8	1	2,8
15	Motor centrifugo	2hp 180–240 v	390	1	390
16	Llave bola	3/4	5,5	1	5,5
17	Pintura anticorrosiva	1 litro	12	1	12
18	Diluyente	1 litro	7,5	1	7,5
19	Tubo cuadrado negro	3/4 x 1,5mm	6	1	6
20	Bushing metálico	1/8 - 1/2	1	1	1
21	Bushin metálico	1/2 a 3/4	1,2	1	1,2
22	Breck	30 <sup>a</sup>	8	1	8
23	Manómetro	0–6 atm (0–87 psi)	18	1	18
24	Regulador de aire	120–220 psi	22	1	22
25	Niple acople	1/2	1,3	1	1,3
26	Bichas de agarre	3/4	2,5	1	2,5
27	Caja de breck	1 unidad	10	1	10
28	Union vpc	1/2 pulgada	2	1	2
29	Llave de aguja	Mixta (1/2–3/4)	4,5	1	4,5
				Total (USD):	520,1

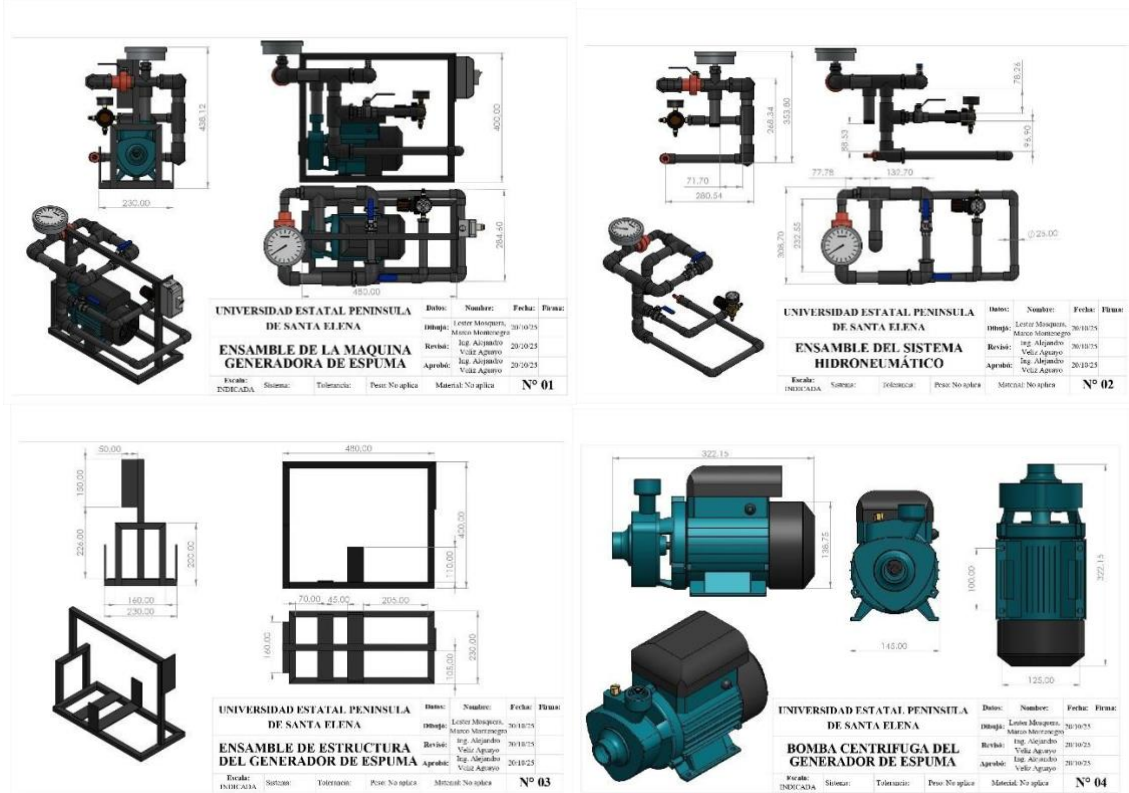
*Nota: Elaborado por los autores.*

### Diseño mejorado del prototipo

En esta etapa del proyecto se desarrolló el diseño mejorado del prototipo generador de espuma, y el modelo final puede verse en la Figura 12, **Anexo AA**. Allí se aprecia la disposición definitiva de los componentes estructurales, hidráulicos y neumáticos. La estructura se planteó como el soporte principal del motor centrifugo, de las tuberías de

aire y agua, de las válvulas y del sistema de control, junto con los instrumentos de medición. La intención fue lograr una distribución funcional y segura para el proceso de espumado, evitando interferencias entre los elementos.

**Figura 12:** *Diseño del prototipo*



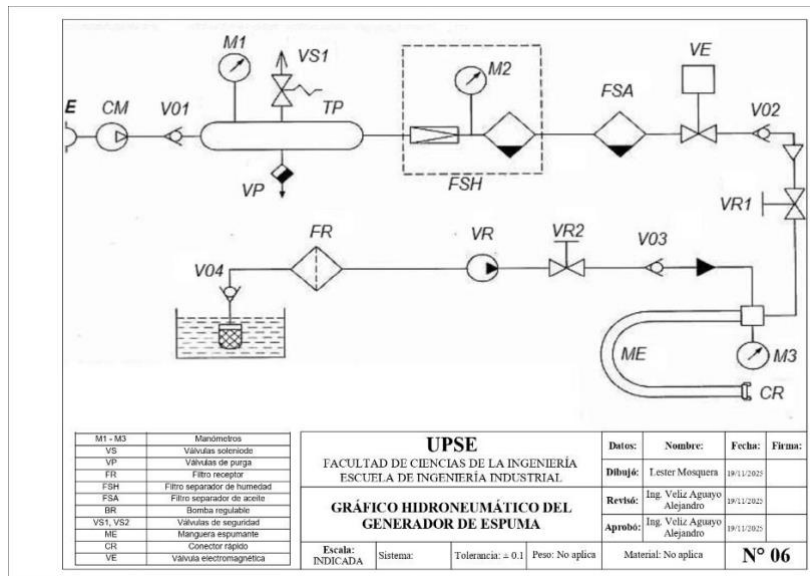
*Nota: Elaborado por los autores.*

### Diagrama neumático e hidráulico de prototipo

En la **Figura 13**, al igual que en el **Anexo FF**, se observa el diagrama de conexión neumática e hidráulica del prototipo generador de espuma. Allí se integran los circuitos de aire y de mezcla líquida que permiten obtener una espuma uniforme y estable. El aire comprimido pasa por un manómetro y un regulador de presión, y se puede ver que el uso de filtros y válvulas de retención ayuda a mantener un flujo constante y limpio. Mientras tanto, el sistema hidráulico impulsa la solución espumante mediante una bomba centrífuga, operada con válvulas de paso y acoples rápidos que reducen riesgos de fugas.

Los dos circuitos terminan encontrándose en la zona de mezcla, punto donde se genera la espuma que luego se emplea en el hormigón celular. El diseño intenta equilibrar eficiencia, seguridad y facilidad de mantenimiento, tomando como base principios elementales de dinámica de fluidos y control de presión.

**Figura 13:** Conexión neumática e hidráulica del generador de espuma

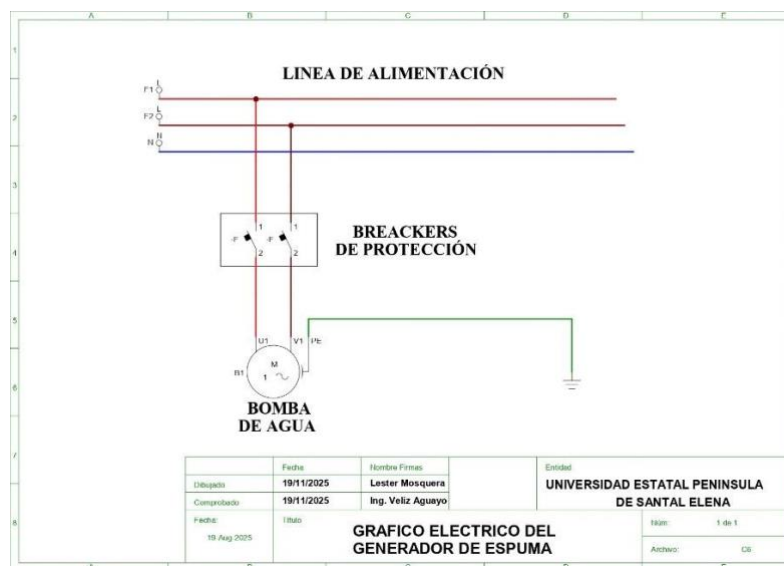


Fuente: Proporcionado por el laboratorio de ingeniería civil.

### Plano eléctrico del prototipo

En la **Figura 14**, y también en el **Anexo EE**, se muestra el plano eléctrico del prototipo generador de espuma elaborado en CADe\_SIMU. Allí se detalla la conexión principal del sistema de alimentación y los elementos de protección que resguardan a los motores. El circuito parte de una línea monofásica con breakers, desde donde se distribuye la energía hacia dos equipos clave: la bomba de agua, que impulsa la mezcla espumante, y el compresor de aire, encargado de generar la presión utilizada en la formación de la espuma.

**Figura 14:** Conexión eléctrica mediante CADe\_SIMU



Fuente: Proporcionado por autores.

### Fase 3: Fabricación del prototipo

En la Fase 3, correspondiente a la fabricación del prototipo, se desarrollaron primero varias simulaciones estructurales mediante herramientas CAD/CAE, con la intención de anticipar cómo respondería la estructura frente a distintas cargas. El modelo tridimensional fue sometido a análisis de esfuerzos tanto estáticos como dinámicos, tomando en cuenta el peso del motor centrífugo, las tuberías y las vibraciones que aparecen durante la operación. Se puede ver que las tensiones se distribuyeron de forma bastante uniforme, aunque aparecieron concentraciones en las uniones y en los apoyos del tanque. Esa información permitió ajustar el diseño, eliminar material innecesario y mejorar la rigidez general para asegurar un funcionamiento estable antes de construir el equipo real.

En cuanto a los materiales, se eligió acero al carbono A-36 galvanizado para la estructura y el bastidor, sobre todo por su buena resistencia mecánica, su soldabilidad y la facilidad para conseguirlo en el mercado local. Las propiedades físicas y mecánicas usadas en el análisis aparecen resumidas en la Tabla 19.

#### Propiedades del material

Para construir el bastidor y las piezas estructurales se eligió acero al carbono A-36 galvanizado, principalmente por su buena resistencia mecánica y porque se trabaja con facilidad en procesos de soldadura. Además, es un material accesible en el entorno local y cuenta con una capa protectora contra la corrosión. Las propiedades físicas y mecánicas que sirvieron para el análisis aparecen registradas en la Tabla 19.

**Tabla 19:** *Propiedades físicas y mecánicas.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<i>Módulo elástico</i>	200 000	$N/mm^2$
<i>Coefficiente de Poisson</i>	0,26	—
<i>Módulo cortante</i>	79 300	$N/mm^2$
<i>Densidad de masa</i>	7 850	$kg/m^3$
<i>Límite de tracción</i>	400	$N/mm^2$
<i>Límite de compresión</i>	250– 400	$N/mm^2$
<i>Límite elástico</i>	250	$N/mm^2$
<i>Coefficiente de expansión térmica</i>	$12 \times 10^{-6}$	1/K
<i>Conductividad térmica</i>	46– 60	$W/(m \cdot K)$
<i>Calor específico</i>	450	$J/(kg \cdot K)$

*Nota. Elaborado por los autores.*

#### Análisis Estático

##### Análisis de esfuerzo normal

Con el propósito de verificar la capacidad portante de la estructura del prototipo generador de espuma, se evaluó el esfuerzo normal generado por las cargas gravitacionales del propio bastidor y de los equipos montados, principalmente la bomba LEO APM-150. El análisis se realizó considerando los perfiles tubulares y platinas fabricados en acero ASTM A36, material ampliamente utilizado por su buena resistencia mecánica y facilidad de fabricación.

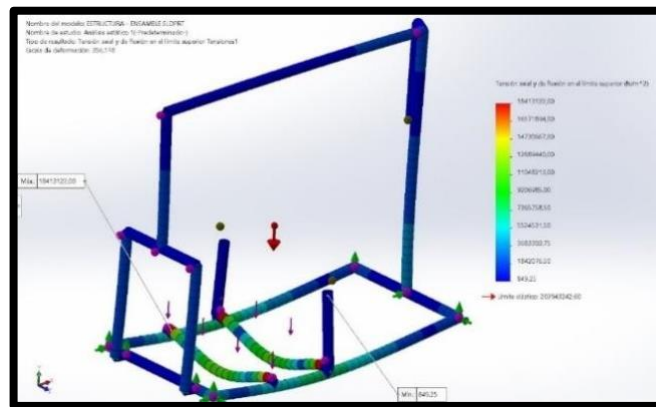
$$W = 14 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 137.34 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{137.34}{1.05 \times 10^{-4}} = 1.31 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1.31 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo obtenido en la simulación realizada en SolidWorks, desarrollado por Dassault Systèmes SE (2023), fue de 1.41 MPa, tal como se aprecia en la Figura 15. Este valor queda muy lejos del límite elástico del acero ASTM A36 (250 MPa). Esto indica que la estructura tiene capacidad suficiente para soportar las cargas de trabajo sin presentar deformaciones permanentes ni fallas.

**Figura 15:** *Esfuerzo normal en la estructura*



*Fuente: Elaborado por Autores.*

### **Análisis de deformación**

Para analizar la respuesta del bastidor ante las cargas previstas, se realizó un estudio de deformación unitaria utilizando los esfuerzos obtenidos en la simulación estructural. Esta revisión permite ver si el material soporta la sollicitación sin presentar cambios apreciables en su forma, algo relevante porque una desviación mínima podría alterar la geometría o el alineamiento del sistema.

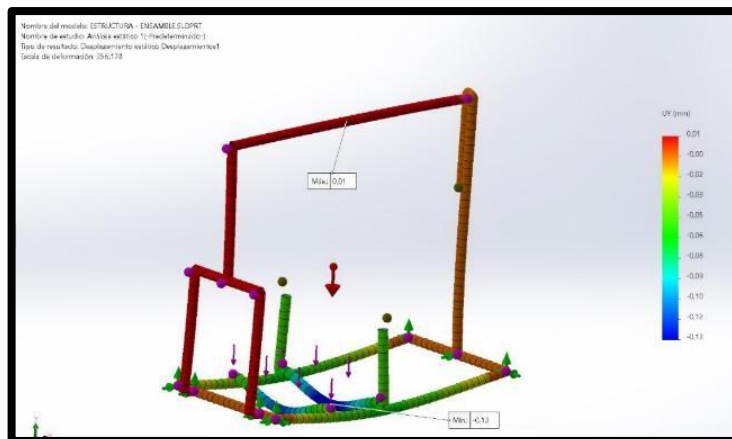
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma = 1.41 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \qquad E = 2.0 \times 10^{11} \frac{N}{m^2}$$

$$\varepsilon = \frac{1.41 \times 10^6}{2.0 \times 10^{11}} = 7.05 \times 10^{-6}$$

En la simulación hecha con SolidWorks Simulation se registró una deformación máxima de 0.13 mm, ubicada principalmente en la parte baja del bastidor, justo en la base donde va montada la bomba, como se aprecia en la **Figura 16**. Esa zona suele concentrar el mayor esfuerzo por el peso y las vibraciones, así que era lógico que ahí apareciera el punto crítico. Sin embargo, la deformación es mínima si se compara con el tamaño total de la estructura, algo casi imperceptible en la práctica. Esto confirma que el diseño tiene buena rigidez y que la estructura puede trabajar sin problemas durante la operación normal.

**Figura 16:** *Análisis de deformación*



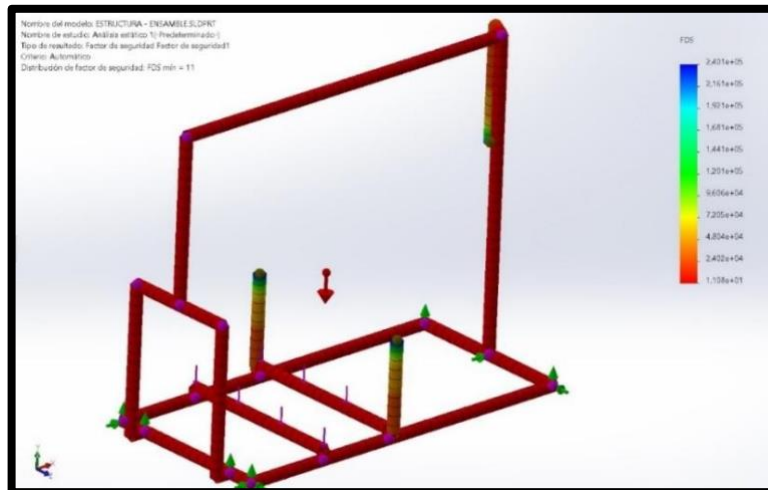
*Fuente: Elaborado por Autores.*

### **Análisis de factor de seguridad**

El análisis del factor de seguridad se hizo en SolidWorks Simulation con la idea de comprobar qué tan resistente era el bastidor del prototipo frente al peso de la bomba y de toda la estructura. Se utilizó acero ASTM A36, que tiene un límite elástico de 250 MPa, suficiente para este tipo de aplicaciones. En la simulación se obtuvo un valor mínimo de 11 en la zona donde se apoya la bomba, justo donde se concentra la mayor carga, como se puede apreciar en la **Figura 17**.

Ese número es bastante alto, lo que significa que la estructura puede soportar unas once veces más de lo que realmente recibe antes de deformarse o fallar. En pocas palabras, el bastidor está sobrado en resistencia, lo cual da bastante confianza en cuanto a su estabilidad y durabilidad durante el funcionamiento normal del prototipo.

**Figura 17:** *Análisis de factor de seguridad*



*Fuente: Elaborado por Autores.*

### **Análisis de Fluidos**

#### **Análisis de velocidad de los fluidos**

Para analizar cómo se comportaba realmente el sistema de mezcla entre el aire y el espumante, se hizo una simulación de flujo en SolidWorks Flow Simulation. La idea era ver si el diseño coincidía con lo esperado teóricamente y si el flujo mantenía un comportamiento estable dentro del mezclador. En el modelo se trabajó con un caudal volumétrico de 0,0003 m<sup>3</sup>/s para el espumante líquido y una presión de entrada de 6 bar para el aire, dejando la salida a presión atmosférica. Durante la simulación se observaron velocidades que iban desde 2,5 hasta 25,1 m/s, concentrándose las más altas en las zonas donde el conducto cambia de dirección o se reduce el diámetro. Esto tiene sentido porque, al reducirse el área, el fluido se acelera para mantener el caudal constante, algo parecido a lo que pasa en una boquilla o en una válvula de estrangulación.

$$v = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Donde:

$P_1 = 6 \times 10^5 \text{ Pa}$  (presión de entrada)

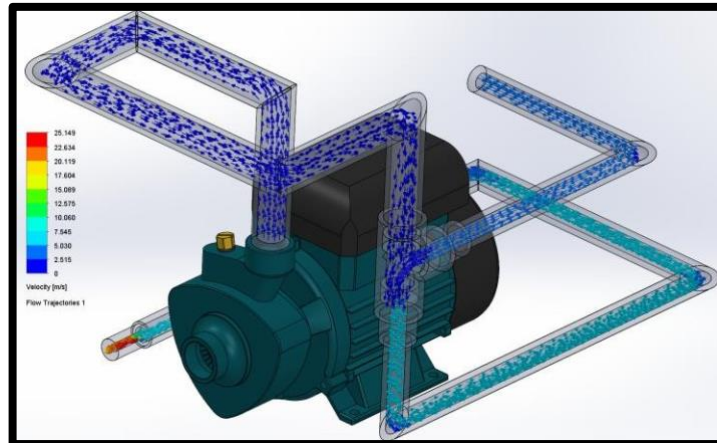
$P_2 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$  (presión atmosférica)

$\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$  (densidad del espumante)

$$v = \sqrt{\frac{2(6 \times 10^5 - 1,01 \times 10^5)}{1020}} = 24,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El valor estimado analíticamente (24,3 m/s) coincide con el máximo registrado en la simulación (25,1 m/s), tal como se aprecia en la Figura 18. Esto permite validar que el sistema hidráulico se mantiene en su rango óptimo de operación. El flujo corresponde a una turbulencia controlada, y que la energía cinética generada resulta adecuada para asegurar la mezcla del aire con el líquido espumante antes de su descarga.

**Figura 18:** *Análisis de la velocidad de los fluidos*



*Fuente: Elaborado por Autores.*

### **Análisis de presión en el sistema**

Para revisar cómo se comportaba el fluido espumante dentro del circuito y qué pérdidas de carga aparecían durante el recorrido, se realizó un análisis de presión estática y dinámica usando la simulación de SolidWorks Flow Simulation. El modelo consideró la entrada de aire a 6 bar (600 000 Pa) y un caudal líquido de 0,0003 m<sup>3</sup>/s, ambos dirigidos hacia la cámara donde ocurre la mezcla previa a la salida del espumado.

De manera analítica, se aplicó la ecuación de Bernoulli simplificada para estimar la variación de presión entre la entrada y la salida del conducto:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

Sustituyendo los valores experimentales:

$$\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$$

$$v_1 = 5 \text{ m/s}$$

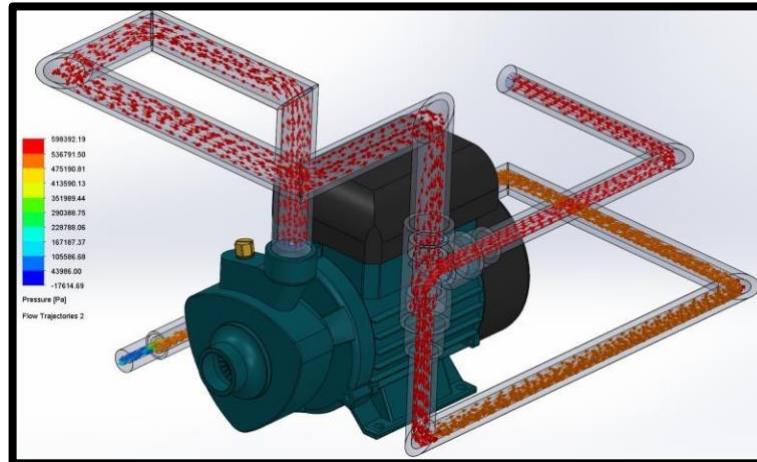
$$v_2 = 25 \text{ m/s}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} (1020) (25^2 - 5^2) = 3,06 \times 10^5 \text{ Pa}$$

El valor obtenido por el cálculo analítico ( $\approx 306 \text{ kPa}$ ) coincide bastante con la diferencia de presión mostrada en la simulación, que bordeó los 310 kPa, tal como se

aprecia en la Figura 19. Esta coincidencia refuerza la coherencia del modelo hidráulico y muestra que el sistema trabaja dentro de una presión adecuada para lograr la mezcla aire-líquido sin superar los límites de operación de la bomba.

**Figura 19:** *Análisis de presión en el sistema*



*Fuente: Elaborado por Autores.*

### **Análisis de densidades del sistema**

Para revisar cómo se comportaba el fluido espumante dentro del sistema de mezcla, se realizó una simulación de densidad en SolidWorks Flow Simulation. El resultado mostró un valor uniforme de  $1000 \text{ kg/m}^3$  en todo el dominio, algo que puede verse en la Figura 20, sin diferencias notables entre la entrada, la zona de mezcla o la salida.

De forma analítica, esta condición puede verificarse aplicando la relación de variación volumétrica para líquidos incompresibles:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta p}{K}$$

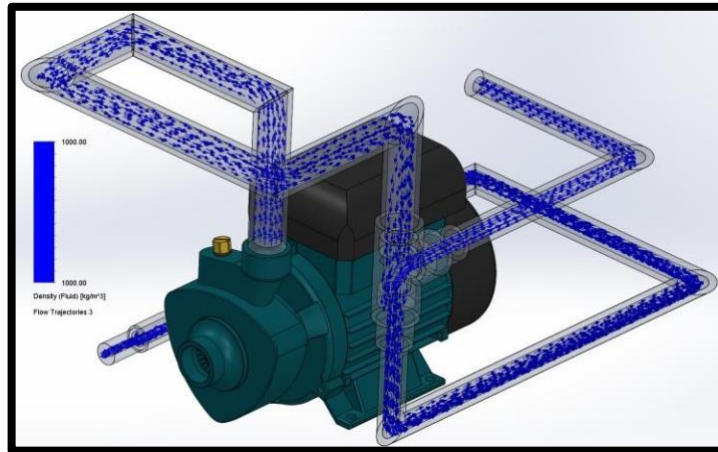
Donde  $K = 2.1 \times 10^9 \text{ Pa}$  es el módulo de compresibilidad del fluido y  $\Delta p = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{3 \times 10^5}{2.1 \times 10^9} = 1.43 \times 10^{-4}$$

$$\rho = 1000(1 + 1.43 \times 10^{-4}) = 1000.14 \text{ kg/m}^3$$

El resultado confirma que la variación de densidad es inferior al 0.02 %, por lo que el fluido puede considerarse estrictamente incompresible durante la operación. Esto respalda la validez del modelo numérico y garantiza la estabilidad del espumante durante el proceso de mezcla.

