



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA EN MECATRÓNICA**

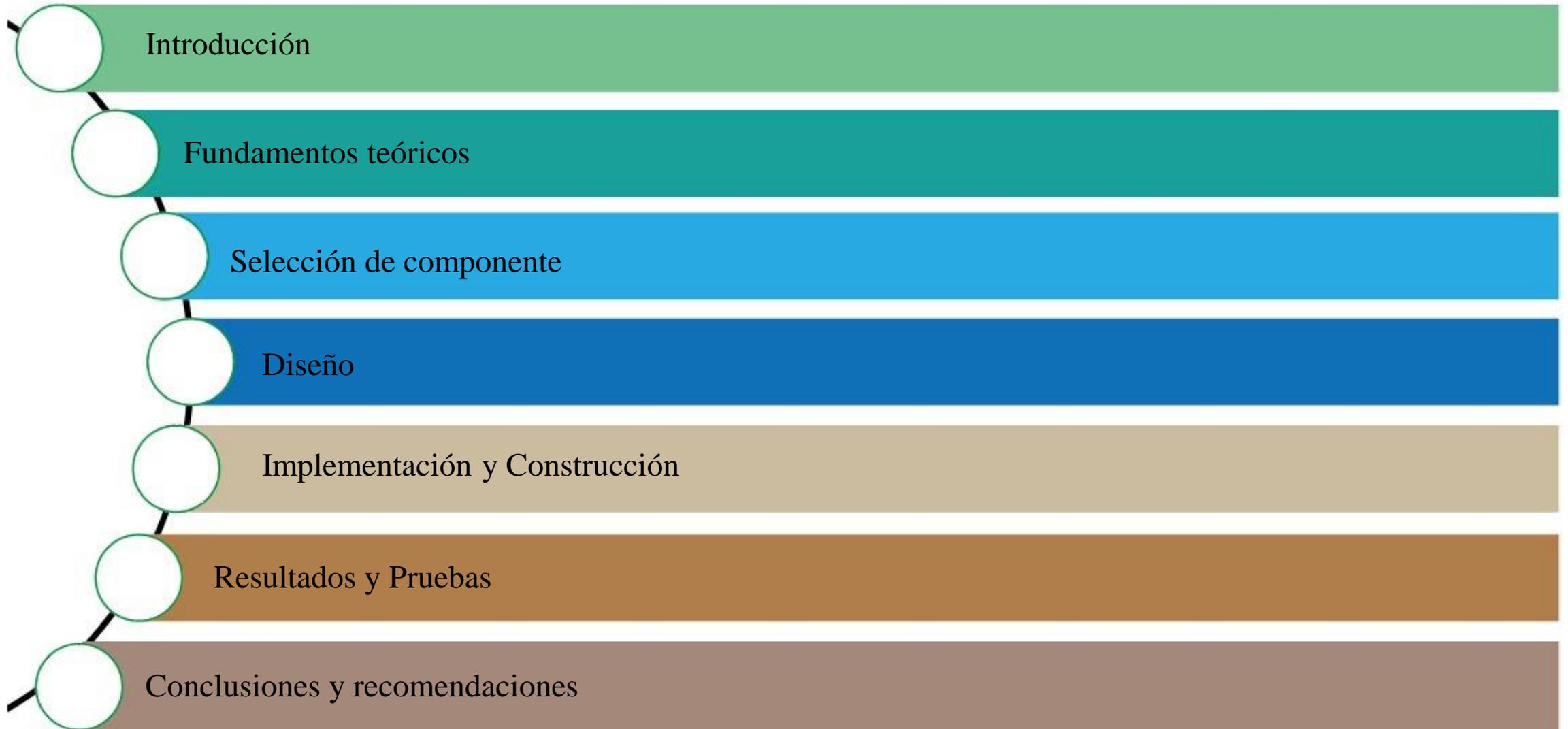
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SENSADO EMPLEANDO TECNOLOGÍAS DE SISTEMAS CIBERFÍSICOS QUE PERMITA PESAR DIFERENTES SUSTANCIAS CON EL OBJETIVO DE SUMINISTRAR LAS CANTIDADES ADECUADAS PARA CONTINUAR CON EL PROCESO DE MEZCLADO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL PARA INTEGRAR CONOCIMIENTOS TÉCNICOS E INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” SEDE LATACUNGA.

AUTORA: LUZÓN SÁNCHEZ, ANDREA TATIANA

DIRECTOR: ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO

LATACUNGA, MARZO 2024





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El correcto aprendizaje de las nuevas generaciones que se están formando en ingeniería mecatrónica es algo sumamente importante, y poder experimentar con máquinas físicas y no solo con simulaciones es esencial en el desarrollo de estos, aplicar conocimientos teóricos como el uso de sensores, es algo imperativo y que permitirá mejorar su aprendizaje.



La construcción del módulo de sensado de la línea de producción permite implementar una sección importante de la instrumentación como lo es la lectura de variables analógicas, además de agregar conocimientos de mecanismos, automatización, control y sistemas ciberfísicos.



Elaborar un módulo de medición analógica que permita mediante transductores el sensado y pesaje de diferentes sustancias que se pueden presentar en una producción industrial para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar documentación científica de sistemas similares para la realización del trabajo.
- Identificar los sistemas y subsistemas que conformaran el módulo de sensado.
- Diseñar el módulo semiautomatizado de selección y sensado de materia prima solicitados para el mezclado posterior.
- Implementar todas las piezas del diseño mecánico que conforma el primer módulo de la microlínea de producción industrial.
- Realizar la programación del PLC que controlará el sistema del módulo de sensado.
- Efectuar pruebas de funcionamiento del primer módulo y su interacción con el segundo módulo de la línea de producción industrial



