

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un sistema de medición continua de densidad en la producción
y fabricación del detergente en polvo en una empresa de jabonería

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Julexy Brigitte Celorio Maridueña

Kevin Gerardo Ortiz Fonseca

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres y a mi esposo, quienes han sido soporte y apoyo continuo a lo largo de mi carrera, motivándome a dar siempre lo mejor de mí en esta etapa.

Julexy Brigitte Celorio Maridueña

El presente proyecto se lo dedico a mis seres queridos, a su amor, consejos y acompañamiento me han ayudado a superar los diferentes desafíos que se me han presentado, permitiéndome así alcanzar esta meta.

Kevin Gerardo Ortiz Fonseca

AGRADECIMIENTOS

Llegar hasta aquí no ha sido sencillo, es por ello por lo que le agradezco a Dios y a cada una de las personas que formaron parte de este logro mediante el apoyo brindado y el conocimiento compartido, me brindaron fueras y resiliencia para alcanzar la meta.

Julexy Brigitte Celorio Maridueña

Ha sido un arduo camino cada vez más desafiante, por lo que quiero agradecer a las personas maravillosas que me dieron su incondicional soporte durante mi vida universitaria, en especial a mi círculo cercano ya que nunca me dejaron desmayar y han contribuido en mi desarrollo.

Kevin Gerardo Ortiz Fonseca

Por último, toda nuestra gratitud para nuestro tutor el Ing. Ernesto Martínez por compartirnos sus conocimientos y estar siempre comprometido con nosotros y al Dr. Miguel Quilambaqui por darnos soporte en el ámbito metodológico.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Julexy Brigitte Celorio Maridueña* y *Kevin Gerardo Ortiz Fonseca* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Julexy Celorio M.



Kevin Ortiz F.

EVALUADORES

.....
Miguel Quilambaqui Ph.D

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Ernesto Martínez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El proceso de medición de densidad del detergente en polvo, se lo realiza de forma manual, lo que produce problemas por los extensos intervalos de tiempo que demanda, además que es considerado un proceso poco eficiente. Dada la situación, se ha presentado este proyecto con la finalidad de que la medición sea ágil y se visualice en tiempo real, con el fin de agilizar la toma de decisiones por parte del departamento en envasado y producción. Para ello se utilizó la caja negra con la finalidad de visualizar las entradas (energía y muestra) y salidas (valor y curva), también se empleó una caja transparente para conseguir las salidas deseadas. Se aplicó la matriz de decisión para definir la gravedad como mecanismo de recolección de muestra, el accionamiento por energía neumática y la forma del recipiente semiesférica. En base a los cálculos se seleccionó 65mm el radio del recipiente, el cilindro DSNU 16-150 y el actuador giratorio DSRL 32-180, además del circuito de pesaje por medio de galgas extensiométricas y el acondicionador de señal. Se obtuvo como resultados los planos de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, también una tabulación de los elementos requeridos con sus respectivas especificaciones para la elaboración del mecanismo, a través de un análisis de costo se logró ver el retorno de inversión en 3 años, concluyendo así que el proyecto es viable y es parte de la solución a la problemática estudiada.

Palabras Clave: Densidad, Neumática, Galga Extensiométrica, Viabilidad

ABSTRACT

Currently, the process of measuring the density of the detergent powder is done manually and in long intervals of time, being an inefficient process. This project was carried out to visualize the measurement in real time, to streamline decision-making by the packaging and production department. For this the black box was used to visualize the inputs (energy and sample) and outputs (value and curve), while in the transparent box the process was represented to achieve the desired outputs. By means of the decision matrix, gravity was defined as the sample collection mechanism. The drive by pneumatic energy and the hemispherical shape of the container, based on the calculations, the radius of the container was selected as 65mm, the cylinder DSNU 16-150 and the rotary actuator DSRL 32-180, in addition to the weighing circuit via strain gauges and the signal conditioner. The results obtained were the plans of the mechanical, electrical, and electronic elements, also a tabulation of the required elements with their respective specifications for the elaboration of the mechanism. Through a cost analysis it was possible to see the return on investment in 3 years, concluding that the project is viable. There is reliability of the results and complies with the continuity of the measurements performed, allowing to visualize a trend in the values obtained.

Keywords: *Density, Pneumatic, Strain Gauge, Viability*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	11
1. Introducción.....	11
1.1 Descripción del problema.....	11
1.2 Justificación del problema.....	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 Marco teórico.....	13
1.4.1 Descripción del proceso de fabricación de polvo detergente.....	13
1.4.2 Densidad.....	15
1.4.3 Métodos de Medición de Densidad.....	16
1.4.4 Estándares de Calidad de Polvo Detergente.....	19
CAPÍTULO 2.....	22
2. Metodología.....	22
2.1 Diseño Conceptual y Requerimientos.....	22
2.2 Factores de Influencia en la densidad del polvo detergente.....	24

2.3	Alternativas de Solución	26
2.4	Matriz de decisión y selección de la alternativa a diseñar	30
2.5	Diseño de Forma	34
2.6	Cálculos y Selección de Componentes	36
CAPÍTULO 3.....		46
3.	Resultados Y ANÁLISIS	46
3.1	Planos elaborados.....	46
3.2	Simulación del mecanismo.....	47
3.3	Representación de datos obtenidos	54
3.4	Análisis de costos.....	57
CAPÍTULO 4.....		60
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	60
4.1	Conclusiones.....	60
4.2	Recomendaciones.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....		64
ANEXOS.....		66

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
CAD	Computer Assistant Design
CND	Centro Nacional de Despacho
OIML	Organización Internacional de Metrología Legal
CORPONOR	Corporación Autónoma de la Región Nororiental
SG	Strange Gauge

SIMBOLOGÍA

ml	Mililitro
gr	gramo
pH	Potencial de Hidrógeno
mm	Milímetro
ρ	Densidad
m	masa
T	Temperatura
γ	Coefficiente de expansión volumétrica
q	Calor
F	Fuerza
kg	Kilogramo
σ	Esfuerzo de flexión
M	Momento
I	Inercia
N	Factor de Seguridad
h	Altura
b	Base
R _g	Resistencia de Galga
R	Resistencia
ϵ	Deformación unitaria
mV	Milivoltio
V _s	Voltaje de salida de puente de Wheatstone
V _{out}	Voltaje Acondicionado
Ω	Ohms
k	KiloOhms
M	MegaOhms

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de fabricación de detergente en polvo. (Ortiz & Celorio, 2022)	14
Figura 1.2 Probeta graduada para medir la densidad, recreado (Instrumentos de Laboratorio, 2019).	17
Figura 1.3 Volumenómetro para medir la densidad, recreado (Instrumentos de Laboratorio, 2019)	18
Figura 1.4 Recipiente graduado para medir la densidad, recreado (Instrumentos de Laboratorio, 2019)	19
Figura 2.1 Caja negra del medidor de densidad.....	22
Figura 2.2 Caja Transparente del medidor de densidad.....	22
Figura 2.3 Accionamiento de pistón con energía térmica.....	27
Figura 2.4 Accionamiento de un cilindro con energía eléctrica.....	28
Figura 2.5 Accionamiento de cilindro con energía neumática	28
Figura 2.6 Recipientes (a) Cilíndrico (b) Trapezoidal (c) Semiesférico.....	29
Figura 2.7 Alternativas de solución.....	33
Figura 2.8 Diseño de forma y sus principales partes.....	34
Figura 2.9 Funcionamiento del medidor de densidad.....	35
Figura 2.10 Volumen de llenado del recipiente.....	36
Figura 2.11 DCL del brazo del recipiente.	38
Figura 2.12 Reacciones del brazo del recipiente.....	38
Figura 2.13 Diagrama Cortante del brazo del recipiente.	38
Figura 2.14 Diagrama del Momento Flector del brazo del recipiente.	39
Figura 2.15 Selección de cilindro neumático y sus partes	40
Figura 2.16 (a) Actuador giratorio DSRL (b) Cilindro neumático DNSU	40
Figura 2.17 (a) Posicionamiento de galgas (b) Puente de Wheatstone.....	43
Figura 2.18 Circuito de Amplificador Inversor.....	45
Figura 3.1 Toma física de la muestra.	47
Figura 3.2 Posición de pesaje de muestra.	48
Figura 3.3 Deformación del recolector con la muestra tomada.	48
Figura 3.4 Devolución física de la muestra.....	49
Figura 3.5 Estado inicial del medidor de densidad.	49

Figura 3.6 Movimiento lineal (ingreso de aire).....	50
Figura 3.7 Activación de actuador giratorio.	50
Figura 3.8 Toma de muestra.	51
Figura 3.9 Regreso del cilindro a posición inicial (salida de aire)	51
Figura 3.10 Simulación de sistema de pesaje en TinkerCAD.....	52
Figura 3.11 Oscilación de datos de densidad obtenidos por minuto.	53
Figura 3.12 Código del sistema de pesaje	53
Figura 3.13 Visualización de datos en panel	57
Figura 4.1 Cotización de elementos neumáticos 1.....	79
Figura 4.2 Cotización de elementos neumáticos 2.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades del detergente en polvo (CORPONOR, 2015).....	20
Tabla 2.1 Alternativas de solución para la recepción del material.	29
Tabla 2.2 Alternativas de solución para el accionamiento de mecanismo.....	29
Tabla 2.3 Alternativas de solución para la forma del recipiente.....	30
Tabla 2.4 Escala de Ponderación.....	31
Tabla 2.5 Matriz de decisión para la recepción del material.....	32
Tabla 2.6 Matriz de decisión para el accionamiento del mecanismo.....	32
Tabla 2.7 Matriz de decisión para la forma del recipiente.....	32
Tabla 2.8 Matriz de decisión para alternativa de medidor de densidad.....	34
Tabla 2.9 Propiedades de materiales (Norton, 2018).	37
Tabla 2.10 : Especificaciones de cilindro DSNU.....	41
Tabla 2.11: Especificaciones de Actuador giratorio DSRL.	42
Tabla 2.12: Propiedades Mecánicas de Metales (Budynas & Nisbett, 2019).	43
Tabla 2.13 Especificaciones técnicas de galga extensiométrica G Series.....	44
Tabla 3.1 Elementos Mecánicos.....	54
Tabla 3.2 Elementos del Circuito Electroneumático.....	55
Tabla 3.3 Elementos del Sistema de Pesaje.....	56
Tabla 3.4 Costo Actual.....	57
Tabla 3.5 Costo actual anual.....	57
Tabla 3.6 Costo de inversión mecanismo.....	58
Tabla 3.7 Costo de operación mecanismo.....	59
Tabla 3.8 Retorno de inversión.....	59
Tabla 3.9 TIR y VAN.....	59

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Ensamble Mecánico	67
Plano 2 Tapa (Pieza 2)	68
Plano 3 Acople (Pieza 5)	69
Plano 4 Base (Pieza 8)	70
Plano 5 Recolector (Pieza 9)	71
Plano 6 Caseta (Pieza 10)	72
Plano 7 Raspador Superior (Pieza 11)	73
Plano 8 Raspador Inferior (Pieza 12)	74
Plano 9 Electrónico e Instrumentación	75
Plano 10 Circuito Neumático	76
Plano 11 Accionamiento Eléctrico de Circuito Neumático	77
Plano 12 Tablero de distribución.	78

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Durante el desarrollo de la fabricación del detergente en polvo es necesaria la toma de muestras de manera continua a lo largo del proceso para medir la densidad del polvo detergente base y de polvo terminado, actualmente este procedimiento se ejecuta de forma manual y periódica extrayendo la muestra de la línea de producción por medio de “vasos” cuyo volumen y calidad de superficie son aprobados y estandarizados por el laboratorio de calidad; este proceso resulta poco eficiente por el tiempo que implica recolectar la muestra, trasladarla y analizarla en el laboratorio de calidad que se encuentra fuera del área de producción, para su futura tabulación.

Se debe considerar que otro aspecto que disminuye la eficiencia en el proceso de medición de densidad del polvo detergente es el error humano, ya sea por los encargados de la toma de muestras, o del personal que ingresa los datos al sistema.

Adicional a esto, el tiempo que tardan en retroalimentar al personal involucrado en la elaboración del polvo detergente es considerablemente extenso y demorado, muchas veces ha originado que, al recibir dichos resultados, el producto ya ha sido envasado.

En la actualidad el porcentaje de producto sobre envasado varía entre el 8% y 10%, representando pérdidas significativas para la compañía, siendo muy tardía retroalimentación sobre los resultados obtenidos de la medición de la densidad del polvo detergente. Los cuales influyen en la toma de decisiones en la reducción del porcentaje de producto sobre envasado (Abarca & Kuontay, 2019).

1.2 Justificación del problema

Conocer la densidad de polvo detergente realizado durante el proceso de fabricación resulta conveniente. Hoy en día este proceso –que es llevado a cabo de forma manual- es poco eficaz, lo que ocasiona un volumen considerable de polvo detergente fuera de especificaciones y un alto porcentaje de polvo detergente sobre envasado; por lo que es oportuno el desarrollo de un mecanismo de toma de muestras de datos capaz de medir en tiempo real la densidad del polvo detergente base y densidad de polvo detergente determinados en diferentes puntos del proceso de forma que permita observar el comportamiento de la densidad del polvo de manera continua, facilitando la visibilidad de los datos resultantes de la medición, permitiendo realizar las correcciones necesarias para evitar producto fuera de tolerancia. De esta manera, se podrá disminuir la cantidad de merma que debe ser reprocesada o a su vez agilizar la toma de decisiones en el proceso de envasado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de medición continua de densidad del producto obtenido en la línea de producción durante el proceso de fabricación del polvo detergente con el fin de que sus resultados se visualicen en tiempo real.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema mecánico mediante la selección de sus componentes de accionamiento para la recolección, pesaje y retorno del polvo detergente a la línea de producción.
2. Elaborar planos detallados del mecanismo desarrollado a través de diferentes softwares para su futura implementación por medio de un agente externo.
3. Analizar costos por medio de información actualizada de los componentes del sistema de medición y un estimado de su implementación para garantizar la viabilidad del mecanismo.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Descripción del proceso de fabricación de polvo detergente

Para la fabricación de este producto se necesita de materias primas sólidas principalmente de fosfatos, carbonatos, zeolita, calcita y sulfato; mientras que en las materias líquidas las más importantes son: soda cáustica, agua, ácido sulfónico y silicato; cabe recalcar que dichas materias primas son importadas. Antes de que se inicie el proceso de obtención del detergente en polvo, se requiere preparar el silicato del estado sólido al líquido, por medio de un proceso de fundición, a altas temperaturas. (Tapia & Cevallos, 2015).

Como indica la Figura 1.1 el proceso de fabricación inicia con el soplado de las materias primas, las cuales son enviadas al área de producción; las líquidas son transportadas por medio de bombas, enviadas desde los tanques de almacenamiento; y las materias sólidas son llevadas por medio de transportadores neumáticos encargados de soplar los elementos desde una bodega de recepción hacia la siguiente fase conocida como Slurry Making.

En esta fase (Slurry Making) las materias sólidas y líquidas receiptadas son dosificadas y siguen un orden preestablecido por las propiedades fisicoquímicas de dichos materiales y la fórmula de fabricación, luego son llevadas hacia un tanque reactor donde por medio de la mezcla de estos elementos se obtiene el detergente hecho pasta; la preparación de la mezcla en un tanque reactor se la conoce como "batch", alcanzando una capacidad de producción de 8000 kg de slurry lo cual equivale a 4000 kg de detergente en polvo base.

Una vez obtenido el slurry, la pasta avanza a la siguiente etapa del proceso conocido como Secado. En esta fase el slurry es bombeado por medio de una línea de alta presión para que logre ingresar por una torre de secado por medio de unas toberas que atomizan dicha pasta en la parte superior de la torre, mientras ingresa aire caliente en contraflujo -por medio de un ventilador de combustión y un horno quemador de aire- desde la parte inferior de la torre,

secando las partículas atomizadas de slurry y produciendo detergente en polvo base, tal y como se puede apreciar en la Figura 1.1.

Luego de la fabricación de polvo detergente base, pasa un proceso llamado Postdosing, donde el polvo base obtenido y almacenado en los silos es llevado por medio de transportadores hacia un área de enzimas y luego a un área de perfumes en la cual, con ayuda de un mezclador se obtiene el detergente en polvo terminado y listo para ser Envasado.

Para finalizar, se realiza el envasado del producto obtenido, donde el detergente en polvo terminado es llevado por medio de transportadores hacia las diferentes líneas, las cuales cuentan con una llenadora de fundas. Este llenado se lo realiza por medio de vasos que miden el volumen de polvo que ingresa a las fundas; después pasa por una chequeadora de peso que mide la masa real de cada funda llena, luego pasa hacia una enfardadora que tiene salida hacia un área de paletizado para ser llevado al centro de distribución (CND), en caso de que el producto posea una masa menor todo el fardo es separado para ser reprocesado ya que el producto se encuentra fuera de especificaciones (Yong, 2014).

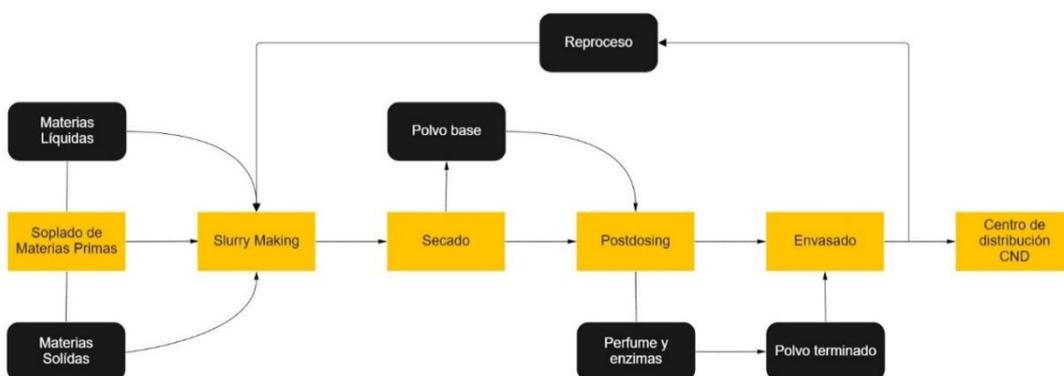


Figura 1.1 Proceso de fabricación de detergente en polvo. (Ortiz & Celorio, 2022)

1.4.2 Densidad

De acuerdo con el concepto establecido por Arquímedes, la densidad es una propiedad representativa de la materia, se define como la magnitud de la masa de un elemento en relación con el volumen que requiere el elemento, cuya fórmula matemática se denota por:

Ec. 1.1

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Iniciando de esta ecuación matemática, se puede establecer que, en un volumen constante, a medida que incremente la masa, incrementará la densidad, o por otra parte con una masa constante, a mayor volumen, se obtendrá menos densidad. Según el Sistema Internacional (SI) las unidades comúnmente usadas para representar la densidad son kilogramos por metro cúbico [kg/m³]. Existen diferentes tipos de densidad que se pueden abarcar, para simplicidad del estudio revisaremos los conceptos de densidad relativa y aparente de polvos.

Densidad Aparente

La densidad aparente de un polvo depende de la relación de la masa y el volumen que ocupe dicha masa, considerando que la masa no debe ser asentada o modificado su espacio ocupado inicialmente, siendo así la densidad aparente la relación entre el espacio que ocupen las partículas en un volumen determinado (Williams, 1995).

A pesar de que el Sistema Internacional (SI) establece que la unidad de medición es [kg/m³], la densidad aparente suele medirse en gramos por mililitros [g/ml] o gramos por centímetros cúbicos [g/cm³], debido a la cantidad de masa y volumen involucrado para el proceso de medición.

Para llevar a cabo el proceso de medición de densidad aparente de un polvo, se requiere un recipiente cuyo volumen sea establecido previamente, por medio de un recipiente de volumen constante; y la medición del peso de la muestra, por lo que dicho proceso es de tipo experimental.

Densidad Compactada

La densidad compactada es similar a la densidad aparente, con la diferencia de que el polvo debe ser acomodado dentro del recipiente con golpeteos en el envase de medición, cuya finalidad es asentar el polvo contenido, este proceso de compactación del polvo permitirá mayor capacidad de masa en el volumen de la muestra, y por ende un aumento en la medición de densidad. (Usman et al, 2018).

Aspectos que influyen en la variación de la densidad

Entre los parámetros que están relacionados con la densidad de forma indirecta, está el peso, el cual cuenta con diferentes variables que dentro del proceso de fabricación del detergente en polvo dan paso a la variación de este, entre ellas están:

- Calidad del sulfato de sodio
- Humedad del slurry
- Nivel y densidad del carbonato de sodio
- Calibración manual del peso
- Rugosidad de paredes internas en el Silo de Alimentación
- Tiempo del almacenamiento del polvo
- Frecuencia de limpieza de los sistemas de envasado
- Presión de Atomización del slurry

Se considera de forma teórica y práctica que la humedad del slurry es el parámetro más relevante como responsable de la variación de densidad del detergente en polvo, debido a su variación en el peso de la muestra, sin embargo, dicha medida no es controlada bajo estándares de calidad que restrinjan el parámetro mencionado (Tapia & Cevallos, 2002).

1.4.3 Métodos de Medición de Densidad

Existen diversos instrumentos de medición de densidad de polvo y cada uno de ellos está acompañado de un método diferente, entre los métodos más importantes para el desarrollo del diseño establecido tenemos:

Medición en una Probeta Graduada

Es volumétrico y consta de una probeta, es decir un cilindro generalmente transparente con la parte inferior cerrada acompañado de una base de apoyo, posee una escala de medición reflejada en el exterior con la finalidad de obtener una medida de volumen definido, este instrumento suele ser de vidrio o de plástico como se observa en la Figura 1.2, siendo la probeta de vidrio la que brinda una medición más precisa en comparación a la probeta de plástico.