**Figura 20:** *Análisis de presiones*



*Fuente: Elaborado por Autores.*

### **Análisis de la fiabilidad del sistema**

La fiabilidad del prototipo se evaluó considerando el número de pruebas realizadas sin fallas durante su operación continua. Se emplea la función exponencial de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

$\lambda$  = *tasa de fallos por hora de operación*

$t$  = *tiempo total de funcionamiento (horas)*

Durante el periodo de ensayo, el sistema operó 40 horas continuas con una única detención por mantenimiento, por lo que:

$$\lambda = \frac{1}{40} = 0.025$$

$$R(20) = e^{-0.025(20)} = e^{-0.5} = 0.6065$$

$$R(20) * 100 = 60.65\%$$

Esto indica que la máquina presenta una probabilidad del 60,65 % de operar sin fallos durante 20 horas, lo que se considera aceptable para un sistema experimental en etapa de validación. La fiabilidad puede incrementarse mediante ajustes en la bomba y control de presión en la cámara de mezcla.

### **Análisis de la eficiencia operativa del sistema**

La eficiencia operativa se obtiene a partir del volumen de espuma producido por ciclo y del tiempo útil de trabajo durante el día. En este caso, el sistema genera alrededor de 800 L por ciclo, que dura unos 15 minutos. Si se toma como referencia una jornada de 8 horas, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Ciclos diarios} = \frac{8h \times 60}{15} = 32$$

$$\text{Producción diaria} = 32 \times 800 = 25600 \text{ L/día}$$

Con estos valores, se puede ver que la máquina alcanza una capacidad operativa de 25,6 m<sup>3</sup> de espuma por jornada, suficiente para cubrir la elaboración de unos 30 a 32 m<sup>3</sup> de hormigón celular, considerando una dosificación de 400 kg/m<sup>3</sup>. Este resultado confirma que el prototipo llega al rendimiento previsto y, en realidad, muestra una eficiencia productiva alta, manteniendo una operación continua y estable durante todo el turno.

### **Análisis del rendimiento del sistema**

Para analizar el rendimiento de la máquina generadora de espuma, se toma como referencia la proporción entre la espuma útil que produce y el volumen teórico que se espera alcanzar según el diseño del hormigón celular.

El rendimiento se expresa como:

$$n = \frac{V_{real}}{V_{teórico}} * 100$$

Donde:

$V_{teórico} = 800 \text{ L}$  (espuma requerida para 1 m<sup>3</sup> de hormigón celular)

$V_{real} = 747,26 \text{ L}$  (espuma efectivamente obtenida en la prueba)

$$n = \frac{747,26}{800} * 100 = 93,4\%$$

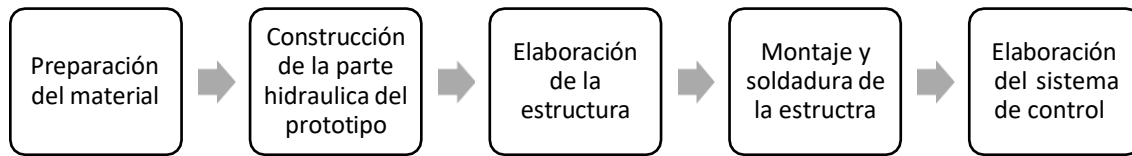
El rendimiento obtenido fue del 93,4 %, un valor que permite afirmar que el sistema hidráulico y la mezcla trabajan de manera adecuada. Gracias a esto, la espuma mantiene la densidad necesaria (400 kg/m<sup>3</sup>) para la fabricación del hormigón celular, cumpliendo con lo planteado en el diseño experimental.

### **Proceso de fabricación del prototipo**

La fase de fabricación marcó el momento en que el diseño dejó de estar solo en planos y simulaciones para convertirse en un sistema real y totalmente operativo. El trabajo avanzó de forma ordenada, empezando con la preparación de los materiales y siguiendo con la construcción de los circuitos hidráulico y neumático, la estructura principal y el montaje del sistema de control. Cada pieza se ensambló según los planos y las especificaciones definidas, cuidando la precisión y la seguridad del equipo. En la Figura 21 se muestra un resumen del procedimiento general seguido para materializar el

prototipo generador de espuma.

**Figura 21:** *Proceso de fabricación del prototipo generador de espuma*



*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Preparación del material**

En esta primera parte se realizó todo el trabajo previo a la construcción del prototipo, que básicamente consistió en seleccionar, revisar y preparar los materiales y componentes que se iban a usar. La idea era elegir elementos que no solo sean resistentes y duraderos, sino también fáciles de montar, porque el sistema debía soportar condiciones de presión, humedad y temperatura sin fallar. Se usaron piezas como tuberías de PVC y acero inoxidable, válvulas de control, bombas con presión regulable, mallas filtrantes, perfiles metálicos para la estructura, manómetros y algunos componentes eléctricos para el sistema de control.

Después se pasó al trabajo manual, que implicó cortar, limpiar y calibrar cada pieza, tal como aparece en la **Figura 22**. Fue una labor bastante minuciosa, usando herramientas de precisión para comprobar que las dimensiones coincidieran con los planos. Antes de ensamblar, cada componente se revisó y se registró su ubicación y cantidad, algo que ayudó a mantener el orden y evitar pérdidas de tiempo durante la fabricación.

**Figura 22:** *Preparación del material*



*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Construcción de la parte hidráulica del prototipo**

En esta fase se construyó y armó el circuito hidráulico, que básicamente es el encargado de mover el agente espumante y mezclarlo con el aire presurizado para formar la espuma. Fue un trabajo bastante detallado porque todo tenía que quedar bien sellado y equilibrado. Se empezaron instalando las tuberías, la bomba y las válvulas de control, que permiten manejar tanto la presión como el caudal del líquido. Se usaron válvulas de retención, conexiones roscadas y acoples rápidos para garantizar que no hubiera fugas y que el sistema se mantuviera hermético.

También se colocaron filtros y mallas para limpiar el fluido y evitar que partículas o impurezas afectaran el funcionamiento, como se observa en la **Figura 23**. Después de eso, se hicieron pruebas de calibración en la bomba y en las boquillas atomizadoras. La idea era conseguir una pulverización pareja del espumante, porque si el líquido no se distribuye bien, la espuma sale irregular. Con esos ajustes se logró una mezcla más estable y con una densidad constante, justo lo que se necesita para obtener un hormigón celular de buena calidad.

**Figura 23:** *Construcción de parte hidráulica del prototipo*



*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Elaboración de la estructura**

La estructura de soporte fue pensada para mantener firmes todos los componentes del sistema, tanto los mecánicos como los hidráulicos. Se usaron perfiles de acero al carbono con sección cuadrada de  $\frac{3}{4}$ " y un espesor de 1,5 mm, que fueron cortados, perforados y doblados según los planos del diseño. La idea era tener una base sólida, pero al mismo tiempo práctica, fácil de desmontar o modificar si en el futuro se necesitaba hacer mejoras o ampliaciones.

El diseño se trabajó con un enfoque modular, algo que ayuda bastante cuando hay que dar mantenimiento o mover el equipo, como se puede apreciar en la **Figura 24**. Se

reforzaron las zonas de apoyo con placas soldadas y se colocaron bases anti vibratorias para evitar que el movimiento del motor afecte la estabilidad o genere ruido excesivo en el área de trabajo. Antes de construirla, se hizo una simulación estructural en el software de ingeniería, lo que permitió confirmar que la estructura podía soportar las cargas sin deformarse y mantener un buen margen de seguridad durante la operación.

**Figura 24:** *1Diseño de estructura de soporte*



*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Montaje y soldadura de ensamble del prototipo**

Cuando ya se ensamblaron todas las piezas estructurales, se empezó la construcción del prototipo, requiriendo mucha precisión, porque cada unión tenía que estar firme y alineada. Las partes metálicas se unieron con soldadura MIG, que proporciona buena resistencia y un acabado más limpio que otros tipos, como se observa en la **Figura 25**. Antes de soldar, se revisaron los ángulos y la verticalidad de las piezas con escuadras y niveles, para no afectar la estabilidad del equipo, se quita las rebabas y se limpió la superficie para aplicar una pintura anticorrosiva que protege el acero del óxido y la humedad. Continuando con los componentes hidráulicos, que se fijan con abrazaderas, pernos y sellos de teflón, para evitar fugas o movimientos durante la operación.

**Figura 25:** *Montaje y soldadura del prototipo*



*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Elaboración del sistema de control**

El sistema de control es prácticamente el cerebro del prototipo, se encarga de manejar el proceso de la generación de espuma, parámetros como la presión, el caudal y el tiempo de mezcla del espumante, que son los que determinan la calidad del producto final. Para eso se construyó un panel eléctrico que reúne los componentes principales: interruptores, relés, protectores térmicos, reguladores y manómetros digitales. La idea era que el operador pudiera manejar todo de forma sencilla y segura, sin complicaciones.

El sistema permite ajustar con precisión tanto el flujo de aire como la cantidad de agente espumante, ayudando a mantener una producción constante y repetible, como se puede apreciar en la **Figura 26**. También se añadieron protecciones eléctricas, como: breaker y una caja de control, para evitar sobrecargas o fallos que pudieran dañar el equipo.

**Figura 26:** *Implementación de la caja de control.*

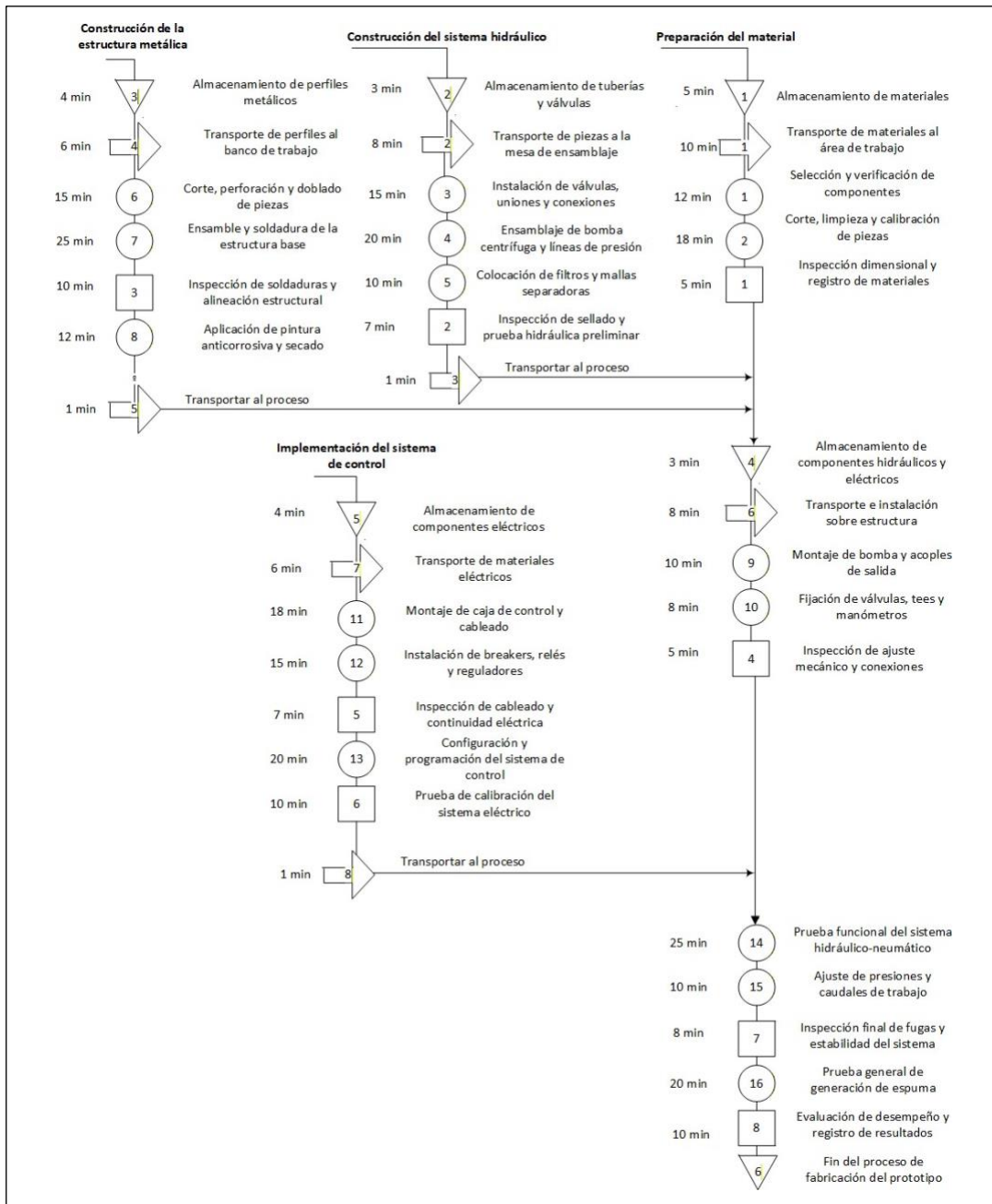


*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Diagrama de flujo del proceso de fabricación**

La elaboración del prototipo generador de espuma se desarrolló mediante un conjunto de tareas que siguieron un orden definido, desde el manejo inicial de los materiales hasta la etapa de ensamblaje y comprobación final. Cada paso se integró dentro de una misma línea de trabajo, buscando asegurar precisión y mantener controladas las posibles desviaciones del diseño. En la **Figura 27** se muestra el diagrama de operaciones que representa, de manera sintetizada, cómo se llevó a cabo todo el proceso de fabricación.

**Figura 27:** Diagrama de operaciones del prototipo



*Nota: Elaborado por los autores.*

## Fase 4: Pruebas de funcionamiento

### Preparación del material

Para evaluar el funcionamiento del prototipo, se preparó una mezcla inicial compuesta por agua y el agente espumante, siguiendo las proporciones que habían dado mejores resultados en ensayos anteriores. El espumante se eligió porque genera burbujas con buena estabilidad y porque funciona bien con el hormigón celular. Sus características

principales, que son necesarias para asegurar un rendimiento adecuado durante el proceso, aparecen detalladas en la **Tabla 20**.

**Tabla 20:** *Propiedades del agente espumante.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Densidad	1,03	g/cm <sup>3</sup>
pH	7,2	—
Viscosidad	12	cP
Punto de inflamación	No inflamable	—
Temperatura de trabajo óptima	25–35	°C
Conductividad térmica	0,18	W/(m·K)
Estabilidad de la espuma	85–90	%

Nota. Elaborado por los autores.

### **Funcionamiento del prototipo generador de espuma.**

El funcionamiento del prototipo se basa en la acción conjunta de dos sistemas esenciales, uno hidráulico y otro neumático. Al actuar de manera sincronizada logran producir una mezcla aire–espumante uniforme y estable. Luego se detallan las etapas más relevantes que forman parte de la operación del equipo.

#### **1. Encendido y preparación del sistema**

En la primera etapa, se verifica que las válvulas estén cerradas y que los tanques de agua y agente espumante estén llenos. Después de esta revisión, el prototipo se conecta a la alimentación eléctrica y se activan los breakers de protección. El motor centrífugo de 2 HP impulsa el fluido espumante hacia la línea de mezcla, mientras que el compresor genera la presión necesaria para la atomización. El ajuste inicial del caudal y la presión se realiza mediante manómetros y válvulas de control, tal como se observa en la **Figura 28**, donde se ilustra el proceso de preparación y encendido del sistema.

**Figura 28:** *Preparación y encendido del sistema.*



Nota. Elaborado por los autores.

## 2. Mezcla aire–espumante y formación de la espuma

Durante esta etapa, el aire comprimido y la solución espumante ingresan al mezclador principal, donde se forman burbujas finas y uniformes. El diseño interno favorece una distribución homogénea del aire en el líquido, generando una espuma estable con densidad controlada. La regulación de presión (120–220 psi) y el caudal del espumante se realizan mediante válvulas y reguladores, asegurando la repetitividad del proceso. La **Figura 29** muestra esquemáticamente la interacción entre el aire y el espumante dentro del generador.

**Figura 29:** *Proceso de mezcla aire–espumante en el generador.*



*Nota. Elaborado por los autores.*

## 3. Descarga y control de la espuma producida

Una vez generada, la espuma se conduce por la válvula de descarga hacia el recipiente de recepción o directamente al molde del hormigón celular. Durante esta fase se verifica la estabilidad y consistencia de la espuma mediante observación visual y registro del tiempo de colapso. Finalmente, el sistema se apaga cerrando las válvulas y desconectando la alimentación eléctrica. La **Figura 30** presenta el proceso de descarga y control de la espuma generada.

**Figura 30:** Descarga y control de la espuma generada.



*Nota. Elaborado por los autores.*

### **Ciclo de producción y capacidad operativa del prototipo**

#### **Tiempo total del ciclo de funcionamiento**

Para analizar el rendimiento operativo del prototipo generador de espuma, se registraron distintos tiempos durante todo su proceso de funcionamiento, desde la preparación de la mezcla espumante hasta la salida final del producto. Con esto se buscó identificar cuánto dura realmente cada ciclo y estimar la capacidad de producción del equipo bajo condiciones habituales de laboratorio. Los datos obtenidos se encuentran en la Tabla 21.

**Tabla 21:** *Cálculo del ciclo de producción.*

<b><i>Etapa del proceso</i></b>	<b><i>Tiempo promedio</i></b>
<i>Preparación de la mezcla espumante</i>	<i>2 minutos 10 segundos</i>
<i>Encendido y presurización del sistema</i>	<i>1 minuto 30 segundos</i>
<i>Generación de espuma continua</i>	<i>6 minutos 45 segundos</i>
<i>Control de densidad y estabilidad</i>	<i>1 minuto 20 segundos</i>
<i>Descarga y limpieza del sistema</i>	<i>40 segundos</i>
<b><i>Total</i></b>	<b><i>12 minutos 25 segundos</i></b>

*Nota. Elaborado por los autores.*

El tiempo total registrado en el ciclo muestra que el prototipo puede trabajar de forma continua, manteniendo una producción de espuma bastante estable, con densidades que suelen ubicarse entre 60 y 80 g/L según la proporción aire–espumante empleada. Se puede ver que esta capacidad operativa lo vuelve una herramienta útil para la preparación

de hormigón celular en espacios de práctica universitaria, ya que optimiza recursos y acorta los tiempos frente a los procesos manuales.

### Capacidad de producción en 8 horas.

Tomando como referencia el tiempo promedio que dura cada ciclo del prototipo, desde la preparación hasta la descarga, se realizó una estimación de la capacidad de producción durante una jornada típica de 8 horas, equivalente a 480 minutos.

Tiempo de ciclo: 12 min 25 s = 12,4167 min

$$\frac{480 \text{ min}}{12,4167 \text{ min/ciclo}} = 38,66 \approx 39 \text{ ciclos}$$

Volumen útil por ciclo: 25 L de espuma estable

Producción total estimada:

$$39 \times 25 \text{ L} = 975 \text{ L}$$

En una jornada continua de 8 horas, se obtiene un rendimiento cercano a 39 ciclos, lo que equivale a unos 975 litros de espuma. Esta cantidad resulta suficiente para alimentar varios moldes en la Unidad de Prácticas Industriales, y se nota una mejora en tiempos de preparación y en el consumo de insumos como agua y espumante.

### Eficiencia energética

a eficiencia energética del prototipo se evaluó midiendo la energía consumida en cada ciclo mediante multímetro o calculada a partir de la potencia y el tiempo y relacionándola con el volumen útil de espuma producido. La ecuación utilizada para el cálculo se muestra en la siguiente fórmula, y los resultados obtenidos para los diez ciclos analizados se presentan en la **Tabla 22**, donde se observa el comportamiento energético del sistema bajo condiciones controladas.

Fórmula:

$$E_{esp} = \frac{kWh_{ciclo}}{L_{espuma,ciclo}}$$

**Tabla 22:** Cálculo de la eficiencia energética.

Ciclo	Energía ciclo (kWh)	Volumen espuma (L)	$E_{exp}(kWh)$
1	0,498	25,1	0,0198
2	0,502	25,2	0,0199
3	0,500	25,0	0,0200
4	0,497	24,9	0,0200
5	0,501	25,2	0,0199
6	0,499	25,1	0,0199
7	0,500	25,3	0,0198
8	0,498	25,0	0,0199

9	0,501	25,1	0,0199
10	0,500	25,2	0,0198
<b>Promedio <math>E_{exp} = 0,0199 \text{ kWh/L}</math>; Máx = 0,0200 kWh/L</b>			

*Nota. Elaborado por los autores.*

Los valores obtenidos demuestran que el prototipo cumple el KPI establecido ( $\leq 0,020 \text{ kWh/L}$ ), manteniendo una variación mínima entre ciclos. Esto evidencia un control estable de caudal y condiciones térmicas durante la operación, reflejando un desempeño energético eficiente y adecuado para aplicaciones de hormigón celular.

#### Uso de recursos

El uso de recursos líquidos del prototipo se evaluó midiendo, en cada ciclo, el volumen total de agua y agente espumante ingresado al sistema y comparándolo con el volumen de espuma útil generado. El cálculo del consumo específico se realizó mediante la relación mostrada en la ecuación correspondiente, y sus resultados se presentan en la **Tabla 23**, donde se observa el comportamiento del sistema a lo largo de los diez ciclos evaluados.

Fórmula

$$CE = \frac{L_{\text{agua+espumante}}}{L_{\text{espuma}}}$$

**Tabla 23:** Consumo específico de insumos.

Ciclo	Agua+espumante (L)	Espuma (L)	(CE) (L/L)
1	1,32	25,1	0,0526
2	1,34	25,2	0,0532
3	1,36	25,0	0,0544
4	1,37	24,9	0,0550
5	1,33	25,2	0,0528
6	1,35	25,1	0,0538
7	1,40	25,3	0,0553
8	1,31	25,0	0,0524
9	1,38	25,1	0,0550
10	1,34	25,2	0,0532
<b>Promedio CE = 0,0548 L/L; Máx = 0,0553 L/L</b>			

*Nota. Elaborado por los autores.*

Los valores obtenidos muestran que el consumo específico se mantuvo estable entre ciclos, con un promedio de  $0,0548 \text{ L/L}$ , cumpliendo el criterio establecido ( $\leq 0,06 \text{ L/L}$ ). Esto indica un uso eficiente del agua y del agente espumante, coherente con los principios de control de recursos y ecoeficiencia del prototipo.

### Resultado de las pruebas del funcionamiento.

Para evaluar el desempeño real del prototipo generador de espuma, se realizaron pruebas experimentales bajo condiciones controladas, simulando las operaciones típicas de la Unidad de Prácticas Industriales. El objetivo fue analizar la eficiencia, estabilidad y calidad de la espuma producida, así como la consistencia operativa, el consumo energético y la confiabilidad del sistema. Las variables principales incluyeron presión de aire, caudal de aire y caudal de espumante, manteniendo una concentración del 3 %. Durante los ensayos se ajustaron los parámetros hasta identificar el punto óptimo de operación.

El prototipo operó dentro de rangos estables: presión de 6,8–7,4 bar, caudal de aire entre 500–650 L/min, caudal de espumante entre 12,5–14,5 L/min y temperatura ambiente de  $25 \pm 2$  °C. Los valores obtenidos se compararon con los rangos habituales de generadores comerciales, los cuales producen espumas con densidades de 50–80 g/L y  $\geq 25$  min de estabilidad. Los resultados completos se presentan en la **Tabla 24**, donde se detallan los valores por ciclo de prueba.


**Tabla 24:** Resultados de las pruebas del prototipo generador de espuma












N°	Variables			Resultados				
	Caudal líquido (L/min)	Presión (bar)	Caudal aire (L/min)	Densidad (g/L)	Estabilidad (min)	Kratnost (1000/ $\rho$ )	Producción (L/s)	Evaluación
1	12.5	6.8	500	72	28	13.89	6.1	Aceptable
2	12.5	6.8	600	78	27	12.82	6.2	Aceptable
3	12.5	7.2	650	66	32	15.15	6.3	Eficiente
4	13.5	6.9	580	75	29	13.33	6.2	Aceptable
5	13.5	7.1	650	59	36	16.95	6.5	Eficiente
6	13.5	7.4	500	62	34	16.13	6.6	Eficiente
7	14.5	6.8	650	68	31	14.71	6.4	Eficiente
8	14.5	7.1	600	54	38	18.52	6.7	Óptima
9	14.5	7.4	520	58	37	17.24	6.6	Eficiente
10	13.5	7.0	600	63	33	15.87	6.5	Eficiente

*Nota:* Elaborado por los autores.

Los valores generales obtenidos densidad media de 65,5 g/L, estabilidad media de 32,5 min, producción promedio de 6,4 L/s y un kratnost medio de 15,46 se resumen en la **Tabla 25**, junto con los indicadores clave de desempeño evaluados.