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Módulos educativos

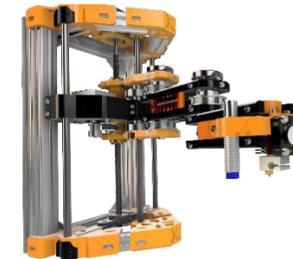
Festo



Sistema mecatrónico industrial Lucas-Nuelle



Tipos de robots



X-SCARA

OPEN-SOURCE
kinetic CNC machine

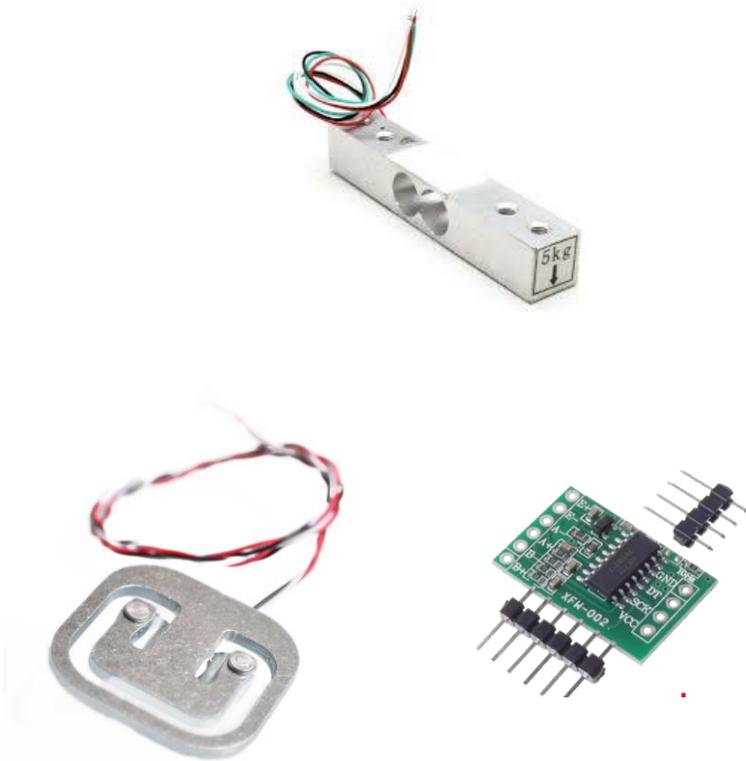
a project that intends to make SCARA machines
"yet another 3D printer"



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Celda de carga



Dispensador de válvula rotativa



SELECCIÓN DE COMPONENTES

No.	Necesidad	Importancia
1	Trabajo correcto de sensores	3
2	Trabajo adecuado del robot manipulador	5
3	Dispensación correcta de materia prima	5
4	Pesaje de las cantidades necesarias	5
5	Recolección de datos en tiempo real	2
6	Interfaz fácil de entender	3
7	Transporte correcto al segundo módulo	5
8	Estructura de libre divulgación y uso	1
9	Mantenimiento fácil	2
10	Asequible y funcional	1

No.	Métricas
1	Lectura correcta de señales de los sensores
2	Programación punto a punto
3	Uso de un sistema indicado para el trabajo
4	Uso de galga extensiométrica
5	Comunicación exitosa entre sensores y controlador
6	Interfaz humano máquina simple
7	Uso de un robot manipulador
8	Sistema basado en código abierto o uso de códigos G
9	Estructura mecánica fácil de reemplazar
10	Materiales disponibles en el mercado nacional



SELECCIÓN DE COMPONENTES

Num.	Necesidades	Imp.	Métricas										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Trabajo correcto de sensores	3	●	○	△	△	●	△	○	△	△	△	
2	Trabajo preciso del robot manipulador	5	●	●	○	△	△	●	●	△	△		
3	Dispensación correcta de materia prima	5	△	△	●	●	○	△	△	△	○		
4	Pesaje de las cantidades necesarias	5	●	△	△	●	○	○	△	△	△		
5	Recolección de datos en tiempo real	2	●	△	△	●	●	△	△	△	△		
6	Interfaz fácil de entender	3	△	△	△	○	●	△	△	△	△		
7	Transporte correcto al segundo módulo	5	○	●	△	△	○	△	●	●	△		
8	Estructura de libre divulgación y uso	1	△	●	△	△	○	●	●	●	○		
9	Mantenimiento fácil	2	△	△	△	△	△	△	△	●	●		
10	Asequible y funcional	1	○	○	△	○	●	△	○	●	●		
Ponderación Absoluta			161	111	76	98	113	78	121	108	46	68	980
Ponderación Relativa			16.43	11.33	7.76	10.00	11.53	7.96	12.35	11.02	4.69	6.94	100
Importancia Relativa			1	4	8	6	3	7	2	5	10	9	

Hito	Características técnicas	Puntaje
1	Lectura correcta de señales de los sensores	161
2	Uso de un robot manipulador	121
3	Comunicación exitosa entre sensores y controlador	113
4	Programación punto a punto	111
5	Sistema basado en código abierto o uso de códigos G	108
6	Uso de galga extensiométrica	98
7	Interfaz humano máquina simple	78
8	Uso de un sistema indicado para el trabajo	76
9	Materiales disponibles en el mercado nacional	68
10	Estructura mecánica fácil de reemplazar	46



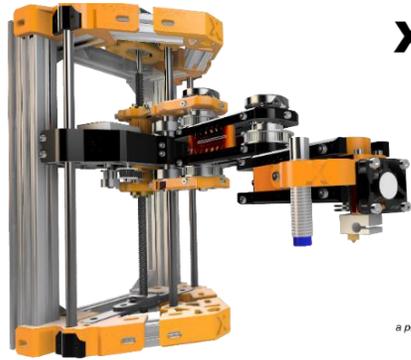
SELECCIÓN DE COMPONENTES

Núm.	Subsistema	Descripción	Hitos
1	Robot manipulador	Sistema basado en software libre	5
		Transporte efectivo y preciso de la materia prima	2
		Estructura mecánica fácil de reemplazar con componentes existentes en el mercado nacional	9,10
2	Diseño entorno de trabajo	Diseño de un sistema de dispensación de materia prima	8
		Selección de sensores para el pesaje y lectura de diferentes señales	6,1
3	Software y Control	Programación para el correcto transporte de materia prima	4
		Controlador que permita la comunicación entre subsistemas y permita la implementación de un HMI sencillo	3,7



SELECCIÓN DE COMPONENTES

Subsistema 1



X-SCARA

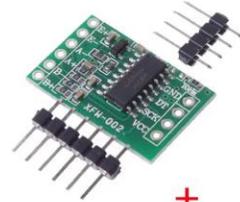
OPEN-SOURCE
kinetic CNC machine

a project that intends to make SCARA machines
"yet another 3D printer"

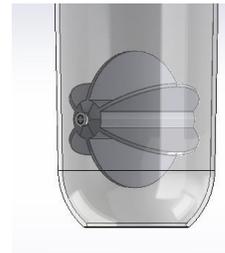
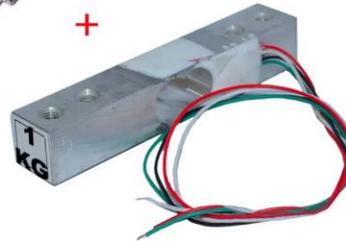