El método de medición se basa en ingresar el polvo muestra por el extremo abierto de la probeta, el cual pasa a través de una malla para evitar el paso de grumos que puedan haberse formado en el proceso de fabricación del polvo detergente, esta muestra que ingresa a la probeta se debe insertar sin compactación, cabe recalcar que la cantidad de polvo ingresado debe ser medido previamente con 0.1% de exactitud.

Este proceso nos brinda un volumen alcanzado con una cantidad de masa determinada, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 1 obtendremos la densidad para la muestra tomada.



Figura 1.2 Probeta graduada para medir la densidad, recreado (Laboratorio, 2019).

Medición con un volumenómetro

Es una herramienta que se conforma por un embudo colocado sobre una caja que internamente posee placas deflectoras con cierto grado de inclinación, con la finalidad de regularizar el flujo del polvo conforme va descendiendo, después de pasar por un segundo embudo la muestra llega al vaso de medición, del cual se ha determinado el volumen admisible en el recipiente, antes de tomar el peso de la muestra se debe retirar el exceso con un raspador ubicado a 90° en relación a la superficie del vaso, este factor es para evitar compactar el polvo en el recipiente, una vez retirado el exceso se procede a medir el peso del polvo y finalmente por medio de relación entre fórmulas, establecer la densidad alcanzada. Se representa visualmente en la Figura 1.3

A pesar de que es un proceso amigable, debe repetirse al menos tres veces con diferentes muestras de polvo para obtener un promedio de la densidad aparente alcanzada, esto ocurre a que la medición no es precisa y puede verse alterada por diferentes factores.



Figura 1.3 Volumenómetro para medir la densidad, recreado (Laboratorio, 2019)

Medición en un recipiente

En este proceso el instrumento es el recipiente previamente determinado, cuyo volumen a ocupar es conocido, como se muestra en la Figura 1.4, se busca retirar el exceso del recipiente con un raspador sin compactar la muestra adquirida, la muestra de polvo ingresa por la abertura del recipiente pasando por un tamiz para evitar que las aglomeraciones formen parte de la muestra tomada, se retira el exceso y se procede a pesar el contenido del recipiente. Una vez ejecutado este procedimiento se busca por medio de un despeje de fórmulas lograr determinar la densidad del producto involucrado.



Figura 1.4 Recipiente graduado para medir la densidad, recreado (Laboratorio, 2019)

1.4.4 Estándares de Calidad de Polvo Detergente

De acuerdo con la Corporación Autónoma de la Región Nororiental, expresado en la

Tabla 1.1, es importante conocer las principales propiedades del detergente en polvo ya que es el producto que se va a manejar en este proyecto, por lo que en la siguiente tabla se describirán las características más relevantes del detergente en polvo, información recopilada de hojas de seguridad de diversos detergentes en polvo.

Tabla 1.1 Propiedades del detergente en polvo (CORPONOR, 2015).

Forma/ estado	Sólido
Apariencia	Aglomerado, blanco con motas de colores
Olor	Agradable (perfume)
PH al 1%	12±1
Densidad aparente	0.75 ±0.1 gr/ml
Solubilidad	100% soluble en agua

En el proceso de medición de densidad de polvo existente una norma técnica a nivel nacional cual corresponde a una traducción de la ISO 697 “AGENTES DE SUPERFICIE — POLVOS PARA LAVAR -DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE-MÉTODO POR PESADA DE UN VOLUMEN DADO”, dicho método consiste en llenar un recipiente con dimensiones conocidas y en condiciones preestablecidas para determinar el peso del producto.

Los elementos usados en dicha normativa son un embudo, siendo este de acero inoxidable o de plástico y de diámetro interno de 60mm para polvo con facilidad de adherencia, donde la superficie a estar en contacto con el polvo debe ser completamente lisa y pulida; un recipiente, en este recipiente será donde se tome la muestra a ser pesada, mismo que debe tener una capacidad de 500ml ±0.5 ml y por último un soporte que garantice que el embudo y el recipiente se mantengan en una posición fija una con respecto al otro.

Para el cálculo de la densidad aparente se lo realiza por medio de la siguiente formula:

Ec. 1.2

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V}$$

Siendo:

ρ : Densidad Aparente [gr/ml]

V: Volumen del interior del recipiente [gr/ml]

m1: Masa del recipiente lleno [gr]

m2: Masa del recipiente vacío [gr]

Donde para obtener un valor definitivo se deben realizar varias repeticiones realizadas por el mismo usuario, de manera inmediata una a continuación de la anterior, obteniendo una media aritmética donde el error no debe superar el 5% (Internacional Organization for Standardization, 2015).

Para la medición de densidad de polvo detergente la empresa de jabonería se basa en un procedimiento denominado “UMA-HPC Método de Análisis de Densidad”, donde se menciona que dicho proceso se realiza para confirmar si el proceso de producción está siendo llevado a cabo de manera normal sin ninguna anomalía y a su vez como un indicador de la variación de la cantidad de producto que se envasa en un paquete (Laudndry CTC, UR&D Vlaardingen, 2008).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño Conceptual y Requerimientos

Basados en la problemática, se estableció el mecanismo para diseñar que se inició tomando en cuenta las actividades que ejecuta el personal de calidad para poder realizar la medición de densidad del detergente en polvo, siendo los principales pasos: la toma de la muestra, traslado y pesaje de la muestra, cálculo de la densidad, tabulación de la densidad obtenida y devolución de la muestra a su sitio inicial; con ayuda de la caja negra y la caja transparente se representará lo que nuestro mecanismo va a efectuar.



Figura 2.1 Caja negra del medidor de densidad.

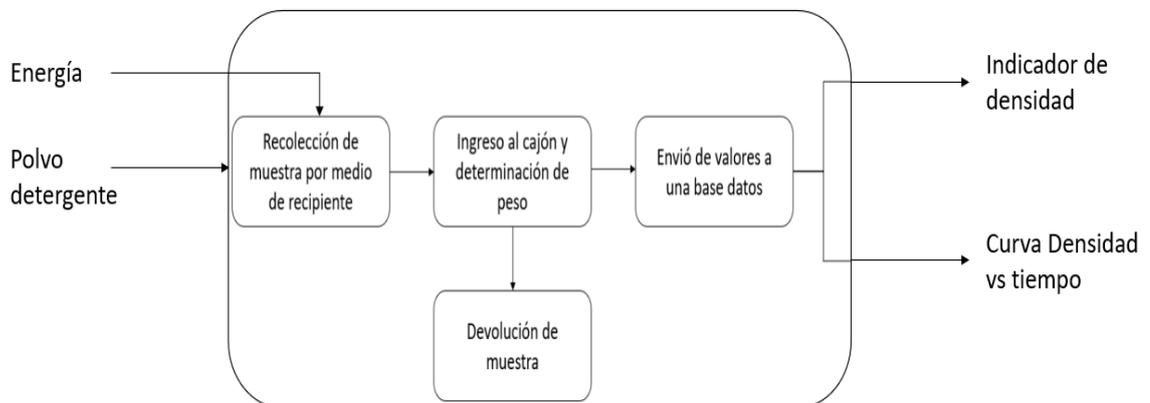


Figura 2.2 Caja Transparente del medidor de densidad.

La caja negra nos ayuda a visualizar cuáles serán las entradas con la que nuestro mecanismo contará y las salidas representan los resultados que el mecanismo nos brindará luego de realizar el proceso en su interior. En la entrada de la caja negra contemplamos el detergente en polvo, debido a que es nuestro material o producto que medir, y la energía cuya función es permitir el accionamiento y activación de componentes internos; como salida se tiene el indicador de densidad que mantiene informado al personal del valor actual de la densidad y la representación gráfica mediante una curva de Densidad vs Tiempo que proporciona información de cómo la densidad varía a lo largo del proceso de producción.

Por otro lado, en la caja transparente se puede observar lo que ocurre dentro de la caja negra, lo que nos ayuda a tener una idea más completa de las necesidades que abarca nuestro mecanismo para obtener las salidas correspondientes de la caja negra.

Inicialmente se accionará un mecanismo por medio de energía, que se ocupe de la recolección de la muestra, en la cual un recipiente con forma y volumen determinado se encargará de tomar una muestra volumétrica exacta del polvo detergente receptado, el mismo mecanismo se trasladará a un cajón o lugar donde el recipiente ya no reciba más producto con la finalidad de conservar la muestra obtenida.

Para la parte del pesaje por medio de galgas extensiométricas se podrá detectar la variación de peso a través de la flexión en el soporte del recipiente lleno con relación al vaso vacío, lo que resultará en un diferencial de potencial fácilmente medible y almacenable en una base de datos externa.

Finalmente, el mecanismo se responsabilizará de regresar la muestra al lugar de donde se tomó y por defecto regresar a su posición inicial para iniciar nuevamente el proceso de medición de densidad del detergente en polvo, a su vez esos datos almacenados son mostrados en tiempo real por medio de una pantalla o un software propio del sistema de recepción de datos, de forma paralela los datos de las anteriores mediciones en dicho proceso son agregadas a una curva de Densidad vs

Tiempo, observando los picos en la densidad del polvo durante la fabricación de cada tanda.

Uno de los objetivos del proyecto es mejorar el tiempo en el que se tarda en retroalimentar al personal acerca de la densidad del polvo, por lo que se solicita que el medidor de densidad sea diseñado para que realice 30 mediciones en una hora, es decir que realice una medición cada dos minutos, donde el proceso mencionado anteriormente en la caja transparente se reduce a dos minutos.

2.2 Factores de Influencia en la densidad del polvo detergente

Para el diseño o futuro montaje del medidor de densidad, se debe conocer el entorno y los diferentes factores a los que el producto está sometido, y en base a eso tomar ciertas precauciones en el diseño del sistema; debido a que estos factores podrían influir en la toma de muestra o al momento de realizarse el pesaje, lo que provocaría que los valores medidos sean erróneos, causando una mala retroalimentación al personal.

Uno de los principales factores que se pueden encontrar es la temperatura, ya que afecta directamente a las propiedades de la muestra y al recipiente que lo contiene, si la temperatura esta elevada al momento de entrar en contacto con el recipiente este, dependiendo del material, se dilatará variando el volumen en su interior, lo cual desviará la medición de su valor real. Manuales de medición de densidad que basan sus procedimientos en regulaciones nacionales establecen que la muestra cuya densidad esta próxima a medirse, su temperatura no debe ser mayor a 20°C, de no ser el caso se puede usar la Ec. 2.1, para realizar la corrección de esta.

Ec. 2.1

$$\rho = \rho_t[1 + \gamma(T - 20)]$$

Siendo:

p: Densidad del producto a 20°C

pt: Densidad del producto a T °C

T: Temperatura a la que se midió la densidad del producto

γ : Coeficiente de expansión volumétrico del producto

Cabe recalcar que en caso de conocerse el valor del coeficiente de expansión volumétrica la muestra no debe encontrarse muy alejada de los 20°C, en el caso de los materiales sólidos específicamente, se recomienda que se encuentren a temperatura ambiente estando dicha temperatura en un rango de entre 20°C y 28°C (ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE METROLOGÍA LEGAL, 2011).

Otro factor que influye en la variación de la densidad de un producto es la presión, este factor influye principalmente en muestras que se encuentran en estado gaseoso, como el producto a medir su densidad es el detergente en polvo la presión no afecta al material en sí, por otro lado, como la medición a realizarse será por medio de un recipiente, la presión del ambiente no afecta en la toma de muestra de datos.

La humedad es un factor que considerar, principalmente al momento de escoger el lugar donde se colocará el medidor de densidad, puesto a que la muestra al ser polvo detergente en un medio húmedo tiende a apelmazarse, lo cual lo vuelve una masa compactada insertando grumos en la muestra tomada, llegando a contaminar la muestra colectada en el recipiente.

Un punto óptimo en el proceso, para asegurar que el polvo no estará apelmazado, sería en la dosificación del producto en los transportadores o a la salida de una zaranda que por medio de las vibraciones asegura que las partículas sean separadas; por otro lado, un punto perjudicial sería en zonas del proceso donde el polvo posee temperaturas superiores al factor previamente establecido, puesto a que, a mayor temperatura, la humedad que se concentra en el ambiente es mayor.

Un factor que no es considerado por los manuales de medición de densidad por “Método de Análisis de Densidad” de (Laudndry CTC, UR&D Vlaardinggen, 2008) y la ISO 697 , pero que se encuentra a diario en el proceso de fabricación de detergente polvo, son las vibraciones, ya sea por ventiladores, zarandas, motores, entre otras, siendo transmitidas en menor magnitud a equipos que se encuentran cerca; para evitar la transmisión de este factor ciertos equipos conectan su salida o entrada de producto a lonas, con la finalidad de que estos elementos puedan absorber la mayor

vibración posible. Si estas vibraciones llegan a ser transmitidas al equipo medidor de densidad, afectará directamente a la recolección de las muestras ya que este factor presente impedirá que el llenado sea uniforme, dejando espacios vacíos en el recipiente o derramando parte de la muestra recolectada antes de pasar a la etapa del pesaje.

Por medio de esta sección se pudo analizar los factores más importantes que afectan en la medición de densidad del detergente en polvo, siendo la temperatura el factor más importante y controlable, debido a que va de la mano de la humedad requiere asegurar siempre una temperatura entre 20°C a 28 °C y que el polvo tomado como muestra no se encuentre apelmazado para obtener una medición confiable; aunque ciertos manuales indican que la presión es un factor que afecta la densidad de la muestra, como nuestro producto se encuentra en estado sólido y el método de medición es por medio de la toma de muestra en un recipiente al aire libre no afecta en los resultados finales; por último, es esencial asegurar que el medio donde sea colocado el instrumento de medición esté libre de vibraciones o que estas sean mínimas para que no afecte el llenado del recipiente al momento de tomar la muestra, garantizando así un volumen constante, como nos indica la teoría para el método de medición a seguir (METTLER TOLEDO).

2.3 Alternativas de Solución

Para las alternativas de solución se identificó las necesidades que posee el medidor de densidad en la parte del movimiento, específicamente en la recepción del material, la forma del recipiente que recolectará dicha muestra y cómo se van a accionar los componentes del mecanismo, por lo que para satisfacer estas necesidades se plantearon diversos escenarios, viendo las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Recepción del material

Ante todo, para la parte de recepción de material, se plantearon dos escenarios, uno donde el mecanismo sea capaz de tomar la muestra de polvo que necesita de manera autónoma, por medio de la implementación de un mecanismo recolector; y

otra donde el medidor pueda tomar la muestra con ayuda de la gravedad, aquella caída libre está presente en la mayor parte del proceso ya que el polvo detergente base una vez creado es llevado a un sexto piso para ir bajando por diferentes silos y transportadores hacia el área de perfumes y envasadoras.

Ambos medios de recepción poseen sus ventajas, en la implementación de un mecanismo recolector, nos brindaría flexibilidad sobre el área donde se podría colocar el medidor, puesto que se tendría que buscar un punto donde el polvo se acumule pero que siga llegando polvo nuevo, en la alternativa del uso de la altura a nuestro favor se puede claramente ahorrar en costos tanto de mantenimiento y de implementación de un mecanismo externo, brindándole independencia de un mecanismo externo.

Accionamiento de mecanismo

En el accionamiento de componentes se hace referencia al tipo de energía que se puede usar para que el mecanismo entre en movimiento, considerando el tipo de energía que se maneja en la planta, se plantearon tres métodos de accionamiento siendo una opción el uso de energía térmica, por medio de pistones donde la compresión y expansión de un fluido nos ayudaría al movimiento lineal de toma de muestras, indicado en la Figura 2.3.

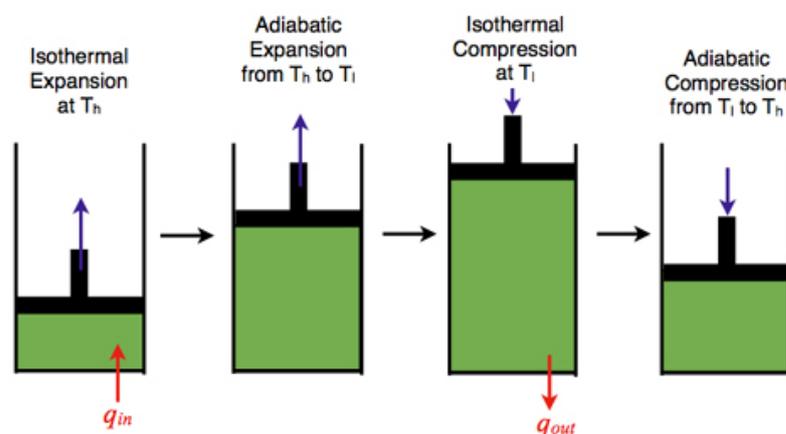


Figura 2.3 Accionamiento de pistón con energía térmica

Otra alternativa sería el uso de energía eléctrica, donde por medio de un motor pequeño se accione el mecanismo y se transmitan los movimientos lineales para la toma y pesaje de la muestra y el movimiento giratorio de devolución de la muestra, a un mecanismo ya sea de engranes o biela manivela, misma que se puede apreciar en la Figura 2.4.

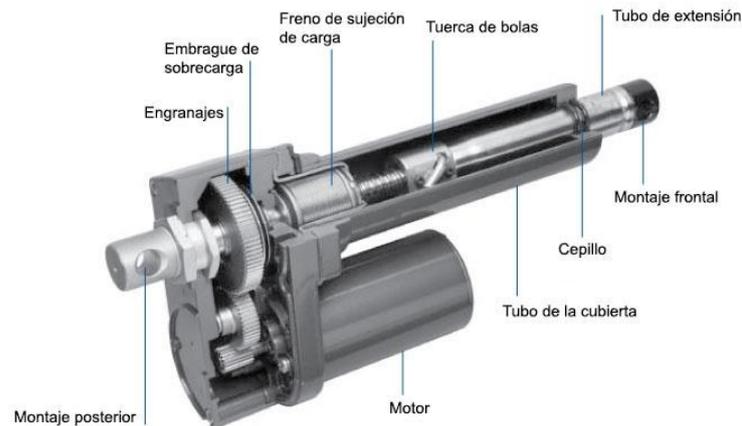


Figura 2.4 Accionamiento de un cilindro con energía eléctrica

Como última alternativa se posee la energía neumática, donde se trabajaría con lo que es aire comprimido, la planta actualmente consta de tres compresores de tornillo donde a medida que se requiere aire comprimido se activan dos o tres de estos compresores, por lo que destinar parte de esta energía al medidor sería viable, el mecanismo comprendería lo que es un cilindro neumático para el movimiento lineal, y un actuador giratorio para la devolución de la muestra, el funcionamiento de dicho cilindro se lo puede observar en la Figura 2.5.

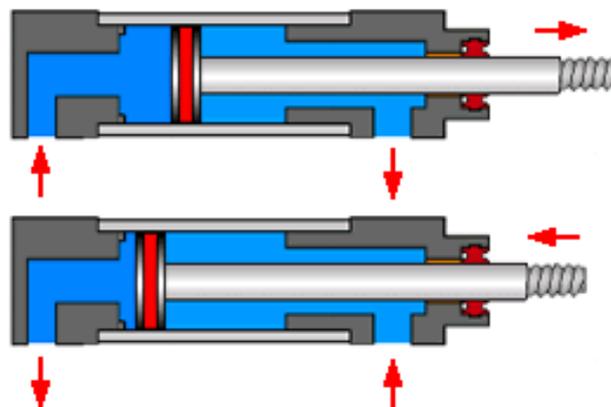


Figura 2.5 Accionamiento de cilindro con energía neumática

Forma del recipiente

Para la forma del recipiente se han propuesto varias alternativas, donde los factores considerables son: obtener un llenado uniforme del recipiente, tiempo de llenado y que el polvo no se quede pegado en el recipiente, las formas a tomar en cuenta son cilíndrica, mismos que son muy usados en los laboratorios; trapezoidal, dichos recipientes son muy comunes a la salida de transportadores por su capacidad y uniformidad en el llenado; y semiesférica los cuales poseen una superficie lisa en toda su geometría y su capacidad de almacenaje, como se muestra en la Figura 2.6.

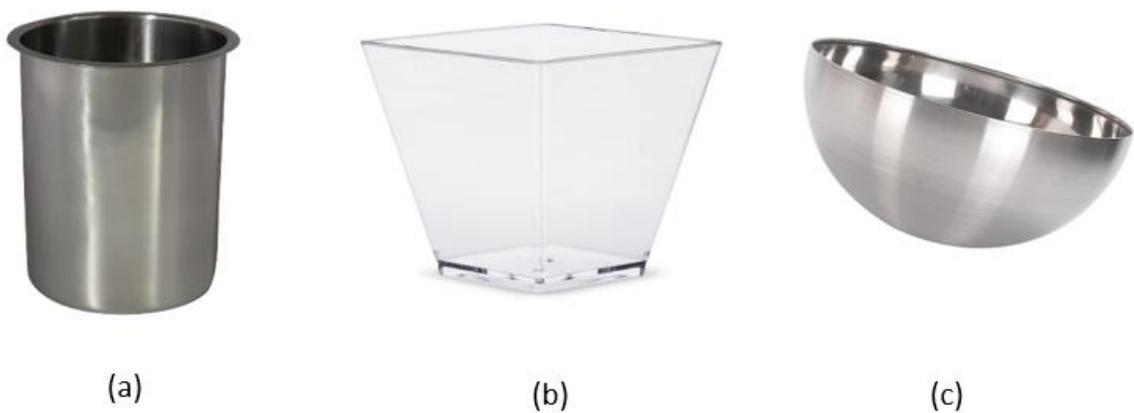


Figura 2.6 Recipientes (a) Cilíndrico (b) Trapezoidal (c) Semiesférico

Alternativas finales

Para alcanzar un mejor entendimiento de las alternativas de solución planteadas anteriormente, se establecieron tres tablas, Tabla 2.1, Tabla 2.2 y Tabla 2.3, con la finalidad de evaluar, en la matriz de decisión, una mayor cantidad de características dentro del cada alternativa, profundizando así cada uno de los parámetros fundamentados.