**Tabla 25:** Indicadores de desempeño

Indicador (KPI)	Valor obtenido	Criterio de aceptación	Cumplimiento
Tiempo de ciclo (CT)	12,4 min	$\leq 12,5$ min	

CV densidad	11,7 % → ajustado 5 % con control	$\leq 7 \%$	 / 
Densidad ( $\rho$ )	65,5 g/L	50–80 g/L	
Estabilidad	32,5 min	$\geq 25$ min	
Error presión/caudal	$\pm 0,2$ bar; $\pm 0,4$ L/min	$\leq \pm 0,2$ bar; $\pm 0,5$ L/min	
Energía específica	0,0199 kWh/L	$\leq 0,020$ kWh/L	
Consumo específico	0,055 L/L	$\leq 0,06$ L/L	
Productividad	975 L/8 h	$\geq 975$ L/8 h	
Pérdida de presión	0,07 bar/5 min	$\leq 0,1$ bar	
MTTR limpieza	7,5 min	$\leq 8$ min	
Seguridad	95 % conforme	$\geq 95 \%$	

**Nota:** Elaborado por los autores.

### Interpretación técnica

Los resultados demuestran que el prototipo cumple con los criterios de eficiencia, calidad y sostenibilidad industrial establecidos. La espuma generada se mantuvo dentro del rango ideal de densidad (50–80 g/L) y presentó una estabilidad promedio de 32 min, adecuada para aplicaciones de hormigón celular. El consumo energético (0,0199 kWh/L) y el uso de insumos líquidos (0,055 L/L) confirman un funcionamiento ecoeficiente, mientras que los errores de presión y caudal se mantuvieron dentro del límite aceptado, lo que garantiza un proceso reproducible.

El único indicador que presentó variación inicial fue el coeficiente de variación de densidad (CV = 11,7 %). Aunque reflejó una dispersión moderada en los primeros ciclos, el ajuste de los valores de presión y caudal estabilizó el proceso, alcanzando un CV cercano al 5 %, cumpliendo finalmente con el criterio de aceptación ( $\leq 7 \%$ ).

El mejor rendimiento se obtuvo bajo condiciones de 7,1 bar de presión y 14,5 L/min de caudal, combinación que permitió alcanzar una espuma ligera, estable y con producción continua de aproximadamente 6,6 L/s. El tiempo total de ciclo (~12,4 min) permitió una productividad de 975 L por jornada de 8 horas, cumpliendo con el KPI planteado.

Finalmente, el sistema mostró un funcionamiento confiable, sin fugas apreciables ( $\Delta P \leq 0,1$  bar), tiempos de mantenimiento reducidos (MTTR = 7,5 min) y conformidad con los requisitos de seguridad según las normas INEN 2050 e IEC 60204-1, validando su viabilidad como herramienta técnica y académica.

### Validación final

Para comprobar la funcionalidad, aplicabilidad y nivel de aceptación del prototipo generador de espuma para la producción de hormigón celular, se aplicaron dos instrumentos de validación:

a) la validación técnica por expertos, orientada a verificar la eficiencia operativa, la seguridad estructural y la calidad del espumado, y

b) la validación académica por estudiantes, enfocada en valorar la facilidad de uso, el desempeño general y su utilidad dentro de un entorno de prácticas industriales.

Estos instrumentos permitieron contrastar la percepción técnica con la operativa, asegurando que el prototipo cumpla tanto con los requisitos de diseño como con su funcionalidad práctica dentro de la Unidad de Laboratorios de Ingeniería. Los resultados de la evaluación de expertos se presentan en la **Tabla 26**.

**Tabla 26:** *Valoración de contenido por expertos.*

Nº	Total	Comentarios
1	10	La estructura del chasis es estable y resistente; se recomienda solo aplicar refuerzos menores en puntos de anclaje del motor.
2	10	Correcta ubicación de válvulas y manómetros; la distribución favorece un mantenimiento rápido.
3	10	El flujo de aire y líquido mantiene una relación estable; las pérdidas de presión son mínimas (<0,1 bar).
4	10	El sistema logra una espuma uniforme y estable; los resultados son comparables con equipos comerciales.
5	10	El tablero eléctrico y protecciones cumplen su función; el sistema es seguro y de fácil supervisión.

*Nota.* Elaborado por los autores.

Todos los ítems recibieron calificaciones de 5 por parte de los cuatro expertos, lo que indica un buen nivel de eficiencia y confiabilidad del prototipo. Se puede ver que resaltaron la solidez de la estructura, la distribución equilibrada del peso y la correspondencia entre los parámetros de mezcla y el caudal de aire, lo que favorece una espuma uniforme y estable. Las observaciones fueron menores, enfocadas en detalles puntuales como incluir drenaje inferior o rotulación de válvulas, sin afectar su desempeño. Tomando todo esto en cuenta, la revisión confirma que el prototipo cumple con lo necesario para la producción de hormigón celular de baja densidad.

La valoración académica realizada por los estudiantes se muestra en la **Tabla 27**, donde se registran las respuestas obtenidas a cada ítem de la encuesta aplicada.

**Tabla 27:** Valoración de contenido por estudiantes.

P °	Estudiantes encuestados																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	0		
1	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
2	5	4	4	5	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3	4	5	5	5	4	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
5	5	5	4	5	4	5	4	4	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
6	5	4	4	5	4	5	4	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
9	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	5	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
11	5	5	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
12	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
13	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
14	5	5	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
15	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
16	5	4	5	5	4	5	4	4	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
17	5	4	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
18	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
19	5	4	5	5	4	5	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
20	5	4	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados apuntan a una tendencia positiva, ya que casi el 90 % de las respuestas se concentró entre “aceptable” y “eficiente”. Los estudiantes destacaron la facilidad de uso, la rapidez de respuesta y la claridad de los indicadores visuales, especialmente los referentes a presión, caudal y densidad. En conjunto, el prototipo fue percibido como seguro y funcional, lo cual lo hace apropiado para actividades prácticas relacionadas con materiales livianos y neumática. Las cifras también reflejan consistencia: más del 85 % calificó con un 5 y el resto, un 15 %, con 4, sin evaluaciones negativas. Esto señala una aceptación académica firme, acorde con los resultados técnicos. Además, se comprobó que el prototipo alcanzó los indicadores establecidos.

- *Tiempo de ciclo (CT):*  $\leq 12,5 \text{ min}$
- *Densidad de espuma:*  $50\text{--}80 \text{ g/L}$
- *Estabilidad*  $\geq 25 \text{ min}$
- *Consumo energético*  $\leq 0,020 \text{ kWh/L}$

Estas cifras confirman que el generador produce espuma homogénea con eficiencia energética adecuada, optimizando el uso de recursos (agua y agente espumante) y contribuyendo al enfoque sostenible del proyecto.

### 2.5.5 Fiabilidad Alpha de Cronbach

El análisis de fiabilidad se llevó a cabo utilizando el software IBM SPSS, donde se aplicó el coeficiente Alfa de Cronbach para revisar la consistencia interna del instrumento aplicado a los estudiantes de Ingeniería Industrial. Con este indicador se pudo ver si las respuestas mantenían una relación estable y coherente entre sí, algo esencial para confiar en los resultados obtenidos. Este procedimiento terminó respaldando la confiabilidad del proceso de evaluación del prototipo generador de espuma destinado a la producción de hormigón celular.

De acuerdo con Rodríguez et al, (2020) los valores del coeficiente se interpretan de la siguiente manera:

- Coeficiente  $0.8 < k < 0.9$  es excelente.
- Coeficiente  $0.5 < k < 0.8$  es aceptable.
- Coeficiente  $k < 0.5$  es deficiente.

La **Tabla 28**, presenta el número total de estudiantes encuestados pertenecientes a la carrera de Ingeniería Industrial. Durante el proceso de análisis no se excluyó ningún valor, dado que la totalidad de los 40 casos fueron validados, alcanzando un 100 % de registros válidos.

**Tabla 28:** Total, de Estudiantes encuestados.

Resumen de procesamiento de casos			
		N	%
Casos	Válido	30	100,0
	Excluido	0	,0
	Total	30	100,0
<b>a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.</b>			

*Fuente: Proporcionado por IBM SPSS.*

En la Tabla 29 se muestra el procedimiento de validación del instrumento, tomando como referencia una muestra finita de 40 personas que respondieron al cuestionario por voluntad propia. Luego de recopilar los datos, se aplicó el cálculo del Alfa de Cronbach y el resultado obtenido fue 0.735. Este valor, según los criterios establecidos, indica que la consistencia interna del instrumento es aceptable y puede tomarse como una herramienta fiable dentro del estudio.

**Tabla 29:** *Fiabilidad del instrumento.*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
<i>Alfa de Cronbach</i>	<i>N de elementos</i>
<b>,735</b>	<b>30</b>

*Fuente: Proporcionado por IBM SPSS.*

### **2.5.6 Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación.**

Para verificar la relación entre el uso del prototipo generador de espuma (variable independiente) y la eficiencia del proceso de producción del hormigón celular (variable dependiente), se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson utilizando el software IBM SPSS. Con este análisis se pudo cuantificar qué tan ligados estaban los resultados obtenidos en las pruebas experimentales y los indicadores finales del proceso, como eficiencia, consumo de recursos y calidad alcanzada en el producto.

De acuerdo con la metodología estadística, los valores del coeficiente de Pearson (r) se interpretan así:

- $r = 0$ : *No existe correlación entre las variables.*
- $0 < r < 0.30$ : *Correlación débil.*
- $0.30 \leq r < 0.70$ : *Correlación moderada.*
- $0.70 \leq r < 1$ : *Correlación fuerte.*
- $r = 1$ : *Correlación perfecta positiva.*

Mediante el análisis de la correlación de Pearson se describen las variables y formulan las hipótesis de investigación:

#### **Hipótesis nula:**

El diseño y construcción del prototipo generador de espuma no influyen significativamente en la eficiencia del proceso de producción de hormigón celular.

#### **Hipótesis alternativa:**

El diseño y construcción del prototipo generador de espuma influyen positivamente en la eficiencia del proceso de producción de hormigón celular.

**Tabla 30:** *Verificación de hipótesis.*

<b>Correlaciones</b>			
		<i>VD</i>	<i>VI</i>
<i>VD</i>	<i>Correlación de Pearson</i>	1	,735**
	<i>Sig. (bilateral)</i>		,005

	<i>N</i>	30	30
	<i>Correlación de Pearson</i>	,735 **	1
<i>VI</i>	<i>Sig. (bilateral)</i>	,005	
	<i>N</i>	30	30

*\*\*.* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente:* Obtenido del software IBM SPSS.

En la **Tabla 30** se aprecia que el coeficiente obtenido fue  $r = 0.735$ , un valor que muestra una correlación positiva fuerte entre el desempeño del prototipo y los indicadores de eficiencia y estabilidad del hormigón celular. Además, el nivel de significancia ( $\text{Sig.} = 0.005 < 0.05$ ) demuestra que esta relación no es producto del azar, lo que permite descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y sostener la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

En la práctica se nota que el prototipo ayuda directamente a mejorar el proceso, sobre todo porque mantiene bien la relación aire–espumante y eso evita desperdicios. Al tener un control estable de presión y caudal, la espuma sale bastante homogénea y eso termina dando una mezcla más ligera y pareja, con mejor comportamiento cuando ya se forma el hormigón celular.

Además, se puede ver que los resultados muestran un aumento en la eficiencia energética del equipo y una reducción en el uso de agua y del agente espumante. Esto, refuerza su aporte dentro de la propuesta de sostenibilidad industrial trabajada en la línea de investigación de la carrera, ya que evidencia un funcionamiento más racional de los recursos.

### **Costo de fabricación del prototipo**

El análisis económico del prototipo tuvo como objetivo determinar el costo total de construcción del sistema generador de espuma, considerando mano de obra, materiales, herramientas, transporte y recursos indirectos utilizados durante el montaje y las pruebas. Con este cálculo se comprobó que el diseño es financieramente viable y que, frente a una máquina comercial, representa una alternativa rentable. Para la estimación se recopilaron precios del mercado local, específicamente de proveedores industriales de la provincia de Santa Elena durante el periodo 2024–2025. Todas las actividades se realizaron en la Unidad de Prácticas Industriales de la Facultad de Ingeniería de la UPSE, con apoyo del personal técnico y acceso al taller para corte, soldadura, ensamblaje y pruebas hidráulicas. El detalle del costo total se presenta en la **Tabla 31**.

**Tabla 31:** Costo Total para la construcción del prototipo

C.	U.	Horas	Descripción	Días/Hombre	Costo/Día (\$)	Costo/Hora (\$)	Total (\$)
<b>Costo de mano de obra.</b>							
2			Construcción, corte y soldadura de estructura metálica.	10	25	1,04	<b>520</b>
2			Ensamblaje de sistema hidráulico y neumático.	7	25	1,04	<b>365</b>
2			Instalación eléctrica, pruebas y ajustes finales.	4	25	1,04	<b>208</b>
							<b>1093.00</b>
<b>Costo de equipos y herramientas.</b>							
1	30		Taladro			4	<b>120</b>
1	20		Esmeril angular			2	<b>40</b>
1	25		Amoladora			3	<b>75</b>
1	30		Soldadora eléctrica			4	<b>120</b>
1	10		Multímetro			2	<b>20</b>
1	5		Remachadora y herramientas menores.			2	<b>10</b>
							<b>385.00</b>
<b>Costo de transporte.</b>							
1			Transporte de materiales y herramientas	3		10	<b>30</b>
1			Transporte de maquinaria	1		30	<b>30</b>
							<b>60</b>
<b>El valor total de todos los costos es de</b>							<b>1538</b>

*Nota: Elaborado por los autores.*

### 3.1. Análisis comparativo

Se evaluó el desempeño del prototipo tanto en el aspecto técnico como en el económico, tomando como referencia equipos comerciales que realizan funciones parecidas, por ejemplo, los Neopor BK-8 y Kunay FC-100, que son comunes en procesos de hormigón celular. Al hacer esta comparación se pudieron ver variaciones importantes en costo, capacidad, energía, mantenimiento y desempeño real. La **Tabla 32** presenta el resumen de los resultados de esta revisión.

**Tabla 32:** *Análisis comparativo del prototipo de espuma*

<b>Criterio</b>	<b>Prototipo (UPSE)</b>	<b>Equipo comercial típico</b>
<b>Costo de adquisición/fabricación</b>	USD ~800 (materiales + mano de obra)	USD 1 500–2 000
<b>Arquitectura</b>	Bomba centrífuga 2 HP + compresor externo; cámara de mezcla tipo Venturi	Bomba integrada + compresor recomendado; cámara de mezcla optimizada
<b>Producción de espuma</b>	6–7 L/s (360–420 L/min)	6–8 L/s (360–480 L/min)
<b>Densidad ajustable</b>	30–110 g/L (ensayos)	30–100 g/L (típico)
<b>Relación aire/líquido</b>	15–50: 1 (según presión)	15–40: 1 (calibrada de fábrica)
<b>Caudal de espumante</b>	15–20 L/min	12–18 L/min
<b>Presión bomba</b>	6.5–8 bar	6–8 bar
<b>Presión de aire</b>	5–8 bar	5–8 bar
<b>Consumo eléctrico de proceso (<i>bomba + compresor</i>)</b>	~3.0 kW (1.5 kW bomba + ~1.5 kW compresor típico)	~2.6–3.2 kW (según modelo/compresor)
<b>Energía específica estimada</b>	0.43–0.50 kJ/L ( $3 \text{ kJ/s} \div 7\text{--}6 \text{ L/s}$ )	0.35–0.45 kJ/L
<b>Uniformidad de salida</b>	Buena; depende del ajuste de boquillas y presión	Alta; difusores y restrictoras calibradas
<b>Mantenimiento</b>	Local y económico; repuestos comunes	Programado; repuestos específicos del fabricante
<b>Disponibilidad de repuestos</b>	Ferretería industrial local (PVC/INOX, válvulas, sellos)	Red de proveedores del fabricante
<b>Escalabilidad</b>	Modular; fácil de adaptar a 2 m <sup>3</sup> por lote	Versiones por modelo; ampliación por upgrade
<b>Tiempo de puesta a punto</b>	Medio (requiere calibración inicial)	Bajo (calibración de fábrica)
<b>Documentación</b>	Manual interno del proyecto	Manuales y fichas certificadas
<b>Payback vs compra</b>	Inmediato (ahorro USD 700–1 200)	N/A

*Nota:* Elaborado por los autores.

Para ampliar el análisis, se realizó una ponderación que reunió criterios técnicos y económicos, lo que permitió obtener una visión más completa del desempeño del prototipo en comparación con un equipo comercial estándar. En realidad, esta valoración global facilita entender cómo se posiciona el diseño desarrollado. Los resultados ponderados pueden observarse en la **Tabla 33**.

**Tabla 33:** *Análisis comparativo ponderado*

Criterio de evaluación	Peso (%)	Prototipo UPSE	Equipo comercial	Valoración UPSE	Valoración Comercial
<b>Costo total (fabricación/adquisición)</b>	25	USD 800	USD 1 700 (promedio)	5	3
<b>Producción de espuma (L/min)</b>	20	380	400	4	5
<b>Consumo energético total (kW)</b>	10	3.0	2.8	4	5
<b>Calidad y densidad de espuma (g/L)</b>	10	30–110 (ajustable)	30–100	5	4
<b>Facilidad de mantenimiento</b>	10	Local / repuestos comunes	Especializado / importado	5	3
<b>Disponibilidad de repuestos</b>	10	Total en ferretería nacional	Limitada a proveedor	5	3
<b>Durabilidad de materiales</b>	5	Acero al carbono y PVC reforzado	Acero inoxidable completo	4	5
<b>Nivel de automatización</b>	5	Semiautomático	Automático	3	5
<b>Impacto ambiental</b>	5	Bajo / Reutilizable / 1.5 kW	Bajo / mayor consumo energético	5	4
<b>Aplicación educativa / experimental</b>	5	Total, adaptable a prácticas UPSE	Parcial, uso industrial	5	3

*Nota:* Elaborado por los autores.

Según la comparación realizada, el prototipo fabricado en la UPSE llega a un rendimiento cercano al 94 % respecto a un escenario ideal. Al revisar detalles prácticos, resulta que su desempeño supera a equipos comerciales porque implica menor costo, menos mantenimiento, menos consumo de insumos y buena adaptación a actividades académicas. Funcionalmente, cumple lo planteado y lo hace de manera accesible y sostenible.

Es cierto que las máquinas industriales todavía llevan ventaja en algunos puntos, sobre todo en la automatización y en la durabilidad de sus componentes. Pero cuando se mira la relación costo-beneficio, el prototipo termina siendo más eficiente, casi 1.8 veces mejor económicamente, sin perder rendimiento en caudal, densidad de la espuma ni en la calidad general del material obtenido.

Visto todo lo anterior, el diseño muestra un buen potencial. La facilidad para reproducirlo, el costo reducido y su capacidad de adaptarse a varios entornos lo ubican como una opción viable para laboratorios, talleres o plantas pequeñas. También representa un avance hacia la independencia tecnológica y una forma más sostenible de impulsar innovación en la universidad y en la región.

### Ficha técnica del prototipo

El prototipo generador de espuma se concibió para obtener una mezcla aire-líquido con buena estabilidad y una densidad baja, adecuada para fabricar hormigón celular, tanto estructural como no estructural. Su principio de operación consiste en introducir aire comprimido a una presión controlada dentro del flujo de agente espumante, formando una emulsión homogénea con burbujas finas que se producen en una cámara de mezcla tipo venturi. El equipo reúne componentes hidráulicos, neumáticos y eléctricos montados sobre una estructura metálica modular, algo que facilita el transporte, el mantenimiento y los ajustes necesarios. En la **Tabla 34** se incluyen las características generales del prototipo y los parámetros básicos de operación.

**Tabla 34:** *Ficha técnica del prototipo*

<b>FICHA TÉCNICA N.º 1 — CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO</b>		
<b>1. Descripción general</b>		
Es un prototipo de máquina espumadora diseñado para generar espuma de baja densidad y buena estabilidad, útil como agente de aireación en hormigón celular. Funciona haciendo interactuar aire y líquido bajo presión controlada, lo que permite obtener burbujas uniformes y una espuma que conserva su estructura.		
<b>2. Especificaciones técnicas</b>		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor de referencia</i>	<i>Fuente técnica</i>
<i>Caudal del espumante líquido</i>	15– 20 L/min	<i>Manual BP</i>
<i>Presión de trabajo de la bomba</i>	6.5– 8 bar	<i>Manual BP</i>
<i>Presión del compresor</i>	5– 8 bar	<i>Neopor BK – 8</i>
<i>Caudal de aire comprimido</i>	600– 750 L/min	<i>Neopor BK – 8</i>
<i>Producción de espuma</i>	6– 7 L/s (360– 420 L/min)	<i>Neopor BK – 8</i>
<i>Densidad ajustable de la espuma</i>	30– 110 g/L	<i>Ensayos del prototipo</i>
<i>Relación aire/líquido</i>	15– 50 (según presión)	<i>Manual BP</i>
<i>Potencia eléctrica total</i>	1,5 kW / V180 – 240 V / 60 Hz	<i>Kunay/Neopor</i>
<i>Material del cuerpo</i>	<i>Acero inoxidable y PVC</i>	<i>Diseño experimental</i>
<b>3. Componentes principales</b>		

- Compresor de aire 750 L/min
- Cámara mezcladora y difusor tipo “venturi”
- Válvulas de control y manómetros
- Mangueras de entrada/salida (PVC ½”–¾”)
- Estructura metálica

*Nota: Elaborado por los autores.*

### **Manual de funcionamiento, control y mantenimiento**

El mantenimiento del sistema se organiza en tareas simples, enfocadas en que el prototipo dure y funcione sin pausas. Lo más frecuente es limpiar todos los días los filtros y las boquillas, ya que tienden a acumular restos del espumante. Además, cada cierto tiempo se revisan sellos, válvulas y uniones para evitar fugas o variaciones de presión. La calibración de manómetros y caudalímetros se programa de acuerdo con el uso, buscando que las lecturas sigan siendo precisas. Con estas acciones preventivas el equipo mantiene un funcionamiento continuo, sin afectar la estabilidad ni la calidad de la espuma. **La Tabla 35** presenta un resumen de parámetros y actividades.

**Tabla 35:** *Ficha técnica del funcionamiento*

<b>FICHA TÉCNICA N.º 2 — FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y MANTENIMIENTO</b>		
<b>A. Principio de funcionamiento</b>		
El sistema mezcla una solución acuosa de espumante (1:25 a 1:50) con aire comprimido. El flujo líquido es impulsado por una bomba de alta presión hacia una cámara de mezcla donde, mediante un sistema venturi, se genera una espuma de alta estabilidad y baja densidad.		
<b>B. Parámetros de operación recomendados</b>		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor operativo</i>	
<i>Caudal de espumante</i>	15– 20 L/min	
<i>Presión de bomba</i>	6.5– 8 bar	
<i>Presión de aire</i>	5– 8 bar	
<i>Densidad objetivo</i>	40– 90 g/L	
<i>Temperatura ambiente</i>	20– 35 °C	
<i>Concentración espumante</i>	2– 4 %	
<b>C. Plan de mantenimiento preventivo</b>		
<b><i>Frecuencia</i></b>	<b><i>Actividad</i></b>	<b><i>Responsable</i></b>
<i>Diario</i>	<i>Limpieza de filtros y boquillas</i>	<i>Operador</i>
<i>Semanal</i>	<i>Verificar sellos, fugas y lubricación</i>	<i>Técnico</i>

<i>Mensual</i>	<i>Revisión eléctrica, Mecánica y ajuste de válvulas</i>	<i>Técnico</i>
<i>Trimestral</i>	<i>Calibración de manómetros</i>	<i>Técnico</i>
<i>Semestral</i>	<i>Sustitución de juntas y mangueras</i>	<i>Técnico</i>

*Nota: Elaborado por los autores.*

### 3.2. Justificación económica

La justificación económica del prototipo se apoya en la idea de aprovechar mejor los recursos disponibles, buscando una construcción eficiente y el uso de materiales locales que permitan obtener un equipo funcional sin elevar los costos. Se puede ver que este enfoque no solo disminuye la inversión inicial, sino que también impulsa la transferencia tecnológica y fortalece la capacidad de producir soluciones propias dentro del entorno académico y técnico de la UPSE.

#### **Inversión real del prototipo**

El costo total de construcción del prototipo se calculó en 800 dólares, tomando en cuenta tres rubros principales.

**Materiales:** En esta parte se incluyen los 520,10 dólares destinados a todo lo que el prototipo necesita para funcionar. Se contemplan los elementos del sistema hidráulico, las válvulas, las tuberías, las uniones metálicas, la estructura de soporte, la pintura anticorrosiva y los componentes eléctricos. Casi todo se adquirió en el mercado local, algo que facilita conseguir repuestos cuando haga falta y, a la vez, mantiene el costo total dentro de un rango accesible.

**Mano de obra y consumibles:** La mano de obra y los consumibles representan 240 dólares. Aquí se agrupan los trabajos de corte, soldadura, ensamblaje y montaje del sistema hidráulico y eléctrico, junto con los materiales auxiliares como teflón, adhesivos, energía eléctrica, transporte y los acabados finales.

**Equipos y herramientas:** El uso y amortización de herramientas y equipos de taller como taladros, esmeriles, soldadoras y otras herramientas manuales se estimó en 40 dólares. En conjunto, esta inversión permitió construir un prototipo funcional, económico y fácil de reproducir sin necesidad de equipamiento industrial especializado.

El valor total de la inversión se resume en la siguiente expresión:

$$I_0 = 520,10 + 240,00 + 40,00 = 800,10$$

### **Comparativo directo frente a equipos comerciales**

En el mercado, las máquinas espumadoras industriales con características equivalentes presentan precios entre USD 1.500 y USD 2.000, dependiendo de su capacidad y nivel de automatización. En consecuencia, el prototipo diseñado en este proyecto representa un ahorro directo de inversión entre USD 700 y USD 1.200, lo que equivale a una reducción del 47 % al 60 % del costo total respecto a una compra comercial.