Subsistema 2

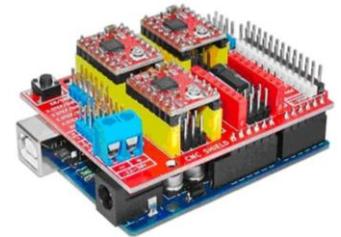
Transmisor HX711



+

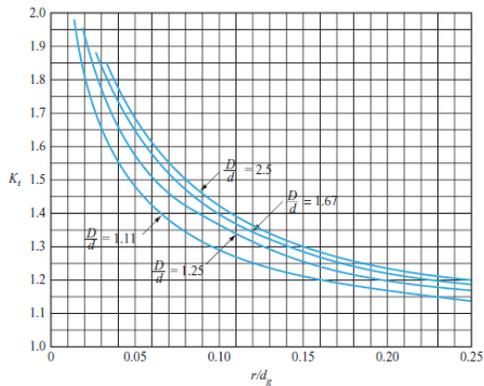
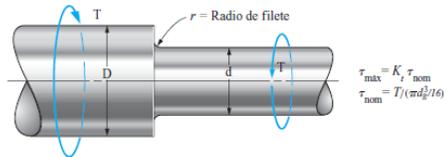
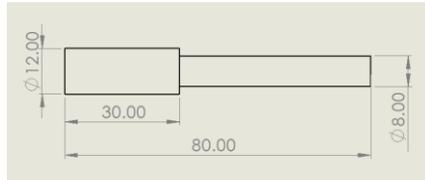
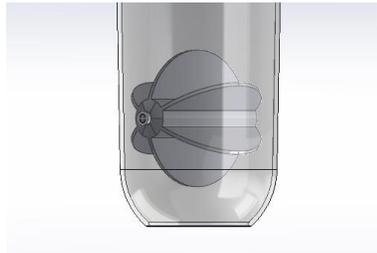


Subsistema 3



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Cálculo esfuerzo máximo torque válvula rotativa



Interpolación - valor Kt

D/d	Kt
1.25	1.57
1.5	Kt
1.67	1.65

$$K_t = 1.6175$$

Cálculo de esfuerzo nominal y esfuerzo máximo

$$\tau_{nom} = 2.18 MPa$$

$$\tau_{máx} = 3.52 MPa$$

Cálculo esfuerzo de diseño

Figura 31

Factores de diseño y esfuerzos cortantes de diseño

Tipo de carga	Factor de diseño	Esfuerzo cortante de diseño $\tau_d = s_y / 2N$
Torsión estática o constante	2	$\tau_d = s_y / 4$
Torsión repetida	4	$\tau_d = s_y / 8$
Impacto o choque torsional	6	$\tau_d = s_y / 12$

$$\tau_d = \frac{S_y}{8}$$

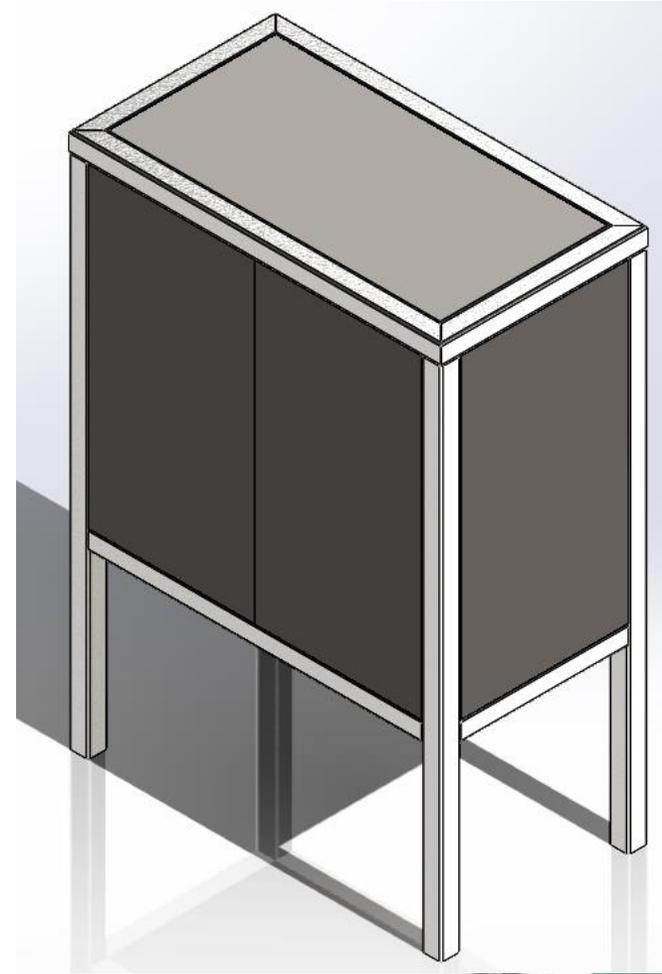
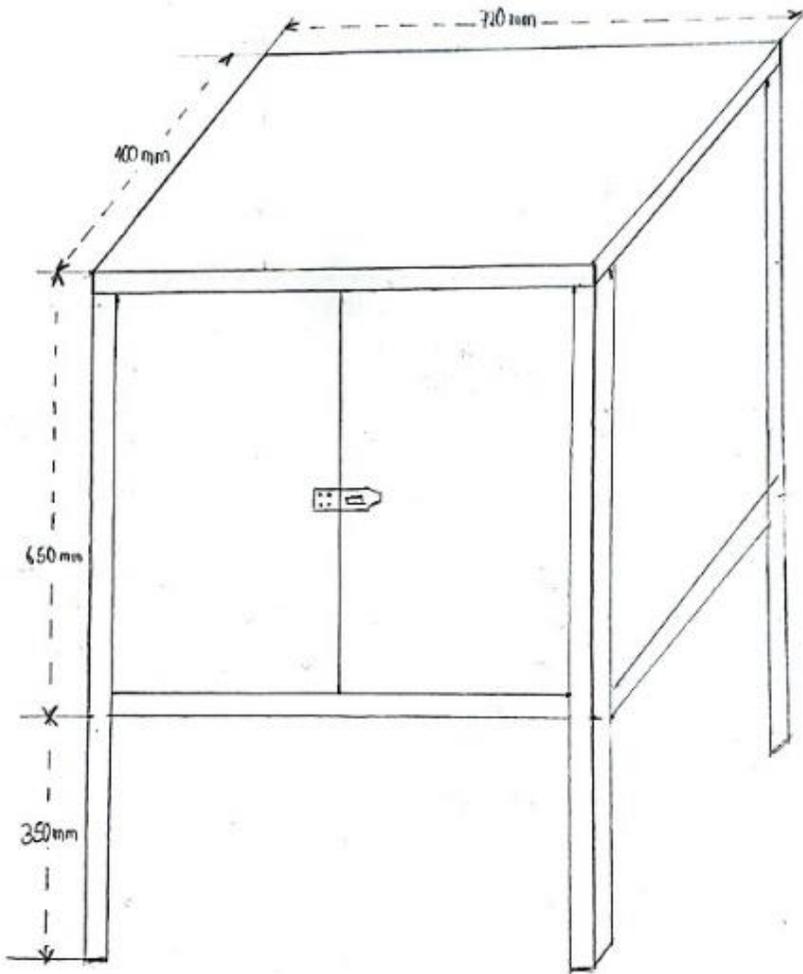
$$\tau_d > \tau_{máx}$$