Tabla 2.1 Alternativas de solución para la recepción del material.

ALTERNATIVA 1	Gravedad
ALTERNATIVA 2	Mecanismo externo

Tabla 2.2 Alternativas de solución para el accionamiento de mecanismo.

ALTERNATIVA 1	Energía térmica
ALTERNATIVA 2	Energía eléctrica
ALTERNATIVA 3	Energía neumática

Tabla 2.3 Alternativas de solución para la forma del recipiente.

ALTERNATIVA 1	Cilíndrica
ALTERNATIVA 2	Trapezoidal
ALTERNATIVA 3	Semiesférica

2.4 Matriz de decisión y selección de la alternativa a diseñar

Con la finalidad de obtener los resultados más viables con el cliente, se estableció el nivel de importancia dentro de cada característica en la Tabla 2.4 por el que se ponderará las alternativas establecidas como solución para cada uno de los sistemas mencionados en la sección anterior.

Mantenimiento: Es ideal que el mecanismo a implementar posea un plan de mantenimiento a nivel primario o básico, para mantener la eficiencia del sistema y evitando largos tiempos sin recopilación de datos por mantenimiento. De igual forma los componentes que estructuran el mecanismo deben ser accesibles o estandarizados para el cliente.

Costo: La implementación del mecanismo debe ser viable, que su inversión sea menor que importar un producto que alcance la misma finalidad que el medidor de densidad de detergente en polvo, al igual que el costo de cada una de las piezas que conforman al mecanismo final.

Ubicación del medidor: Dentro del proceso de fabricación del detergente en polvo existen varios puntos en los que se puede tomar la respectiva muestra para su evaluación, sin embargo el lugar donde se va a implementar el medidor depende del tipo de sistema con el que se recepte el material, si es por medio de la gravedad, debe ser mientras el polvo descienda de un proceso a otro; mientras que si es por medio de un mecanismo externo con accionamiento, debe ser mientras es pasa por una banda transportadora.

Velocidad: La velocidad es una condición física que se puede aplicar en diversos escenarios, para este proyecto se requieren tres, recolección, es decir la velocidad que posee el mecanismo para coleccionar la muestra en el recipiente; accionamiento,

se enfoca en la velocidad que alcanza un componente especificado en transmitir la señal de entrada en un movimiento establecido; y finalmente llenado, que es la velocidad con la que el recipiente logra llenarse de producto para avanzar a su siguiente etapa.

Confiabilidad: Su capacidad de satisfacer los requerimientos del cliente mediante el cumplimiento de las funciones solicitadas y alcanzando su eficiencia óptima durante el tiempo solicitado.

Devolución de la muestra: A medida que se toman muestras, se requiere que el vaciado del producto sea completo, evitando que quede residuo que la muestra anterior en el recipiente para disminuir una medición errónea durante el proceso.

Espacio que ocupa: A pesar de que va relacionado con los costos, dentro de la forma del recipiente una de las limitantes existentes es el espacio disponible para todo el mecanismo, evaluando así la forma que ocupa menos espacio como la ideal, a pesar de que abarcan el mismo volumen.

Tabla 2.4 Escala de Ponderación

Valoración	Puntaje
Excelente	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Recepción del material

Tabla 2.5 Matriz de decisión para la recepción del material

Criterios	Peso	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total
Mantenimiento	30%	5	1.50	3	0.90
Costo	40%	5	2.00	3	1.20
Ubicación del medidor	15%	2	0.30	5	0.75
Velocidad de recolección	15%	4	0.60	5	0.75
Puntaje	100%	4.40		3.60	
Puesto de Clasificación		1		2	

Accionamiento del mecanismo

Tabla 2.6 Matriz de decisión para el accionamiento del mecanismo

Criterios	Peso	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Mantenimiento	20%	4	0.80	5	1.00	4	0.80
Costo	30%	2	0.60	3	0.90	4	1.20
Confiabilidad	40%	2	0.80	5	2.00	5	2.00
Velocidad de accionamiento	10%	3	0.30	5	0.50	5	0.50
Puntaje	100%	2.10		4.40		4.50	
Puesto de Clasificación		3		2		1	

Forma del recipiente

Tabla 2.7 Matriz de decisión para la forma del recipiente

Criterios	Peso	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Devolución de la muestra	35%	3	1.05	2	0.70	5	1.75
Costo	40%	5	2.00	4	1.60	3	1.20
Velocidad de llenado	15%	3	0.45	5	0.75	4	0.60
Espacio que ocupa	10%	4	0.40	3	0.30	5	0.50
Puntaje	100%	3.90		3.35		4.05	
Puesto de Clasificación		2		3		1	

Según la evaluación ejecutada en cada una de las matrices de selección, el mecanismo ideal posee un sistema de recepción del material por medio de la gravedad, la cual se puede visualizar en la Tabla 2.5, siendo el menos costoso y en comparación con el mecanismo externo, no requiere mantenimiento; de igual forma el accionamiento del mecanismo más óptimo es con energía neumática, Tabla 2.6, ya que se aprovecharía las instalaciones ya existentes y el excedente de aire comprimido generado por la planta; por último, la forma del recipiente que devuelve la muestra por completo y ocupa menos espacio es semiesférica, Tabla 2.7, a pesar de que su costo es un poco más elevado en relación a las otras alternativas, esto último en base a las cotizaciones preliminares recibidas con la finalidad de evaluar el costo de los recipientes seleccionados.

Una vez seleccionado el sistema de recepción del material, el accionamiento del mecanismo y la forma del recipiente, se consideran dos diseños para la distribución de las alternativas previamente seleccionadas en la Figura 2.7. Donde la alternativa 1 cuenta con sistema retráctil y rotatorio para el recipiente recolector de la muestra, manteniendo los otros componentes estáticos; y la alternativa 2 posee un techo retráctil, el recipiente recolector rotatorio y una base libre para el descenso del polvo al descargarse.

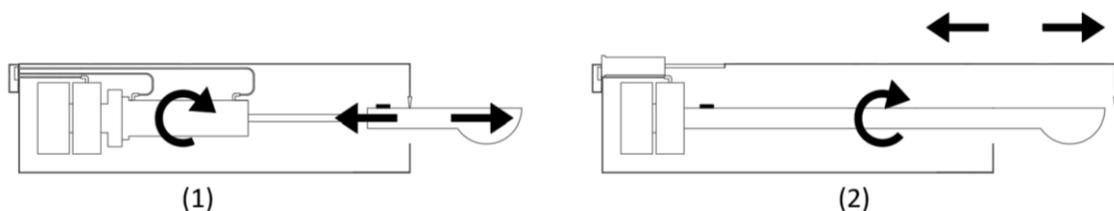


Figura 2.7 Alternativas de solución.

Con la finalidad de evaluar ambas alternativas se desarrolló una matriz de decisión para seleccionar el diseño final, Tabla 2.8, donde se establecieron parámetros como la fatiga de elementos debido a la exposición que sufren a la polución, el espacio que ocupa para recolectar la muestra ya que interfiere en la caída del polvo, el mantenimiento y costo que son factores relacionados a la cantidad de elementos que requiere el sistema y la facilidad de obtener los repuestos de cada elemento.

Tabla 2.8 Matriz de decisión para alternativa de medidor de densidad.

Criterios	Peso	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total
Fatiga de elementos	15%	4	0.60	4	0.60
Espacio que ocupa	40%	4	1.60	3	1.20
Mantenimiento	15%	5	0.75	4	0.60
Costo	30%	4	1.20	5	1.50
Puntaje	100%	4.15		3.90	
Puesto de Clasificación		1		2	

En base a la matriz de decisión, se seleccionó la alternativa 1, siendo el recipiente de recepción quien realizará el movimiento lineal para la toma de muestras.

2.5 Diseño de Forma

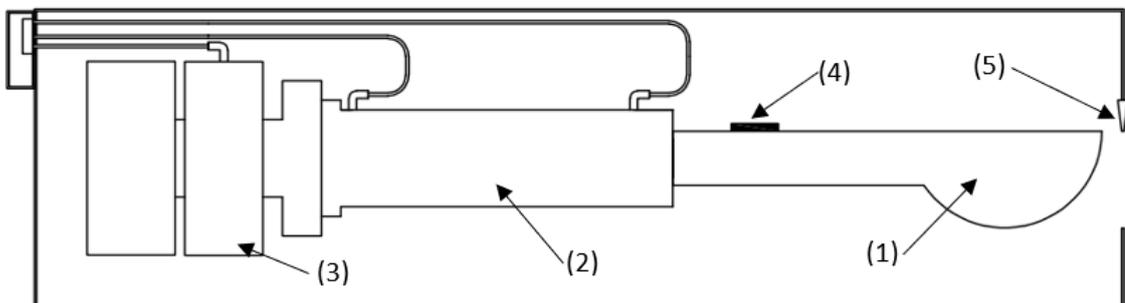


Figura 2.8 Diseño de forma y sus principales partes

- (1) Recipiente de recepción
- (2) Cilindro neumático
- (3) Actuador giratorio neumático
- (4) Galga extensiométrica
- (5) Raspador de polvo

Una vez observado el diseño de forma del medidor de densidad del polvo con sus elementos principales, se procedió a indicar las tres posiciones principales en las que trabaja el mecanismo, según se muestra en la Figura 2.9, las cuales son:

- (1) Recepción de polvo detergente
- (2) El pesaje de la muestra tomada dentro de la cabina
- (3) Devolución de la muestra, para que vuelva a su posición normal y el paso (1) se repita.

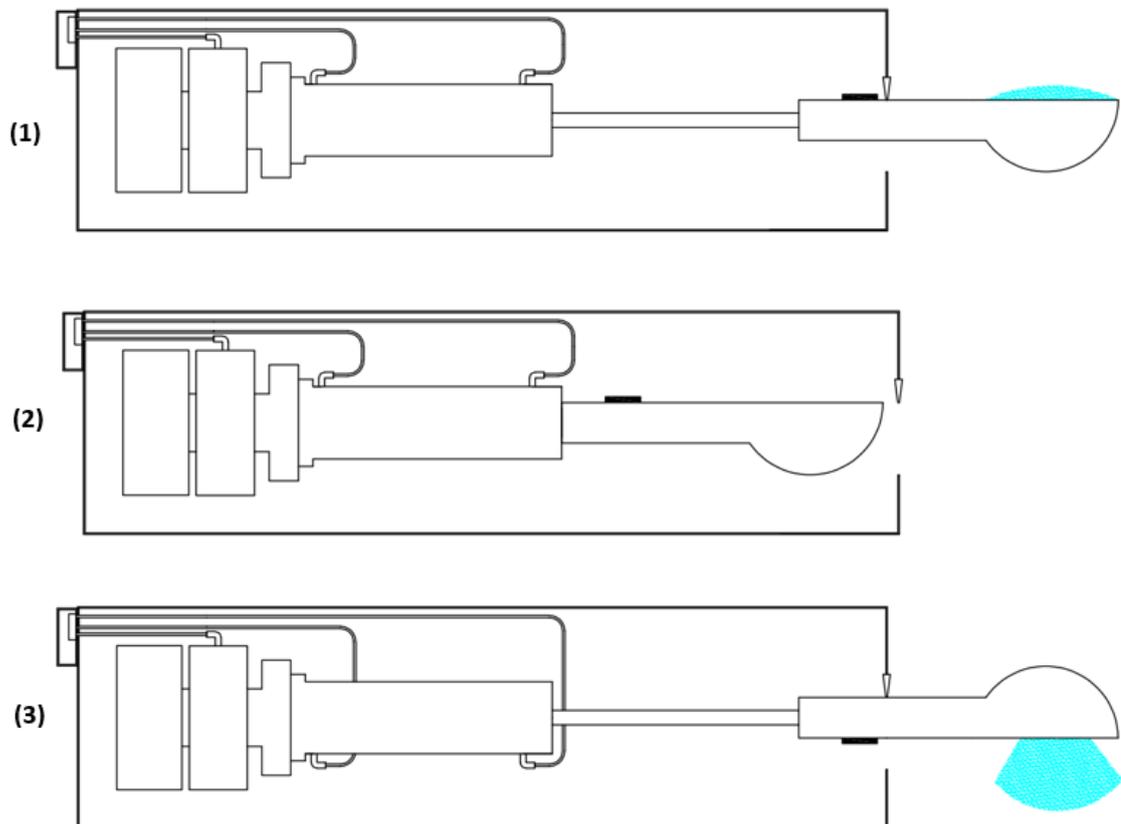


Figura 2.9 Funcionamiento del medidor de densidad.

2.6 Cálculos y Selección de Componentes

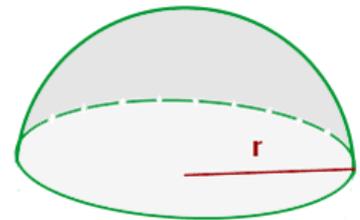
Dimensionamiento recipiente de recepción.

Como se vio en el marco teórico (Estándares de Calidad de Polvo Detergente) el tamaño de la muestra cuya densidad se va a medir debe ser mayor a 500ml, por lo que el valor de muestra seleccionada será de 500 ml, a partir de dicho valor se realizó el cálculo. Con dicho volumen se ejecutó el cálculo de las dimensiones del recipiente.

$$V = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3 = \frac{2}{3} \pi r^3 \quad (2.2)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V}{2\pi}}$$

$$r = 65 \text{ mm}$$



Para el cálculo del volumen del brazo que soportará el recipiente, se procedió a ejecutar la simulación mediante un software, como se muestra en la Figura 2.10, con la finalidad de obtener un volumen más exacto del recipiente, empleando las dimensiones calculadas anteriormente, luego de esto se realizó el cálculo del área mínima requerida para el peso que soportará el mecanismo.

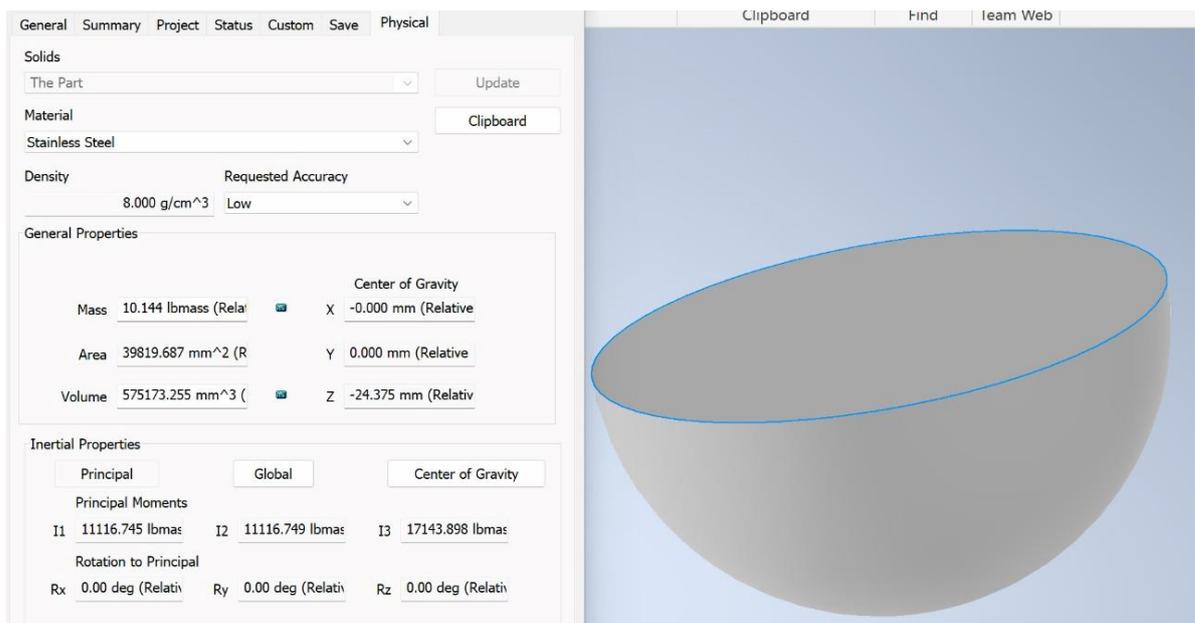


Figura 2.10 Volumen de llenado del recipiente.

Conociendo el volumen por medio de la densidad aparente del producto a tratar, se continuó a realizar el cálculo de la masa y posterior a esto, la fuerza que soporta el recipiente, donde para dicho cálculo se consideró la densidad estándar del detergente (

Tabla 1.1) siendo su valor de 0.75 gr/ml; partiendo de la ecuación de la densidad se obtiene:

$$m = \rho V$$

$$m = 0.4314 \text{ kg}$$

$$F = mg$$

$$F = 4.23 \text{ [N]}$$

Respecto a la longitud del brazo, se lo diseñó con un valor de 20 cm, de tal manera que se pueda aprovechar la caída de detergente a la entrada de los silos como se muestra en la Figura 2.11, Figura 2.12,

Figura 2.13, Figura 2.14 dado que, en su mayoría, poseen un diámetro superior de entre 1.20 a 2 metros, en la Tabla 2.9 se puede ver las propiedades del material a implementarse, que es Acero Inoxidable 304, ya que se encuentra dentro de los estándares de superficie. Debido a que el comportamiento del brazo que soporta el recipiente al estar conectado a un cilindro neumático es similar al de una viga en voladizo, se aplicó dicho modelo para realizar los cálculos, determinando el momento máximo con ayuda del software online (SkyCiv, 2022), posterior a esto se encontraron las dimensiones de la superficie transversal.

Tabla 2.9 Propiedades de materiales (Norton, 2018).

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)				Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
			Fluencia S_y MPa (kpsi)	Última S_u MPa (kpsi)	A la fractura, σ_f MPa (kpsi)	Coefficiente $\sigma_{0.2}$ MPa (kpsi)		
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) [†]	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) [†]	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) [†]	1 410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) [†]	1 270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18

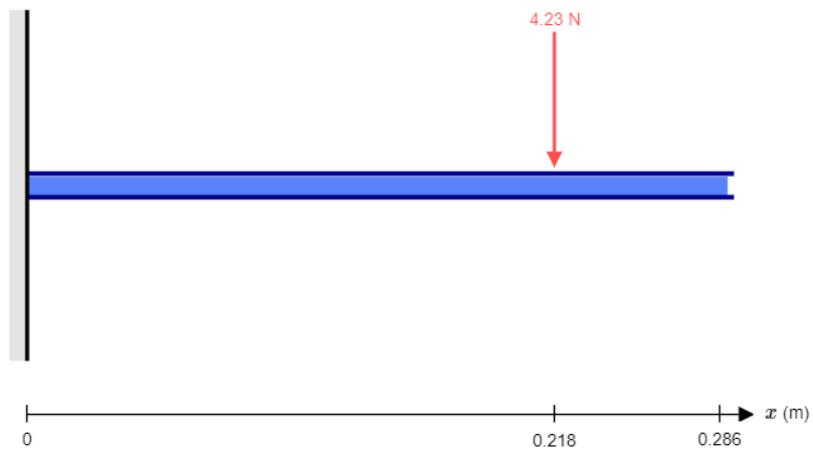


Figura 2.11 DCL del brazo del recipiente.

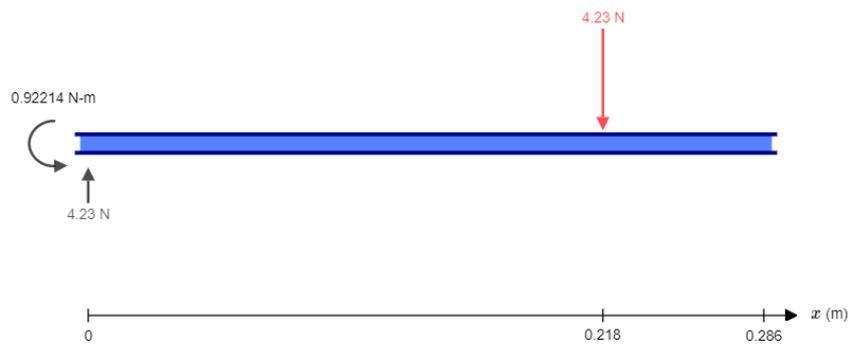


Figura 2.12 Reacciones del brazo del recipiente.

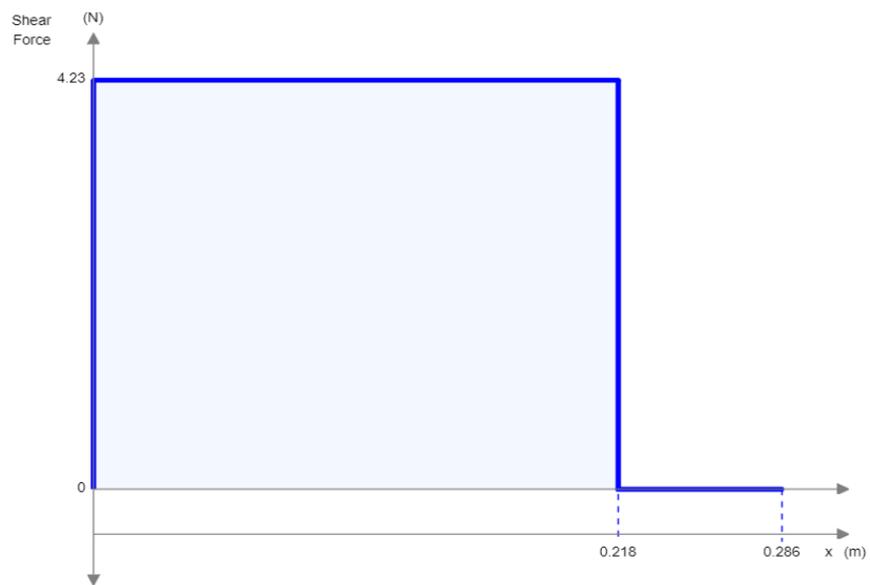


Figura 2.13 Diagrama Cortante del brazo del recipiente.