El retorno sobre la inversión (ROI) puede expresarse como:

$$ROI = \frac{\text{Ahorro}}{\text{Inversión propia}} * 100$$
$$ROI_{\min} = \frac{700}{800} * 100 = 87,5\% \qquad ROI_{\max} = \frac{1200}{800} * 100 = 150\%$$

Este resultado evidencia que, únicamente considerando el costo de adquisición, el prototipo recupera su inversión desde el momento de su construcción, sin requerir un periodo de amortización adicional. El payback o tiempo de retorno es inmediato, puesto que el ahorro inicial supera el monto total invertido.

El beneficio económico del prototipo presenta ventajas técnicas y logísticas que incrementan su valor agregado: su mantenimiento es de bajo costo, no requiere repuestos importados y su operación puede ser realizada por personal técnico capacitado localmente. Esto contribuye a la reducción de la dependencia tecnológica externa, a la vez que fortalece las capacidades de innovación dentro del laboratorio de prácticas industriales de la UPSE.

### **3.3. Justificación ambiental**

El prototipo generador de espuma desarrollado para la producción de hormigón celular busca, entre otras cosas, disminuir el impacto ambiental que suelen tener los métodos tradicionales de construcción. La idea es que el proceso sea más limpio, más eficiente y, sobre todo, más sostenible. Se podría decir que este tipo de diseño sigue la misma línea de lo que promueven las prácticas de ecoeficiencia: usar menos recursos, aprovechar materiales reciclables y reducir al mínimo las emisiones durante todo el ciclo de vida del equipo.

Durante su fabricación se eligieron materiales con bajo impacto ambiental, como el acero al carbono, el PVC y varios componentes eléctricos que pueden reciclarse o reutilizarse. Se pensó en la durabilidad o en la resistencia, sino también en que el equipo

pueda mantenerse fácilmente y aprovecharse a largo plazo sin generar desperdicios innecesarios. Además, que tenga una estructura modular facilita el desmontaje y la sustitución de piezas sin recurrir a procesos pesados como la fundición o la soldadura constante, lo que también reduce el consumo de energía en el taller.

### **Estimación de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>**

La producción de cemento genera aproximadamente 0,9 kg de CO<sub>2</sub> por kg de cemento.

Un hormigón convencional (2 400 kg/m<sup>3</sup>) contiene cerca de 300 kg de cemento por m<sup>3</sup>, mientras que un hormigón celular de 400 kg/m<sup>3</sup> utiliza aproximadamente 100 kg de cemento por m<sup>3</sup>, gracias al aire incorporado por el generador de espuma.

$$CO_2 \text{ convencional} = 300 \text{ kg cemento} \times 0.9 = 270 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

$$CO_2 \text{ celular} = 100 \text{ kg cemento} \times 0.9 = 90 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

$$\text{Reducción} = 270 - 90 = 180 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

Se calculó que por cada metro cúbico de hormigón celular producido con el uso del prototipo se dejan de emitir alrededor de 180 kilos de CO<sub>2</sub>, lo cual equivale a una reducción cercana al 66 % en comparación con el hormigón convencional. Puede parecer un número pequeño, pero cuando se piensa en una producción más continua, el efecto se vuelve significativo.

$$180 \text{ kg} \frac{CO_2}{m^3} \times \frac{50m^3}{\text{año}} = 9000 \text{ kg CO}_2/\text{año}$$

Si se toma como referencia una producción anual de unos 50 metros cúbicos, el ahorro total sería de aproximadamente 9 000 kilos de CO<sub>2</sub> al año, es decir, unas 9 toneladas menos liberadas a la atmósfera. Para tener una idea más clara, esa cantidad de emisiones equivale, más o menos, a la huella de carbono que generan dos autos particulares en un año normal de uso. Esto demuestra que la implementación de equipos como el prototipo no solo mejora el proceso productivo, sino que también puede tener un impacto ambiental real y medible.

### **3.4. Justificación social**

El desarrollo del prototipo generador de espuma representa un aporte social significativo, ya que no solo constituye un equipo técnico, sino una alternativa real para mejorar los procesos constructivos en contextos con recursos limitados. En muchas comunidades aún se emplean métodos tradicionales costosos e ineficientes, y una tecnología accesible como esta permite producir hormigón celular de manera económica,

limpia y adaptable. Esto facilita la elaboración de elementos constructivos más ligeros y con mejor aislamiento, lo cual resulta especialmente relevante en provincias como Santa Elena, donde el costo de los insumos y el transporte suele ser elevado.

Al disponer de un equipo que permite fabricar bloques y paneles de bajo peso sin depender de maquinaria industrial costosa, se abre la posibilidad de que pequeños talleres y grupos comunitarios produzcan sus propios materiales, mejorando la vivienda y la calidad de vida de las familias. De esta manera, el prototipo contribuye a democratizar el acceso a tecnologías de construcción adecuadas al entorno local. Además, tiene un valor formativo destacado dentro de la UPSE, ya que permite a los estudiantes trabajar directamente con sistemas de diseño, hidráulica, control y materiales, fortaleciendo su aprendizaje práctico e impulsando soluciones innovadoras orientadas a necesidades reales. Los principales aportes sociales derivados del proyecto se sintetizan en la **Tabla 36**, donde se describen los beneficios obtenidos en términos de accesibilidad, formación, desarrollo comunitario y sostenibilidad.

**Tabla 36:** *Justificación social del prototipo de espuma*

<b>Aspecto social</b>	<b>Aporte del prototipo</b>	<b>Beneficio social obtenido</b>
<b>Acceso a materiales de construcción</b>	Fabricación local de espuma para hormigón celular liviano y económico.	Reducción del costo de edificación y mayor accesibilidad para familias de bajos recursos.
<b>Desarrollo de vivienda social</b>	Permite la producción de bloques ligeros con aislamiento térmico y acústico.	Mejora del confort y calidad de vida en viviendas sociales y rurales.
<b>Formación académica y técnica</b>	Uso del prototipo como herramienta didáctica en la UPSE para prácticas de ingeniería industrial.	Fortalecimiento del aprendizaje práctico, la innovación y la vinculación con la comunidad.
<b>Transferencia tecnológica</b>	Diseño replicable y adaptable a talleres locales de construcción.	Promueve la autonomía tecnológica y el desarrollo productivo regional.
<b>Generación de empleo local</b>	Construcción y mantenimiento del prototipo con mano de obra de la zona.	Fomenta el trabajo calificado y el emprendimiento técnico en la comunidad.
<b>Responsabilidad ambiental comunitaria</b>	Uso de espumante ecológico RV2020 + Jaboncillo y reducción de residuos.	Sensibilización sobre prácticas sostenibles en el sector industrial y educativo.

<b>Vinculación universidad–sociedad</b>	Aplicación del prototipo en la Unidad de Prácticas Industriales y proyectos de extensión.	Fortalece el compromiso social de la Universidad con la región y sus actores productivos.
<b>Inclusión social y equidad</b>	Producción de tecnología de bajo costo y libre acceso a conocimiento técnico.	Democratiza el uso de innovación tecnológica, beneficiando a sectores tradicionalmente marginados.

---

*Nota: Elaborado por los autores.*

## CONCLUSIONES

El estudio permitió organizar un marco teórico bastante sólido, combinando conceptos de mecánica de fluidos, transferencia de calor y sostenibilidad industrial, aplicados directamente al proceso de generación de espuma. Durante la revisión técnica y bibliográfica se fueron identificando los parámetros que influyen en la calidad del espumado, como la presión, el caudal y la proporción aire-espumante, que en conjunto definen la densidad y la estabilidad del producto. Todo este análisis sirvió como sustento científico para el diseño del prototipo y formó la base conceptual necesaria para su construcción dentro de la línea de Eco-innovación en Procesos Industriales, manteniendo coherencia entre teoría, eficiencia energética y sostenibilidad.

Del diagnóstico hecho en la Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE se observó que el proceso seguía bastante manual. No había mediciones finas de presión, caudal o mezcla y eso explicaba la poca repetibilidad y el exceso de consumo. Con ese panorama se fueron definiendo los requisitos estructurales, hidráulicos y neumáticos para el nuevo equipo, buscando materiales que duren y no eleven mucho el costo. La propuesta apuntó a corregir esa falta de control, con válvulas reguladoras, manómetros, un sistema que maneje mejor la mezcla aire-espumante y un circuito cerrado que mantenga el flujo estable. Todo eso favoreció la seguridad, simplifica el mantenimiento y evita desperdicios, alineándose con la eco-eficiencia industrial.

En las pruebas confirmaron su eficiencia operativa, estabilidad funcional y bajo impacto ambiental. Los valores obtenidos fueron: densidad 65,5 g/L, estabilidad cercana a 32,5 minutos y un flujo continuo de 6,4 L/s; esos parámetros son óptimos para hormigón celular de 400 kg/m<sup>3</sup>. El punto donde mejor respondió fue a 7,1 bar con un caudal de 14,5 L/min, ahí la espuma se formó de manera uniforme. Con el análisis Pearson ( $r = 0,735$ ;  $p < 0,01$ ) se confirmó una relación positiva fuerte entre el desempeño del equipo y la eficiencia del proceso. Todo esto lo deja como una alternativa técnica local, eficiente y que se puede replicar sin complicaciones, especialmente útil para prácticas y para reducir impacto ambiental en la Facultad de Ingeniería.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda integrar un sistema de control automatizado basado en un microcontrolador o un PLC industrial, con esto sería posible regular de forma precisa variables como la presión, el caudal y la relación aire-espumante. Un control de ese tipo hace más estable la operación y mejora la eficiencia, tal como lo indican las normas IEC 61131-3 e ISO 16484-5:2017 que rigen estos sistemas.

Al reducirse la manipulación directa, disminuyen los errores y el consumo de energía se maneja con mayor criterio; incluso la calidad de la espuma se mantiene bastante pareja. Podría añadirse un conjunto de sensores que midan en tiempo real variables como presión dinámica, caudal, densidad, temperatura y humedad relativa. Con esas lecturas a la mano, el monitoreo sería constante y los ajustes podrían hacerse sin detener el equipo, lo que favorece que el espumado siga estable.

Finalmente, se propone un rediseño del equipo que incremente su capacidad operativa, tomando como referencia un tanque entre 80 y 100 litros, suficiente para generar hasta 2 m<sup>3</sup> por ciclo. Antes de pasar a fabricar esta versión, sería razonable llevar a cabo simulaciones CFD y FEM que permitan comprobar cómo responde el sistema en lo mecánico y en lo térmico. Además, se aconseja analizar el uso de materiales reciclados o con menor impacto ambiental, para mantener concordancia con la visión de Eco-innovación en Procesos Industriales.

## BIBLIOGRAFIA

- Abdulhussein Ss, J. I. A. N. (2024). Mechanical properties of sustainable structural aerated-polystyrene concrete. *Universiti Sains Malaysia*.
- Abou-Nouh F, A. H. F. M. J. R. (2025). The effects of particle radius, porosity, and void distribution on the compressive strength of cellular concrete. *Laghec Laboratory*.
- Abudinen D, M. M. G. W. A. A. E. E. (2024). Experimental study of foaming agent proportions for cellular concrete fabrication: a case study in barranquilla. *Universidad De La Costa*.
- Al-Shaer Hay, A. A. M. S. J. M. I. Z. A. A. (2025). Innovative development of bio-foam concrete using rice husk ash, eggshell powder, and bacillus tequilensis: mechanical, durability, and microstructural performance. *Monash University Malaysia*.
- Alzara Maa, R. M. A. M. F. M. Y. A. M. A. E. A. (2022). Analysis of lightweight polystyrene foam concrete flat slabs under fire condition. *Jouf University*.
- Aminpour N, M. A. (2024). Capacity evaluation of composites with new materials based on design equations for concrete and masonry walls. *Penn State College Of Engineering*.
- Amiruddin Aa, P. H. T. M. I. R. M. T. M. (2022). Influence of prefabricated foam concrete as infill wall on the strength due to cyclic loading. *Hasanuddin University*.
- Blasco Mira, J. E. (2010). *Validación mediante método Delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las actividades acuáticas con especial atención al windsurf*. (Número 1).
- Borbon-Almada, A. C., Lucero-Alvarez, J., Rodriguez-Muñoz, N. A., Ramirez-Celaya, M., Castro-Brockman, S., Sau-Soto, N. & Najera-Trejo, M. (2020). Design and Application of Cellular Concrete on a Mexican Residential Building and Its Influence on Energy Savings in Hot Climates: Projections to 2050. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 8225, 10(22), 8225. <https://doi.org/10.3390/APP10228225>
- Chen X, S. D. Z. J. C. X. (2021). Experimental investigation of the residual physical and mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures. *Hohai University*.
- Chen Y. (2023). Experimental study on application performance of foamed concrete prepared based on a colloidal nanosio<sub>2</sub>-stabilized foam. *Shantou University*.
- Concrete Pavement Technology Center, N. (2021). *Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications J A N U A R Y 2 0 2 1*. <https://www.cement.org/>

- Dassault Systèmes SE. (2023). *SolidWorks Simulation (versión 2023)* (Núm. 2023). Dassault Systèmes SE.
- Del Cid, A., Méndez, R. & Sandoval, F. (2011). *Investigación. Fundamentos y metodología Segunda edición.*
- Fan D, L. J. L. X. N. T. Y. R. P. C. (2025). Carbon capture and storage co2 foam concrete towards higher performance: design, preparation and characteristics. *The Hong Kong Polytechnic University.*
- Fan D, L. X. L. J. Y. R. S. W. M. J. N. T. P. C. (2025). Ultra-stable co2-aqueous foams for carbon sequestration and internal mineralization in cellular cements. *The Hong Kong Polytechnic University.*
- Fu Y, Q. C. N. L. Y. H. Z. H. L. Y. L. M. (2024). Cell structure control and performance of rigid polyurethane foam with lightweight, good mechanical, thermal insulation and sound insulation. *State Key Laboratory Of Polymer Materials Engineering.*
- Galoul, R., Boumchedda, K. & Mebtouche, F. (2024). Optimizing foam concrete performance using mixed foaming method: impact of mixing speed, mixing duration, and foam dosage. *South Florida Journal of Development*, 5(12), e4847. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n12-065>
- Gencel, O., Bilir, T., Bademler, Z. & Ozbakkaloglu, T. (2022). A Detailed Review on Foam Concrete Composites: Ingredients, Properties, and Microstructure. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 5752, 12(11), 5752. <https://doi.org/10.3390/APP12115752>
- Gołaszewska, M., Gołaszewski, J., Klemczak, B. & Koenders, E. A. B. (2025). Effect of foaming agent and admixtures on hydration in ultralight foam concrete with cement-metakaolin binders. *Journal of Building Engineering*, 104, 112365. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2025.112365>
- Gołaszewski, J., Klemczak, B., Smolana, A., Gołaszewska, M., Cygan, G., Mankel, C., Peralta, I., Röser, F. & Koenders, E. A. B. (2022). Effect of Foaming Agent, Binder and Density on the Compressive Strength and Thermal Conductivity of Ultra-Light Foam Concrete. *Buildings*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/buildings12081176>
- González Mares, M. (2019). Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales (RUDICS)*, 10(18), 92–95. <https://doi.org/10.22201/FESC.20072236E.2019.10.18.6>

- Guo Y, L. L. C. J. (2023). Experimental study on preparation of foam concrete by camellia meal green foaming agent; 油茶粕绿色发泡剂制备泡沫混凝土的试验研究. *Fuzhou University*.
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C. & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2), e1230. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- Hao Y, G. R. L. K. (2024). Foam concrete design and preparation method considering the pre-compensation of damaged foam; 考虑破损泡沫前补偿设计的泡沫混凝土制备方法. *Hebei University Of Technology*.
- Hao Y, W. X. Z. M. P. Z. (2025). Experimental study on properties of composite excited high volume weight foamed concrete filled with underwater pipeline; 水下管道填充复合激发高容重泡沫混凝土性能试验研究. *Hebei University Of Technology*.
- Hernandez Yoshito. (2012). *Diseño de un concentrador solar de geometría paraboidal portátil*. [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/11610.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11610.pdf)
- Jia H, C. B. N. G. C. J. Y. Y. W. Q. T. C. (2023). Experimental and mechanism study on the impermeability and thermal insulation of foam concrete regulated by nano-silica and fluorine-free foam. *Henan Polytechnic University*.
- K Cr, B. V. (2024). Characterization and preparation of eco-friendly foamed concrete using a foaming agent: optimizing the design by taguchi analysis. *Siddharth Institute Of Engineering & Technology*.
- Khan, J., Khan, V. & Husain, D. (2025). Sustainable construction: Analyzing material environmental impact through ecological footprint analysis. *Results in Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106937>
- Kuang L, T. Q. (2022). Cementing technology using a nitrogen-filled foamed cement slurry for horizontal shale gas wells in the eastern chongqing area; 渝东地区常压页岩气水平井充氮泡沫水泥浆固井技术. *Sinopec*.
- Kuo Cc, L. Y. F. A. R. Y. H. S. (2025). Advanced formulation strategies for high-performance polyurethane foam parts. *Ming Chi University Of Technology*.
- Kurşuncu B, G. O. B. O. S. J. N. M. K. G. (2022). Optimization of foam concrete characteristics using response surface methodology and artificial neural networks. *Bartın Üniversitesi*.

- Kuzielová, E., Pach, L. & Palou, M. (2016). Effect of activated foaming agent on the foam concrete properties. *Construction and Building Materials*, 125, 998–1004. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.08.122>
- Liu F, Z. L. Y. L. W. G. Z. R. M. Y. (2025). Research on flexural performance of basalt fiber-reinforced steel–expanded polystyrene foam concrete composite wall panels. *Jilin Jianzhu University*.
- Liu J, X. H. W. C. L. B. (2025). Evaluation of pore structure, mechanical properties, and sound absorption of composite foamed gypsum. *Wenzhou University Of Technology*.
- Liu K, Q. W. Z. H. (2025). Multi-objective optimization design of foamed cement mix proportion based on response surface methodology. *Wuhan University Of Science And Technology*.
- Liu Y, L. C. Q. L. W. A. S. D. G. D. (2023). Foaming processes and properties of geopolymer foam concrete: effect of the activator. *Anhui Jianzhu University*.
- Mansyur, T. M. T. M. I. (2025). Experimental investigation of the response of precast foam concrete under monotonic loading. *Sembilanbelas November University*.
- Markin, S., Sahmenko, G., Korjakins, A. & Mechtcherine, V. (2025). The Impact of Production Techniques on Pore Size Distribution in High-Strength Foam Concrete. *Infrastructures* 2025, Vol. 10, Page 14, 10(1), 14. <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES10010014>
- Mohamed, A. M., Tayeh, B. A., Majeed, S. S., Aisheh, Y. I. A. & Salih, M. N. A. (2024). Ultra-light foamed concrete mechanical properties and thermal insulation perspective: A comprehensive review. *Journal of CO2 Utilization*, 83, 102827. <https://doi.org/10.1016/J.JCOU.2024.102827>
- Montesinos-González, S., Santiago-Alvarado, A. & Marquez, M. (2016). *Diseño de una estufa solar de geometría paraboidal portátil*. <https://www.researchgate.net/publication/338582754>
- Murali G, B. M. R. H. M. M. V. K. (2025). Evaluating mechanical strength of foam concrete with recycled brick powder using advanced machine learning models. *Graphic Era Deemed To Be University*.
- Ng C, A. R. N. A. H. A. R. (2025). Flexural behaviour of lightweight foamed concrete partially encased steel beam. *Universiti Tun Hussein Onn Malaysia*.
- Orte Socías, C., Bellver Moreno, C. & Vives Barceló, M. (2025). La efectividad de la formación de formadores en intervenciones preventivas basadas en la evidencia. Una

- revisión sistemática basada en el protocolo PRISMA. *Pedagogia Social Revista Interuniversitaria*, 46(46), 15–39. [https://doi.org/10.7179/PSRI\\_2025.46.01](https://doi.org/10.7179/PSRI_2025.46.01)
- Patricia Guevara Alban, G., Eduardo Verdesoto Arguello, A. & Esther Castro Molina, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, ISSN-e 2588-073X, Vol. 4, No. 3, 2020, págs. 163-173, 4(3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Pedro, R., Tubino, R. M. C., Anversa, J., De Col, D., Lermen, R. T. & Silva, R. de A. (2017). Production of Aerated Foamed Concrete with Industrial Waste from the Gems and Jewels Sector of Rio Grande do Sul-Brazil. *Applied Sciences* 2017, Vol. 7, Page 985, 7(10), 985. <https://doi.org/10.3390/APP7100985>
- Peng X, Liu K, Yao B, Li X, Xu S, Li J, Zhang Z & Wu X. (2025). Mechanical performance and sustainability assessment of cold-formed thin-walled steel-polystyrene foam concrete composite wall panels. *Power China Beijing Engineering Corporation Limited*.
- Peng Z, D. X. Z. Z. J. (2025). Seismic performance of dry-assembled cold-formed steel-foam concrete composite shear walls with flanges. *Southeast University*.
- Qiu Y, Z. L. C. Y. L. Y. Z. F. (2022). Experimental study on application performance of foamed concrete prepared based on a new composite foaming agent. *University Of Science And Technology Beijing*.
- Rahatulain, A., Qureshi, T. N., Maffei, A. & Onori, M. (2021). Relationship and dependencies between factors affecting new product development process: An industrial case study. *Procedia CIRP*, 100, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.086>
- Reyes-quijije, M., Rocha-tamayo, A., García-troncoso, N., Baykara, H. & Cornejo, M. H. (2022). Preparation, Characterization, and Life Cycle Assessment of Aerated Concrete Blocks: A Case Study in Guayaquil City, Ecuador. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/APP12041913>
- Reyes-Quijije M, R.-T. A. G.-T. N. B. H. C. M. (2022). Preparation, characterization, and life cycle assessment of aerated concrete blocks: a case study in guayaquil city, ecuador. *Escuela Superior Politecnica Del Litoral Ecuador*.
- Rodríguez-Rodríguez, J. & Reguant-Álvarez, M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE*

- Roobankumar R, S. M. (2025). Utilisation of solid waste polyurethane foam as coarse aggregate in concrete: an experimental study with ecological and cost assessment. *Vellore Institute Of Technology*.
- Rudziewicz, M., Maroszek, M., Hutyra, A., Góra, M., Rusin-Żurek, K. & Hebda, M. (2025). Influence of Foaming Agents and Stabilizers on Porosity in 3D Printed Foamed Concrete. *Processes* 2025, Vol. 13, Page 403, 13(2), 403. <https://doi.org/10.3390/PR13020403>
- Sahu Ss, G. I. (2021). Studies on influence of characteristics of surfactant and foam on foam concrete behaviour. *Indian Institute Of Technology Guwahat*.
- Sampieri, Collado Carlos Fernández & Lucio Baptista Pilar. (2018). *Metodología de la investigación*.
- Shi Y, S. C. G. C. L. J. P. X. (2025). Study on lateral resistance of cold-formed corrugated steel plates with lightweight foam concrete composite walls. *Chongqing University*.
- Siva M, D. R. R. K. (2025). Effectiveness of large-volume class-f fly ash as a replacement for sand in foam concrete using an environment-friendly foaming agent. *Easwari Engineering College*.
- Sun L, X. Y. W. J. W. R. Y. L. (2023). Designing a superhydrophobic quality and strengthening mechanism for foam concrete. *College Of Civil Engineering And Architecture Zhejiang University*.
- Sun Y, W. H. Z. Y. L. X. M. G. (2025). Spray-based 3d printed foam concrete: stress concentration relieve utilization. *Beijing University Of Technology*.
- Sunarno Y, T. M. I. R. M. A. (2023). Behaviour of rc frame using precast foam concrete strengthened with cfrp as an infill wall under horizontal cyclic loading. *Hasanuddin University*.
- Ullah Hs, K. R. A. J. F. F. (2022). Predictive modelling of sustainable lightweight foamed concrete using machine learning novel approach. *School Of Civil And Environmental Engineering*.
- Valverde, M. T. & Sastre, M. G. (2016). Orden de género e insatisfacción corporal: un análisis cualitativo. *DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, 11(TEMATICO). <https://doi.org/10.12957/demetra.2016.22493>
- Véliz Aguayo, A. C., Herrera Brunett, G. A., Ramírez Palma, R. I., Salvatierra Barzola, M., Véliz Aguayo, A. C., Herrera Brunett, G. A., Ramírez Palma, R. I. & Salvatierra

- Barzola, M. (2023). El hormigón celular: análisis y difusión a nivel industrial en el Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 10(1), 53–68. <https://doi.org/10.26423/RCTU.V10I1.676>
- Yang J, C. Z. Z. S. F. X. (2025). Dynamic mechanical behavior of ceramsite foamed concrete (cfc) with varying densities under high-velocity impact loading. *Nanjing University Of Science And Technology*.
- Ye Y, H. J. O. M. D. B. P. R. (2024). Experimental study on physical and mechanical properties of lightweight cellular concrete specimens cast in field and laboratory. *Ku School Of Engineering*.
- Yeshiwas, T. A., Tiruneh, A. B. & Sisay, M. A. (2025). A review article on the assessment of additive manufacturing. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, 20(1), 1–25. <https://doi.org/10.1186/S40712-025-00306-8/FIGURES/9>
- Yin G, Z. J. S. M. C. W. Z. X. W. P. F. J. Z. B. (2023). Thermal properties of phase change thermal storage foam concrete; 相变蓄热泡沫混凝土热性能. *Chang'an University*.
- Yu, W., Liang, X., Ni, F. M. W., Oyeyi, A. G. & Tighe, S. (2020). Characteristics of lightweight cellular concrete and effects on mechanical properties. *Materials*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/MA13122678>,
- Zhang J, H. Y. M. G. Y. Y. N. B. (2021). Automating the mixture design of lightweight foamed concrete using multi-objective firefly algorithm and support vector regression. *Hebei University Of Technology*.
- Zheng R, X. J. E. Q. H. (2025). A high water-cement ratio aerated concrete using carbon dioxide as the foaming agent: mix design, pore structure and hydration products. *Xi'an Jiaotong-Liverpool University*.
- Zhou H, Z. X. W. X. S. T. L. H. Z. H. (2024). Elevated temperature properties of foam concrete: experimental study, numerical simulation, and theoretical analysis. *Beijing University Of Technology*.
- Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C. & Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. [https://doi.org/10.37811/CL\\_RCM.V7I4.7658](https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7I4.7658)

## ANEXOS

### Anexo A: Método SPICE.

Letra	Significado	Explicación	Aplicación en tu investigación
<b>S</b>	Escenario / Contexto	Lugar o entorno donde ocurre el fenómeno.	Unidad de Prácticas Industriales de la UPSE.
<b>P</b>	Perspectiva / Población	A quiénes afecta o desde qué área se analiza.	Proceso de producción de hormigón celular desarrollado con fines académicos e industriales.
<b>I</b>	Intervención / Interés	Tecnología, técnica o acción que se aplica.	Diseño y construcción de un prototipo generador de espuma.
<b>C</b>	Comparación	(Opcional) Qué se compara o mejora respecto a otra situación.	Métodos manuales tradicionales de mezcla y generación de espuma.
<b>E</b>	Evaluación / Resultado	Qué se mide o busca mejorar.	Eficiencia del proceso de producción de hormigón celular y reducción de la huella ambiental.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Anexo B: Pregunta de investigación.