$$10 MPa > 3.52 MPa$$

$$\tau_d = 10 MPa$$

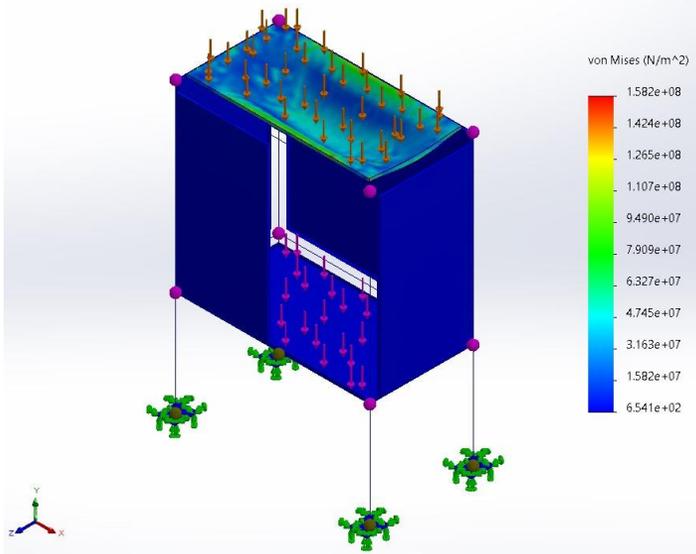


Diseño inicial de la mesa



Diseño mesa principal

Nombre del modelo: Mesa ensamblada
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 28.0491

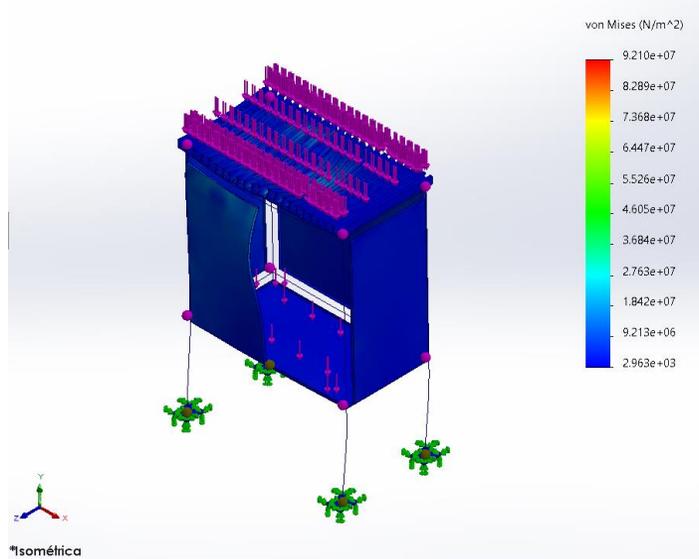


$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

$$n_s = \frac{248.168MPa}{158.2MPa}$$

$$n_s = 1.56$$

Nombre del modelo: Mesa ensamblada completa
 Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 465.582

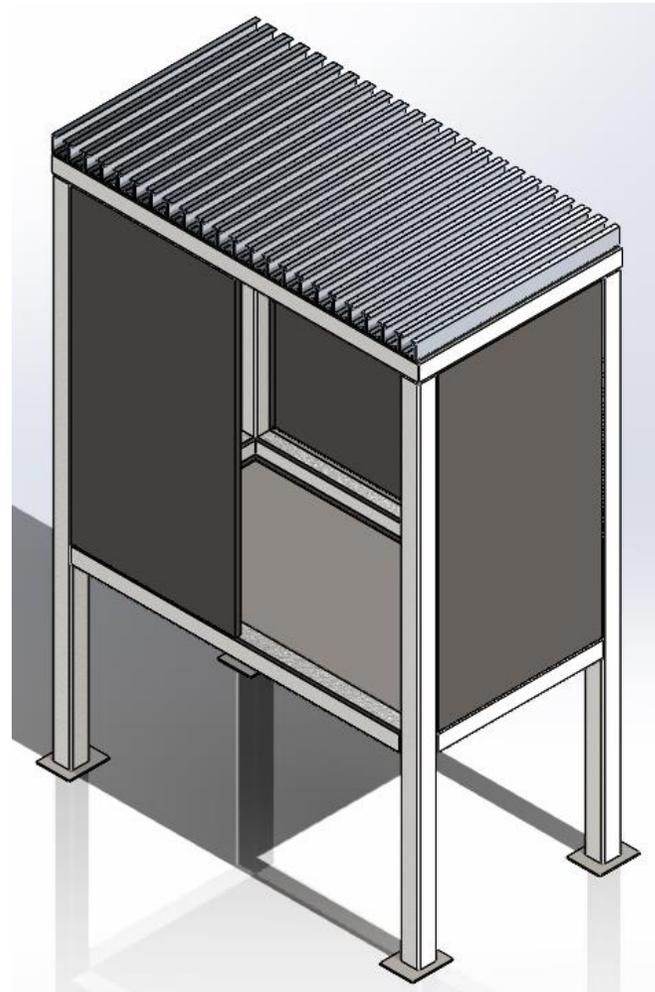


$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

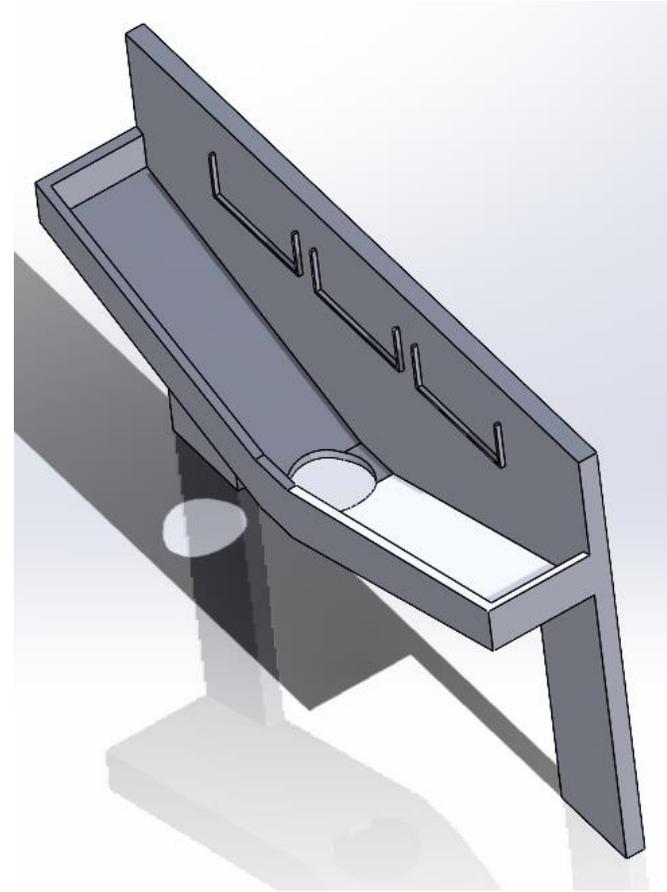
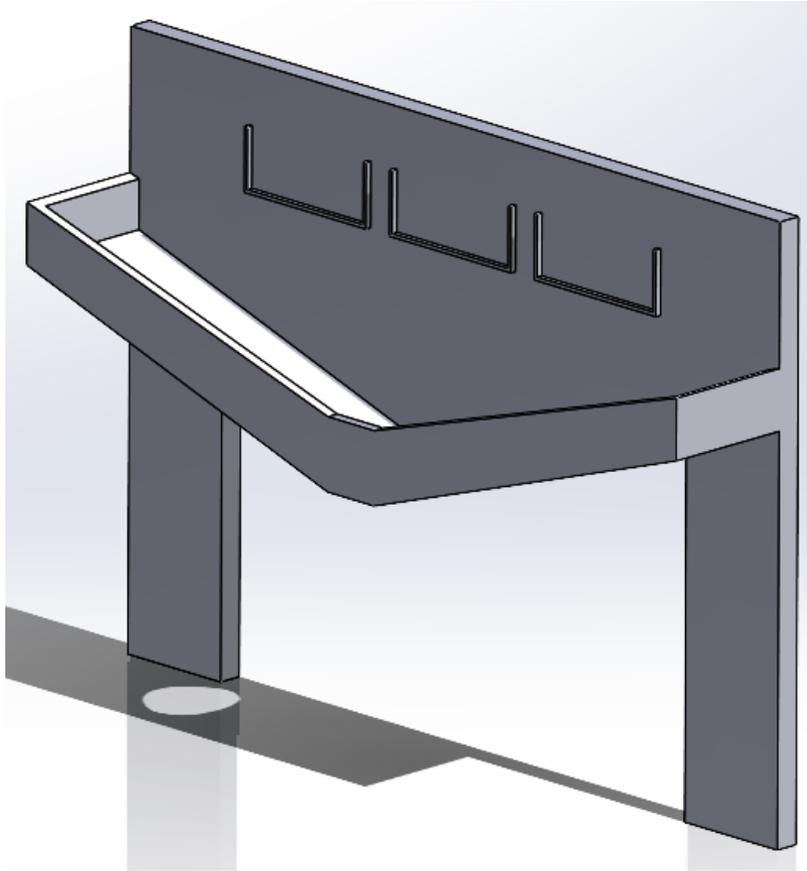
$$n_s = \frac{248.168MPa}{92.1MPa}$$