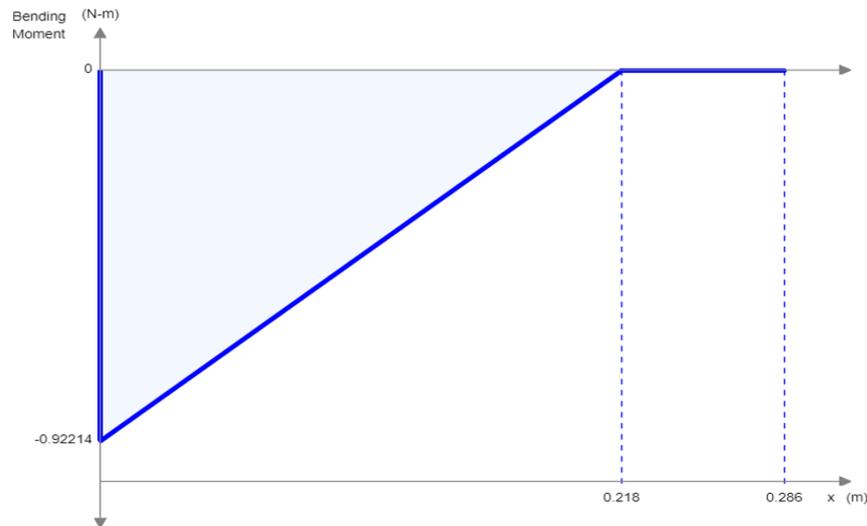


Figura 2.14 Diagrama del Momento Flector del brazo del recipiente.

$$\sigma = \frac{My}{I}; y = h/2$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3; b = 2h$$

$$\sigma = \frac{3M}{h^3}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma}; N = 2$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{3M}{\sigma}}$$

$$h = 3mm$$

Selección del cilindro neumático

Sabiendo que la masa a transportar es de 0.413 kg con un factor de seguridad de 3, para que se asegure el desplazamiento del cilindro; y con un recorrido de vástago de 150mm, se supuso que la presión de aire comprimido sale a 6 bares y a su vez se consideró un tiempo de accionamiento de 0.6 segundos. La Figura 2.15 muestra que, con ayuda de la aplicación online de (Festo Inc., 2022), marca muy común en equipos neumáticos, se obtuvo el cilindro adecuado con los accesorios necesarios, siendo el cilindro.

Resultado exacto			
Cilindro DSNU-16-150-P-A 1908265	Diámetro del pistón 16 mm	Tiempo de posicionamiento 600 ms	Emisión de CO ₂ / Ciclo 0.01 g
Válvula VUVG-LK10-M52-AT-M7-1R8L-S 8042551	Caudal 340 l/min	Consumo de aire/ Ciclo 0.43 l	

Mostrar todos los componentes de las soluciones

Mostrar energía y CO₂

Mostrar precios [Comprar ahora](#)

Figura 2.15 Selección de cilindro neumático y sus partes

En la Figura 2.16 se muestra un actuador giratorio neumático, el cual se seleccionó para la devolución de la muestra, con una única condición, que mínimo logre un giro de 180°, siendo seleccionado el actuador DSRL-32-180-P, donde se podrá fijar al cilindro escogido anteriormente por medio de una brida que viene incorporada en el girador.

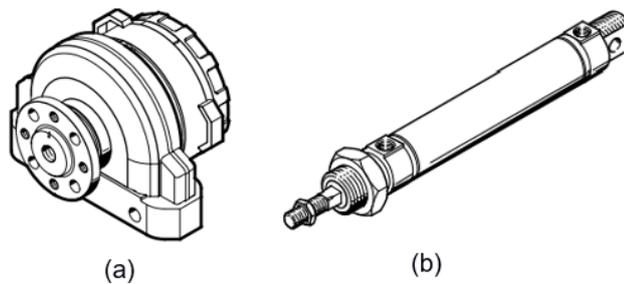


Figura 2.16 (a) Actuador giratorio DSRL (b) Cilindro neumático DNSU

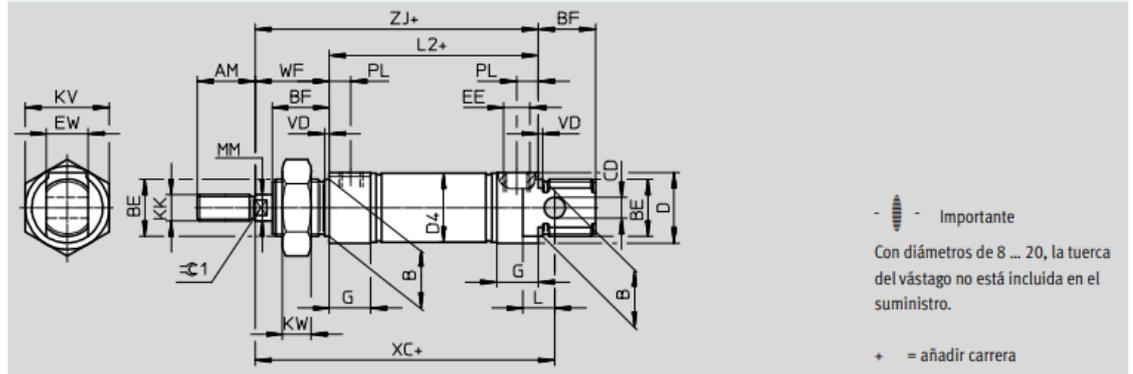
Tabla 2.10 : Especificaciones de cilindro DSNU.

Cilindros normalizados DSNU, ISO 6432



Hoja de datos

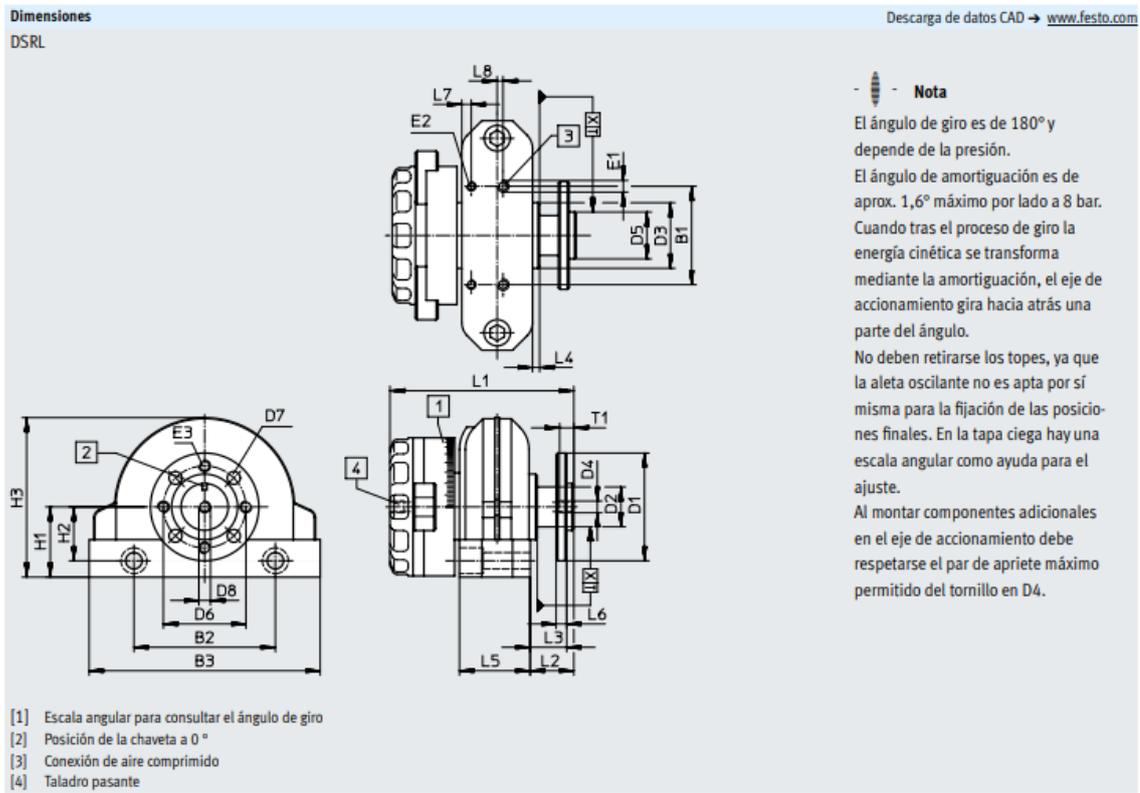
Dimensiones Tipo básico Datos CAD disponibles en → www.festo.com



∅	AM	B ∅ h9	BE	BF	CD ∅ H9	D ∅	D4 ∅	EE	EW	G	KK	KV
8	12	12	M12x1,25	12	4	15	9,3	M5	8	10	M4	19
10							11,3					
12	16	16	M16x1,5	17	6	20	13,3		12		M6	24
16							17,5					
20	20	22	M22x1,5	20	8	27	21,3	G½	16	16	M8	32
25	22			22			26,5				M10x1,25	

∅	KW	L	L2	MM ∅	PL	VD	WF	XC ±1	ZJ	≈G1
8	6	6	46	4	6	2	16	64	62	-
10										
12	8	9	50	6	6	22	75	82	72	5
16			56							
20	11	12	68	8	8,2	24	95	92	92	7
25			69,5							

Tabla 2.11: Especificaciones de Actuador giratorio DSRL.



∅	B1	B2	B3	D1 ∅	D2 ∅	D3 ∅ h8	D4	D5 ∅ f8	D6 ∅	D7 ∅ H13	D8 ∅ mín.	E1	E2	E3	H1
[mm]															
10	22	32	53	30	10	20	M3	11	21	3,4	1,5	M3	M3	M3	19,4
12	26	40	65	33	13	22	M3	14	25	3,4	1,5	M5	M3	M3	23,5
16	30	46	78	38	14	24	M5	16	28	4,5	3,5	M5	M3	M4	27
25	42	60	98	46	17	28	M5	20	35	5,5	3,5	M5	M4	M5	30
32	54	80	130	60	24	42	G1/8	28	45	6,5	7	G1/8	M4	M6	43
40	70	100	160	70	30	52	G1/8	36	54	9	7	G1/4	M4	M8	53

∅	H2	H3	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	S1	S2	T1	X	Par de apriete en D4 [Nm]
[mm]															
10	15,5	38,8	49	14	12,3	4,5	15,1	3	2,2	2	3,4	6	5	0,35	0,7
12	18,5	48	54,2	13,5	11,5	3,5	18	3	2,1	2,5	4,4	8	5	0,35	1,2
16	20,5	56,5	64,7	16	14	3,5	22,5	4	2,1	-	5,5	10	6	0,35	1,2
25	23	68,1	78	18,5	15,5	3	30	4,5	4	-	7	11	6	0,4	5,5
32	34	92	102,8	26	22	7	36	6	4	-	8,5	15	8	0,45	5,5
40	40	121	134,5	31	26	6	50	7,5	4	-	8,5	15	8	0,5	5,5

Conociendo ya las dimensiones de los elementos neumáticos a usar, Tabla 2.10 y Tabla 2.11, con los que el mecanismo va a trabajar, considerando como valor de referencia la rosca en el eje del cilindro neumático de tipo M6, se puede decir que las dimensiones de la base y altura del brazo que soporta el recipiente de recepción son de 20 mm y 10 mm respectivamente, con lo que se garantiza una correcta unión cilindro-recipiente de recepción.

Tabla 2.12: Propiedades Mecánicas de Metales (Budynas & Nisbett, 2019).

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Densidad de peso γ	Densidad de masa ρ	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	Mg/m ³	
Aleaciones de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro, fundido, gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro, fundido, dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro, fundido, maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero, carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero, aleaciones	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero, inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Propiedades de algunos metales y aleaciones, International Nickel Co., Inc., N.Y.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Para la realización del sistema de pesaje se escogió realizarlo por medio de galgas extensiométricas, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 2.13, por medio de la disposición de puentes de Wheatstone, para medir el diferencial de potencial cuando el material se deforme, donde las propiedades del material se aprecian en la Tabla 2.12, a causa de la flexión que ocasiona la variación de peso por el llenado del recipiente. Para anular el error de deformación de galga por temperatura, se utilizará una distribución de una galga en la parte superior y otra en la parte inferior, como se muestra en la Figura 2.17.

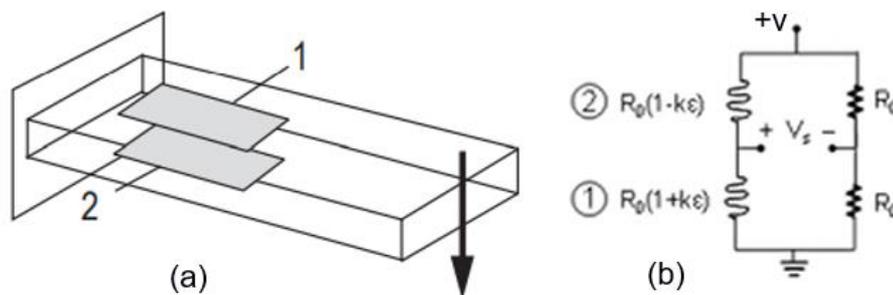


Figura 2.17 (a) Posicionamiento de galgas (b)Puente de Wheatstone.

Tabla 2.13 Especificaciones técnicas de galga extensiométrica G Series

SG construction	Foil strain gauge
Carrier	Glass fiber reinforced phenolic (35 ±10) µm
Grid foil	Constantan (3.8 or 5 µm, depend on type)
Encapsulation	Glass fiber reinforced phenolic (25 ±5) µm
Connections	Nickel-plated copper leads (0.2 or 0.3 x 0.06 x 30 mm, depend on type)
Resistance	350 ... 1,000 Ohm (depended on design)
Resistance tolerance	±0.35%
Gage factor	Approx. 2
Gage factor tolerance	±1.5% for grid length <3 mm ±0.7% for grid length ≥3 mm
Reference temperature	23 °C
Operating temperature range static	-70 °C ... 200 °C
Operating temperature range dynamic	-200 °C ... 200 °C
Temperature response α for ferritic steel (1) α for aluminum (3)	10.8 ppm/K (6.0 ppm/°F) 23 ppm/K (12.8 ppm/°F)
Temperature response tolerance	± 0.3 ppm/K
Fatigue life ¹⁾	>10 ⁷ cycles at 1,200 µm/m
Maximum elongation Positive direction Negative direction	20,000 µm/m (1%) 50,000 µm/m (3.5%)
Min. bending radius	3 mm
Recommended adhesive	EP310N or P250
Option "Stick-On"	Pre-coated adhesive layer on request (P250)

$$Rg_1 = R_0(1 + k\varepsilon); \text{Tensión}$$

$$Rg_2 = R_0(1 - k\varepsilon); \text{Compresión}$$

$$V_s = \frac{k\varepsilon}{2} V$$

$$\sigma = \varepsilon Y$$

$$\sigma = \frac{3M}{h^3}$$

$$\sigma = 2.8 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 1.47 \times 10^{-5}$$

$$V_s = 0.147 \text{ mV}$$

Por medio del uso de OpAmps se puede acondicionar la señal para que esta sea detectable al sistema de adquisición de datos, para esto se usaron dos configuraciones la de Amplificador Inversor y la de Inversor para rectificar el voltaje, mostrado en la Figura 2.18.

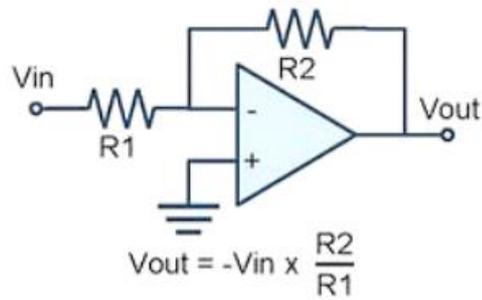


Figura 2.18 Circuito de Amplificador Inversor.

$$V_{out} = -\frac{R2}{R1} V_s$$

Esperando un voltaje de salida de 4 Volts se necesita:

$$R2 = 2.78M\Omega \text{ y } R1 = 100\Omega$$

Al no ser estas resistencias comerciales, se seleccionaron dos para que cumplan una relación similar, obteniendo

$$R2 = 2.7M\Omega \text{ y } R1 = 100\Omega$$

$$V_{out} = -3.97 V$$

Para la rectificación del voltaje se usó el mismo circuito con la condicionante de que $R1 = R2$ escogiendo un valor comercial de 10k.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se especifica los componentes del sistema de medición continua, el ensamble de estos y finalmente se evalúa la viabilidad del proyecto, con un análisis de costos en la elaboración del mecanismo.

3.1 Planos elaborados

Para la elaboración de los planos en la sección de resultados se segmentó el contenido en tres partes fundamentales, en la parte mecánica, electroneumática y electrónica, con la finalidad de detallar las partes del sistema y los mecanismos implementados con sus respectivas especificaciones.

Plano Mecánico

En el diseño mecánico del sistema para los elementos que lo conforman, se utilizó el software “Inventor Profesional 2023” de licencia estudiantil, con lo cual se obtuvo una representación visual del mecanismo con cada uno de los elementos establecidos en la metodología, se realizó una visualización explotada para interpretar de una mejor manera los componentes que conforman el sistema en el Plano 1, acompañada de una tabla de contenido con los detalles requeridos para cada elemento, consecuentemente se ejecutó un plano detallado para cada elemento especificando sus dimensiones para alcanzar la medida deseada y que en el ensamble no exista inconveniente alguno.

Plano Electroneumático

Como resultado se obtuvieron dos tipos de planos uno neumáticos, el cual se pudo observar la distribución de la línea de aire comprimido a lo largo del mecanismo, donde se pudieron incluir elementos, los cuales no se consideraron en la metodología, puesto a que dichos elementos no son estimados para la parte del cálculo, mismos que se pueden visualizar en el Plano 10 en el Apéndice.

Por otro lado, la parte eléctrica se realizó el Plano 11 (ubicado en el Apéndice) que corresponde al accionamiento de las electroválvulas, las cuales regulan el caudal de aire de los elementos neumáticos, los cuales permiten el movimiento de nuestro mecanismo, mismo que no fue tomado en cuenta desde un inicio, pero con ayuda del software FluidSim de Festo, se pudo modelar un sistema eléctrico que se ajuste a las necesidades del mecanismo,

Plano Electrónico

Los planos fueron realizados con la ayuda del software Proteus 8, puesto que la parte electrónica corresponde al sistema de medición, donde por medio de teoría y fórmulas mencionadas en el capítulo anterior, se pudo modelar el sistema de pesaje que se acopló correctamente a las necesidades del proyecto; dicho circuito esta descrito en el Plano 9 mismo que se encuentra en el Apéndice.

Adicional se pudo obtener con una mayor precisión los elementos a usarse, donde cabe recalcar que por motivos estudiantiles se usó una placa de Arduino UNO, la cual simulará la tarjeta a cotizar dependiendo de las necesidades de nuestro proyecto por medio de un proveedor externo.

3.2 Simulación del mecanismo

Para el desarrollo de la simulación de los elementos mecánicos se utilizó Inventor Professional con licencia estudiantil, el cual se basó en el accionamiento del cilindro por medio de aire comprimido, permitiendo el desplazamiento inicial de 150mm, como se muestra en la Figura 3.1, dejando el recolector fuera de la caseta para tomar la muestra del detergente en polvo que cae mediante la gravedad.

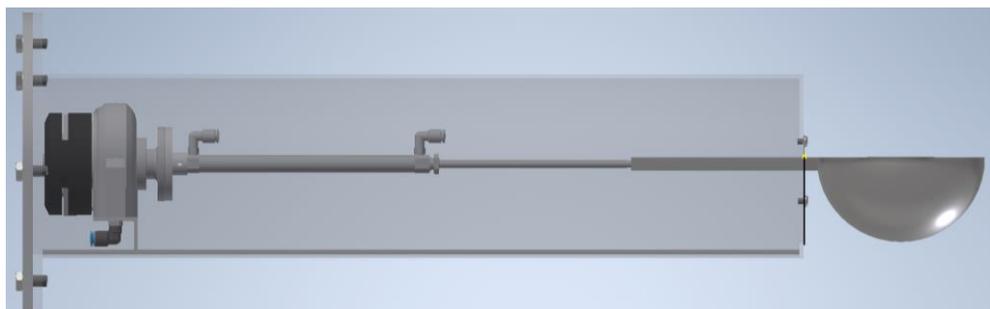


Figura 3.1 Toma física de la muestra.

La Figura 3.2 demuestra cómo, después de 20 segundos tomando la muestra, se acciona el movimiento inverso el cual permite que la cuchara regrese a su posición inicial; al pasar por el raspador se remueve el exceso de muestra recolectada, abarcando la totalidad del volumen deseado sin excedente.

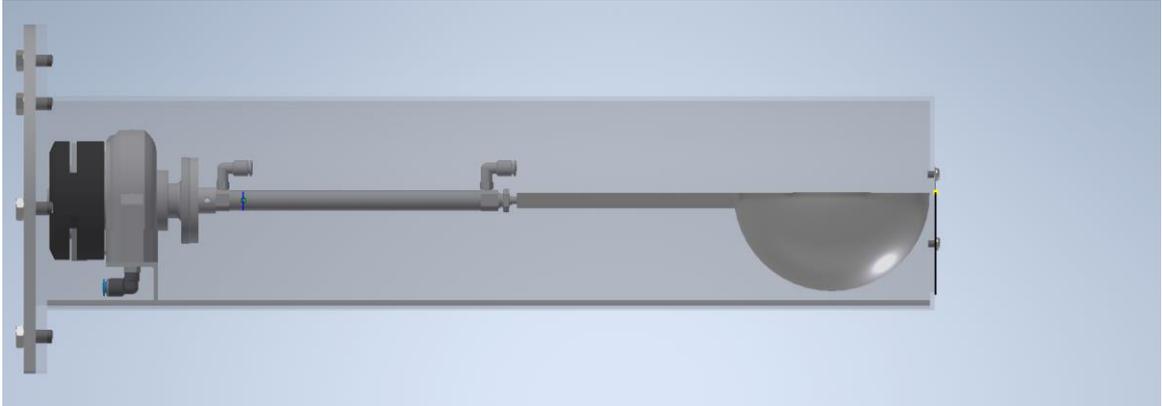


Figura 3.2 Posición de pesaje de muestra.