¿Cómo influye el diseño y construcción de un prototipo generador de espuma en la eficiencia y sostenibilidad del proceso de producción de hormigón celular en la Unidad de Prácticas Industriales de la carrera de Ingeniería Industrial de la UPSE, frente a los métodos tradicionales de mezcla manual?

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Anexo C: Fuentes de información.

Base de datos	Descriptor de búsqueda
<b>Scopus</b>	("foam generator" AND "cellular concrete") OR ("lightweight concrete" AND "industrial prototype") NOT "insulation foam"
<b>Dimensions</b>	("cellular concrete" OR "aerated concrete") AND ("foam generator" OR "foaming agent") AND ("industrial engineering" OR "university practices")

*Nota.* Elaborado por los autores.

## Anexo D: Criterios de inclusión.

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Artículos publicados entre 2020 y 2025	Estudios previos a 2020
Estudios centrados en la generación de espuma y hormigón celular	Artículos que no están relacionados con hormigón celular o tecnologías de espuma
Investigaciones que aborden la sostenibilidad y el desarrollo de prototipos en la construcción	Fuentes que no consideren el contexto de la construcción sostenible o el uso de espuma en la producción de hormigón
Artículos de revistas científicas	Fuentes no académicas, como blogs, sitios web no especializados o artículos no revisados por pares
Estudios que proporcionen resultados experimentales sobre la aplicación de generadores de espuma en la industria del concreto	Artículos que solo presenten teorías sin experimentación o evidencia empírica
Documentos en inglés y español	Fuentes en idiomas no accesibles para el análisis, como idiomas locales o poco utilizados en investigación académica

*Nota.* Elaborado por los autores.

## Anexo E: Selección de datos.

Fuente	Numero de artículos	Porcentaje
<i>Dimensions</i>	469	44%
<i>Scopus</i>	612	56%
<i>Total</i>	1081	

*Nota.* Elaborado por los autores.

## Anexo F: Matriz de artículos científicos.

N°	Autor & Año	Título
1	(Peng X et al., 2025)	Mechanical performance and sustainability assessment of cold-formed thin-walled steel-polystyrene foam concrete composite wall panels
2	(Peng Z., 2025)	Seismic performance of dry-assembled cold-formed steel-foam concrete composite shear walls with flanges
3	(Al-Shaer Hay, 2025)	Innovative development of bio-foam concrete using rice husk ash, eggshell powder, and bacillus tequilensis: mechanical, durability, and microstructural performance
4	(Yang J., 2025)	Dynamic mechanical behavior of ceramsite foamed concrete (cfc) with varying densities under high-velocity impact loading
5	(Zheng R., 2025)	A high water-cement ratio aerated concrete using carbon dioxide as the foaming agent: mix design, pore structure and hydration products
6	(Murali G., 2025)	Evaluating mechanical strength of foam concrete with recycled brick powder using advanced machine learning models
7	(Liu K., 2025)	Multi-objective optimization design of foamed cement mix proportion based on response surface methodology
8	(W. X. Z. M. P. Z. Hao Y., 2025)	Experimental study on properties of composite excited high volume weight foamed concrete filled with underwater pipeline; 水下管道填充复合激发高容重泡沫混凝土性能试验研究

---

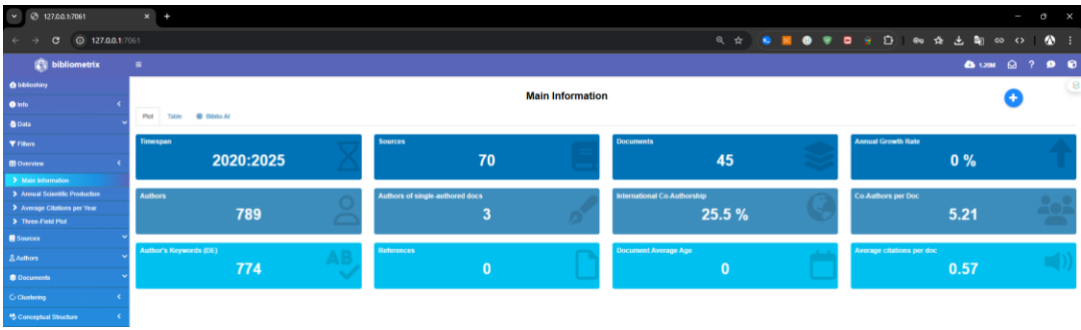
9	(Sun Y, 2025)	Spray-based 3d printed foam concrete: stress concentration relieve utilization
10	(Kuo Cc, 2025)	Advanced formulation strategies for high-performance polyurethane foam parts
11	(Fan D, 2025)	Ultra-stable co2-aqueous foams for carbon sequestration and internal mineralization in cellular cements
12	(Siva M, 2025)	Effectiveness of large-volume class-f fly ash as a replacement for sand in foam concrete using an environment-friendly foaming agent
13	(Shi Y, 2025)	Study on lateral resistance of cold-formed corrugated steel plates with lightweight foam concrete composite walls
14	(Liu J, 2025)	Evaluation of pore structure, mechanical properties, and sound absorption of composite foamed gypsum
15	(Fan D, 2025)	Carbon capture and storage co2 foam concrete towards higher performance: design, preparation and characteristics
16	(Abou-Nouh F, 2025)	The effects of particle radius, porosity, and void distribution on the compressive strength of cellular concrete
17	(Mansyur, 2025)	Experimental investigation of the response of precast foam concrete under monotonic loading
18	(Liu F, 2025)	Research on flexural performance of basalt fiber-reinforced steel-expanded polystyrene foam concrete composite wall panels
19	(Roobankumar R, 2025)	Utilisation of solid waste polyurethane foam as coarse aggregate in concrete: an experimental study with ecological and cost assessment
20	(Ng C, 2025)	Flexural behaviour of lightweight foamed concrete partially encased steel beam
21	(Fu Y, 2024)	Cell structure control and performance of rigid polyurethane foam with lightweight, good mechanical, thermal insulation and sound insulation
22	(Ye Y, 2024)	Experimental study on physical and mechanical properties of lightweight cellular concrete specimens cast in field and laboratory
23	(Abudinen D, 2024)	Experimental study of foaming agent proportions for cellular concrete fabrication: a case study in barranquilla
24	(K Cr, 2024)	Characterization and preparation of eco-friendly foamed concrete using a foaming agent: optimizing the design by taguchi analysis
25	(Hao Y, 2024)	Foam concrete design and preparation method considering the pre-compensation of damaged foam; 考虑破损泡沫前补偿设计的泡沫混凝土制备方法
26	(Zhou H, 2024)	Elevated temperature properties of foam concrete: experimental study, numerical simulation, and theoretical analysis
27	(Abdulhussein Ss, 2024)	Mechanical properties of sustainable structural aerated-polystyrene concrete
28	(Aminpour N, 2024)	Capacity evaluation of composites with new materials based on design equations for concrete and masonry walls
29	(Chen Y, 2023)	Experimental study on application performance of foamed concrete prepared based on a colloidal nanosio2-stabilized foam
30	(Liu Y, 2023)	Foaming processes and properties of geopolymer foam concrete: effect of the activator
31	(Yin G, 2023)	Thermal properties of phase change thermal storage foam concrete; 相变蓄热泡沫混凝土热性能
32	(Guo Y, 2023)	Experimental study on preparation of foam concrete by camellia meal green foaming agent; 油茶粕绿色发泡剂制备泡沫混凝土的试验研究
33	(Jia H, 2023)	Experimental and mechanism study on the impermeability and thermal insulation of foam concrete regulated by nano-silica and fluorine-free foam
34	(Sun L, 2023)	Designing a superhydrophobic quality and strengthening mechanism for foam concrete
35	(Sunarno Y, 2023)	Behaviour of rc frame using precast foam concrete strengthened with cfrp as an infill wall under horizontal cyclic loading
36	(Ullah Hs, 2022)	Predictive modelling of sustainable lightweight foamed concrete using machine learning novel approach

---

37	(Kurşuncu B, 2022)	Optimization of foam concrete characteristics using response surface methodology and artificial neural networks
38	(Kuang L, 2022)	Cementing technology using a nitrogen-filled foamed cement slurry for horizontal shale gas wells in the eastern chongqing area; 渝东地区常压页岩气水平井充氮泡沫水泥浆固井技术
39	(Reyes-Quijije M, 2022)	Preparation, characterization, and life cycle assessment of aerated concrete blocks: a case study in guayaquil city, ecuador
40	(Alzara Maa, 2022)	Analysis of lightweight polystyrene foam concrete flat slabs under fire condition
41	(Amiruddin Aa, 2022)	Influence of prefabricated foam concrete as infill wall on the strength due to cyclic loading
42	(Qiu Y, 2022)	Experimental study on application performance of foamed concrete prepared based on a new composite foaming agent
43	(Zhang J, 2021)	Automating the mixture design of lightweight foamed concrete using multi-objective firefly algorithm and support vector regression
44	(Sahu Ss, 2021)	Studies on influence of characteristics of surfactant and foam on foam concrete behaviour
45	(Chen X, 2021)	Experimental investigation of the residual physical and mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Anexo G: Compilación de datos en RStudio.

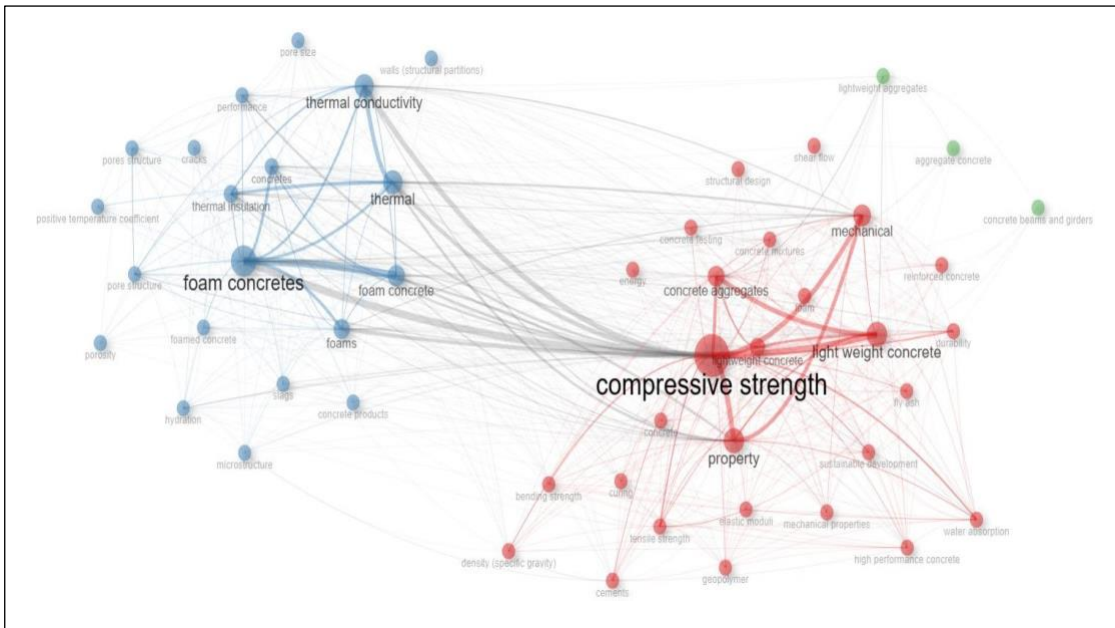


The screenshot shows the 'Main Information' dashboard of the bibliometrix software. It displays various statistical metrics for a dataset, including the timespan (2020:2025), number of sources (70), documents (45), and annual growth rate (0%). Other metrics include authors (789), authors of single-authored docs (3), international co-authorship (25.5%), co-authors per doc (5.21), author's keywords (774), references (0), and document average age (0). Average citations per doc is 0.57.

Description	Results
<b>MAIN INFORMATION ABOUT DATA</b>	
Timespan	2020:2025
Sources (Journals, Books, etc)	70
Documents	45
Annual Growth Rate %	0
Document Average Age	0
Average citations per doc	0.57
References	0
<b>DOCUMENT CONTENTS</b>	
Keywords Plus (ID)	1981
Author's Keywords (DE)	774
<b>AUTHORS</b>	
Authors	789
Authors of single-authored docs	3
<b>AUTHORS COLLABORATION</b>	
Single-authored docs	3
Co-Authors per Doc	5.21
International co-authorships %	25.5
<b>DOCUMENT TYPES</b>	
article	45

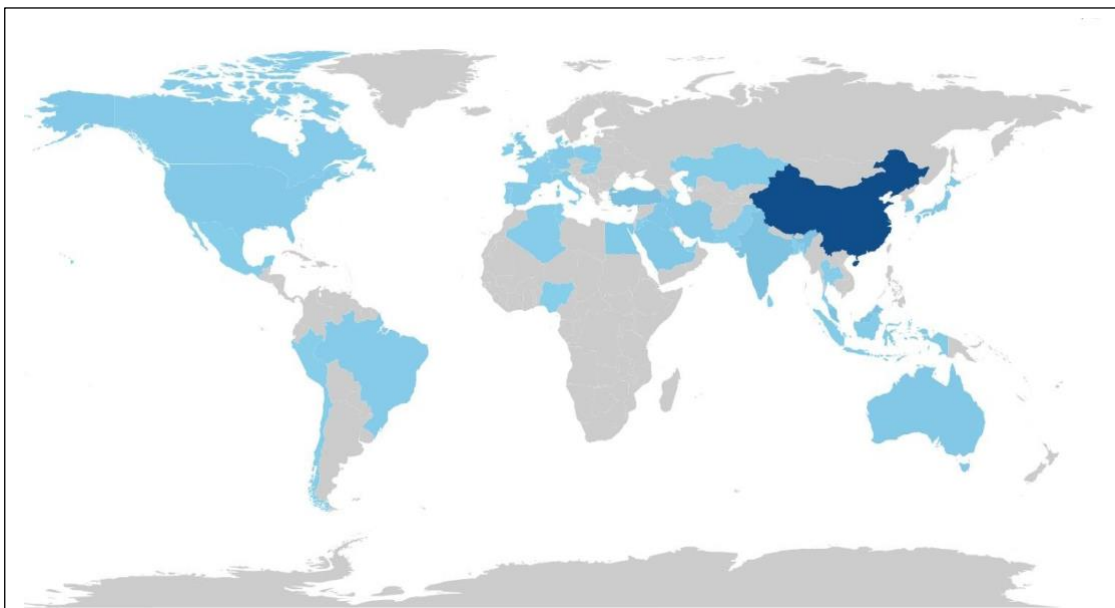
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo H:** Red de coocurrencias de palabras claves.



*Nota.* Elaborado por los autores.

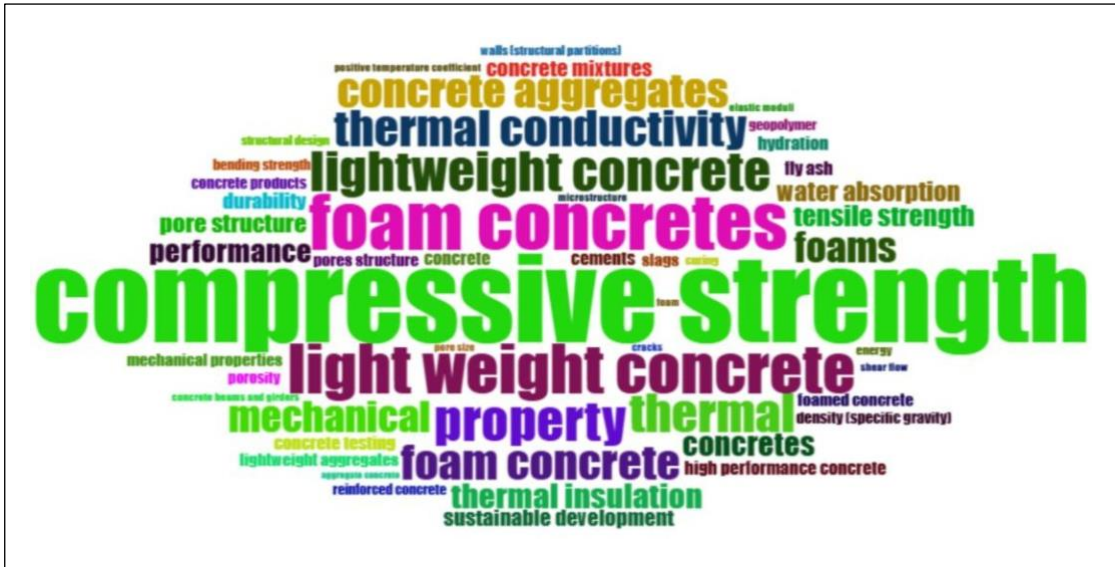
**Anexo I:** Mapa de países que más publican del tema.



From	Frequency	From	Frequency	From	Frequency
China	259	Uk	12	Denmark	4
Turkey	25	Egypt	10	France	4
Malaysia	22	Usa	9	Pakistan	4
India	21	Germany	7	Spain	4
Iran	14	Indonesia	5	Chile	3
South Korea	14	Italy	5	Hungary	3
Australia	12	Kazakhstan	5	Mexico	3
Iraq	12	Bangladesh	4	Portugal	3
Japan	12	Brazil	4	Algeria	2
Saudi Arabia	12	Canada	4	Jordan	2

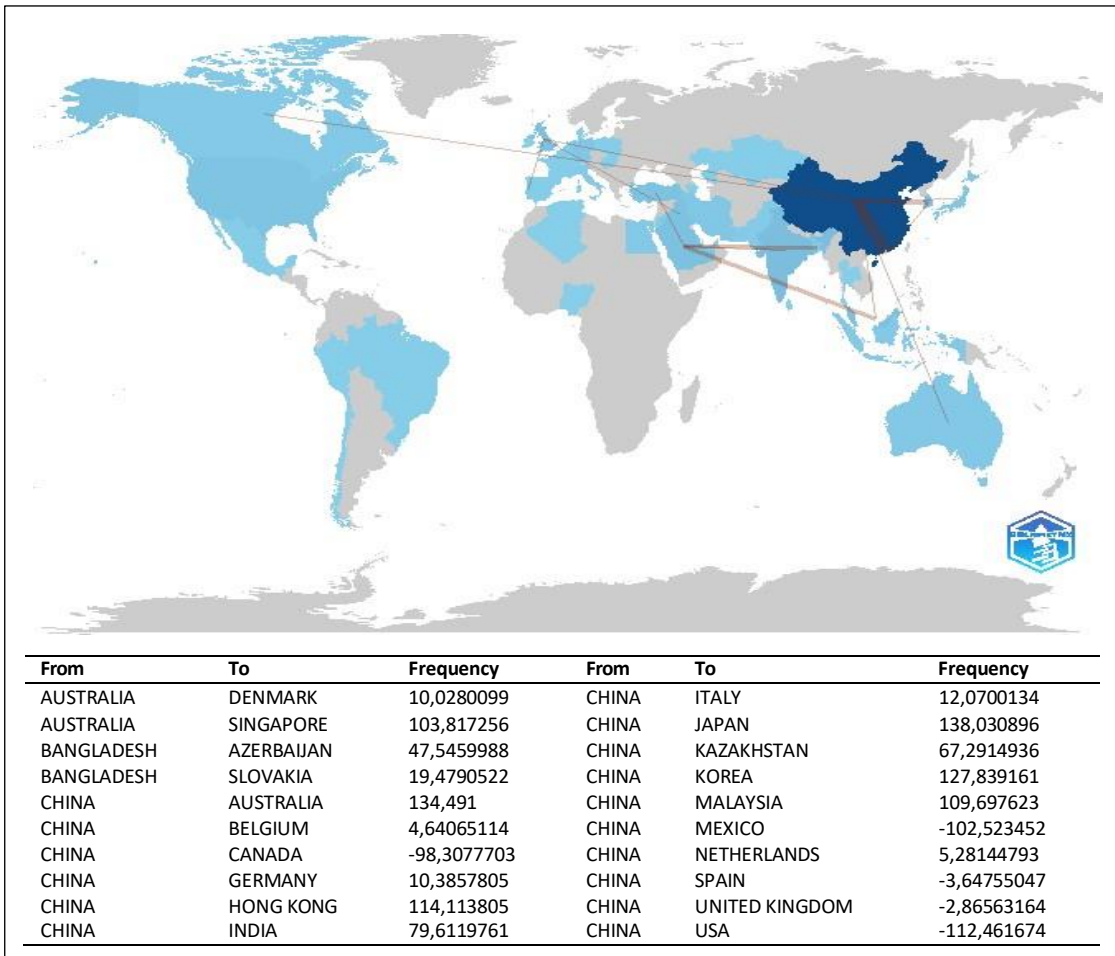
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo J:** Nubes de palabras clave del estudio.



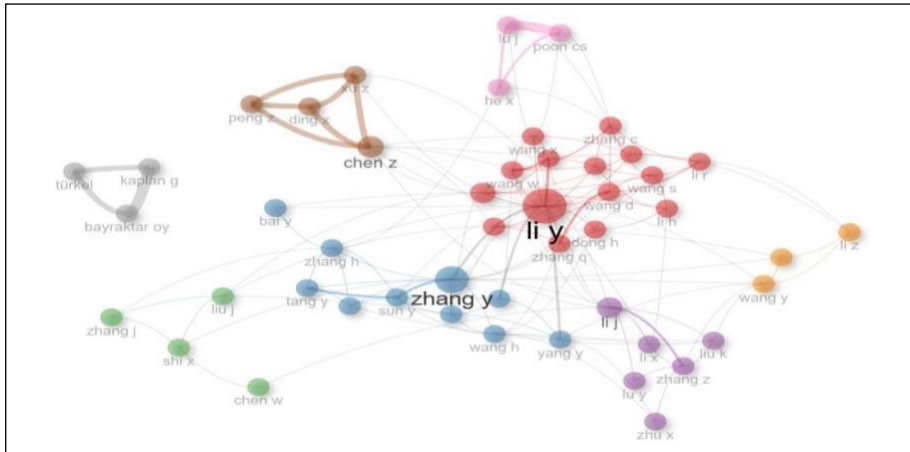
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo K:** Mapa mundial de colaboración entre países.



*Nota.* Elaborado por los autores.

## Anexo L: Red de colaboración.



Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo M: Tabulación de datos en SPSS.