$$n_s = 2.7$$

Diseño final de la mesa



Diseño base para contenedores y rampa

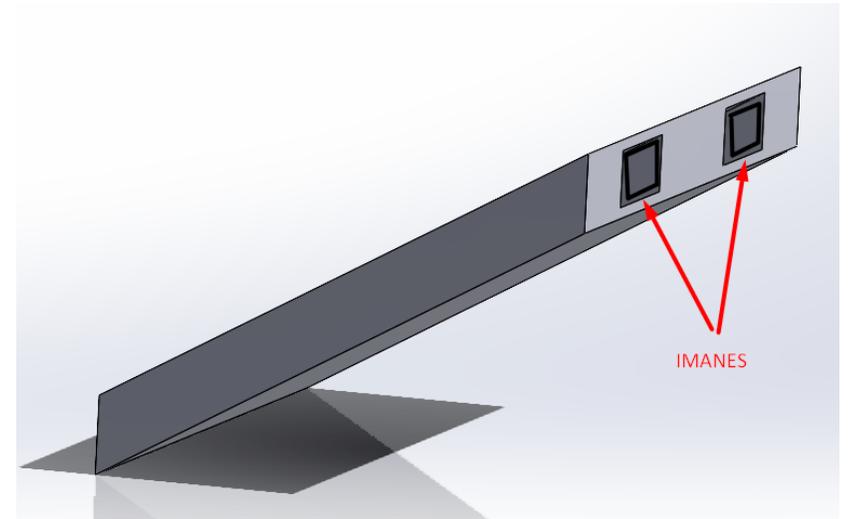
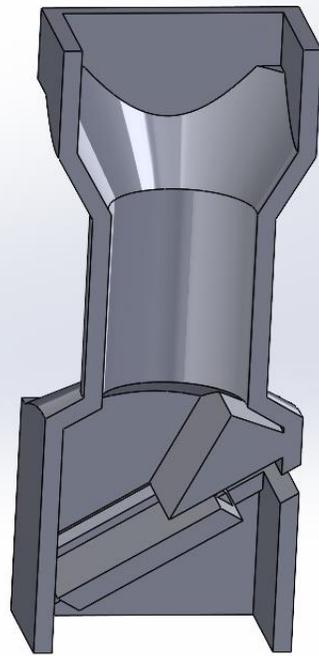
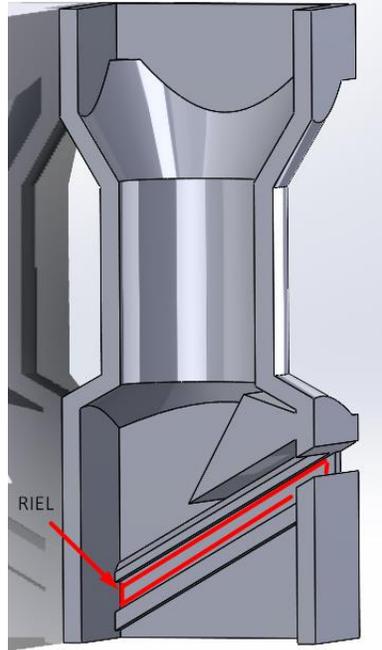
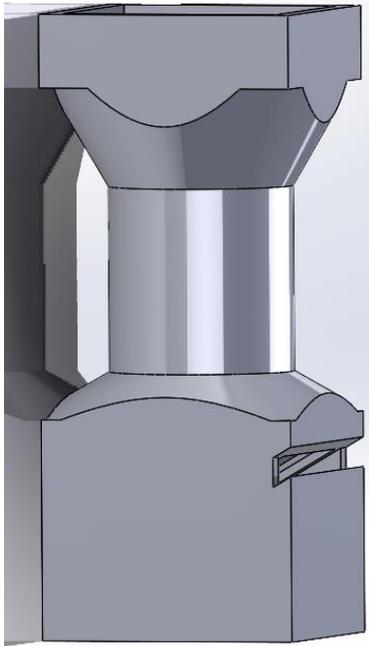


Reglamento de buenas prácticas para alimentos procesados

- En el artículo 21 especifican lo siguiente: (Noboa, 2006) especifica lo siguiente “Las materias primas e insumos deberán almacenarse en condiciones que impidan el deterioro, eviten la contaminación y reduzcan al mínimo su daño o alteración; además deben someterse, si es necesario, a un proceso adecuado de rotación periódica”
- En el artículo 22 del mismo capítulo (Noboa, 2006) también especifica que “Los recipientes, contenedores, envases o empaques e las materias primas e insumos deben ser de materiales no susceptibles al deterioro o que desprenda substancias que causen alteraciones o contaminaciones”