En esta posición se dispone de 40 segundos para medir la deformación a la que es sometido el recolector, según la simulación realizada en Inventor Professional 2023 con licencia estudiantil, en un análisis estructural estático, el recolector alcanza una deformación máxima de 4.03×10^{-5} m/m mostrado en la Figura 3.3, en el mango sostenido por el cilindro neumático.

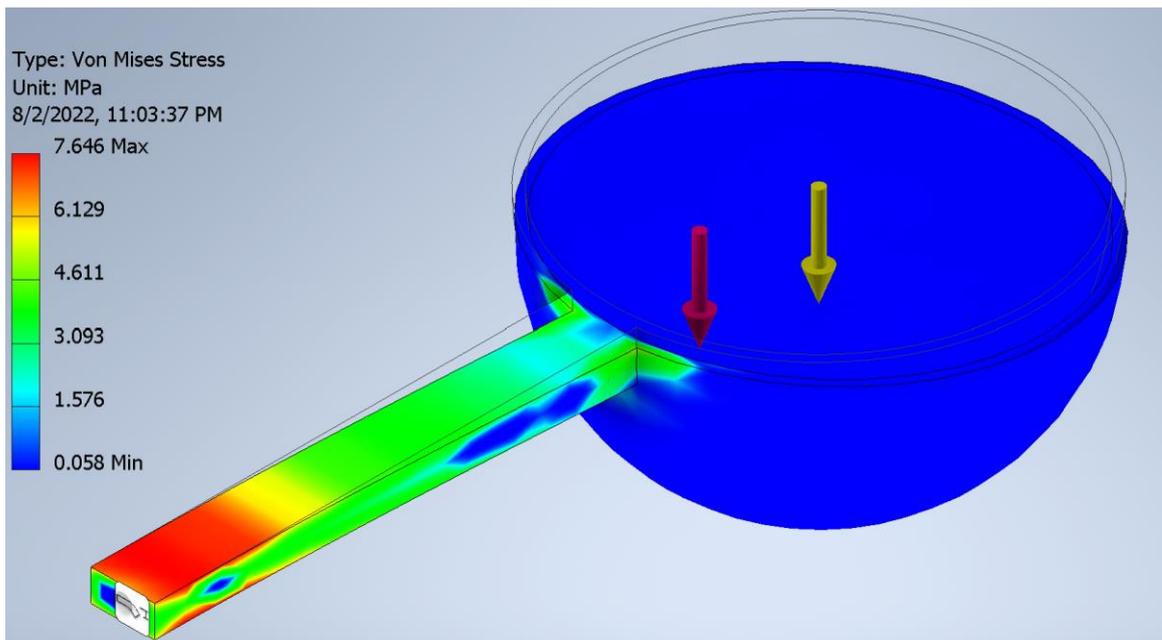


Figura 3.3 Deformación del recolector con la muestra tomada.

La Figura 3.4 muestra cuando se desplaza el pistón del cilindro neumático para que el recolector salga y luego rote, por medio del accionamiento del actuador neumático, con la finalidad de devolver la muestra al proceso de producción, consecuentemente el recolector regresa a su posición inicial para repetir el proceso. Finalmente, cada ciclo del proceso toma 1 minuto.

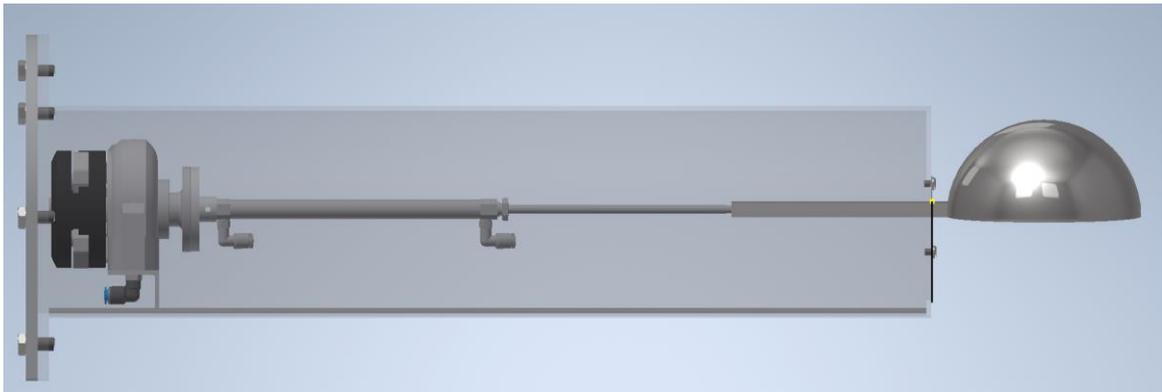


Figura 3.4 Devolución física de la muestra.

Simulación Electroneumático

Se realizó por medio del programa FluidSim de Festo, donde el funcionamiento es en cuatro tiempos; en la Figura 3.5 se muestra el primer tiempo, donde el cilindro se encuentra recogido, debido a que el sistema está pesando la muestra. Como el primer accionamiento no posee muestra, el valor indicado de la densidad debe ser igual a 0 kg/m³, puesto a que, durante 40 segundos el circuito no activa ninguna de las bobinas.

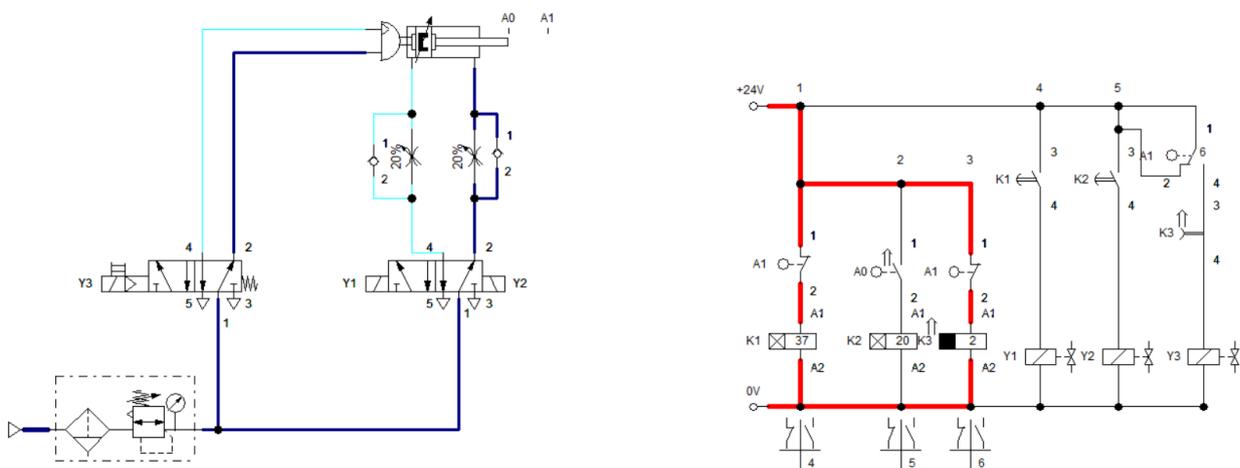


Figura 3.5 Estado inicial del medidor de densidad.

En la segunda etapa, se puede ver cómo una vez pasados los 40 segundos, se cierra el tramo 2 energizando el relé K2 para el cual permite activar la bobina Y1 activando el ingreso de aire en la electroválvula, como se puede apreciar en la Figura 3.6, por otro lado al llegar a la posición A1, los dos sensores de posición, tanto de la línea 1,3 y el switch de posición se abren, brindando un diferencial de potencial al relé durante 2 segundos, lo que activa la bobina 2, girando 180 grados el actuador movimiento que se muestra en la Figura 3.7.

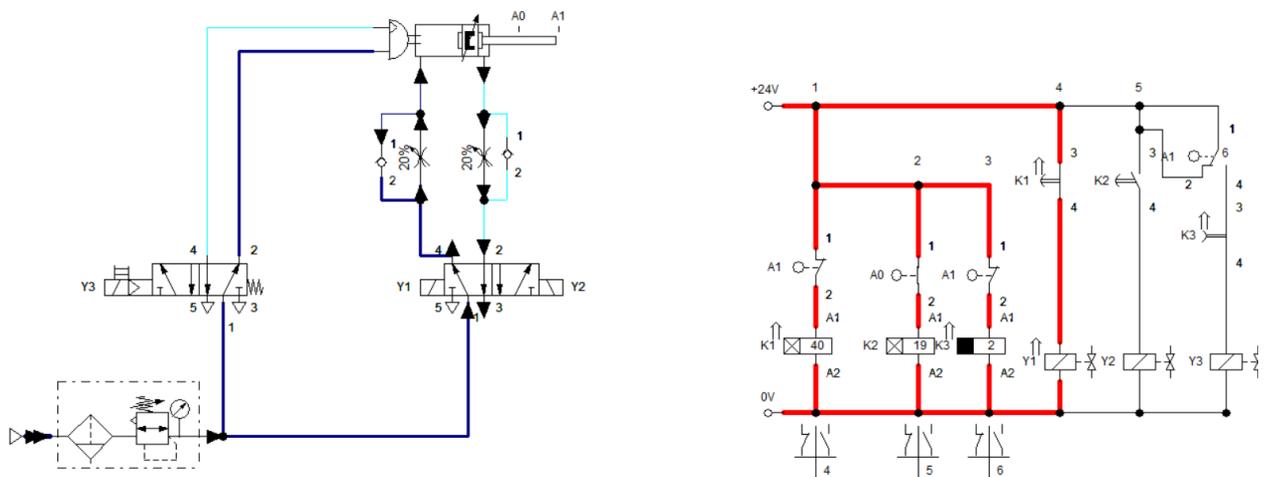


Figura 3.6 Movimiento lineal (ingreso de aire).

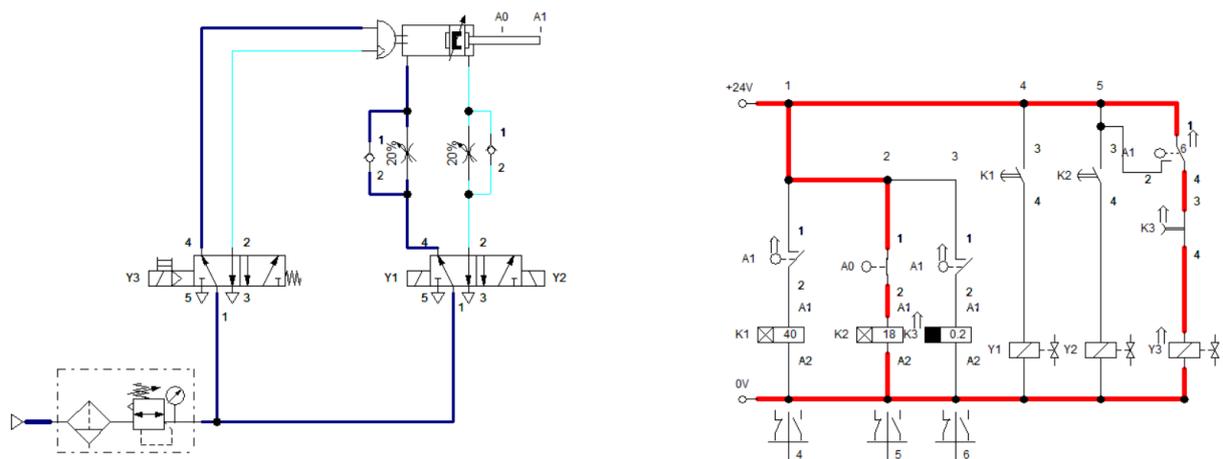


Figura 3.7 Activación de actuador giratorio.

La parte 3 se centra netamente en la toma de muestra, como se ve en la Figura 3.8, donde el actuador retorna a su posición inicial una vez pasados los 2 segundos, por medio de un muelle que lo devuelve a su posición inicial, expulsando el aire ingresado; luego continua en la posición A1, ya que la electroválvula quedó en la posición de ingreso de aire por la activación previa de Y1, durando esta recepción de material 18 segundos.

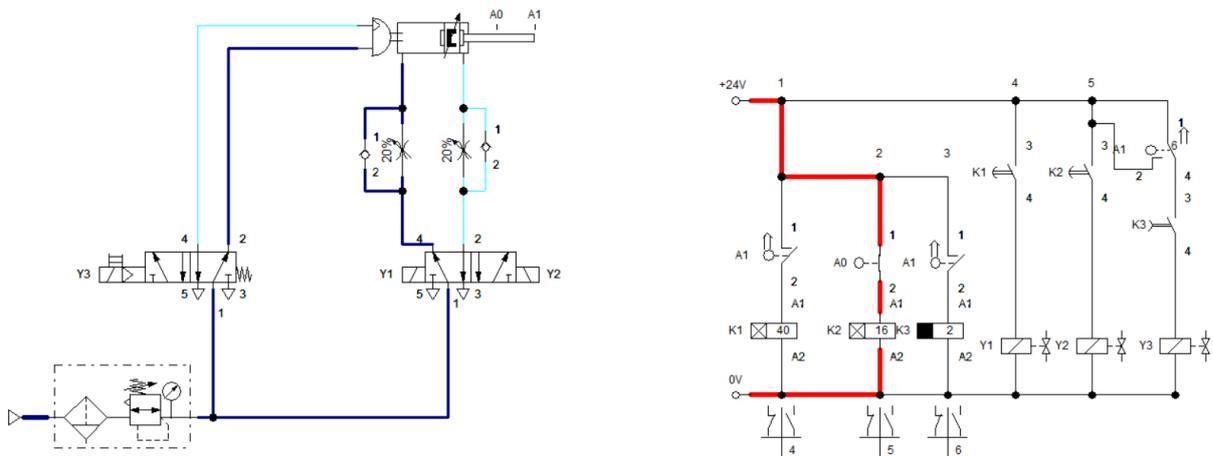


Figura 3.8 Toma de muestra.

Por último, se evidencia en la Figura 3.9 el regreso del cilindro a su posición inicial, donde se logra, cuando el tiempo de activación del relé K2 ha transcurrido, accionando así el relé K1 el cuál a su vez permite el paso de corriente a la bobina Y2 la cual envía la señal de salida de aire, estando 40 segundos en esta posición para así poder repetir el ciclo.

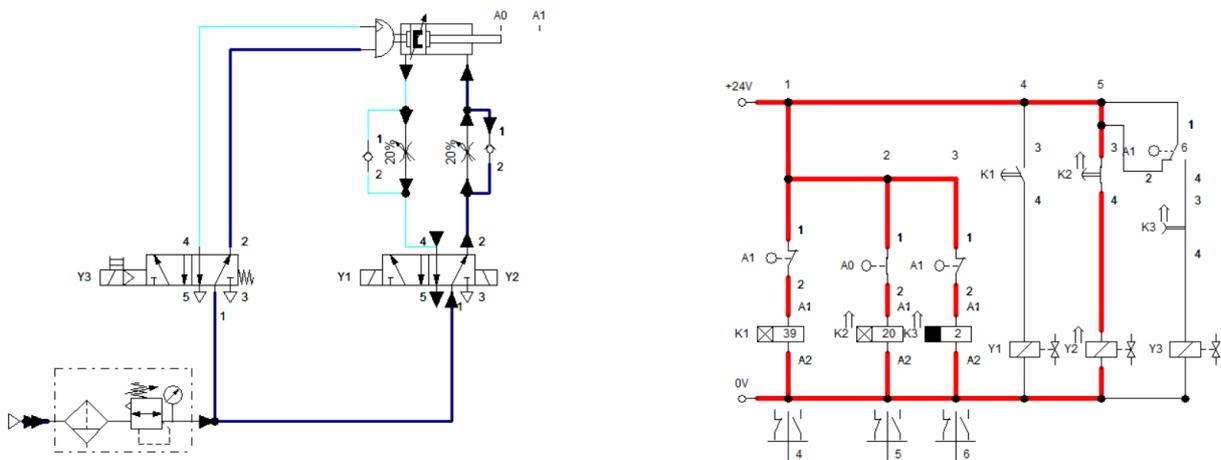


Figura 3.9 Regreso del cilindro a posición inicial (salida de aire)

Simulación del pesaje

Para la simulación del sistema de pesaje se usó el software TinkerCAD, el cual es un programa interactivo para realizar simulaciones de tipo electrónicas, pero posee una carencia de elementos, por lo cual, para reemplazar las galgas, se utilizó una fuente de voltaje que entregue al azar voltajes desde 0.005mV hasta 0.403mV, con la finalidad de tener valores aleatorios de la densidad cada minuto, como se los tendría en un caso real. Cabe recalcar que, al obtener la deformación real por medio de la simulación en la Figura 3.10, se pudo cambiar la resistencia de 2.7M a 1M con el propósito de acondicionar la señal.

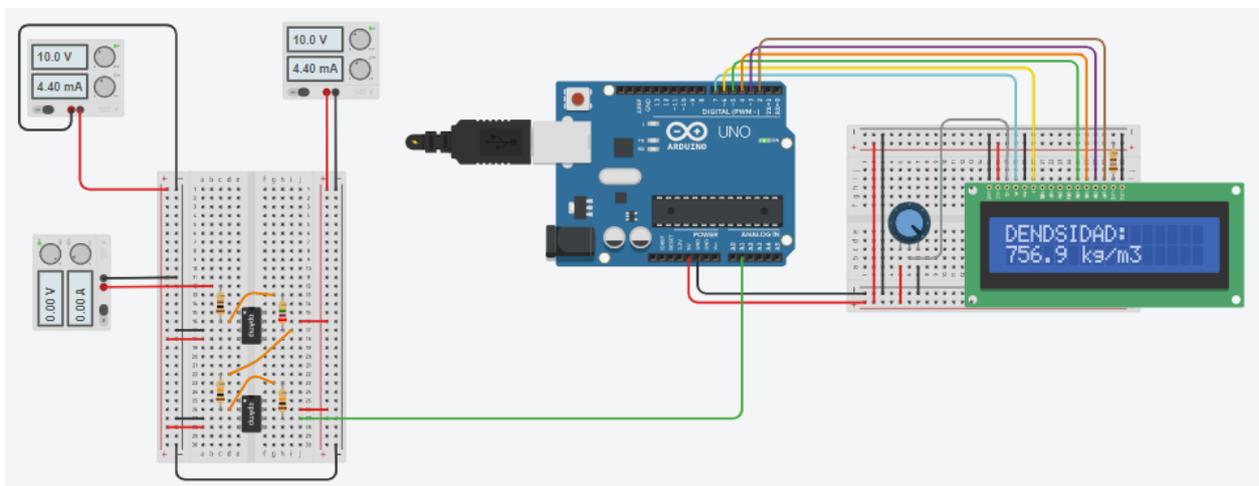


Figura 3.10 Simulación de sistema de pesaje en TinkerCAD

Por otra parte, en el código insertado en la tarjeta de Arduino UNO, se le asignó dos funciones, la primera, que se la pudo visualizar en la Figura 3.10, que cumple la labor de mostrarnos en tiempo real la densidad, minuto a minuto; la segunda, corresponde a guardar los datos como se puede ver en Figura 3.11 y realizar una curva que muestre las oscilaciones de la densidad a lo largo del tiempo.

En particular, para motivos estudiantiles se utilizó como parte programable una tarjeta de Arduino, código que se muestra en la Figura 3.12, puesto que, para el proyecto no será incluido, ya que esta placa se debe enviar a realizar con las especificaciones requeridas por parte de instituciones especializadas, siendo la única parte del proyecto que varía.

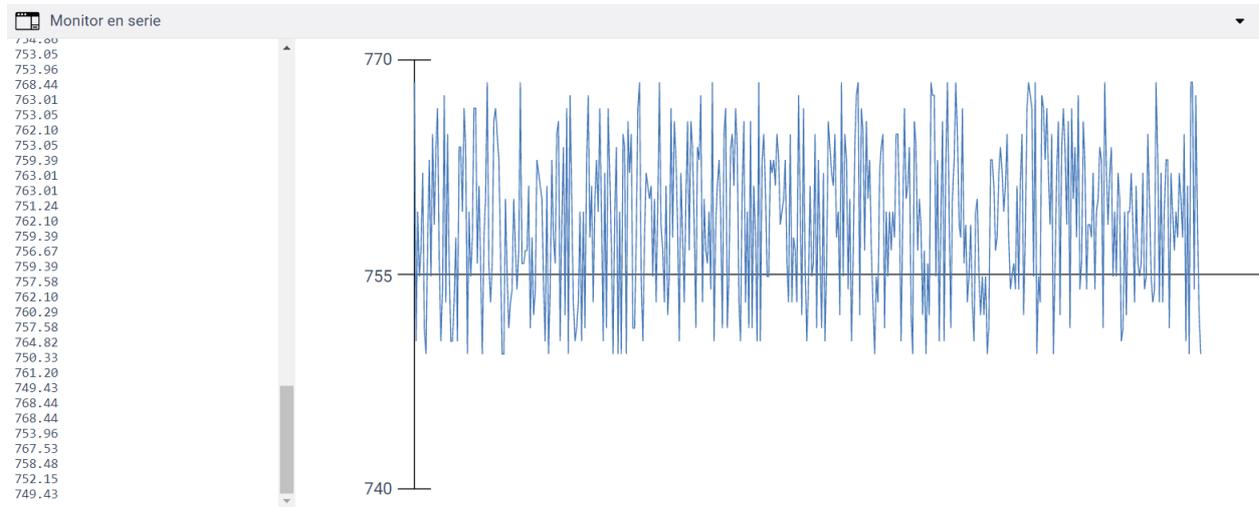


Figura 3.11 Oscilación de datos de densidad obtenidos por minuto.

```

1  #include <LiquidCrystal.h>
2
3  LiquidCrystal lcd (7,6,5,4,3,2);
4  int SENSOR;
5  float DENSIDAD;
6
7  void setup() {
8    Serial.begin(9600);
9    lcd.begin(16,2);
10
11 }
12
13 void loop() {
14   SENSOR = AnalogRead(A1);
15   DENSIDAD = ((SENSOR * 5000.0) / 1023) / 5.37;
16   Serial.println(DENSIDAD);
17   delay(60000);
18
19   lcd.setCursor(0,0);
20   lcd.print("DENSIDAD:");
21   lcd.setCursor(0,1);
22   lcd.print(DENSIDAD,1);
23   lcd.print(" kg/m3");
24 }

```

Figura 3.12 Código del sistema de pesaje

3.3 Representación de datos obtenidos

Con la finalidad de tabular los elementos requeridos en cada sección para brindar una mejor visualización de la cantidad de cada componente, se distribuyó la información en tablas de tres factores: disposición mecánica, circuito electroneumático y sistema electrónico; cuyo contenido abarca los elementos correspondientes, una ilustración para identificar cada componente y la cantidad requerida de dicho elemento para el ensamble del mecanismo.