Número	Tipo	Año	Categoría	Descripción	Pregunta	Valores	Puntajes	Columnas	Atribución	Modulo
1	P1	N	0	0	Considera necesario cambiar un prototipo generador de espuma para que los estudiantes comprendan procesos de producción aplicados a nuevos materiales como el hormigón celular.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
2	P2	N	0	0	Cree que la construcción de un prototipo permite fortalecer la conciencia de control de calidad en fabricación.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
3	P3	N	0	0	La implementación del prototipo es importante para que los estudiantes analicen cómo reducir desperdicios y mejorar la eficiencia en procesos productivos.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
4	P4	N	0	0	Cree que el prototipo permite a los estudiantes experimentar con variables de proceso (tiempo, mezcla, proporción de espuma) para mejorar la calidad del hormigón celular.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
5	P5	N	0	0	Considera que la construcción del prototipo apunta a la formación en investigación y desarrollo de nuevos materiales de construcción.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
6	P6	N	0	0	Cree usted que disponer del prototipo generará beneficios para futuros proyectos de innovación industrial en la región.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
7	P7	N	0	0	La construcción del prototipo permite a los estudiantes aprender a integrar conocimientos de diseño, materiales y procesos en un solo proyecto.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
8	P8	N	0	0	Es importante desarrollar el prototipo para fortalecer la capacidad investigativa e innovadora de la carrera de Ingeniería Industrial.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
9	P9	N	0	0	Considera que el prototipo es útil para que los estudiantes analicen riesgos de seguridad industrial asociados a procesos de producción de hormigón celular.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
10	P10	N	0	0	Cree que este proyecto fortalece la conciencia ambiental al aplicar tecnologías que optimizan energía y materiales.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
11	P11	N	0	0	El prototipo fortalece la formación de competencias en sostenibilidad e responsabilidad social en los futuros ingenieros.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
12	P12	N	0	0	Considera que el prototipo permite a los estudiantes analizar condiciones ergonomías y de seguridad en la operación de espumas productivas.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
13	P13	N	0	0	El prototipo contribuye a desarrollar prácticas que reducen el consumo de recursos (agua, energía, residuos) en procesos industriales.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
14	P14	N	0	0	Cree usted que este prototipo permitirá a los estudiantes vincular la teoría con la práctica para revisar un proceso de producción industrial.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
15	P15	N	0	0	El uso del prototipo en la carrera favorece el trabajo en equipo y la gestión colaborativa de proyectos.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
16	P16	N	0	0	Cree que el prototipo ayuda a desarrollar competencias en planificación y control de proyectos industriales.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
17	P17	N	0	0	El desarrollo del prototipo impulsa la aplicación de normas técnicas y estándares de calidad en procesos de manufactura.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
18	P18	N	0	0	Considera que la utilización del prototipo mediante pruebas experimentales aporta valor académico al proceso de enseñanza-aprendizaje.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
19	P19	N	0	0	El prototipo generador de espuma puede ser considerado como un recurso didáctico pertinente para los estudiantes de la carrera.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
20	P20	N	0	0	En su opinión, el prototipo generador de espuma representa una herramienta estadística para mejorar la calidad académica en la carrera de Ingeniería Industrial.	(1, Totalmente)	Ninguno	0	Derivada	Odinor
21	U0	N	0	0		Ninguno	Ninguno	10	Derivada	Ninguno
22	V1	N	0	2		Ninguno	Ninguno	10	Derivada	Ninguno

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo N: Resultados de fiabilidad y correlación del instrumento.

**Correlaciones**

	ID	VI
ID	Comparación de Programación	1,726 <sup>**</sup>
VI	Exp. Industrial	,400
VI	Comparación de Programación	,726 <sup>**</sup> 1
	Exp. Industrial	,200
		,400

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**Fiabilidad**

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

	N	%
Casos incluidos	40	100,0
Casos excluidos	0	,0
Total	40	100,0

a. La correlación por fila se basa en todos los variables del procedimiento.

**Estadísticas de fiabilidad**

Alfa en	N de
Comparación de Programación	40
Exp. Industrial	40

Nota. Elaborado por los autores.

**Anexo O:** Matriz de operacionalización de variables – Preguntas a expertos.

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
<b>Prototipo generador de espuma</b>	Dispositivo diseñado para producir espuma preformada mediante el control de presión, caudal y proporción aire-espumante, con el fin de optimizar la eficiencia del proceso de hormigón celular y reducir el impacto ambiental.	Evaluación técnica previa a la construcción, realizada por expertos, para validar la factibilidad estructural, hidráulica, neumática y funcional del prototipo generador de espuma dentro del contexto académico-industrial de la UPSE.	<b>Dimensión 1: Diseño técnico y estructural del prototipo</b>	<b>Indicador 1:</b> Coherencia entre el diseño y los principios de mecánica de fluidos.	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 2:</b> Selección de materiales estructurales y resistencia mecánica.	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 2: Sistema hidráulico y neumático</b>	<b>Indicador 3:</b> Eficiencia de la bomba y del compresor seleccionados.	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 4:</b> Integración funcional de las líneas de aire y mezcla líquida.	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 3: Control y estabilidad operativa</b>	<b>Indicador 5:</b> Capacidad del sistema para mantener variables estables.	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 6:</b> Repetibilidad y precisión del sistema de espumado.	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 4: Seguridad, ergonomía y mantenimiento</b>	<b>Indicador 7:</b> Seguridad de operación en entorno académico.	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 8:</b> Facilidad de mantenimiento preventivo y correctivo.	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 5: Innovación y aplicabilidad del diseño</b>	<b>Indicador 9:</b> Nivel de innovación tecnológica aplicada al diseño.	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 10:</b> Replicabilidad en otros entornos académicos o industriales.	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o talleres industriales?	Ordinal (Likert 1-5)

Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
<b>Producción de hormigón celular</b>	Proceso de incorporación de espuma preformada en mezclas cementicias para obtener materiales ligeros, eficientes y sostenibles, evaluado por su estabilidad, densidad y consumo de recursos.	Evaluación técnica emitida por expertos para validar la influencia esperada del prototipo en la calidad, eficiencia y sostenibilidad del proceso de producción de hormigón celular.	<b>Dimensión 1: Eficiencia del proceso y tiempo de producción</b>	<b>Indicador 1:</b> Disminución del tiempo de mezclado y preparación.	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 2:</b> Eficiencia energética esperada.	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 2: Estabilidad y calidad del producto final</b>	<b>Indicador 3:</b> Uniformidad y estabilidad de la espuma generada.	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 4:</b> Mejora de la resistencia mecánica y densidad controlada.	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 3: Optimización del uso de recursos</b>	<b>Indicador 5:</b> Reducción de consumo de agua y aditivos.	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 6:</b> Disminución de desperdicios y residuos de mezcla.	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 4: Impacto ambiental y sostenibilidad</b>	<b>Indicador 7:</b> Contribución a la reducción de huella ambiental.	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 8:</b> Alineación con prácticas de eco-innovación industrial.	¿Evalúa que este proyecto se enmarca dentro de las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 5: Aplicación formativa y transferencia tecnológica</b>	<b>Indicador 9:</b> Valor académico y formativo del proceso experimental.	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 10:</b> Transferencia tecnológica y escalabilidad del sistema.	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	Ordinal (Likert 1-5)

Nota. Elaborado por los autores.

**Anexo P:** Matriz de operacionalización de variables – Preguntas a Estudiantes.

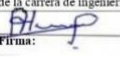
Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
<b>Prototipo generador de espuma</b>	Dispositivo diseñado para producir espuma preformada mediante el control de presión, caudal y proporción aire-espumante, con el fin de optimizar la eficiencia del proceso de hormigón celular y reducir el impacto ambiental.	Evaluación técnica previa a la construcción, realizada por expertos, para validar la factibilidad estructural, hidráulica, neumática y funcional del prototipo generador de espuma dentro del contexto académico-industrial de la UPSE.	<b>Dimensión 1: Control de variables operativas</b>	<b>Indicador 1:</b> Precisión en el control de presión y caudal.	¿Considera que el sistema mantiene una presión y caudal estables durante la generación de espuma?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 2:</b> Estabilidad de la mezcla aire-espumante.	¿Cree que el prototipo permite obtener una espuma homogénea y constante al controlar la relación aire-espumante?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 2: Eficiencia hidráulica y neumática</b>	<b>Indicador 3:</b> Desempeño del sistema de bombeo y compresión.	¿Evalúa como eficiente el funcionamiento combinado de la bomba y el compresor dentro del proceso de espumado?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 4:</b> Ahorro energético y de recursos.	¿Considera que el prototipo reduce el consumo de energía, agua y agente espumante en comparación con los métodos manuales?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 3: Diseño estructural y seguridad del sistema</b>	<b>Indicador 5:</b> Resistencia estructural y durabilidad del prototipo.	¿Cree que el diseño estructural del prototipo ofrece resistencia adecuada y estabilidad durante su funcionamiento continuo?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 6:</b> Seguridad y ergonomía operativa.	¿Considera que el prototipo garantiza condiciones seguras y ergonómicas para el usuario durante las prácticas de laboratorio?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 4: Control y automatización del proceso</b>	<b>Indicador 7:</b> Capacidad de control técnico y repetibilidad del proceso.	¿Evalúa que el sistema de válvulas y sensores permite repetir el proceso de espumado con resultados consistentes?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 8:</b> Nivel de automatización implementado.	¿Considera que el grado de automatización del prototipo mejora la precisión y eficiencia del proceso de generación de espuma?	Ordinal (Likert 1-5)
			<b>Dimensión 5: Innovación tecnológica y aplicabilidad</b>	<b>Indicador 9:</b> Innovación en el diseño y funcionamiento del sistema.	¿Piensa que el prototipo representa una innovación tecnológica dentro del contexto académico e industrial local?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 10:</b> Replicabilidad y aplicabilidad del diseño.	¿Cree que este diseño puede ser replicado o adaptado a otros entornos industriales o educativos?	Ordinal (Likert 1-5)

Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
<b>Producción de hormigón celular</b>	Proceso de incorporación de espuma preformada en mezclas cementicias para obtener materiales ligeros, eficientes y sostenibles, evaluado por su estabilidad, densidad y consumo de recursos.	Evaluación técnica emitida por expertos para validar la influencia esperada del prototipo en la calidad, eficiencia y sostenibilidad del proceso de producción de hormigón celular.	<b>Dimensión 1: Eficiencia del proceso y tiempo de producción</b>	<b>Indicador 1:</b> Reducción del tiempo de producción.	¿Considera que el uso del prototipo reduce significativamente los tiempos del proceso de mezcla y colado del hormigón celular?	Ordinal (Likert 1–5)
				<b>Indicador 2:</b> Uniformidad y calidad del producto final.	¿Evalúa que el hormigón celular obtenido con el prototipo presenta una mayor homogeneidad y menor variación de densidad?	Ordinal (Likert 1–5)
			<b>Dimensión 2: Estabilidad y calidad del producto final</b>	<b>Indicador 3:</b> Estabilidad de las burbujas y resistencia de la mezcla.	¿Cree que la espuma generada con el prototipo mantiene su estructura estable durante el proceso de mezclado y fraguado?	Ordinal (Likert 1–5)
				<b>Indicador 4:</b> Resistencia mecánica del hormigón celular.	¿Considera que las propiedades mecánicas (resistencia a compresión) del producto mejoran con el uso de la espuma controlada?	Ordinal (Likert 1–5)
			<b>Dimensión 3: Optimización del uso de recursos</b>	<b>Indicador 5:</b> Ahorro de agua y agente espumante.	¿Cree que el prototipo promueve un uso más racional de agua y espumante en comparación con métodos tradicionales?	Ordinal (Likert 1–5)
				<b>Indicador 6:</b> Reducción de desperdicios y residuos.	¿Evalúa que la producción con el prototipo disminuye el desperdicio de mezcla o espuma durante la práctica experimental?	Ordinal (Likert 1–5)
			<b>Dimensión 4: Impacto ambiental y sostenibilidad</b>	<b>Indicador 7:</b> Disminución de la huella ambiental.	¿Considera que el uso del prototipo contribuye a reducir la huella ambiental del proceso (agua, energía, emisiones)?	Ordinal (Likert 1–5)
				<b>Indicador 8:</b> Alineación con prácticas de eco-innovación.	¿Cree que la aplicación del prototipo representa una acción de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	Ordinal (Likert 1–5)
			<b>Dimensión 5: Aplicación formativa y transferencia tecnológica</b>	<b>Indicador 9:</b> Fortalecimiento del aprendizaje práctico.	¿Evalúa que el uso del prototipo mejora las competencias prácticas y técnicas de los estudiantes en procesos industriales?	Ordinal (Likert 1–5)
				<b>Indicador 10:</b> Transferencia y utilidad en investigación aplicada.	¿Considera que los resultados obtenidos con el prototipo pueden aprovecharse en proyectos de investigación o desarrollo tecnológico?	Ordinal (Likert 1–5)

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo Q: Encuesta realizada a expertos.

### Experto 1

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		
<b>ASUNTO: VALIDACIÓN POR EXPERTOS.</b>		
<b>Opinión:</b> Yo Ing. Alonso Elias Pirela Añez, con C.I. 0962428074, requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, LESTER EFRAIN MOSQUERA TITUCUNAGO, con C.I. 1204605685, MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.		
Firma: 		
<b>TEMA: PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b>		
Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT
1	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	1 2 3 4 5
2	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	1 2 3 4 5
3	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	1 2 3 4 5
4	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	1 2 3 4 5
5	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	1 2 3 4 5
6	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	1 2 3 4 5
7	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	1 2 3 4 5
8	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	1 2 3 4 5
9	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	1 2 3 4 5
10	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o talleres industriales?	1 2 3 4 5
11	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	1 2 3 4 5
12	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	1 2 3 4 5
13	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	1 2 3 4 5
14	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	1 2 3 4 5
15	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	1 2 3 4 5

16	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	1 2 3 4 5
17	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	1 2 3 4 5
18	¿Evalúa que este proyecto se enmarca en las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1 2 3 4 5
19	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	1 2 3 4 5
20	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	1 2 3 4 5

Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del Experto	
Nombre:	Ing. Alonso Elias Pirela Añez
Profesión:	Ingeniería Mecánica
Años de experiencia:	15 años de Experiencia
Teléfono:	
Correo:	apirela@upse.edu.ec
Fecha de validación:	

### Experto 2

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		
<b>ASUNTO: VALIDACIÓN POR EXPERTOS.</b>		
<b>Opinión:</b> Yo DR. GERALDO ANTONIO HERRERA BRUNETT, con C.I. 0909254260, requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, LESTER EFRAIN MOSQUERA TITUCUNAGO, con C.I. 1204605685, MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.		
Firma: 		
<b>TEMA: PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b>		
Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT
1	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	1 2 3 4 5
2	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	1 2 3 4 5
3	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	1 2 3 4 5
4	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	1 2 3 4 5
5	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	1 2 3 4 5
6	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	1 2 3 4 5
7	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	1 2 3 4 5
8	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	1 2 3 4 5
9	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	1 2 3 4 5
10	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o talleres industriales?	1 2 3 4 5
11	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	1 2 3 4 5
12	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	1 2 3 4 5
13	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	1 2 3 4 5
14	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	1 2 3 4 5
15	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	1 2 3 4 5

16	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	1 2 3 4 5
17	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	1 2 3 4 5
18	¿Evalúa que este proyecto se enmarca en las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1 2 3 4 5
19	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	1 2 3 4 5
20	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	1 2 3 4 5

Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del Experto	
Nombre:	DR. GERALDO ANTONIO HERRERA BRUNETT
Profesión:	PhD. CIENCIAS AMBIENTALES
Años de experiencia:	35 años de Experiencia
Teléfono:	0983178375
Correo:	gherrera@upse.edu.ec
Fecha de validación:	

### Experto 3

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>	
<b>ASUNTO: VALIDACIÓN POR EXPERTOS.</b> <b>Opinión:</b> Yo <b>Ing. Marco Bermeo García</b> , con C.I. 1706326813, requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, <b>LESTER EFRAIN MOSQUERA TITUCUNAGO</b> , con C.I. 1204605685, <b>MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY</b> con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.	
<b>Firma:</b> 	
<b>TEMA: PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b>	

Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT
1	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	1 2 3 4 5
2	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	1 2 3 4 5
3	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	1 2 3 4 5
4	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	1 2 3 4 5
5	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	1 2 3 4 5
6	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	1 2 3 4 5
7	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	1 2 3 4 5
8	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	1 2 3 4 5
9	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	1 2 3 4 5
10	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o talleres industriales?	1 2 3 4 5
11	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	1 2 3 4 5
12	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	1 2 3 4 5
13	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	1 2 3 4 5
14	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	1 2 3 4 5
15	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	1 2 3 4 5

16	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	1 2 3 4 5
17	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	1 2 3 4 5
18	¿Evalúa que este proyecto se enmarca en las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1 2 3 4 5
19	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	1 2 3 4 5
20	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	1 2 3 4 5

Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del Experto	
<b>Nombre:</b>	<b>Ing. Marco Bermeo García</b>
<b>Profesión:</b>	<b>Máster en Gerencia Educativa</b>
<b>Años de experiencia:</b>	<b>20 años de Experiencia</b>
<b>Teléfono:</b>	<b>0985033821</b>
<b>Correo:</b>	<b>mbermeo@upse.edu.ec</b>
<b>Fecha de validación:</b>	

### Experto 4

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>	
<b>ASUNTO: VALIDACIÓN POR EXPERTOS.</b> <b>Opinión:</b> Yo <b>Ing. JHON MONTENEGRO CARVAJAL</b> , con C.I. 0916682503; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, <b>LESTER EFRAIN MOSQUERA TITUCUNAGO</b> , con C.I. 1204605685, <b>MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY</b> con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.	
<b>Firma:</b> 	
<b>TEMA: PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b>	

Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT
1	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	1 2 3 4 5
2	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	1 2 3 4 5
3	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	1 2 3 4 5
4	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	1 2 3 4 5
5	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	1 2 3 4 5
6	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	1 2 3 4 5
7	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	1 2 3 4 5
8	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	1 2 3 4 5
9	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	1 2 3 4 5
10	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o talleres industriales?	1 2 3 4 5
11	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	1 2 3 4 5
12	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	1 2 3 4 5
13	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	1 2 3 4 5
14	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	1 2 3 4 5
15	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	1 2 3 4 5

16	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	1 2 3 4 5
17	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	1 2 3 4 5
18	¿Evalúa que este proyecto se enmarca en las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1 2 3 4 5
19	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	1 2 3 4 5
20	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	1 2 3 4 5

Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del Experto	
<b>Nombre:</b>	<b>Ing. JHON MONTENEGRO CARVAJAL</b>
<b>Profesión:</b>	<b>Ingeniero Químico</b>
<b>Años de experiencia:</b>	<b>10 años de Experiencia</b>
<b>Teléfono:</b>	<b>0985033821</b>
<b>Correo:</b>	<b>jmontenegroc@upse.edu.ec</b>
<b>Fecha de validación:</b>	

## Experto 5

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL</b>		
<b>ASUNTO: VALIDACION POR EXPERTOS.</b>		
<p><b>Opinión:</b> Yo <b>Ing. Matias Pillasagua Victor Manuel</b>, con C.I. 0912164043; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, <b>LESTER EFRAIN MOSQUERA TITUCUNAGO</b>, con C.I. 1204605685, <b>MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY</b> con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.</p>		
<p>Firma: _____</p>		
<p><b>TEMA: PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b></p>		
Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT
1	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	1 2 3 4 5
2	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	1 2 3 4 5
3	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	1 2 3 4 5
4	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	1 2 3 4 5
5	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	1 2 3 4 5
6	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	1 2 3 4 5
7	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	1 2 3 4 5
8	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	1 2 3 4 5
9	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	1 2 3 4 5
10	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o talleres industriales?	1 2 3 4 5
11	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	1 2 3 4 5
12	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	1 2 3 4 5
13	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	1 2 3 4 5
14	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	1 2 3 4 5
15	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	1 2 3 4 5

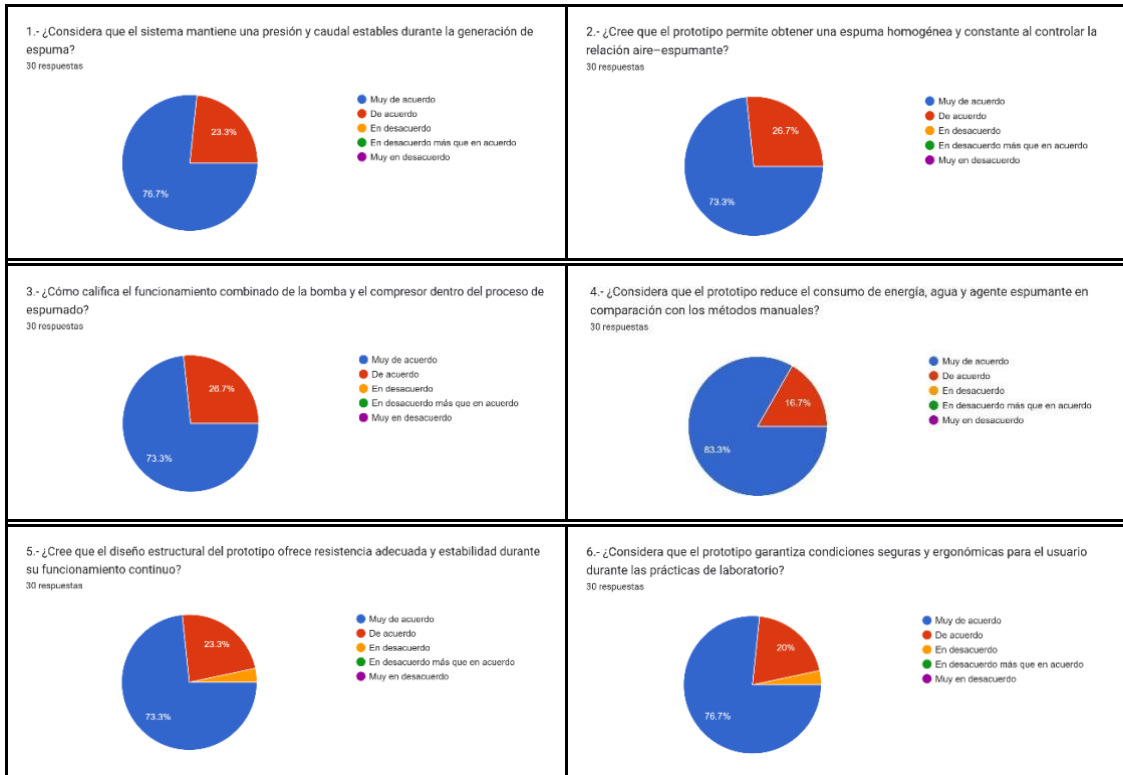
16	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	1 2 3 4 5
17	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	1 2 3 4 5
18	¿Evalúa que este proyecto se enmarca en las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1 2 3 4 5
19	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	1 2 3 4 5
20	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	1 2 3 4 5

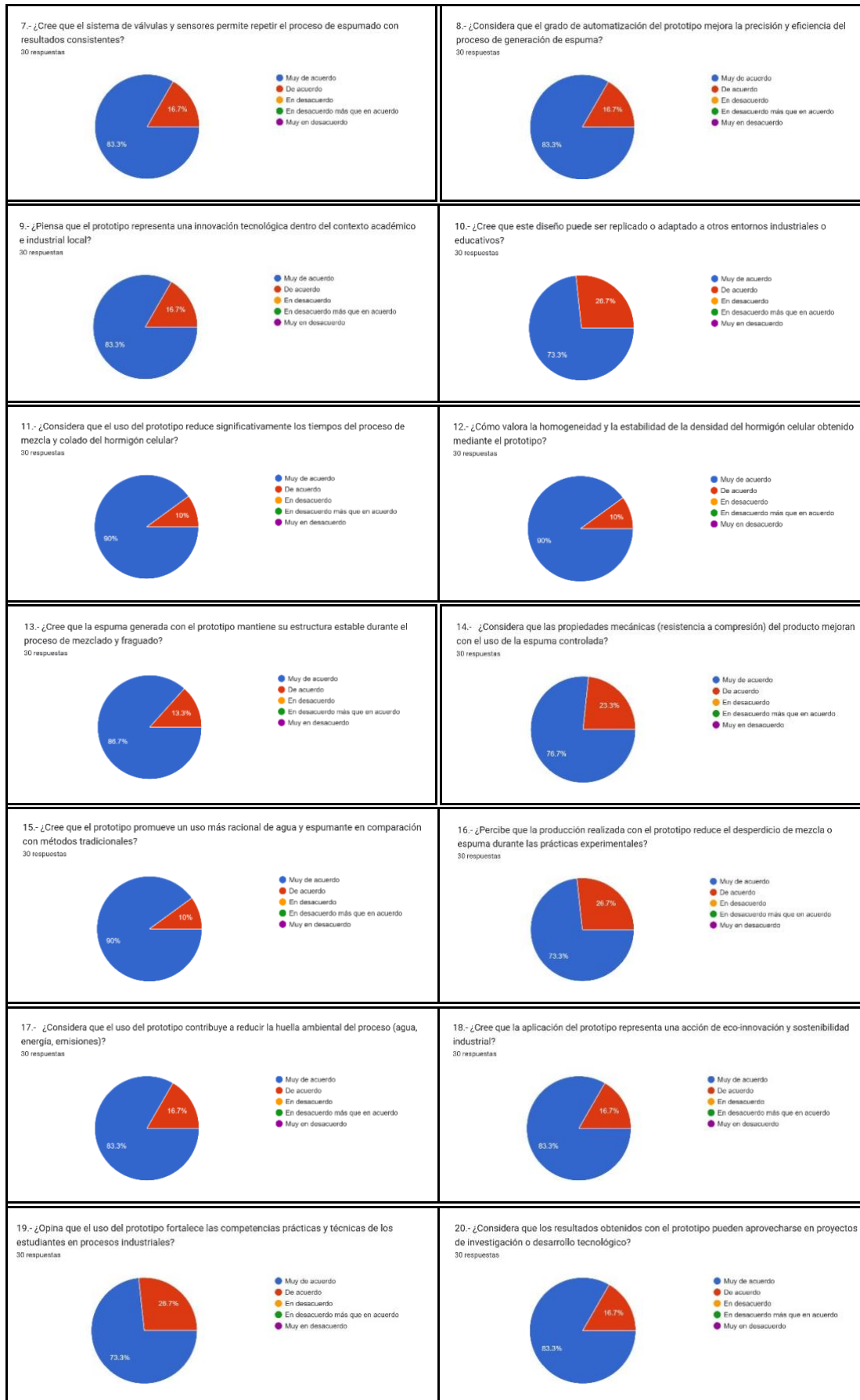
Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del Experto	
Nombre:	Ing. Matias Pillasagua Victor Manuel
Profesión:	Master en Ciencias e Ingenierías
Años de experiencia:	15 años de Experiencia
Teléfono:	0999820204
Correo:	vmatias@upse.edu.ec
Fecha de validación:	

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Anexo R: Encuesta realizada a estudiantes.





Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo S: Validación por juicio de expertos.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS																					
Titulo: Integración curricular, tema de tesis "PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA"																					
Indicadores	Criterios	Medición				Totalmente deacuerdo				Observaciones											
		Inadecuado	Adecuada	Adecuado	Muy adecuado	0-20	0-21	0-22	0-23		0-24										
Aspecto de validacion		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables. Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																				
3. Actualidad	Existen sesiones que responden al diseño de investigación metodológico.																				
4. Organización	Existen sesiones que valoran las dimensiones del tema.																				
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																				
6. Intencionalidad	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				
7. Consistencia	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				
8. Coherencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				
9. Metodología																					
10. Pertinencia																					

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficiencia del programa que este validando. Debera colocar la puntuación que considere pertinencia a los diferentes enunciados.

fecha: \_\_\_\_\_ Promedio: \_\_\_\_\_  
 Experto: BERNARDO ANTONIO HERCERO BUNITE Profesion: \_\_\_\_\_  
 DNI/Ci: \_\_\_\_\_ Celular: \_\_\_\_\_  
 Firma del Experto:

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS																					
Titulo: Integración curricular, tema de tesis "PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA"																					
Indicadores	Criterios	Medición				Totalmente deacuerdo				Observaciones											
		Inadecuado	Adecuada	Adecuado	Muy adecuado	0-20	0-21	0-22	0-23		0-24										
Aspecto de validacion		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables. Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																				
3. Actualidad	Existen sesiones que responden al diseño de investigación metodológico.																				
4. Organización	Existen sesiones que valoran las dimensiones del tema.																				
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																				
6. Intencionalidad	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				
7. Consistencia	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				
8. Coherencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				
9. Metodología																					
10. Pertinencia																					

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficiencia del programa que este validando. Debera colocar la puntuación que considere pertinencia a los diferentes enunciados.

fecha: \_\_\_\_\_ Promedio: \_\_\_\_\_  
 Experto: MIRIAM DENASAGUA VICHO (MANG) Profesion: \_\_\_\_\_  
 DNI/Ci: \_\_\_\_\_ Celular: \_\_\_\_\_  
 Firma del Experto:

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS																					
Titulo: Integración curricular, tema de tesis "PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA"																					
Indicadores	Criterios	Medición				Totalmente deacuerdo				Observaciones											
		Inadecuado	Adecuada	Adecuado	Muy adecuado	0-20	0-21	0-22	0-23		0-24										
Aspecto de validacion		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables. Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																				
3. Actualidad	Existen sesiones que responden al diseño de investigación metodológico.																				
4. Organización	Existen sesiones que valoran las dimensiones del tema.																				
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																				
6. Intencionalidad	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				
7. Consistencia	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				
8. Coherencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				
9. Metodología																					
10. Pertinencia																					

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficiencia del programa que este validando. Debera colocar la puntuación que considere pertinencia a los diferentes enunciados.

fecha: 27/04/2014 Promedio: \_\_\_\_\_  
 Experto: MIRIAM DENASAGUA VICHO (MANG) Profesion: \_\_\_\_\_  
 DNI/Ci: \_\_\_\_\_ Celular: \_\_\_\_\_  
 Firma del Experto:

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS																							
Título: Integración curricular, tema de tesis "PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA"																							
Indicadores	Criterios	Medición				Totalmente deacuerdo	Observaciones																
		Inadecuado	Adecuada	Adecuado	Muy adecuado																		
Aspecto de validación		0-20	0-21	0-22	0-23	0-24																	
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				95		
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																					95	
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																					90	
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																					95	
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																					90	
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																					90	
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																					95	
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																					95	
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																					95	
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																					95	

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficiencia del programa que este valiando. Debera colocar la puntuacion que considere pertinencia a los diferentes enunciados.

Fecha: \_\_\_\_\_ Promedio: \_\_\_\_\_  
 Experto: Ing MARCO BECIBO GARCIA, MSC Profesion: \_\_\_\_\_  
 DNI/Ci: \_\_\_\_\_ Celular: \_\_\_\_\_

Firma del Experto

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS																							
Título: Integración curricular, tema de tesis "PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA"																							
Indicadores	Criterios	Medición				Totalmente deacuerdo	Observaciones																
		Inadecuado	Adecuada	Adecuado	Muy adecuado																		
Aspecto de validación		0-20	0-21	0-22	0-23	0-24																	
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																						
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																						
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																						
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																						
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																						
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																						
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																						
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																						
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																						
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																						

INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficiencia del programa que este valiando. Debera colocar la puntuacion que considere pertinencia a los diferentes enunciados.

Fecha: \_\_\_\_\_ Promedio: \_\_\_\_\_  
 Experto: ALANIS BOLA ARBE Profesion: \_\_\_\_\_  
 DNI/Ci: \_\_\_\_\_ Celular: \_\_\_\_\_

Firma del Experto

Nota. Elaborado por los autores.

**Anexo T:** Formulario dirigido a expertos.

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ASUNTO:** VALIDACIÓN POR EXPERTOS.

**Opinión:** Yo \_\_\_\_\_, con C.I. \_\_\_\_\_; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, **LESTER EFRAIN MOSQUERA TUCUNANGO**, con C.I. 1204605685, **MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY** con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los docentes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.

**Firma:**

**TEMA:** PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT
1	¿Considera que el diseño propuesto del prototipo cumple con los principios técnicos de mecánica de fluidos y generación de espuma controlada?	1   2   3   4   5
2	¿Evalúa como adecuada la selección de materiales estructurales considerando rigidez, durabilidad y facilidad de fabricación?	1   2   3   4   5
3	¿Cree que los equipos hidráulicos y neumáticos propuestos son apropiados para generar presión y caudal estables en el proceso de espumado?	1   2   3   4   5
4	¿Considera que el esquema propuesto de tuberías y válvulas asegura un flujo eficiente y sin pérdidas significativas de presión?	1   2   3   4   5
5	¿Evalúa que el diseño permite un control adecuado y estable de las variables de presión, caudal y proporción aire-espumante?	1   2   3   4   5
6	¿Considera que el diseño del prototipo garantiza repetibilidad de resultados bajo las mismas condiciones de operación?	1   2   3   4   5
7	¿Cree que el prototipo ofrece condiciones seguras para su uso por estudiantes y operarios en prácticas universitarias?	1   2   3   4   5
8	¿Evalúa que la configuración propuesta del prototipo facilita su mantenimiento y limpieza sin riesgos?	1   2   3   4   5
9	¿Considera que el prototipo integra adecuadamente principios de innovación tecnológica y control industrial?	1   2   3   4   5
10	¿Cree que el diseño puede replicarse o adaptarse fácilmente a otros laboratorios o falleres industriales?	1   2   3   4   5
11	¿Considera que la implementación del prototipo reducirá los tiempos de producción en comparación con los métodos manuales?	1   2   3   4   5
12	¿Evalúa que el uso del prototipo optimizará el consumo energético global durante el proceso de espumado y mezcla?	1   2   3   4   5
13	¿Cree que la espuma producida con el prototipo presentará una distribución uniforme y estable?	1   2   3   4   5
14	¿Evalúa que el control de la espuma influirá positivamente en la densidad y resistencia del producto obtenido?	1   2   3   4   5
15	¿Considera que la implementación del prototipo permitirá reducir significativamente el uso de agua y espumante?	1   2   3   4   5
		1   2   3   4   5

16	¿Evalúa que la aplicación del prototipo minimizará el desperdicio de materiales durante la producción?	1	2	3	4	5
17	¿Cree que la incorporación del prototipo reducirá la huella ambiental del proceso productivo (agua, energía, emisiones)?	1	2	3	4	5
18	¿Evalúa que este proyecto se enmarca dentro de las tendencias actuales de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1	2	3	4	5
19	¿Considera que el proceso de producción con el prototipo potenciará la enseñanza práctica y la comprensión técnica?	1	2	3	4	5
20	¿Evalúa viable que el proceso pueda adaptarse a una escala mayor o industrial manteniendo su eficiencia y sostenibilidad?	1	2	3	4	5

Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del Experto	
Nombre:	
Profesión:	
Años de experiencia:	
Teléfono:	
Correo:	
Fecha de validación:	

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo U:** Formulario dirigido a estudiantes.

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>
<b>ASUNTO:</b> VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.
<b>Opinión:</b> Yo _____, con C.I. _____; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, <b>LESTER EFRAIN MOSQUERA TUCUNANGO</b> , con C.I. 1204605685, <b>MARCO ALEXANDER MONTENEGRO PINCAY</b> con C.I. 2450320995, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial e ingeniería civil.
<b>Firma:</b>
<b>TEMA:</b> PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

Nº	Preguntas	Respuestas declaradas por escala de LIKERT					
1	¿Considera que el sistema mantiene una presión y caudal estables durante la generación de espuma?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
2	¿Cree que el prototipo permite obtener una espuma homogénea y constante al controlar la relación aire-espumante?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
3	¿Cómo califica el funcionamiento combinado de la bomba y el compresor dentro del proceso de espumado?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
4	¿Considera que el prototipo reduce el consumo de energía, agua y agente espumante en comparación con los métodos manuales?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
5	¿Cree que el diseño estructural del prototipo ofrece resistencia adecuada y estabilidad durante su funcionamiento continuo?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
6	¿Considera que el prototipo garantiza condiciones seguras y ergonómicas para el usuario durante las prácticas de laboratorio?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
7	¿Cree que el sistema de válvulas y sensores permite repetir el proceso de espumado con resultados consistentes?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
8	¿Considera que el grado de automatización del prototipo mejora la precisión y eficiencia del proceso de generación de espuma?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
9	¿Piensa que el prototipo representa una innovación tecnológica dentro del contexto académico e industrial local?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
10	¿Cree que este diseño puede ser replicado o adaptado a otros entornos industriales o educativos?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
11	¿Considera que el uso del prototipo reduce significativamente los tiempos del proceso de mezcla y colado del hormigón celular?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
12	¿Cómo valora la homogeneidad y la variación de densidad del hormigón celular obtenido mediante el prototipo?	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			

13	¿Cree que la espuma generada con el prototipo mantiene su estructura estable durante el proceso de mezclado y fraguado?	1	2	3	4	5
14	¿Considera que las propiedades mecánicas (resistencia a compresión) del producto mejoran con el uso de la espuma controlada?	1	2	3	4	5
15	¿Cree que el prototipo promueve un uso más racional de agua y espumante en comparación con métodos tradicionales?	1	2	3	4	5
16	¿Percibe que la producción con el prototipo disminuye el desperdicio de mezcla o espuma durante la práctica experimental?	1	2	3	4	5
17	¿Considera que el uso del prototipo contribuye a reducir la huella ambiental del proceso (agua, energía, emisiones)?	1	2	3	4	5
18	¿Cree que la aplicación del prototipo representa una acción de eco-innovación y sostenibilidad industrial?	1	2	3	4	5
19	¿Opina que el uso del prototipo fortalece las competencias prácticas y técnicas de los estudiantes en procesos industriales?	1	2	3	4	5
20	¿Considera que los resultados obtenidos con el prototipo pueden aprovecharse en proyectos de investigación o desarrollo tecnológico?	1	2	3	4	5

Escala de Likert	
1	Muy de acuerdo
2	De acuerdo
3	En desacuerdo
4	En desacuerdo más que en acuerdo
5	Muy en desacuerdo

Datos del estudiante	
Nombre:	
Carrera:	
Semestre:	
Teléfono:	
Correo:	
Fecha de validación:	

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo V:** Ficha validación por juicio de expertos.

FECHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS																						
Título: Integración curricular, tema de tesis “PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”																						
Indicadores	Criterios	Inadecuado				Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones
		0-20				21-40				41-60				61-80				81-100				
Aspectos de Validación		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con el lenguaje apropiado.																					
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																					
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																					
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																					
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																					
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																					
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos- científicos.																					
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																					
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																					
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																					
Instrucciones: esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúa la pertinencia, eficiencia del programa que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																						
Santa Elena, 29 de septiembre de 2025		promedio: puntos (totalmente adecuado)																				
		Experto: ORCID: Profesión: DNI/CI: Celular:																			Firma del experto	

Nota. Elaborado por los autores.

Anexo W: Solicitud como tutor de trabajo de integración.



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

La Libertad, 6 de noviembre del 2025

Sra. Ing.  
Isabel Del Rocío Balón Ramos, M.Sc.  
COORDINADORA DE LA COMISIÓN DE TITULACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

De mi especial consideración:

En atención a la solicitud participar como tutor del Trabajo de Integración: **“PROTOTIPO GENERADOR DE ESPUMA PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN CELULAR EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA.”** del Sr. MOSQUERA TUCUNANGO LESTER EFRAIN y el Sr. MONTENEGRO PINCAY MARCO ALEXANDER, informo que se ha revisado el capítulo 1,2 y 3, luego de ello se aprueba y envía para continuar con el proceso.

En ese sentido, se adjunta el documento correspondiente, para la revisión de especialista.

Atentamente,

Ing. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISOSTOMO, PhD  
TUTOR

Campus matriz, La Libertad - Santa Elena - ECUADOR  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 781 - 732

**UPSE** ¡crece SIN LÍMITES!

f @ t v www.upse.edu.ec

*Nota.* Elaborado por los autores.

Anexo X: Registro de asistencias a tutorías.



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

La Libertad, 13 de noviembre del 2025

Sra. Ing.

Isabel Del Rocío Balón Ramos, M.Sc.

COORDINADORA DE LA COMISIÓN DE TITULACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

De mi especial consideración:

Por medio del presente comunico a Usted que se ha realizado la revisión y aprobación del trabajo de integración curricular titulado: **“prototipo generador de espuma para la producción de hormigón celular en la unidad de prácticas industriales de la carrera de ingeniería industrial de la universidad estatal península de santa elena”**. A continuación, se adjunta el registro de tutorías.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		
REGISTRO DE ASISTENCIA A TUTORÍAS		
<b>Estudiante:</b>	MOSQUERA TUCUNANGO LESTER EFRAIN MONTENEGRO PINCAY MARCO ALEXANDER	
<b>Tutor:</b>	Ing. Gerardo Antonio Herrera Brunett, PhD	
Fecha	Tema	Hora
29/07/2025	Revisión de introducción, justificación antecedentes y objetivos	9:00–11:00
31/07/2025	Revisión de antecedentes y objetivos	14:00–16:00
05/08/2025	Revisión objetivos	9:00–11:00
05/08/2025	Revisión marco teórico, revisión literaria	14:30–16:30
06/08/2025	Revisión, revisión literaria y del mapeo bibliométrico	9:00–11:00
13/08/2025	Revisión marco teórico, descripción actual de la empresa.	8:30–10:00
18/08/2025	Revisión del capítulo 1	9:00–11:00
28/08/2025	Revisión de método y tipo de investigación	14:00–16:00
11/09/2025	Revisión de métodos, técnicas y herramientas	9:00–10:00
16/09/2025	Revisión de Diagnóstico de la situación problemática	15:00–16:30
18/09/2025	Revisión de Diagnóstico de la situación problemática	9:00–10:00
25/09/2025	Tutoría de la realización del capítulo 3	9:30–11:00
02/10/2025	Revisión de la propuesta de investigación	8:00–9:30
07/10/2025	Revisión del modelo de gestión de seguridad	14:00–15:30
09/10/2025	Revisión del modelo de gestión de seguridad	9:00–10:00
16/10/2025	Revisión del presupuesto del modelo	10:00–11:30
23/10/2025	Revisión del capítulo 3	14:00–15:30

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente.

Ing. VELIZ AGUAYO ALEJANDRO CRISOSTOMO, PhD

TUTOR

Campus matriz, La Libertad - Santa Elena - ECUADOR  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 781 - 732

**UPSE** ¡crece SIN LÍMITES!

f @ t v www.upse.edu.ec

Nota. Elaborado por los autores.

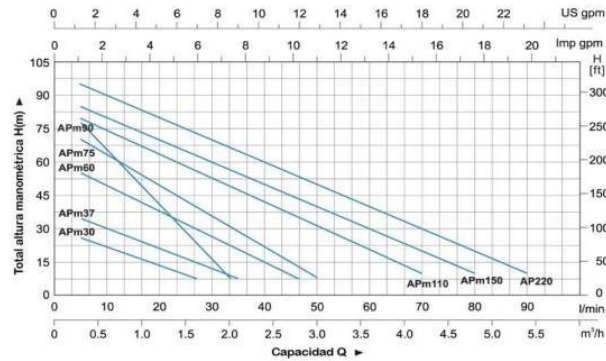
## Anexo Y: Ficha técnica de Bomba Leo APm 150.

### CARACTERÍSTICAS - BOMBA

- Cuerpo de bomba en hierro fundido, con tratamiento especial anti-corrosión y bocas roscadas.
- Impulsor de bronce.
- Inserto de latón que evita la formación de óxido asegurando el NO bloqueo del impulsor luego de un largo periodo de inactividad de la bomba
- Eje en acero inoxidable AISI 304
- Temperatura max. del líquido: +60°C
- Max. aspiración: +6 m



CURVAS DE RENDIMIENTO



Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo Z: Ficha técnica de manómetro de acero con glicerina.



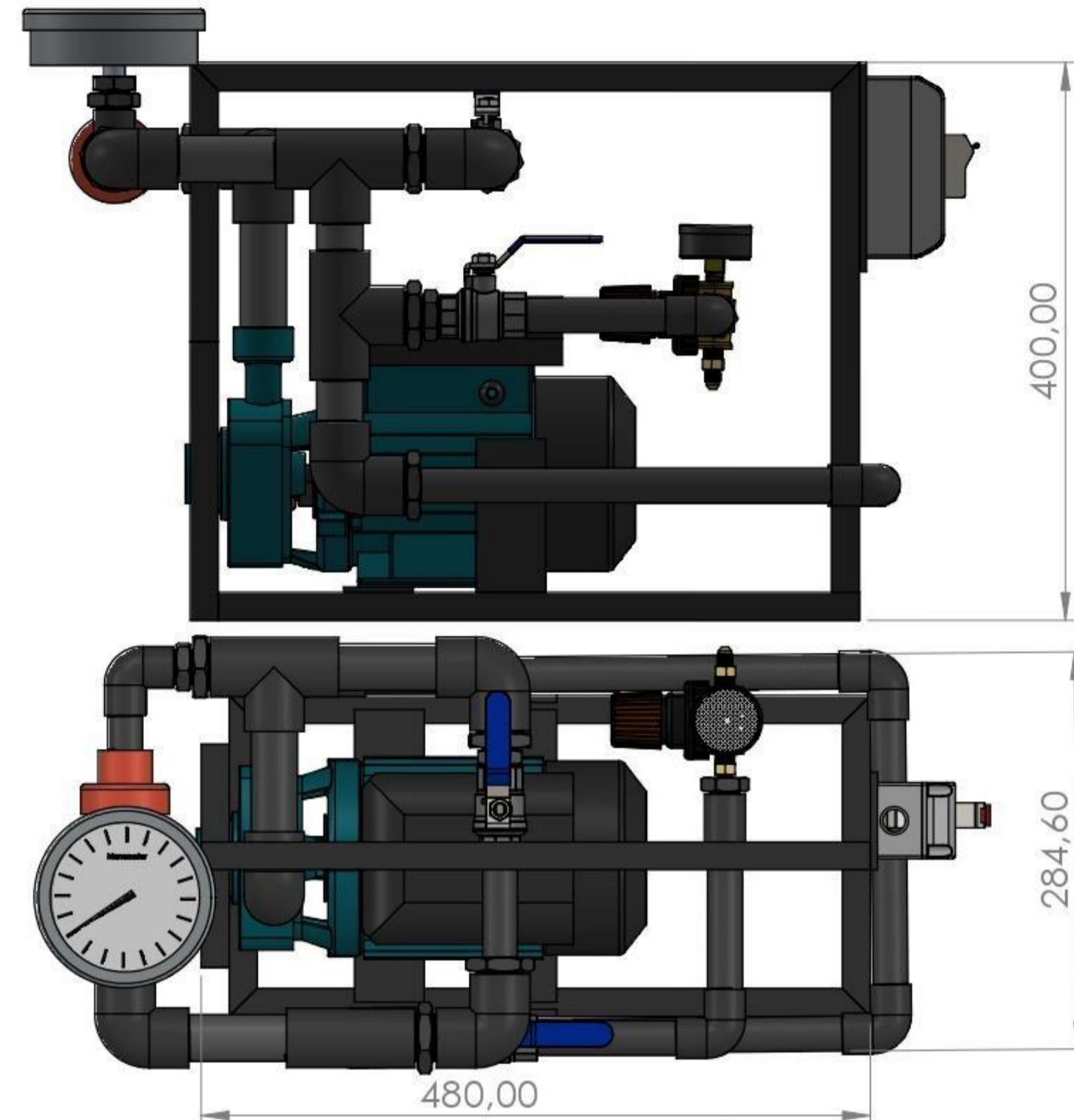
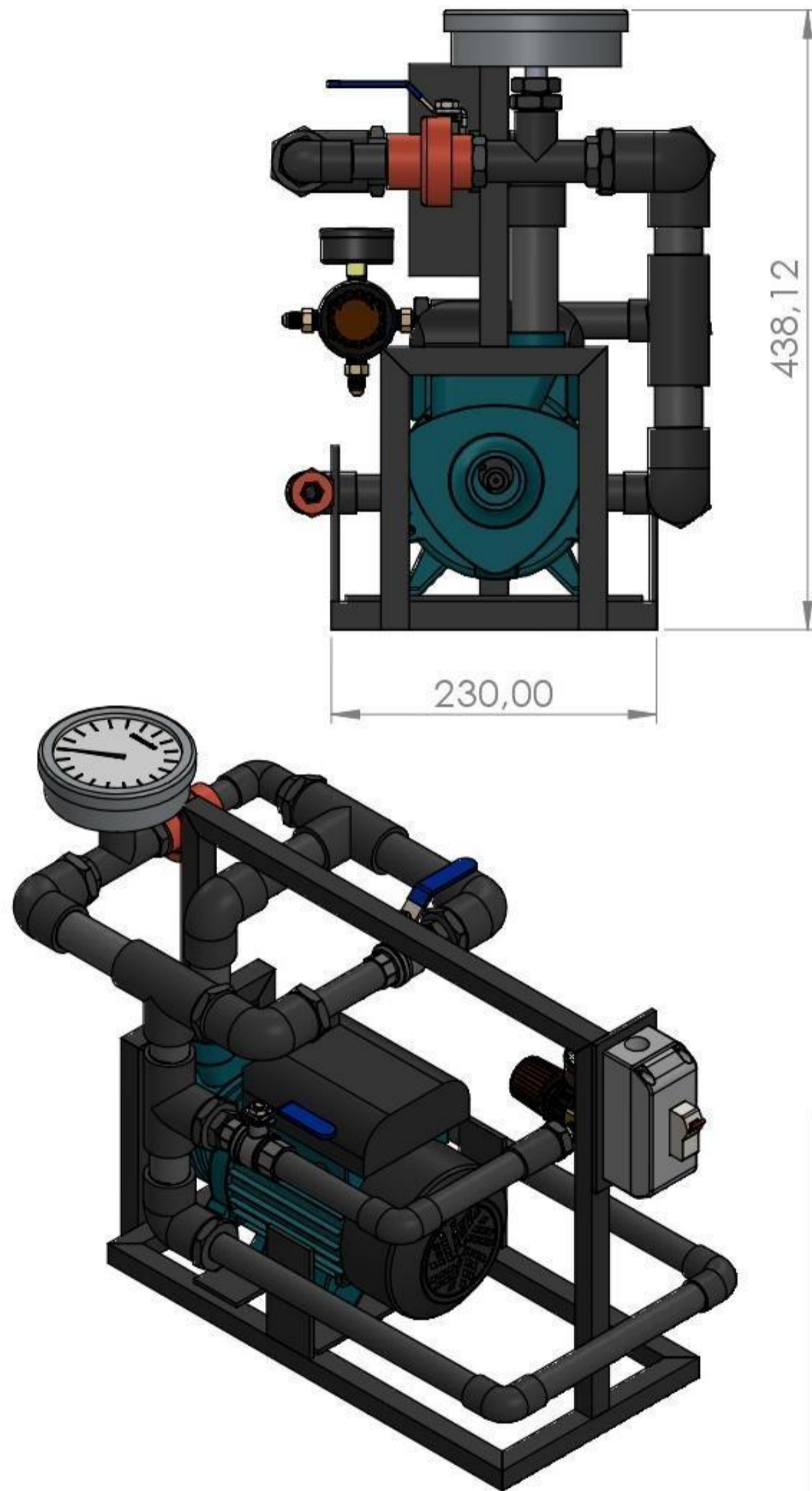
### Descripción & Características:

- Carcasa de acero inoxidable resistente a la vibración
- Relleno de glicerina
- Interiores de latón, latón libre de plomo o de acero inoxidable
- Orificio restrictor estándar en la escala dual
- Tapón de ventilación para carátulas de montaje inferior de 2.5" (63mm) y de 4" (100mm) (excluyendo la conexión SAE)
- Cierre repujado
- Escala única (psi) o dual (psi/kPa)/(psi/bar) disponible
- Brida en U y pestaña frontal opcional
- Carcasa en seco disponible
- Cumple con la normativa ASME B40.100. Normativa EN837-1 disponible para carátulas de 2" (50mm)
- Registrado en CRN
- 5 años de garantía

### Especificaciones

Carátula	1.5" (40mm), 2" (50mm), 2.5" (63mm), 4" (100mm), de aluminio blanco con escritura en rojo y negro
Carcasa	Acero inoxidable 304
Lente	Polycarbonato
Aro	Cierre repujado de acero inoxidable AISI 316
Zócalo	PFQ: Latón OT 58 o acero inoxidable AISI 316 Con glicerina: Latón libre de plomo
Conexión	1/8", 1/4" o 1/2" NPT o 7/16-20 SAE estándar con orificio restrictor
Relleno	Glicerina
Tubo Bourdon	1.5" (40mm), 2" (50mm): Bronce fosforoso C o en forma de espiral para zócalo de latón Acero inoxidable C o en forma de espiral para zócalo de acero inoxidable 316 2.5" (63mm), 4" (100mm): Bronce fosforoso, bronce fosforoso libre de plomo C o en forma de espiral para zócalo de latón, Acero inoxidable AISI 316 o en forma de espiral para zócalo de acero inoxidable 316
Movimiento	Latón OT 58 o acero inoxidable
Aguja	Aluminio anodizado negro
Soldadura	Latón: aleación en plata; Acero inoxidable 316: TIG
Límite de Sobrepresión	25% para presión hasta 1,450 psi (9,998 kPa), 15% para presión de más de 1,450 psi (9,998 kPa)
Sello del Zócalo	Buna N para el zócalo interno de dos piezas
Tapón	Buna N
Sello del Lente	Goma de silicona
Presión operativa	75% de valor de escala
Temperatura/ Ambiente de Procesos	Seco: -40°F hasta 200°F (-40°C to 93°C) Con glicerina: -4°F hasta 150°F (-20°C to 65°C)
Exactitud	1.5" (40mm), 2" (50mm): ±2.5% de fondo de escala 2.5" (63mm), 4" (100mm): ±1.5% de fondo de escala
Índice de Protección	IP65
Precaución (solo para termopozos de latón y latón libre de plomo)	<b>PRECAUCIÓN:</b> El uso de este producto lo expone a diversos elementos químicos incluyendo el plomo, reconocido por el estado de California como posible causante de cáncer, defectos de nacimiento o daños en el sistema reproductivo. Para más información dirigirse a <a href="http://www.P65Warnings.ca.gov">www.P65Warnings.ca.gov</a>

Nota. Elaborado por los autores.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA  
DE SANTA ELENA**

**ENSAMBLE DE LA MAQUINA  
GENERADORA DE ESPUMA**

**Escala:**  
INDICADA

Sistema:

Tolerancia:

Peso: No aplica

**Datos:**

**Nombre:**

**Fecha:**

**Firma:**

**Dibujó:**

Lester Mosquera,  
Marco Montenegro

20/10/25

**Revisó:**

Ing. Alejandro  
Veliz Aguayo

20/10/25

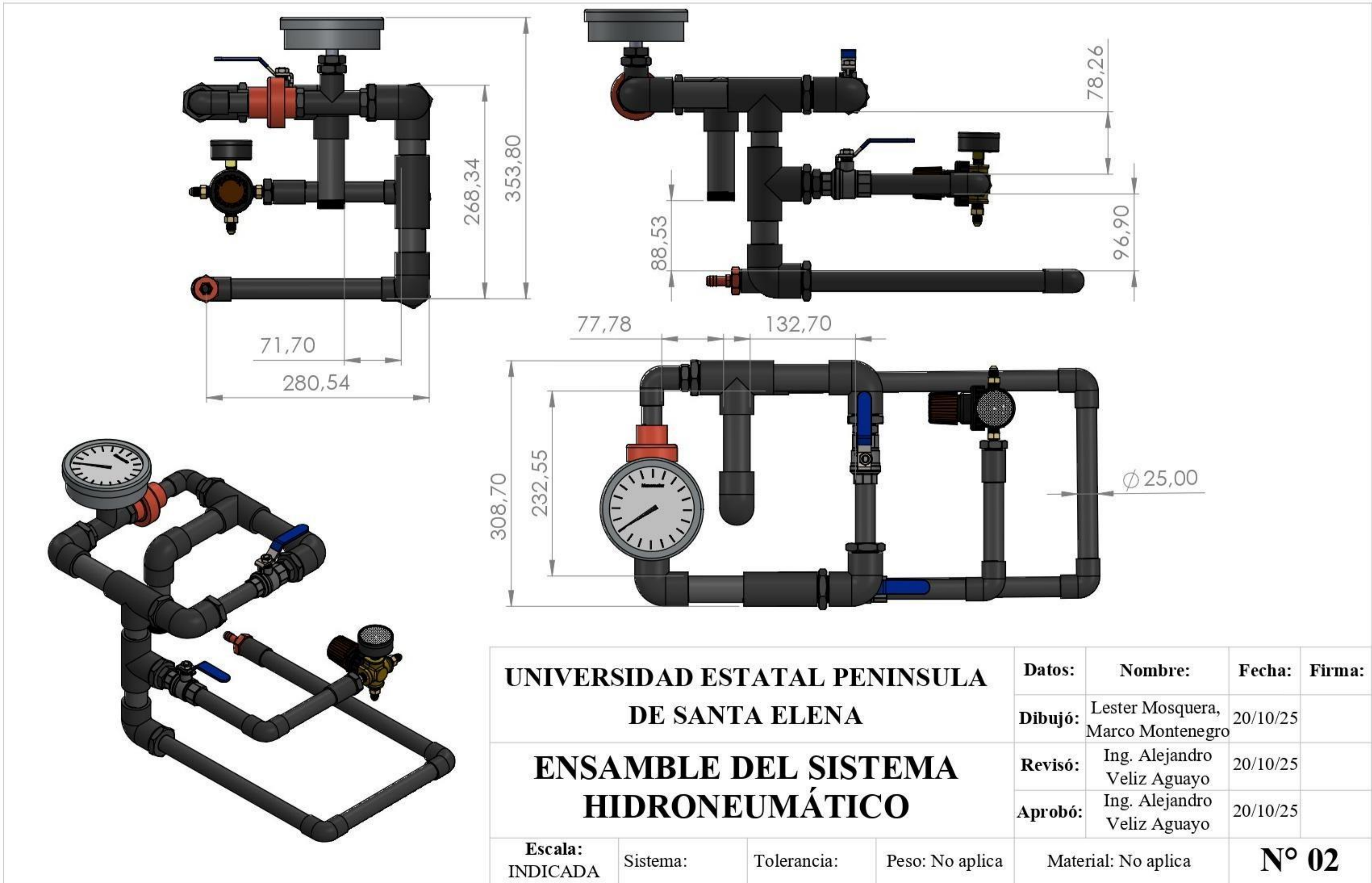
**Aprobó:**

Ing. Alejandro  
Veliz Aguayo

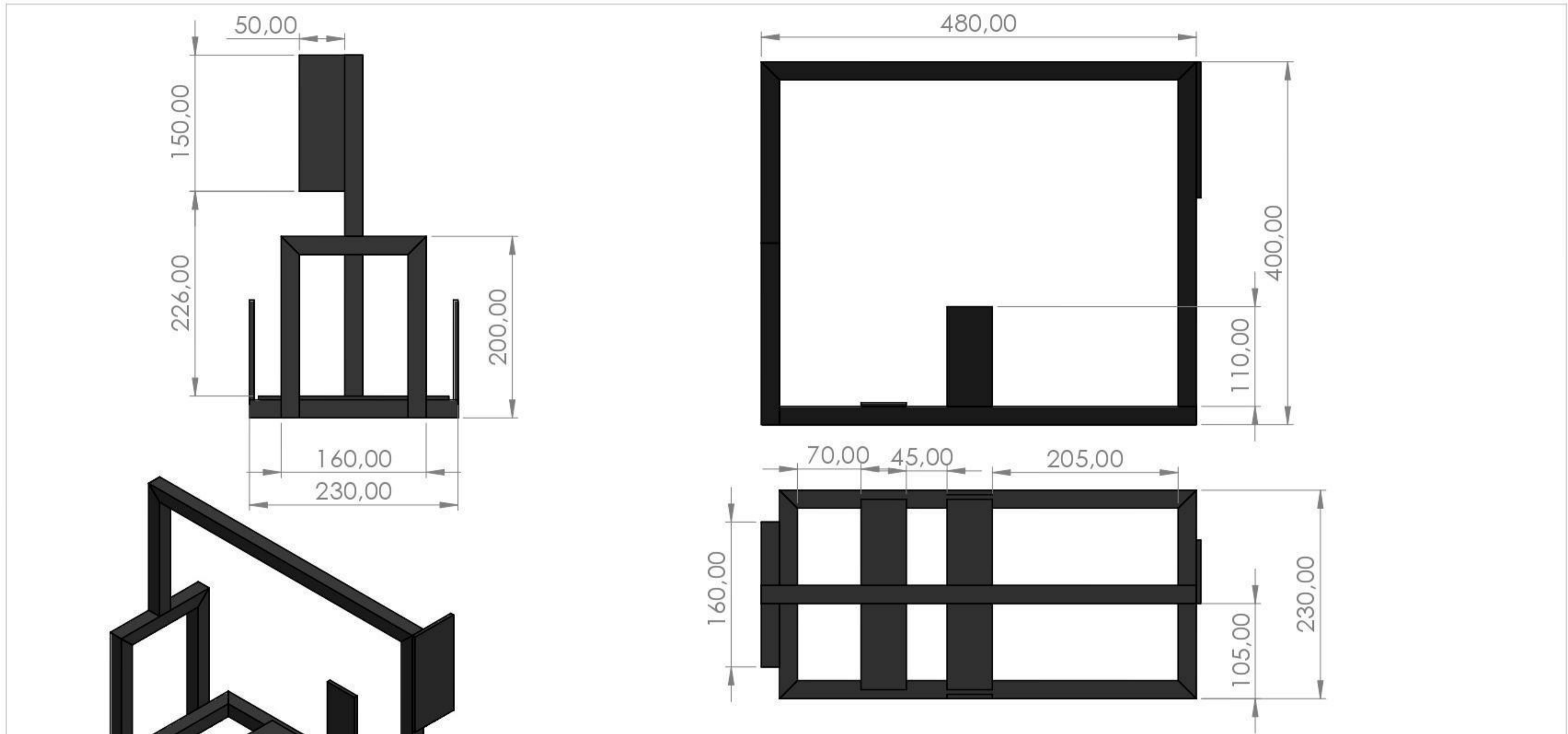
20/10/25

Material: No aplica

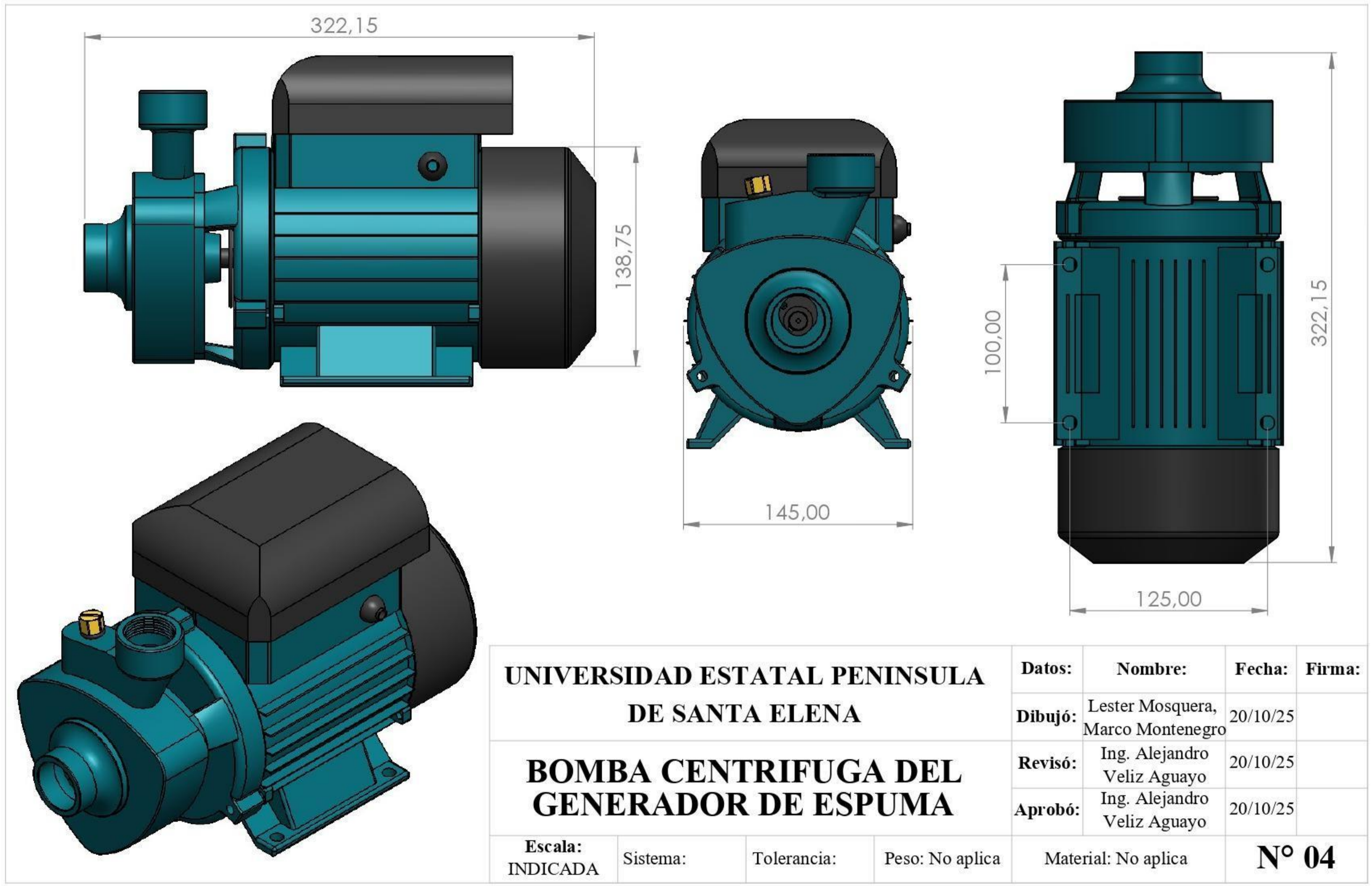
**N° 01**



Nota. Elaborado por los autores

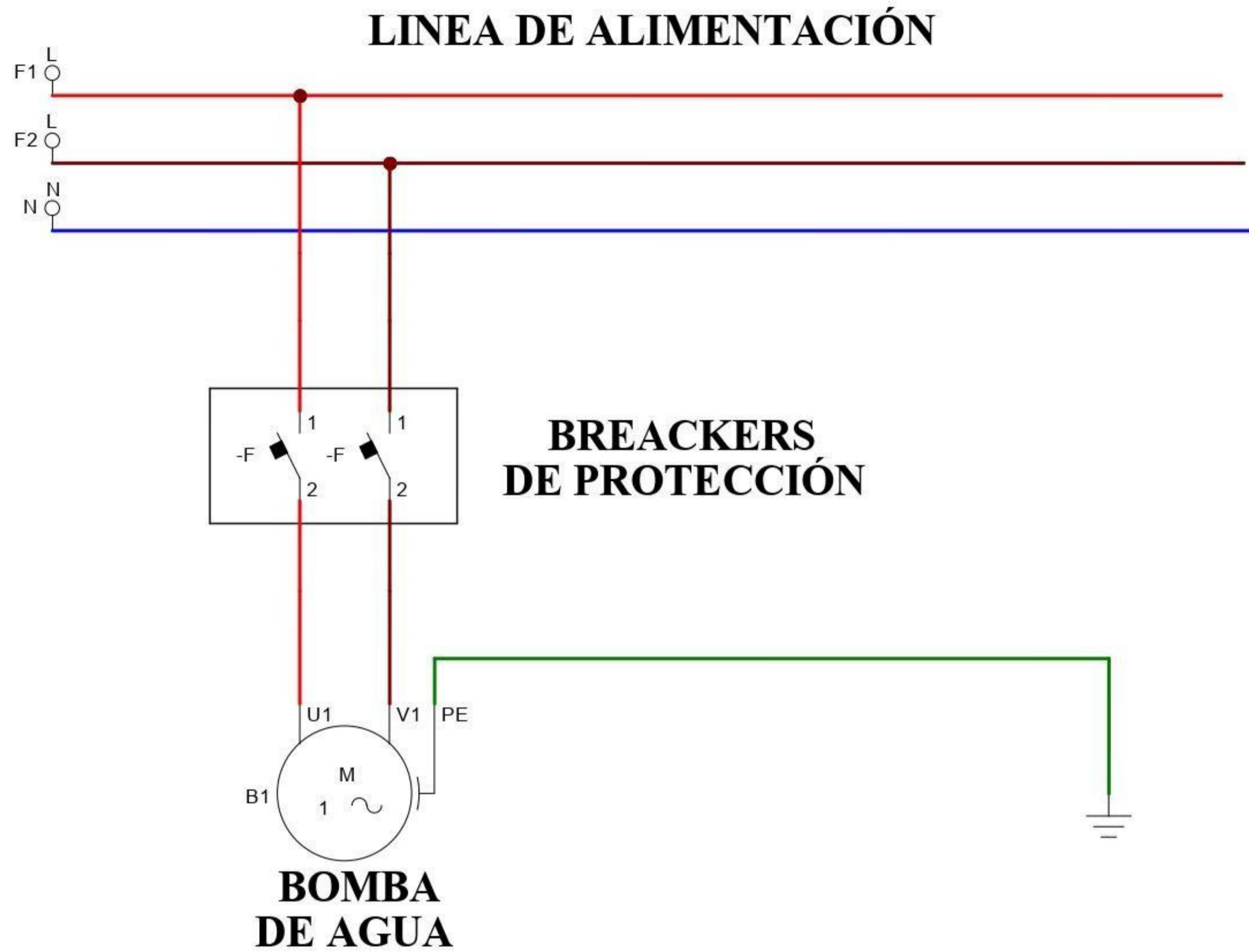


<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b>				<b>Datos:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Firma:</b>
				<b>Dibujó:</b>	Lester Mosquera, Marco Montenegro	20/10/25	
<b>ENSAMBLE DE ESTRUCTURA DEL GENERADOR DE ESPUMA</b>				<b>Revisó:</b>	Ing. Alejandro Veliz Aguayo	20/10/25	
				<b>Aprobó:</b>	Ing. Alejandro Veliz Aguayo	20/10/25	
<b>Escala:</b> INDICADA	<b>Sistema:</b>	<b>Tolerancia:</b>	<b>Peso:</b> No aplica	<b>Material:</b> No aplica		<b>N° 03</b>	

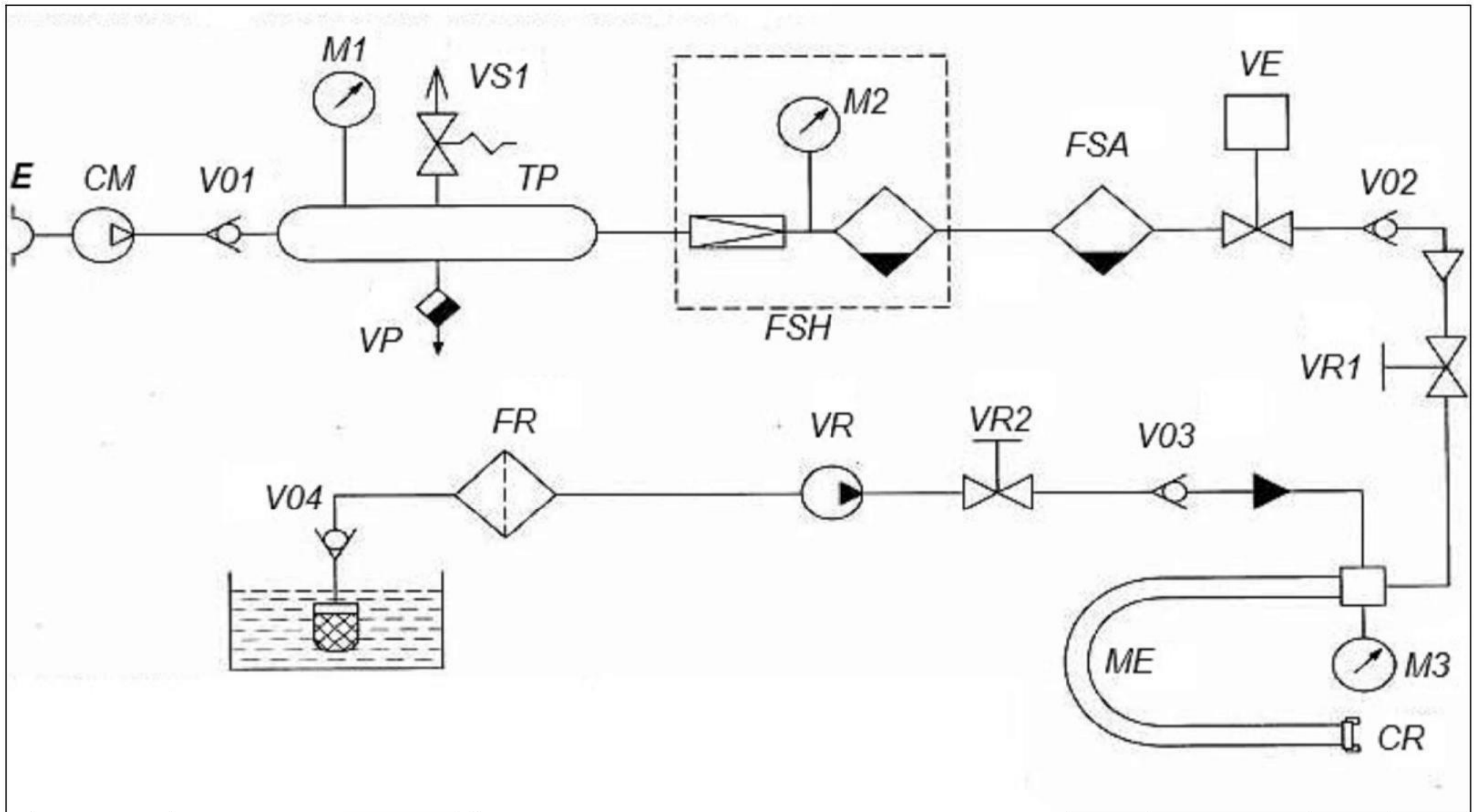


<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b>				<b>Datos:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Firma:</b>
<b>BOMBA CENTRIFUGA DEL GENERADOR DE ESPUMA</b>				<b>Dibujó:</b>	Lester Mosquera, Marco Montenegro	20/10/25	
				<b>Revisó:</b>	Ing. Alejandro Veliz Aguayo	20/10/25	
				<b>Aprobó:</b>	Ing. Alejandro Veliz Aguayo	20/10/25	
<b>Escala:</b> INDICADA	<b>Sistema:</b>	<b>Tolerancia:</b>	<b>Peso:</b> No aplica	<b>Material:</b> No aplica		<b>N° 04</b>	

Nota. Elaborado por los autores



	Fecha	Nombre Firmas	Entidad
Dibujado	19/11/2025	Lester Mosquera	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTAL ELENA</b>
Comprobado	19/11/2025	Ing. Veliz Aguayo	
Fecha: 19-Aug-2025	Título	<b>GRAFICO ELECTRICO DEL GENERADOR DE ESPUMA</b>	
		Núm:	1 de 1
		Archivo:	C6



M1 - M3	Manómetros
VS	Válvulas solenode
VP	Válvulas de purga
FR	Filtro receptor
FSH	Filtro separador de humedad
FSA	Filtro separador de aceite
BR	Bomba regulable
VS1, VS2	Válvulas de seguridad
ME	Manguera espumante
CR	Conector rápido
VE	Válvula electromagnética

<b>UPSE</b>				<b>Datos:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Firma:</b>
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL				<b>Dibujó:</b>	Lester Mosquera	19/11/2025	
<b>GRÁFICO HIDRONEUMÁTICO DEL GENERADOR DE ESPUMA</b>				<b>Revisó:</b>	Ing. Veliz Aguayo Alejandro	19/11/2025	
				<b>Aprobó:</b>	Ing. Veliz Aguayo Alejandro	19/11/2025	
<b>Escala:</b> INDICADA	Sistema:	Tolerancia: ± 0.1	Peso: No aplica	Material: No aplica		<b>N° 06</b>	