Diseño recipiente



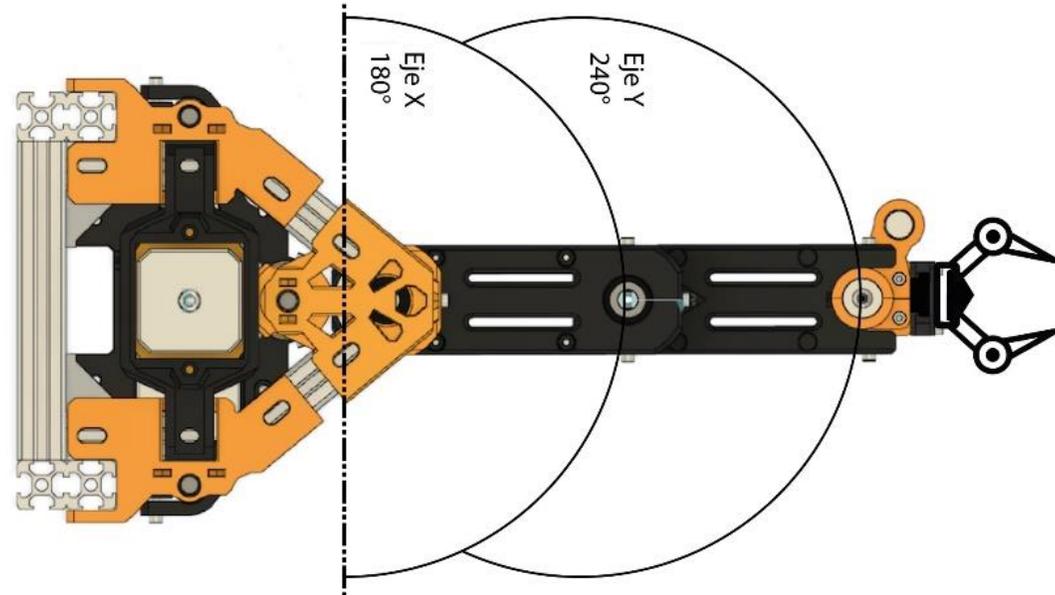
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Subsistema 1

Robot X- SCARA



Revolutas robot manipulador



CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Subsistema 2

Balanza



Dispensador de materia prima



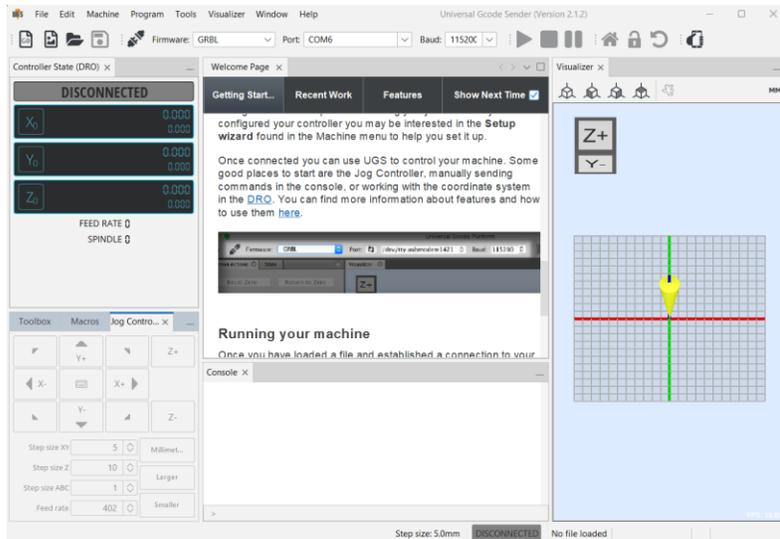
Construcción de la mesa



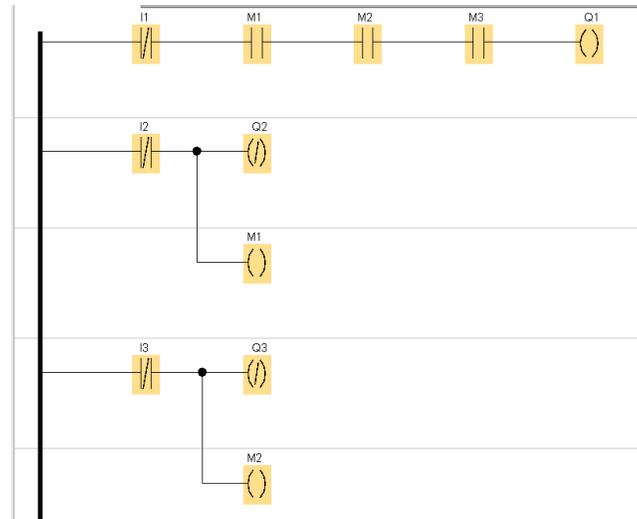
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Subsistema 3

G – CODE SENDER



Programación PLC LOGO!



Programación Balanza

```
Balanza_1

#include <Q2HX711.h>
#include <Servo.h>
//LCD configuracion
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); //sometimes the LCD adress is not 0x3f.

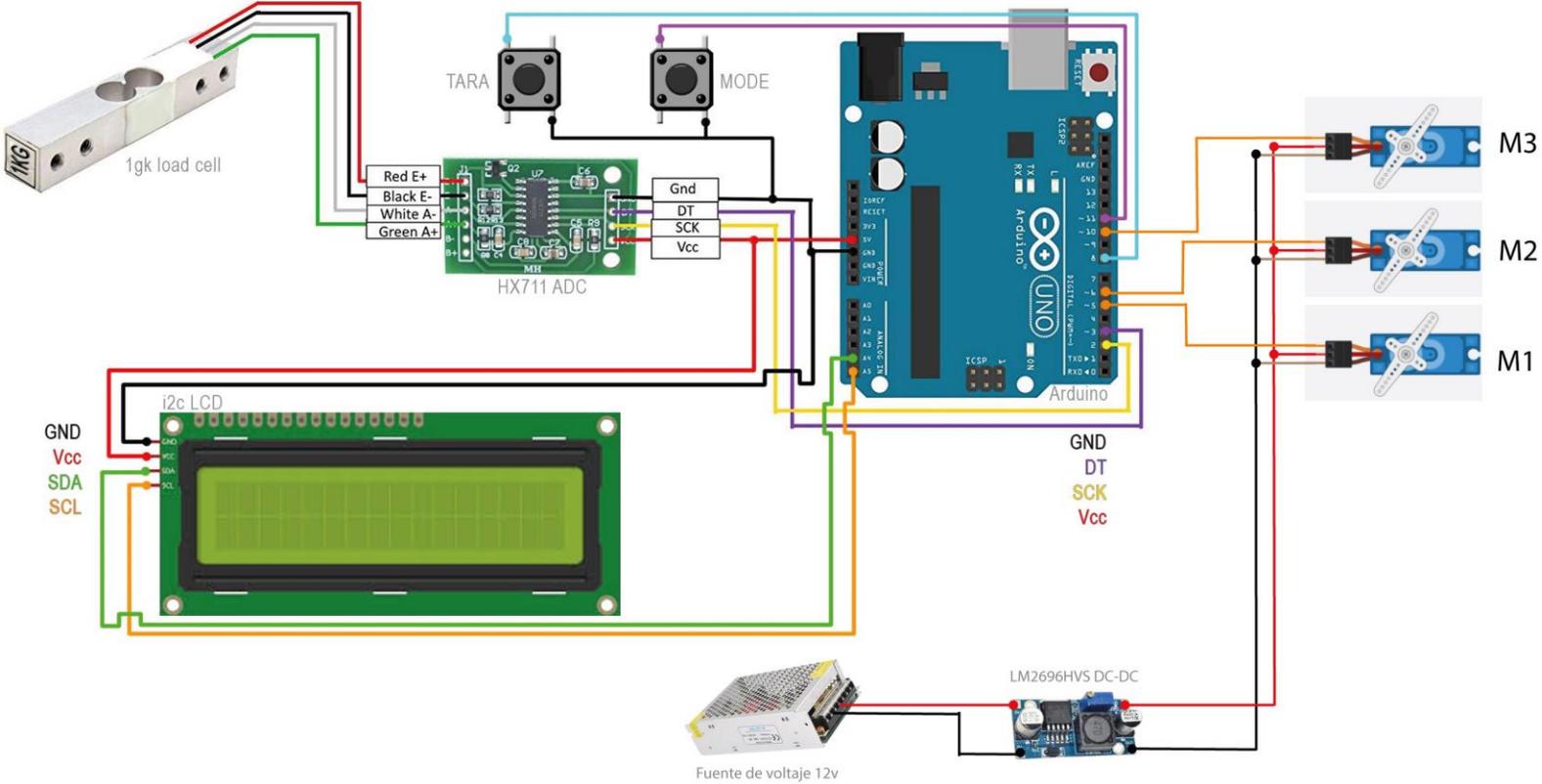
//Pins
const byte hx711_data_pin = 3; //Data pin from HX711
const byte hx711_clock_pin = 2; //Clock pin from HX711
int tara_button = 8; //Tara button
int mode_button = 11; //Mode change button
Q2HX711 hx711(hx711_data_pin, hx711_clock_pin); // prep hx711

//Variables
///////// Cambia aqui la masa para la calibración/////////
float y1 = 64.0; // Masa agregada para calibración
/////////
```