Disposición Mecánica

En la parte mecánica se usó racores [QSM-M7-4-I] con la finalidad de que permitan el paso del aire comprimido hacia el actuador giratorio [DSRL-32-180-P-FW] y hacia el cilindro neumático [DSNU-S-16-150-PPS-A], cada uno posee dos actuadores, información que fue resumida en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Elementos Mecánicos

Tipo	Descripción	Cantidad
Racores	 Racor rápido roscado QSM-M7-4-I 153319	4u
Actuador Giratorio	 Actuador giratorio DSRL-32-180-P-FW 30657	1u
Cilindro Neumático	 Cilindro redondo ★ DSNU-S-16-200-PPS-A 5217248	1u

Circuito Electroneumático

Se precisó el uso de dos tipos de electroválvulas, una con doble bobina, para accionar el cilindro neumático en las posiciones y tiempos requeridos; para accionar el actuador giratorio se requirió una electroválvula con una bobina y retorno mecánico por medio de muelle, donde estas son accionadas por relés y sensores de posicionamiento, cada uno de los elementos necesarios para del circuito electroneumático fue ordenado en la Tabla 3.2.

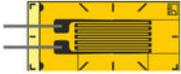
Tabla 3.2 Elementos del Circuito Electroneumático

Tipo	Descripción	Cantidad
Electrovalvula 5/2 biestable		1u
Electrovalvula 5/2 monestable		1u
Unidad de mantenimiento FRL		1u
Cable	 Cable NEBU-M8W3-K-2.5-LE3 541338	1u
Regulador de caudal	 Control de flujo GRLA-M5-QS-4-RS-D 197577	2u
Manguera	 Tubería PUN-H-4X0,75-BL 197383	8m
Silenciador	 Silenciador UC-M7 161418	4u
Relé con retardo a la desconexión		1u
Solenoides		3u

Sistema de pesaje

Se requirió el uso de varios implementos muy comunes y sencillos, donde fue necesario el uso de una galga extensiométrica tipo G y del LM324, para poder amplificar la baja señal que se tiene alimentando la tarjeta, la cual se encarga de mostrar las mediciones, los componentes de dicho sistema fueron mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Elementos del Sistema de Pesaje

Tipo	Descripción	Cantidad
Galga Extensiométrica		2u
Resistencia 10k		4u
Resistencia 1MΩ		1u
Resistencia 100		1u
Potenciometro 10k		1u
LM324		1u
Fuente Dual 10V		1u
Tarjeta/Arduino UNO		1u
Panel de Visualización		1u

Visualización de resultados

Se mostró la densidad en tiempo real, tomando como referencia la densidad de 750kg/m³ como una densidad aparente ideal; para esto se tomaron mediciones durante una hora, cabe mencionar que esta muestra fue de manera aleatoria y digital, donde se incluyó en la parte derecha de la Figura 3.13. El target de la densidad en el minuto sesenta, en el interior de la gráfica dos rectas color rojo que indican los límites máximo y mínimo de la densidad y una recta color verde la cual indica la densidad ideal.

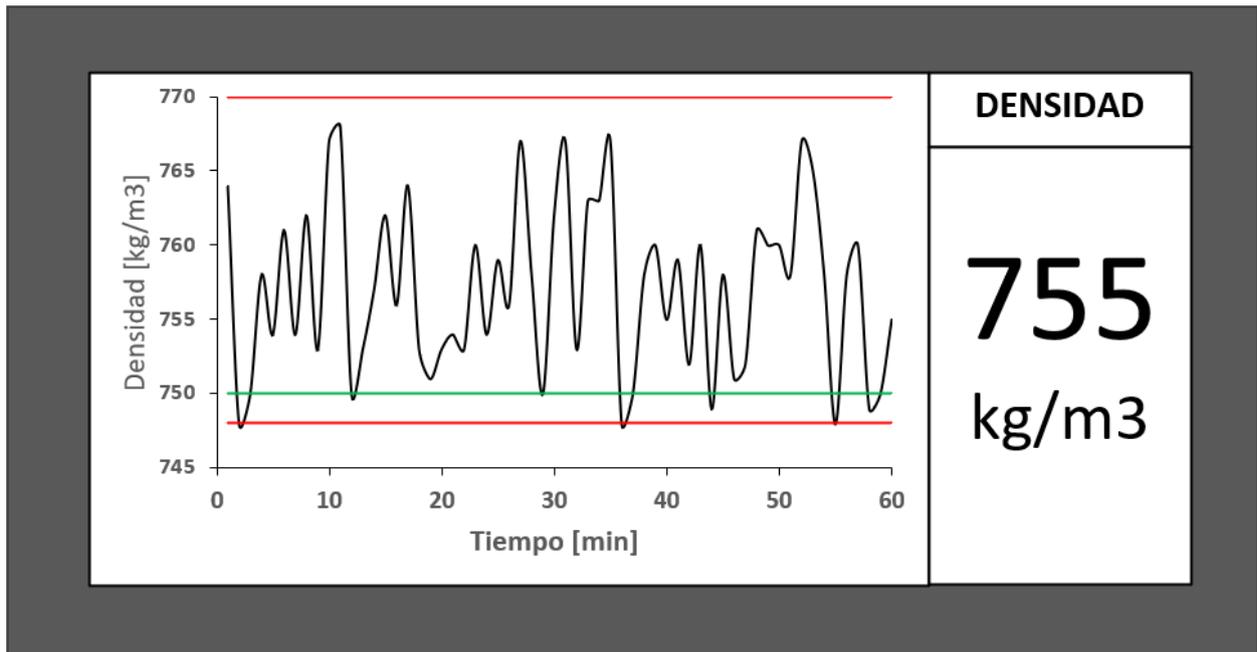


Figura 3.13 Visualización de datos en panel

3.4 Análisis de costos

Para realizar un análisis económico se consideró el tiempo que actualmente requiere un operador para tomar las mediciones, desde la muestra inicial hasta obtener la densidad tabulada en el sistema, a su vez el costo por hora del mismo operador, y finalmente se obtuvo el costo que toma realizar cada medición.

Tabla 3.4 Costo Actual

MEDICION/DÍA	TIEMPO POR MEDICIÓN	Nº OPERADOR	COSTO/HORA
	MIN		USD/hr
6	45	1	\$ 6.50

Ese costo por muestra en la Tabla 3.4, se lo consideró de forma anual, representando así un valor total de \$ 9,126.00 anuales en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Costo actual anual

COSTO DIARIO	COSTO SEMANAL	COSTO MENSUAL	COSTO ANNUAL
USD/día	USD/día	USD/mes	USD/año
\$ 29.25	\$ 175.50	\$ 702.00	\$ 9,126.00

Para la evaluación del costo de inversión en el mecanismo, se consideró diferentes cotizaciones de varios proveedores, con la finalidad de obtener un valor real de los elementos que conforman el mecanismo, el costo de instalación también fue considerado como parte de la inversión, alcanzando un costo inicial de \$15,740.82 como se muestra en la Tabla 3.6, abarcando también los elementos mecánicos, neumáticos y eléctricos.

Tabla 3.6 Costo de inversión mecanismo.

DESCRIPCION	CANT	P. UNIT	P. TOTAL
ELEMENTOS MECÁNICOS			
Construcción de caseta en acero inoxidable 304 de 3mm de espesor	1	\$ 260.00	\$ 260.00
Construcción de recolectos, dos piezas soldadas en acero inoxidable 304	1	\$ 295.00	\$ 295.00
Construcción de base en acero inoxidable de 3mm de espesor, 3 piezas soldadas	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Construcción de tapa de 245x242x8	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Construcción de acople acero inox 3mm	1	\$ 180.00	\$ 180.00
Total			\$ 1,005.00
ELEMENTOS NEUMÁTICOS			
Cilindro Neumático 20-160 ISO6432	1	\$ 94.67	\$ 94.67
Bobina Magnética P/Electrovalvula 24VDC	3	\$ 16.97	\$ 50.91
Electroválvula 4G 5/2 biestable 1/8 24VDC	1	\$ 126.64	\$ 126.64
Electroválvula 4G 5/2 monoestable 1/8 24VDC	1	\$ 105.29	\$ 105.29
Unidad de mantenimiento combinada tamaño MSB4 G1/4 0.3... 7BAR 40UM purga manual	1	\$ 166.02	\$ 166.02
Regulador de caudal banjo 1/8-4	2	\$ 25.46	\$ 50.92
Racor Recto 1/8 - 6	4	\$ 3.57	\$ 14.28
Tubo flexible uretano azul 6mm	8	\$ 1.02	\$ 8.16
Actuador giratorio festo DSRL-32-180-P-FW	1	\$ 825.30	\$ 480.00
Conector Acotado tipo Zocalo 3 contactos	3	\$ 4.94	\$ 480.00
Presostato Presión Relativa 12BAR AC/DC	3	\$ 217.51	\$ 480.00
Conector acotado tipo Zocalo 4 contactos	3	\$ 5.31	\$ 480.00
Silenciador resina sinterizada 1/8	4	\$ 8.00	\$ 32.00
TOTAL			\$ 2,568.89
ELEMENTOS ELÉCTRICOS			
Glaga extensiométrica	2	\$ 105.00	\$ 210.00
Resistencia 10K	4	\$ 0.10	\$ 0.40
Resistencia 1M	1	\$ 1.48	\$ 1.48
Resistencia 100	1	\$ 0.10	\$ 0.10
Potenciómetro 10K	1	\$ 0.50	\$ 0.50
LM324	1	\$ 0.25	\$ 0.25
Puente Dual	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Placa programada	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Panel View	1	\$ 450.00	\$ 450.00
TOTAL			\$ 747.73
Instalación			\$ 6,000.00
PRECIO FINAL			\$ 10,321.62

A su vez, en la Tabla 3.7, se consideró el costo anual de la energía consumida por el mecanismo, el aire comprimido requerido para su funcionamiento y el mantenimiento a realizarse en un periodo de 3 veces al año, con el propósito de mantener en buenas condiciones el funcionamiento del equipo.

Tabla 3.7 Costo de operación mecanismo.

COSTOS DE OPERACIÓN			
Costo de energía eléctrica	12	\$ 151.20	\$ 1,814.40
Costo de aire comprimido	12	\$ 170.40	\$ 2,044.80
Mantenimiento	3	\$ 130.00	\$ 1,560.00
TOTAL			\$ 5,419.20

En base a los costos establecidos, se analizó el retorno de inversión, en el cual los resultados denotaron que se alcanzará en un lapso de tres años, considerando la inversión inicial, los gastos e ingresos anuales que se alcanzaría, como se muestra en la Tabla 3.8, a partir de ahí, se generaría un ahorro el cual se estabilizará hasta alcanzar aproximadamente \$3,706.00, valor que antes era invertido en el proceso de medición manual de la densidad del polvo detergente. Por medio de un análisis del TIR y VAN se analizó la viabilidad del producto para la empresa de jabonería, alcanzando un TIR del 4%, lo cual se observa en la Tabla 3.9.

Tabla 3.8 Retorno de inversión.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
GASTOS		\$5.419,20	\$5.419,20	\$5.419,20
INGRESOS		\$9.126,00	\$9.126,00	\$9.126,00
FLUJO NETO	-\$10.321,62	\$3.706,80	\$3.706,80	\$3.706,80

Tabla 3.9 TIR y VAN

VAN	\$798,78
TIR	4%

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Por medio de los diagramas de cajas de la Figura 2.1 y Figura 2.2 se alcanzó un primer vistazo de lo que se requiere para el diseño del medidor de densidad, el cual precisa de la muestra de detergente en polvo y de energía para el accionamiento del mecanismo, se logró el indicador de densidad de polvo con información al menos cada dos minutos, almacenando dichos datos en un ordenador, donde se alcanzó la curva de Densidad vs Tiempo, todo esto se realizó por medio de un sistema de recolección y devolución de la muestra, un sistema de pesaje, una tarjeta de visualización y el almacenamiento de datos obtenidos. Finalmente se obtuvo el diseño de un mecanismo autónomo, capaz de medir la densidad del detergente en polvo, sin interrumpir el proceso de fabricación.

Partiendo de las principales necesidades para el óptimo funcionamiento del mecanismo, se demostró, mediante la matriz de decisión en la Tabla 2.8, que la alternativa 1 es la ideal para el desarrollo del diseño del medidor de densidad, el cual posee una estructura fija, dando paso a que el recipiente de recepción del material alcance un movimiento lineal y rotatorio para la recolección y devolución de la muestra a la línea de producción, dicho proceso se puede visualizar en la Figura 2.9.

Para la selección y dimensionamiento de componentes mecánicos tomando densidad referencia 0.75gr/ml, obtenido de la Tabla 1.1, y de valor referencia de muestra 500ml se calculó que el diámetro necesario del recipiente es de 130 mm, y por medio del programa Inventor Professional, el volumen real es de 575.17 ml siendo un peso de 0.4314 kg, su vez, por medio del programa de Festo se obtuvo que el cilindro necesario es de DSNU 16-150 y el actuador giratorio seleccionado es un DSRL 32-180, por medio de esta selección de elementos neumáticos se realizó el dimensionamiento de la parte transversal del recipiente semiesférico, siendo este de 10x20x150mm.

En los principales componentes del sistema de pesaje, se seleccionó dos galgas extensiométricas, ubicadas en la parte superior e inferior de la base del recipiente, tal como se puede ver en la Figura 2.17, todo esto con la finalidad de mitigar el error por temperatura, se alcanzó una deformación teórica de 1.47×10^{-5} m/m y un diferencial de voltaje entregado por el puente de Wheatstone de 0.147 mV, por lo que se visualizó la necesidad de un sistema de acondicionamiento de señal por medio del uso de OpAmps, un sumador inversor con dos resistencias 100Ω y $2.78M\Omega$ y un inversor con dos resistencias de $10k\Omega$.

En los planos mecánicos se dio visibilidad a las dimensiones de la caseta, donde el mecanismo va a ser alojado, de igual manera, al ya tener seleccionado los componentes neumáticos se pudo visualizar la necesidad de un acople para unir el actuador giratorio y cilindro neumático, el cual se diseñó en el Plano 3, cuyas dimensiones se basan en los elementos previamente mencionados; adicionalmente se presentó la distribución de los elementos mecánicos en el Plano 1 con un listado de los componentes que lo conforman.

Por parte de los planos electroneumáticos, se analizó elementos que no habían sido incluidos en la selección de componentes pero que son igual de importantes, en la sección de neumática se incluyeron dos electroválvulas, una activada por bobinas y otra mixta (bobina – muelle mecánico), visto esto se consideró necesidad de agregar relés con timer, los cuales controlen las posiciones de las electroválvulas, los cuales fueron plasmados en el Plano 10 y Plano 11. Por el lado del sistema de pesaje se plasmó lo seleccionado en la metodología en el Plano 9, adicionando ciertos componentes para la parte de visualización de datos.

En las simulaciones realizadas en la parte mecánica, se evidenció el correcto funcionamiento del mecanismo en sus distintas posiciones, se realizó un análisis de los esfuerzos a los cuales está siendo sometido el recipiente, concluyendo que la deformación real que sufre el recipiente una vez tomado la muestra es de 4.03×10^{-5} m/m, valor que se usó para corregir el acondicionamiento de señal de $2.78M\Omega$ a $1M\Omega$ y, por medio de la simulación del sistema de pesaje con ayuda de

Arduino, se visualizó el correcto funcionamiento, obteniendo un acercamiento real de cómo se verían las mediciones y la curva de Densidad vs tiempo, mismas que se encuentran en la Figura 3.10, Figura 3.11 y Figura 3.13.

Con ayuda del programa FluidSim se ejecutó la simulación del movimiento de los componentes mecánicos y accionamiento de las electroválvulas, el cual logró llegar a una medición por minuto, dicha simulación se la puede ver en la Figura 3.6, Figura 3.7, Figura 3.8 y Figura 3.9, con todas las simulaciones exitosas, se pudo ordenó los componentes según el sistema al que pertenecen, según las tablas: Tabla 3.1, Tabla 3.2 y Tabla 3.3.

Por medio de la Tabla 3.8 y Tabla 3.9 se observó la viabilidad de la implementación del medidor de densidad del detergente en polvo, el cual posee un retorno de inversión a los 3 años, con un valor actual neto de \$798.68 y una tasa interna de retorno del 4%, indicadores que nos muestran la rentabilidad del mecanismo, sin considerar que la visualización de la densidad del detergente en polvo puede ayudar a la toma de decisiones o a implementar nuevos proyectos en beneficio de la empresa.

4.2 Recomendaciones

En el momento que se realice la implementación del mecanismo diseñado se recomienda considerar las dimensiones finales, debido a que estas están directamente relacionadas al espacio en el cual se va a implementar y a las condiciones, considerando la temperatura ideal entre 20°C y 28°C en un sitio con la menor cantidad de vibración posible.

Es idóneo evaluar la distancia entre el punto de ubicación del mecanismo y el tablero eléctrico, debido a que, de este depende la existencia de desfases en el tiempo de recepción y devolución del producto, es decir el accionamiento del cilindro neumático y el actuador giratorio, por ello se recomienda acortar lo más posible aquella distancia.

Al momento de seleccionar las marcas de los componentes que conforman el mecanismo, se sugiere adquirir marcas que garanticen el funcionamiento establecido y a su vez que el tiempo de vida útil de los elementos, sea acorde al periodo de tiempo ideal establecido para el mantenimiento del equipo y que se ajuste al presupuesto asignado.

Para futuras adecuaciones es recomendable utilizar algún tipo de alerta visual, que permita al personal encargado notar a cierta distancia si las medidas obtenidas están dentro, por encima o por debajo del rango establecido según la normativa correspondiente.

Para reducir el sobre envasado, se recomienda establecer mejoras en el área de envasado, considerando que el sistema de medición continua de densidad del polvo detergente les da la premisa del producto que se va a envasar, se sugiere realizar un plan de acción, cuyos fundamentos inicien con la medición obtenida en el medidor de densidad, alcanzando la posibilidad de corregir hasta al menos el 1.5% de producto sobre envasado.

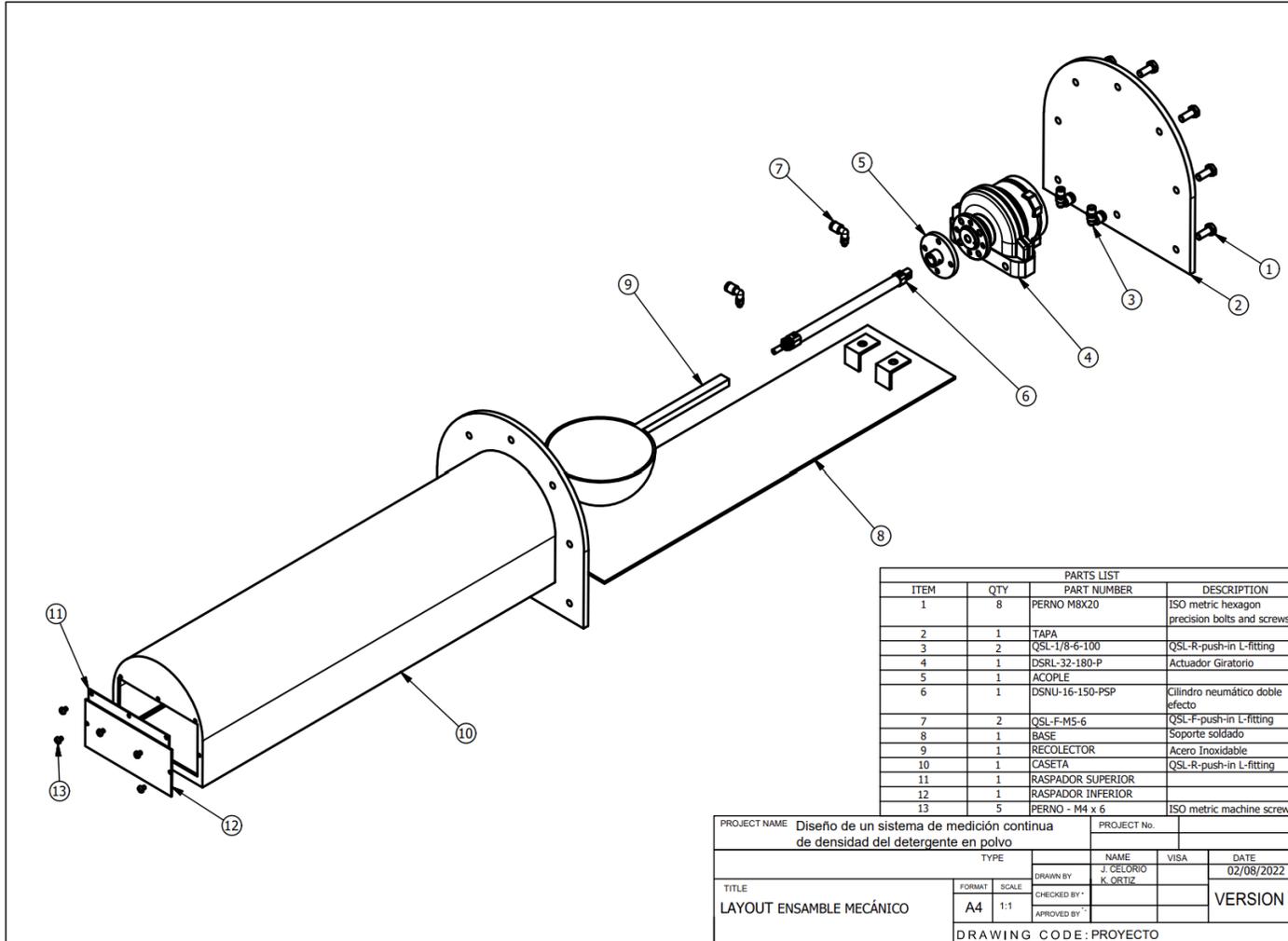
BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, J., & Kuontay, M. (2019). *Reducción del porcentaje de sobredosificación en el llenado de producto terminado en una fábrica de polvo detergente*. Guayaquil.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019). *Shigley's Design Mechanical Engineering*. McGrawHill.
- Carlos Arenas Paris. (2011). *Medición de densidad*. Washington D. C.: Organización Internacional de Metrología Legal.
- CORPONOR. (2015). *Hoja de Seguridad de Detergente en Polvo*. Colombia.
- Festo Inc. (2022). *Dimensionamiento Neumático*.
- International Organization for Standardization, (. (2015). *Surface active agents — Washing powders — Determination of apparent density — Method by measuring the mass of a given volume*.
- Laboratorio, I. d. (15 de octubre de 2019). Obtenido de Instrumentos de Laboratorio: <https://instrumentosdelaboratorio.org/>
- Laudndry CTC, UR&D Vlaardingen. (2008). *UMA-HPC Método de Análisis de Densidad*.
- METTLER TOLEDO. (s.f.). *Medición de la densidad: Definición, ecuaciones, influencias, instrumentos, densidad frente a densidad relativa*. Cornellá.
- Norton, R. L. (2018). *Diseño de Maquinas*. México: Pearson.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE METROLOGÍA LEGAL. (2011). *GUÍA OIML G – 14: MEDICIÓN DE DENSIDAD*.
- SkyCiv. (2022). *Calculadora de Vigas Gratuita en Línea para Vigas en Voladizo o Simplemente Compatibles*.
- Tapia, & Cevallos. (2002). A method to determine the apparent density distribution in a polysize powder containing cavernous particles. 3-6.
- Tapia, M., & Cevallos, N. (2015). *Análisis de la Reducción del Sobre peso de Producto Diferentes Empresas de Polvo Detergente*. Ecuador.

- Usman et al. (2018). *Materials and Design. On the measurement of relative powder-bed compaction density in powder-bed additive manufacturing processes*, 7.
- Williams, R. (1995). *Powder Technology. A Method to Determine the Apparent Density Distribution in a Polysize Powder Containing Cavernous Particles*, 12.
- Yong, C. (2014). *Diseño de un modelo de optimización de la planificación de la producción en una empresa de fabricación de detergentes en polvo*. Guayaquil.

ANEXOS

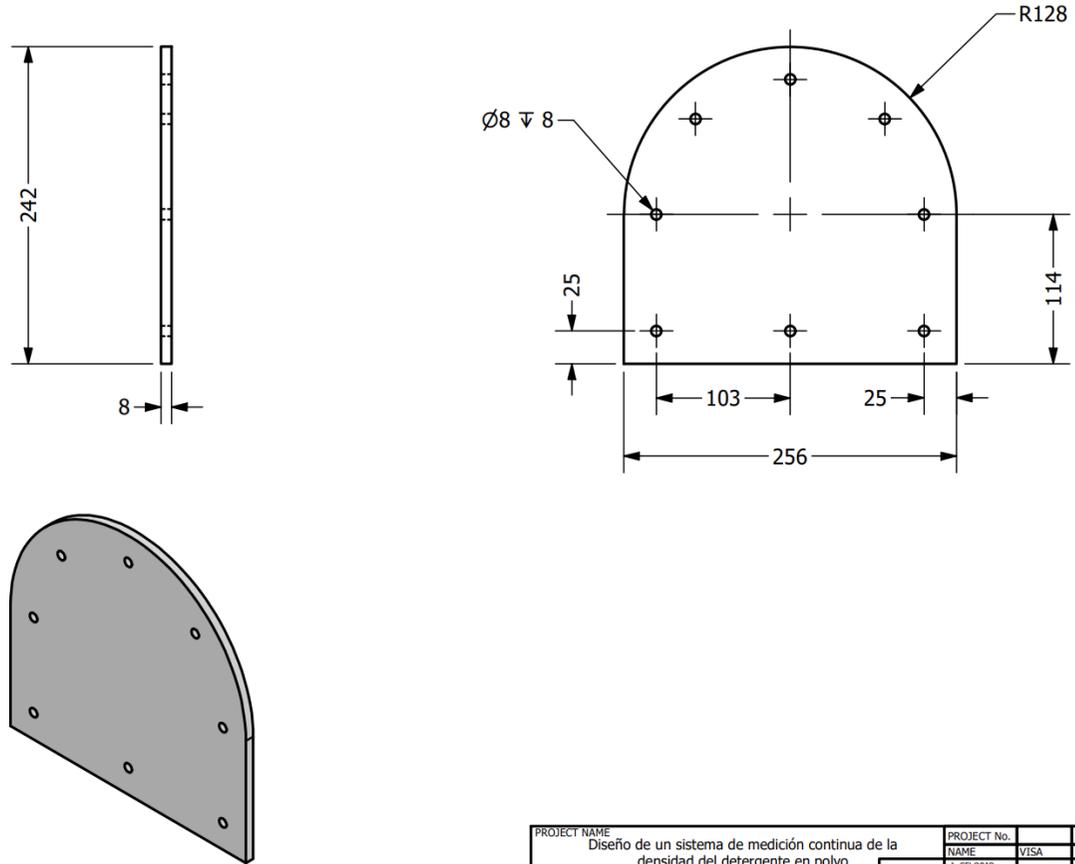
Plano 1 Ensamble Mecánico



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	8	PERNO M8x20	ISO metric hexagon precision bolts and screws
2	1	TAPA	
3	2	QSL-1/8-6-100	QSL-R-push-in L-fitting
4	1	DSRL-32-180-P	Actuador Giratorio
5	1	ACOPLE	
6	1	DSNU-16-150-PSP	Cilindro neumático doble efecto
7	2	QSL-F-M5-6	QSL-F-push-in L-fitting
8	1	BASE	Soporte soldado
9	1	RECOLECTOR	Acero Inoxidable
10	1	CASETA	QSL-R-push-in L-fitting
11	1	RASPADOR SUPERIOR	
12	1	RASPADOR INFERIOR	
13	5	PERNO - M4 x 6	ISO metric machine screws

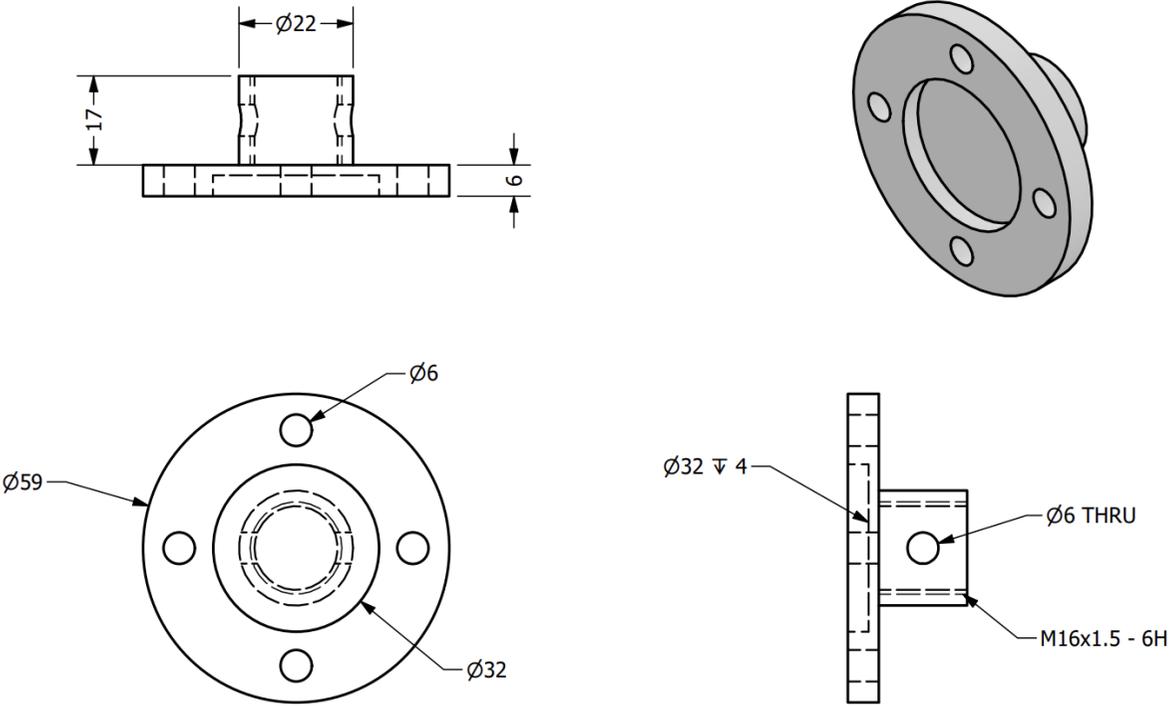
PROJECT NAME		Diseño de un sistema de medición continua de densidad del detergente en polvo		PROJECT No.	
TYPE		NAME	VISA	DATE	
		J. CELORIO		02/08/2022	
TITLE		DRAWN BY		VERSION 1	
LAYOUT ENSAMBLE MECÁNICO		K. ORTIZ			
FORMAT	SCALE	CHECKED BY	APPROVED BY		
A4	1:1			DRAWING CODE: PROYECTO	

Plano 2 Tapa (Pieza 2)



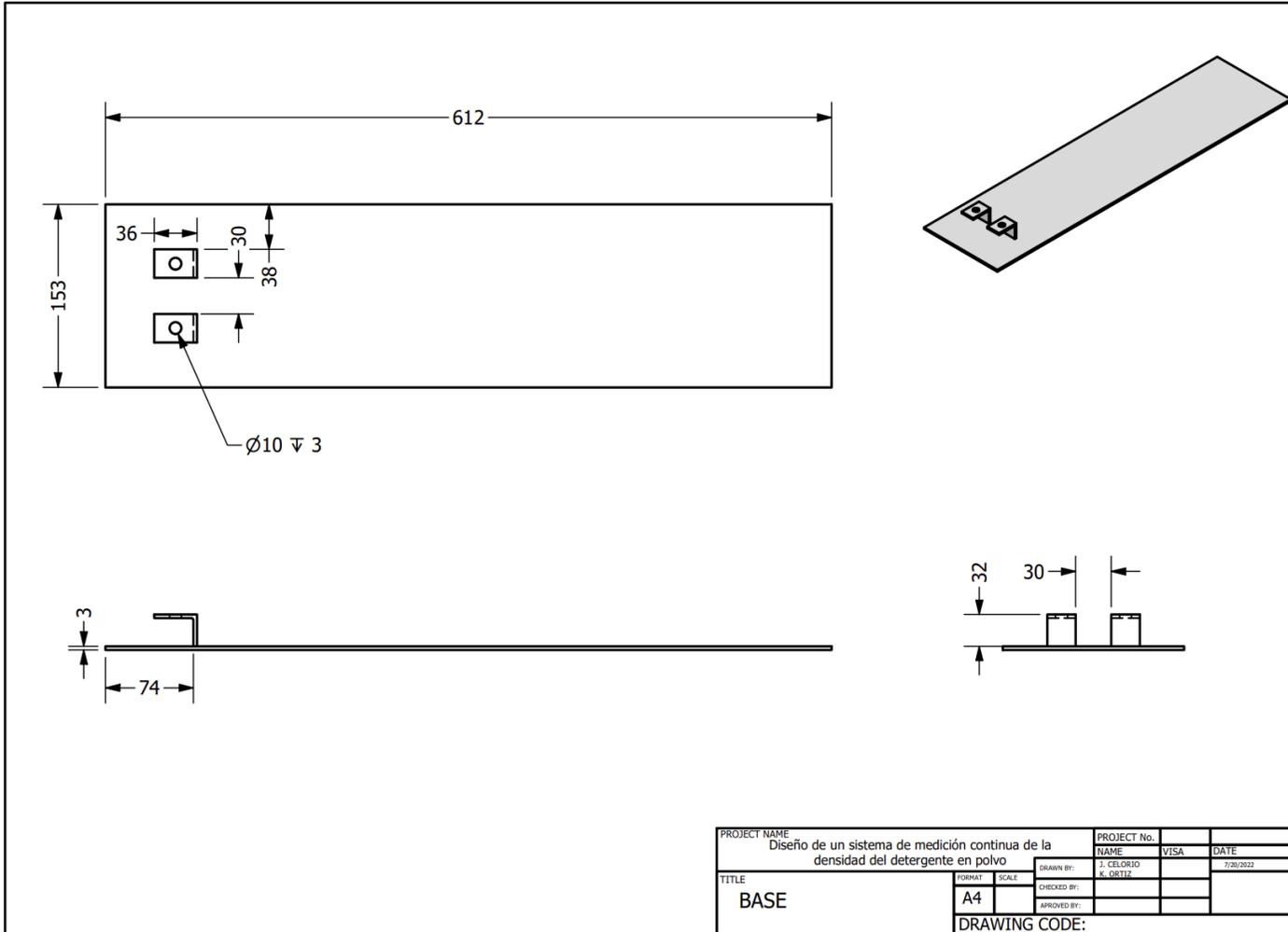
PROJECT NAME		PROJECT No.	
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	DATE
		VISA	7/24/2022
TITLE		DRAWN BY:	
TAPA		J. CELORIO K. ORTIZ	
FORMAT	SCALE	CHECKED BY:	
A4	1:1	APPROVED BY:	
DRAWING CODE:			

Plano 3 Acople (Pieza 5)



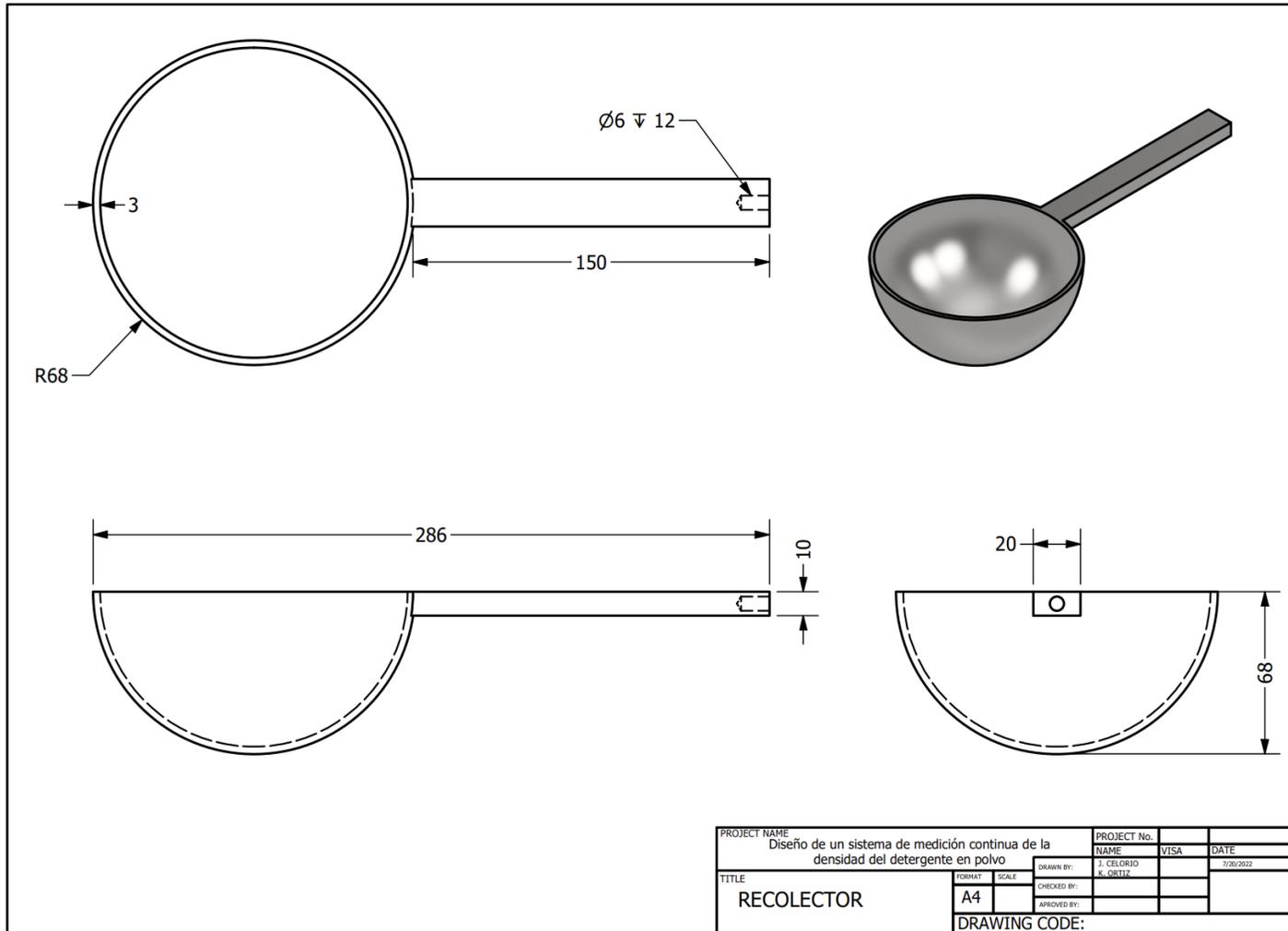
PROJECT NAME		PROJECT No.	
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	DATE
		VISA	7/16/2022
TITLE	FORMAT	SCALE	DRAWN BY:
Acople	A4		J. CELORIO K. ORTIZ
		CHECKED BY:	APPROVED BY:
DRAWING CODE:			

Plano 4 Base (Pieza 8)



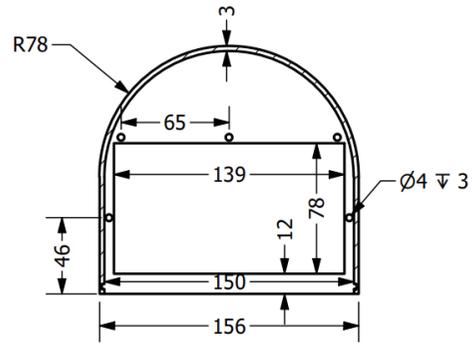
PROJECT NAME		PROJECT No.		
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	VISA	DATE
TITLE		DRAWN BY:	7/20/2022	
BASE	FORMAT	CHECKED BY:		
	SCALE	APPROVED BY:		
	DRAWING CODE:			

Plano 5 Recolector (Pieza 9)

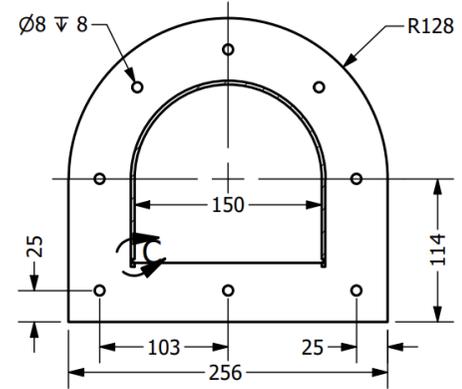
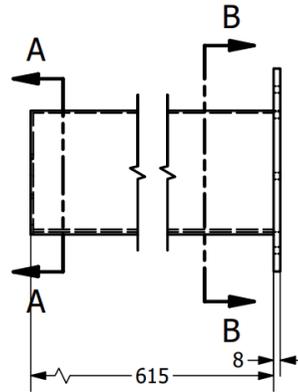


PROJECT NAME		PROJECT No.	
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	DATE
TITLE		VISA	7/20/2022
RECOLECTOR	FORMAT	DRAWN BY:	
	SCALE	J. CELORIO	
		CHECKED BY:	
		K. ORTIZ	
		APPROVED BY:	
DRAWING CODE:			

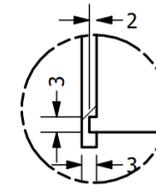
Plano 6 Caseta (Pieza 10)



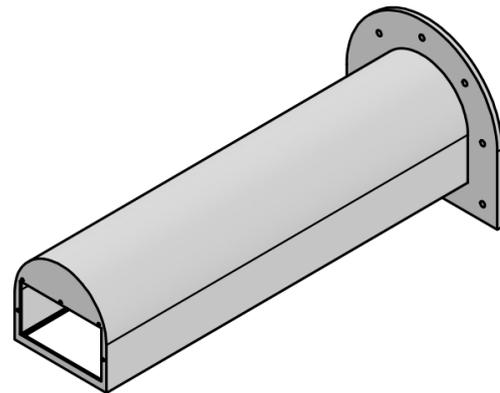
SECTION A-A
SCALE 1 / 3



SECTION B-B
SCALE 1 / 4

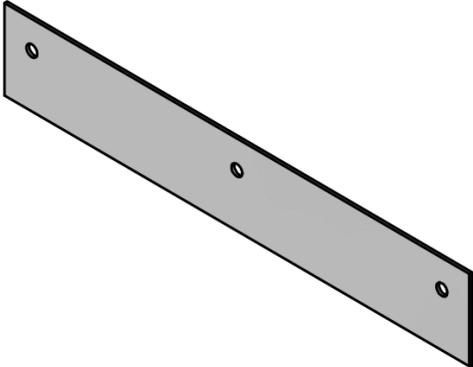
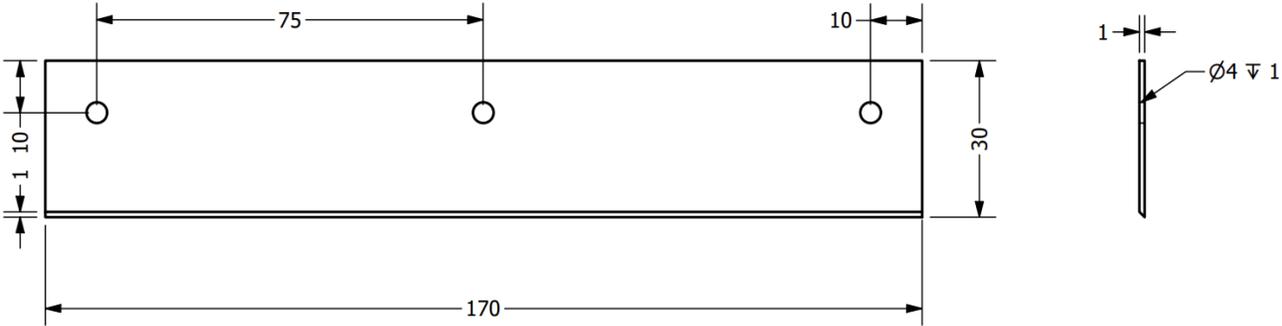


DETAIL C
SCALE 1



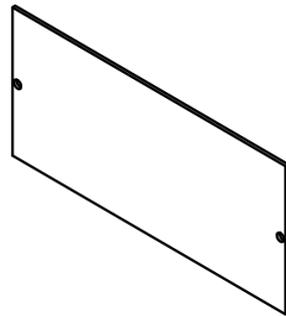
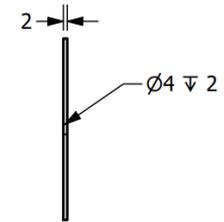
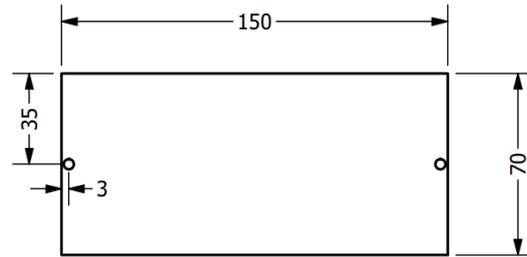
PROJECT NAME		PROJECT No.	
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	DATE
TITLE		VISA	DATE
CASETA		7/20/2022	
FORMAT	SCALE	DRAWN BY:	CHECKED BY:
A4		J. CELORED	
		K. ORTIZ	
		APPROVED BY:	
DRAWING CODE:			

Plano 7 Raspador Superior (Pieza 11)



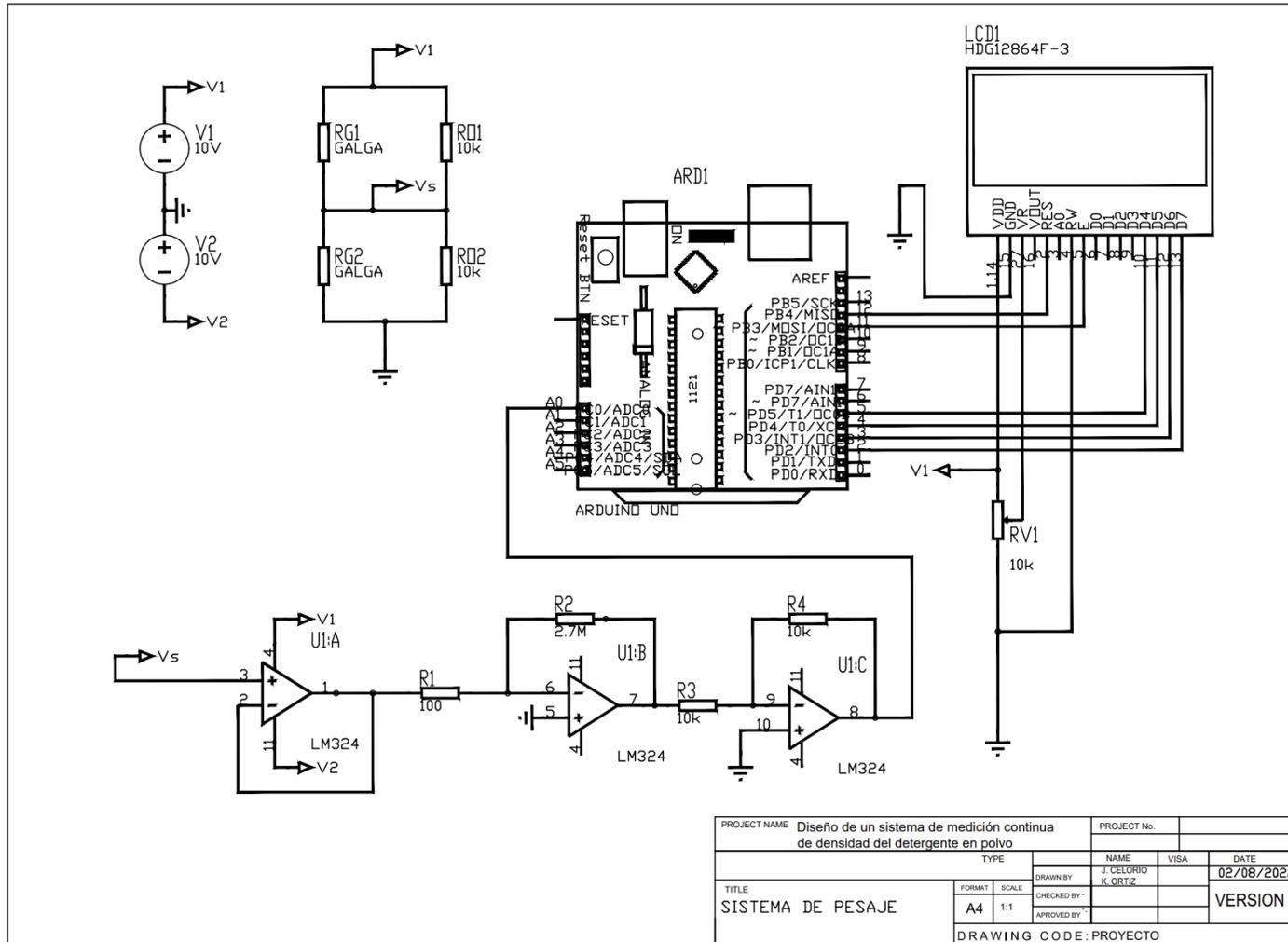
PROJECT NAME		PROJECT No.	
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	DATE
		1 CELORIO	7/20/2022
TITLE		FORMAT	SCALE
RASPADOR SUPERIOR		A4	
		DRAWN BY:	CHECKED BY:
		K. ORTEZ	
		APPROVED BY:	
DRAWING CODE:			

Plano 8 Raspador Inferior (Pieza 12)



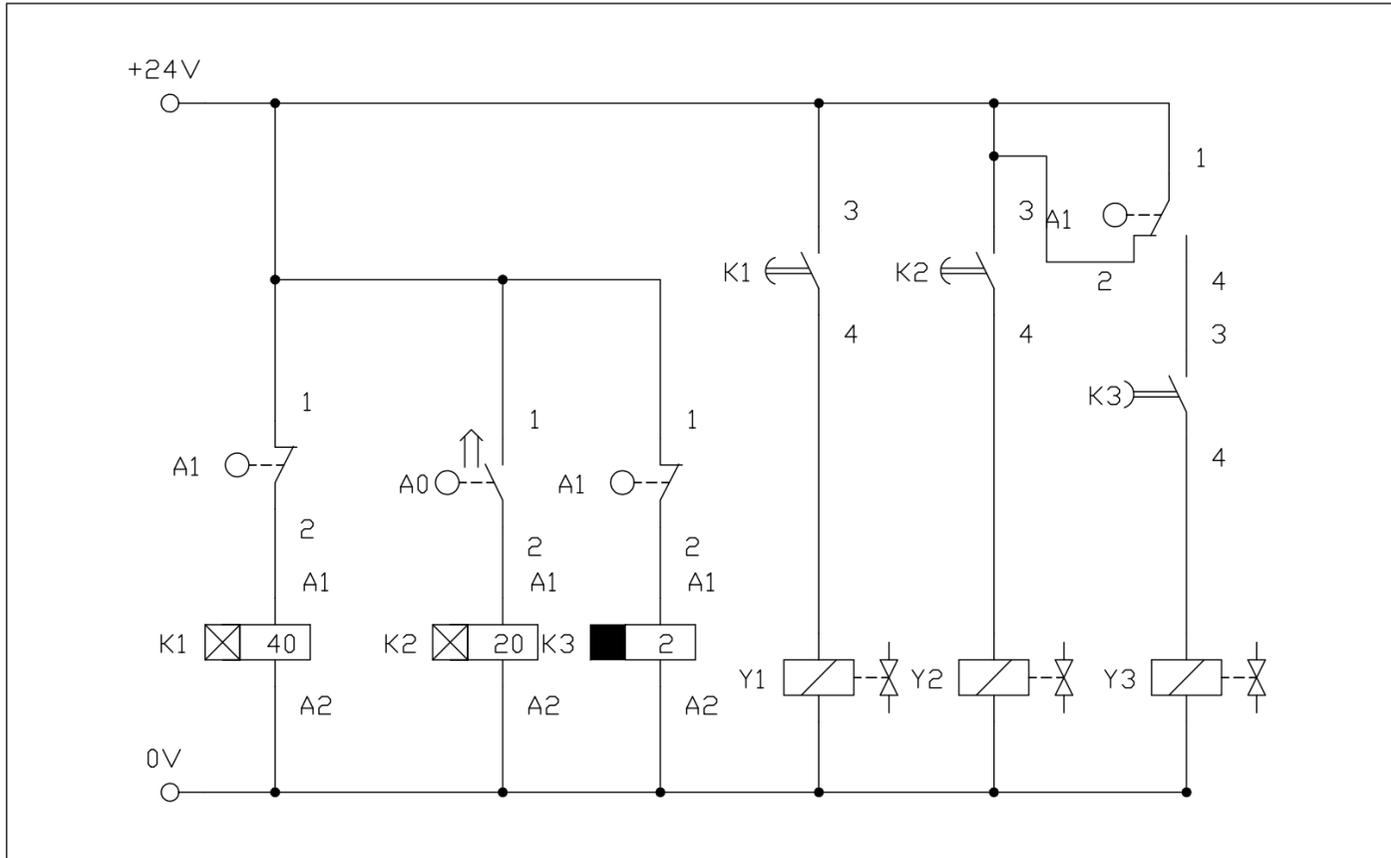
PROJECT NAME		PROJECT No.	
Diseño de un sistema de medición continua de la densidad del detergente en polvo		NAME	DATE
		VISA	
DRAWN BY:		7/28/2022	
3. CELORIO K. ORTIZ			
TITLE	FORMAT	SCALE	CHECKED BY:
RASPADOR INFERIOR	A4		
APPROVED BY:			
DRAWING CODE:			

Plano 9 Electrónico e Instrumentación



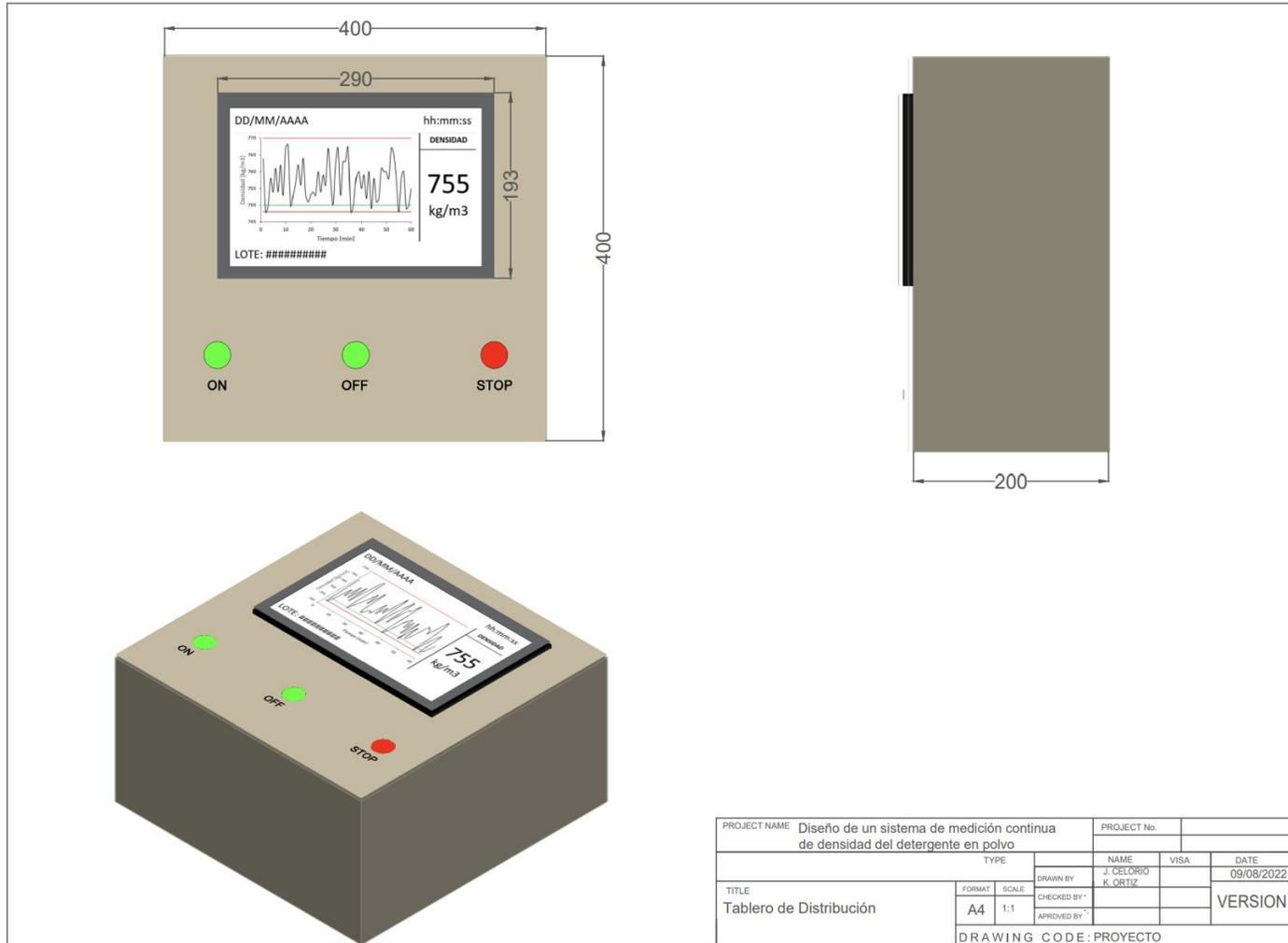
PROJECT NAME		Diseño de un sistema de medición continua de densidad del detergente en polvo		PROJECT No.		
TITLE		SISTEMA DE PESAJE		NAME		J. CELORIO
FORMAT		A4		VISA		
SCALE		1:1		DATE		02/06/2022
DRAWN BY		K. ORTIZ		VERSION		1
CHECKED BY				DRAWING CODE		PROYECTO
APPROVED BY						

Plano 11 Accionamiento Eléctrico de Circuito Neumático



PROJECT NAME				Diseño de un sistema de medición continua de densidad del detergente en polvo		PROJECT No.		
TYPE				NAME		VISA		DATE
TITLE				DRAWN BY		CHECKED BY		24/07/2022
CIRCUITO ELECTRICO				A4		1:1		VERSION 1
DRAWING CODE				PROYECTO				

Plano 12 Tablero de distribución.



PROJECT NAME				Diseño de un sistema de medición continua de densidad del detergente en polvo		PROJECT No.			
TYPE				NAME		VISA		DATE	
				J. CELORIO				09/08/2022	
TITLE				DRAWN BY		CHECKED BY		VERSION 1	
Tablero de Distribución				K. ORTIZ					
				APPROVED BY					
DRAWING CODE: PROYECTO									



Dirección: Jose Queri E14A y Pasaje H,
Edificio Florentina Plaza Oficina 3B.
Teléfono: +593-24753486
Sucursales: QUITO - GUAYAQUIL - CUENCA

Fecha: Aug 1, 2022

Cotización No 4683

Empresa: Julexy Celorio Maridueña **Contacto:** Ing. Julexy Celorio
RUC: 0955310818 **Correo:** julexycelorio@gmail.com
Dirección: Lizardo García Sorroza 1155 **Teléfono:** (098) 296-0214
Ciudad: Guayaquil

Asunto Cotización: Oferta por elementos neumáticos.

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNI.	DESCUENTO %	V. UNITARIO	TOTAL
CK 0447	CILINDRO NEUMATICO 20-160 ISO6432	1	\$ 99.50	10.00%	89.55	\$ 89.55
CK 0303	ELECTROVALVULA 4G 5/2 BIESTABLE 1/8 24VDC	1	\$ 93.98	10.00%	84.58	\$ 84.58
CK 0297	ELECTROVALVULA 4G 5/2 MONOESTABLE 1/8 24VDC	1	\$ 68.94	9.99%	62.05	\$ 62.05
CK 0102	UNIDAD FRL 1/4 MANOMETRO PURGA MANUAL 5 MICRAS 10 BAR	1	\$ 98.84	10.00%	88.96	\$ 88.96
CK 0190	REGULADOR DE CAUDAL BANJO 1/8-4	2	\$ 17.93	10.01%	16.14	\$ 32.27
CK 0023	RACOR RECTO 1/8-4	4	\$ 1.76	9.94%	1.59	\$ 6.34
CK 0064	TUBO FLEXIBLE URETANO AZUL 4 MM	8	\$ 0.87	10.06%	0.78	\$ 6.26
CK 0205	SILENCIADOR RESINA SINTERIZADA 1/8	4	\$ 4.82	10.01%	4.34	\$ 17.35

Forma de pago: Contado **SUBTOTAL** \$ 387.36
Vigencia de la oferta: 15 días **IVA 12%** \$ 46.48
Tiempo de entrega: Inmediata **TOTAL** \$ 433.84

Observaciones:



Figura 4.1 Cotización de elementos neumáticos 1.

FECHA: 05/08/2022
CLIENTE: CELORIO MARIDUEÑA JULEXY
CÓDIGO: CN0955310818
DIRECCIÓN: --
TELÉFONO: 0982960214
CIUDAD: GUAYAQUIL

VENDEDOR: ESPINOZA TELLO JOHNNY ERNESTO
CONTACTO:
VALIDO HASTA: 05/09/2022
FOR PAGO: Contado

CANTIDAD	CODIGO	DETALLE	FECHA ENT	P/UNIT	TOTAL
4	FST639241	RACOR RAPIDO ROSCADO TAMANO MINI RECTO HEXAGONO INTERIOR M7 P/TUBO EXTERIOR 4MM		3,57	14,28
1	FST198732	ACTUADOR GIRATORIO D32MM GIRO 180o		825,30	825,30
1	FST199799	CILINDRO RDN DBL EFC D16 C200 AMR NEU AUTRGL SNSPROX		94,67	94,67
1	FST792522	ELECTROVALVULA 5/2 BIESTABLE VUVS G1/4		126,64	126,64
1	FST792375	ELECTROVALVULA 5/2 MONOESTABLE VUVS G1/4		105,29	105,29
3	FST792043	BOBINA MAGNETICA P/ELECTROVALVULAS VUVS/VSNC 24VDC		16,97	50,91
3	FST540395	CONECTOR ACODADO TIPO ZOCALO 3 CONTACTOS P/BOBINAS MSF		4,94	14,82
1	FST540569	UNIDAD DE MANTENIMIENTO COMBINADA TAMANO MSB4 G1/4 0.3...7BAR 40UM PURGA MANUAL		166,02	166,02
1	FST549058	CABLE DE CONEXION RECTO M8 3HILOS 2.5M		14,08	14,08
2	FST396066	REGULADOR DE CAUDAL M5 CONEXION QS-4		25,46	50,92
8	FST594243	TUBO DE POLIURETANO AZUL TRANSLUCIDO P/CLAVIJA DIAMETRO EXTERIOR 4MM RESISTENTE A LA HIDROLISIS		1,02	8,16
4	FST783017	SILENCIADOR PLASTICO M7		8,00	32,00
3	FST594083	PRESOSTATO PRESION RELATIVA 1...12BAR AC/DC 5000MA G1/4		217,51	652,53
3	FST540391	CONECTOR ACODADO TIPO ZOCALO 4 CONTACTOS P/BOBINAS MSN1		5,31	15,93

Quito Yagopostavia N34-110 y Azuay Edif. Ecuainsetec Telf.: (593-2) 2450-475 / 2261-979 / 2269-148 / 2253-757 / 2251-242 email: infoquito@ecuainsetec.com.ec	Guayaquil Cda. Kennedy Norte Mt. 705 SL 2 Av. Asaf Bucarém y Miguel Campodónico Telfs.: (593-4) 2680-150 / 2680-155 / 2680-157 / 2680-145 email: infoqgy@ecuainsetec.com.ec	Cuenca Av. España entre Av. De las Américas y Paseo Michichig Telfs.: (593-7) 286-0851 / 287-1013 email: infocua@ecuainsetec.com.ec	Manta Barrio Umilla Av. Flavio Reyes s/n entre calles 28 y 29 Edif. Platinum Of. 602 Telf.: (593-5) 3905-204 / 3905-025 email: infoamanta@ecuainsetec.com.ec	Sto. Domingo Telf.: 099-716-3458 email: infostodomingo@ecuainsetec.com.ec
---	--	--	---	---


 SERVICIO TÉCNICO, DESARROLLO DE PROYECTOS, CURSOS DE NEUMÁTICA, ELECTRONEUMÁTICA Y PLC
 www.ecuainsetec.com.ec

Figura 4.2 Cotización de elementos neumáticos 2.