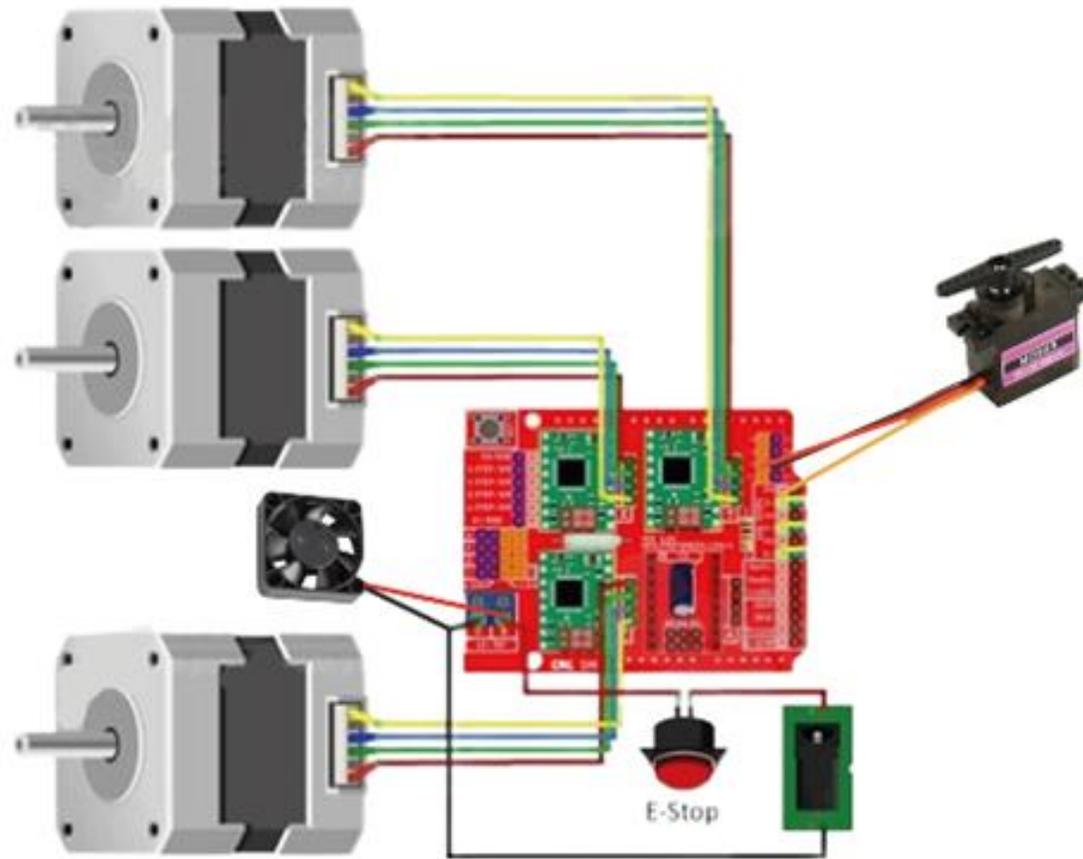
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Circuito balanza y válvulas rotativas



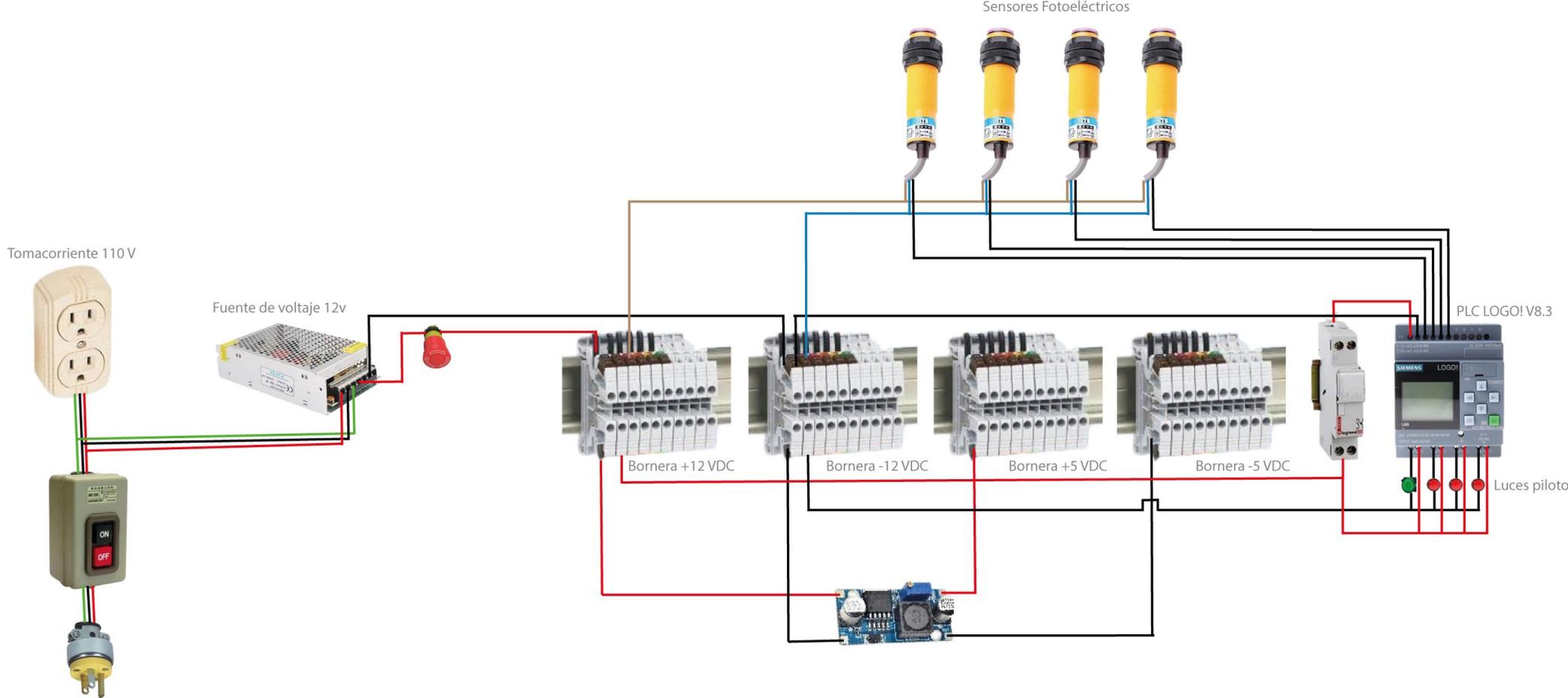
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Circuito controlador robot



CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Circuito controlador módulo



Hipótesis (Hi)

El diseño e implementación de un módulo de medición analógica para sensado empleando tecnologías de sistemas ciberfísicos que permita pesar sustancias con el objetivo de suministrar las cantidades adecuadas para continuar con el proceso de mezclado permitirá el correcto funcionamiento del módulo de sensado.

Hipótesis nula (Ho)

El diseño e implementación de un módulo de medición analógica para sensado empleando tecnologías de sistemas ciberfísicos que permita pesar sustancias con el objetivo de suministrar las cantidades adecuadas para continuar con el proceso de mezclado no permitirá el correcto funcionamiento del módulo de sensado.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Método de chi cuadrado

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Tabla 48

Pruebas de Funcionamiento

	Elemento	Pruebas	Funciona	No funciona
1	Balanza	15	11	4
2	Dispensador de alimento	15	10	5
3	Robot manipulador	15	15	0
4	Sensores	15	12	3
5	Actuadores	15	15	0
	Total	75	63	12

$$f_{e(\text{funcional})} = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$f_{e(\text{no_funcional})} = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$f_{e(\text{funcional})} = \frac{15 \times 63}{75}$$

$$f_{e(\text{no_funcional})} = \frac{15 \times 12}{75}$$

$$f_{e(\text{funcional})} = 12.6$$

$$f_{e(\text{no_funcional})} = 2.4$$

Tabla 49

Cálculo del Chi - Cuadrado

	Pruebas	f_o	f_e	$f_o - f_e$	$(f_o - f_e)^2$	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
1	Funciona	11	12.6	-1.6	2.56	0.2032
2	Funciona	10	12.6	-2.6	6.76	0.5365
3	Funciona	15	12.6	2.4	5.76	0.4571
4	Funciona	12	12.6	-0.6	0.36	0.0286
5	Funciona	15	12.6	2.4	5.76	0.4571
1	No funciona	4	2.4	1.6	2.56	1.0667
2	No funciona	5	2.4	2.6	6.76	2.8167
3	No funciona	0	2.4	-2.4	5.76	2.4000
4	No funciona	3	2.4	0.6	0.36	0.1500
5	No funciona	0	2.4	-2.4	5.76	2.4000
	Total					10.5159

Nota. Una parte muy importante del método de Chi - Cuadrado es que para realizar el cálculo anterior es de igual importancia incluir las pruebas funcionales como las no funcionales.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Método de chi cuadrado

Grados de libertad = 4

Margen de error $\alpha = 0.05$

Figura 84

Puntos porcentuales de las distribuciones Chi - Cuadrado

Tabla 6 (continúa)

$\chi^2_{0.100}$	$\chi^2_{0.050}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.010}$	$\chi^2_{0.005}$	gl
2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944	1
4.60517	5.99147	7.37776	9.21034	10.5966	2
6.25139	7.81473	9.34840	11.3449	12.8381	3
7.77944	9.48773	11.1433	13.2767	14.8602	4
9.23635	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496	5
10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476	6
12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777	7
13.3616	15.5073	17.5346	20.0902	21.9550	8
14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5893	9

10.5159 > 9.48773 ∴

$\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{teorico}}$ se descarta la Ho



CONCLUSIONES

Se ha investigado la documentación científica necesaria para el correcto desarrollo del módulo de sensado

Se ha implementado de manera satisfactoria todas las piezas de la construcción del robot para tener un funcionamiento correcto

Se ha identificado de manera satisfactoria los 3 subsistemas que conforman el módulo 1, como lo son, Subsistema 1: Robot Manipulador, Subsistema 2: Diseño del entorno de trabajo, y Subsistema 3: Software y Control.

Se ha realizado la programación del Controlador Lógico Programable, el cual permite que el entorno físico funcione como un sistema en red con la aplicación logo web editor

Se ha implementado un sistema mecánico de distribución de materia prima mediante la construcción de un módulo con 3 contenedores los mismos que constan de un sistema de válvula rotativa, la cual es impulsada con servomotores, este sistema se guía por una balanza con una galga extensiométrica con un error de sensado de ± 1.5 gramos



RECOMENDACIONES

Al momento de investigar cualquier información acerca del trabajo a desarrollarse siempre se debe verificar la confiabilidad de las fuentes empleadas

Al momento de construir elementos como el robot es de suma importancia seguir las instrucciones otorgadas por el creador, debido a que si se pasa de las medidas indicadas o si se pone menos éste no tendrá la estructura necesaria para su correcto funcionamiento.

Dividir el módulo de sensado en subsistemas es una tarea importante para poder desarrollar el trabajo y poder llegar a cumplir con todas las necesidades del módulo

Para realizar uso del PLC Logo!, se debe leer por con atención el manual con el que este viene, debido a que en el mismo consta la manera de instalación.

Tener en cuenta en que puertos se realizan las conexiones de la balanza y de los servomotores, ya que al momento de emplear las librerías necesarias para su funcionamiento éstas ya tienen ciertos puertos definidos para las diferentes acciones que realizan.



Funcionamiento



Muchas
Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA