

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA
CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE CUBIERTOS**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

Denis Bryan Peña Pachamango

ASESOR: Gustavo Kato Ishizawa

Lima, noviembre del 2014

Resumen

Las empresas de catering de alimentos brindan sus servicios a diversos tipos de clientes, ya sean de transporte aéreo, marítimo y/o ferroviario, empresas industriales, mineras, hospitales e instituciones educativas [1]. Considerando la cantidad de clientes que poseen, este tipo de empresas preparan y comercializan aproximadamente entre 500 y 65,000 platos por eventos y/o pedidos en un día [1][2][3]. Esto incluye necesariamente el uso de 500 a 65,000 unidades de cuchillos, cucharas, cucharitas y tenedores, los cuales deben estar lavados, secados y clasificados según su tipo.

En cuanto al proceso de clasificado, una persona se demora, haciendo uso de su velocidad máxima, aproximadamente 2 minutos por cada 100 cubiertos (anexo 2). Es decir, a las grandes empresas de catering les toma 21.5 horas-hombre por día realizar esta actividad (65,000 cubiertos). Además, este tipo de trabajo involucra un movimiento repetitivo de los brazos de trabajador, quien podría padecer enfermedades disergonómicas, tal como se indica en la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico (anexo 1) establecido por El Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo [4]. Ante lo expuesto es necesario plantear una alternativa de mejora de este proceso.

En la presente tesis se propone el diseño de una máquina clasificadora automática de cubiertos, de tal forma que se brinde la facilidad de realizar el proceso de clasificación, eliminando posibles problemas de salud de los trabajadores. Este sistema se encarga de clasificar los cuatro principales tipos de cubiertos (cuchillo, cuchara, cucharita y tenedor) dentro de las dimensiones de 12cm a 21 cm de largo, 1,5cm a 4,5 cm de ancho y alto 0.1 a 3cm (anexo 3). Estos son depositados con una misma orientación en recipientes individuales para cada artículo. Su diseño consta de cuatro niveles dispuestos de manera vertical. El Nivel 1 sirve como depósito de cubiertos sin clasificar y dosificador mediante el movimiento vaivén de una banda transportadora. En el Nivel 2 se da lugar a la identificación del tipo y orientación del cubierto mediante el procesamiento de imágenes adquiridas por una cámara digital. Continuando con el proceso, en el Nivel 3 se realiza, en caso sea necesario, el cambio de orientación del cubierto por medio de unas paletas; y la posterior clasificación de los artículos. Finalmente, en el Nivel 4 se recepciona a cada cubierto en el recipiente correspondiente a su tipo.

Esta máquina posee una velocidad de clasificación ligeramente superior a la velocidad máxima de una persona (anexo 6). Cabe mencionar que, a diferencia de la persona, la máquina mantendrá una velocidad constante durante todo el proceso. Además, se mejora la calidad de higiene de los cubiertos pues el proceso evita el contacto humano. Por otro lado, el consumo eléctrico de este sistema es 40W (anexo 10). Considerando que el precio de 1,000W es de US\$ 7.4 centavos para el consumo industrial [6], el costo de funcionamiento eléctrico del sistema por hora (US\$ 0.296) es muy inferior al costo de una hora-hombre (US\$ 1.39) [7]. Por estos beneficios, el uso de esa máquina resulta rentable.

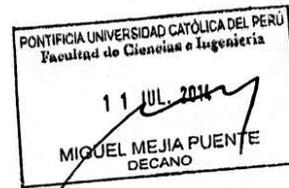
FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Sistema mecatrónico para la clasificación automática de cubiertos.
 Asesor : Gustavo Kato Ishizawa
 Alumno : Denis Bryan Peña Pachamango
 Código : 20090513
 Tema N° : 49
 Fecha : 01 /07 /2014



Descripción y Objetivos

El sistema mecatrónico para la clasificación automática de cubiertos se encarga de realizar la separación de los cuatro principales tipos de cubiertos: cuchillo, cuchara, cucharita y tenedor. Este sistema mecatrónico está orientado a empresas dedicadas al catering de alimentos presentes en las áreas de: transportes aéreos, ferroviarios y, marítimos; comedores de empresas industriales, mineras, hoteles para conferencias, hospitales, instituciones educativas y/o eventos sociales. El sistema puede recibir en una carga hasta 400 cubiertos desordenados y a la salida del sistema se obtendrá los cubiertos clasificados en recipientes según su tipo. Además, en cada recipiente, todos los cubiertos tendrán la misma orientación, lo cual facilitará su posterior manejo. El diseño consta de cuatro niveles dispuestos de manera vertical. El Nivel 1 sirve como depósito y a su vez de dosificador de cubiertos sin clasificar mediante el movimiento vaivén de una banda transportadora. En el Nivel 2 se da lugar a la identificación del tipo y orientación del cubierto, el cual se realiza mediante una cámara y su respectivo procesamiento de imágenes. Continuando con el proceso, en el Nivel 3 se realiza, mediante unas paletas, el cambio de orientación en caso de ser necesario y clasificación de los cubiertos. Finalmente, en el Nivel 4 se depositan los cubiertos en el recipiente que corresponde al tipo de cubierto.

Mediante el uso de este sistema mecatrónico, se busca eliminar el seleccionado manual de cubiertos, el cual es una tarea repetitiva y que consume mucho tiempo. Así se evitarán posibles enfermedades disergonómicas a las personas encargadas de realizar este trabajo. Además se busca mejorar la calidad de higiene de los cubiertos clasificados al eliminar el contacto humano durante la clasificación. Al mismo tiempo, con la clasificación automática de cubiertos se buscar dar una alternativa más rentable, para quien haga uso de este sistema, a comparación del método manual.

Máximo: 100 páginas



Índice

1. Presentación de la problemática.....	5
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	7
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	7
2.2 Concepto del sistema mecatrónico.....	8
3. Sistema mecatrónico.....	13
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	13
3.2 Sensores y actuadores.....	16
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	21
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	26
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	35
4. Presupuesto.....	46
5. Conclusiones.....	49
Bibliografía.....	50

Capítulo 1

Presentación de la problemática

Actualmente, las empresas de catering de alimentos cuentan con una gran demanda de pedidos para poder abastecer a sus clientes. Estas empresas, ya sean medianas o grandes como Do Campo[2], Gate Gourmet y New Rest, brindan sus servicios a compañías de diferentes sectores, ya sean aéreos, ferroviarios, marítimos, industriales, mineras, hoteles para conferencias, hospitales, instituciones educativas o eventos sociales [1][2][3].

Precisado lo anterior, cada una de estas empresas tiene una producción y venta diaria entre 500 y 65,000 comidas por evento, ya sean desayunos, almuerzos o cenas [2]. Esto implica entregar entre 2,000 y 260,000 cubiertos en total (cuchillos, cucharas, cucharitas y tenedores). Esta cifra es significativa, por tanto demanda una ardua labor realizar el lavado, secado y clasificado de estos artículos. Para el proceso de lavado y secado, existe la posibilidad de usar lavavajillas automáticas comerciales, que permite un mejor rendimiento en estos procedimientos; sin embargo, no existe una máquina que se encargue de la clasificación de cada cubierto. Por otro lado, la máquina clasificadora de cubiertos; permitiría un ahorro económico y de tiempo a la empresa, y por lo mismo optimizar sus servicios.

En el caso del catering aéreo, la aerolínea Avianca necesita abastecer con este tipo de servicio hasta 710 vuelos diarios con aviones de capacidad entre 150 (Avión Airbus A320-200) y 362 pasajeros (Avión Boeing) [5].

Analizando solo dos salidas (0.28% del total) de un día, el número de pasajeros es alrededor de 724, lo cual involucra el uso de 2,896 cubiertos ya clasificados. Mediante un experimento se determinó que una persona, haciendo uso de su máxima velocidad, selecciona 100 cubiertos en aproximadamente 2 minutos (anexo 2). Tomando este parámetro, la clasificación de cubiertos para estos dos vuelos dura alrededor de 1 hora. Entonces, si habría que cubrir el cien por ciento del requerimiento de los vuelos en un día, se necesitará 354,5 horas-hombre.

El Ministerio de Trabajo establece la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. “El objetivo principal es establecer parámetros que permitan la adaptación de las condiciones de trabajo a

las características físicas y mentales de los trabajadores” [4]. En esta norma se considera como factores de riesgos disergonómico a las posturas incómodas o forzadas y el realizar movimientos musculares repetitivos por más de 4 veces/min o durante más de 2 horas por día (anexo 1). Ambos factores están presentes al momento de realizar la clasificación de cubiertos. Por lo cual el personal es vulnerable a sufrir una gama de enfermedades como estrés, trastornos musculoesqueléticos, tenosinovitis del pulgar, tendinitis, dolores lumbares, etc.

En este sentido, el presente trabajo propone una alternativa de solución que ayude con la selección automática de artículos de cubertería, haciendo que esta actividad sea fácil y segura para el usuario, y rentable para la empresa.



Capítulo 2

Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

Se requiere diseñar y construir una máquina que se encargue de realizar la clasificación según el tipo de artículos de cubertería, los cuales deben de estar **limpios y secos**. El uso de esta máquina debe de estar orientado a empresas dedicadas al catering aéreo, catering terrestre, concesionarias de alimentos en comedores de empresas, universidades, compañías mineras, buffet y banquetes para empresas, y eventos sociales. De esta forma, la máquina a desarrollar debe de cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Rentable:** El costo de funcionamiento debe de ser menor al costo actual de hora-hombre dedicada a este trabajo. Tomar como referencia S/.3.9 por hora-hombre (anexo 28).
- **Clasificar cubiertos según tipo:** Los artículos de cubertería a clasificar son cuchara, cuchillo, tenedor y cucharita.
- **Dispensar cubiertos clasificados en recipientes según tipo:** La máquina debe devolver los cubiertos clasificados en recipientes ergonómicos individuales.
- **Cubiertos clasificados en una misma orientación:** En cada recipiente, los cubiertos deben de ser depositados con una misma orientación, es decir todos los mangos de los cubiertos deben de estar hacia el mismo lado del recipiente.
- **Higiénica:** El seleccionado debe de realizarse higiénicamente de modo que cumpla con las normas sanitarias.
- **Limpieza y desinfección fácil:** Debe de brindar un acceso práctico a todas las partes de la máquina que entren en contacto con los cubiertos durante el proceso de clasificación.

- **Interfaz de usuario intuitiva:** Debe de ser fácil de entender y fácil de accionar brindando al usuario tanto comodidad, como eficiencia.
- **De uso seguro:** Debe de cumplir con las normas de seguridad necesarias evitando esquinas puntiagudas en su estructura exterior.
- **Facilidad de depositar cubiertos sin clasificar:** El usuario podrá verter, sin orden alguno, la cantidad de cubiertos que desee clasificar. Cabe señalar que los cubiertos deben de estar limpios y secos.
- **Capacidad:** El sistema debe clasificar hasta 400 cubiertos por uso.
- **Funcionamiento por medio de energía eléctrica.** El sistema trabajará con 220 voltios en AC a 60 Hz (suministro eléctrico peruano).
- **Aviso al finalizar el proceso de clasificado.**
- **Tamaño eficiente.**
- **De fácil traslado.**
- **Buena apariencia.**

2.2 Concepto de la solución

Teniendo en cuenta los requerimientos planteados, en la figura 2.2-1 se muestra la vista general de la solución a la problemática. El diseño del sistema se encarga de la clasificación de cuatro principales tipos de cubiertos: cuchillo, cuchara, tenedor y cucharita dentro de las dimensiones de 12cm a 21 cm de largo, 1,5cm a 4,5 cm de ancho y alto 0.1 a 3cm (anexo 3). Estos serán dispuestos con la misma orientación en recipientes ergonómicos.

Las medidas del sistema mecatrónico son: Largo: 1m, Ancho: 50cm y altura: 61 cm.

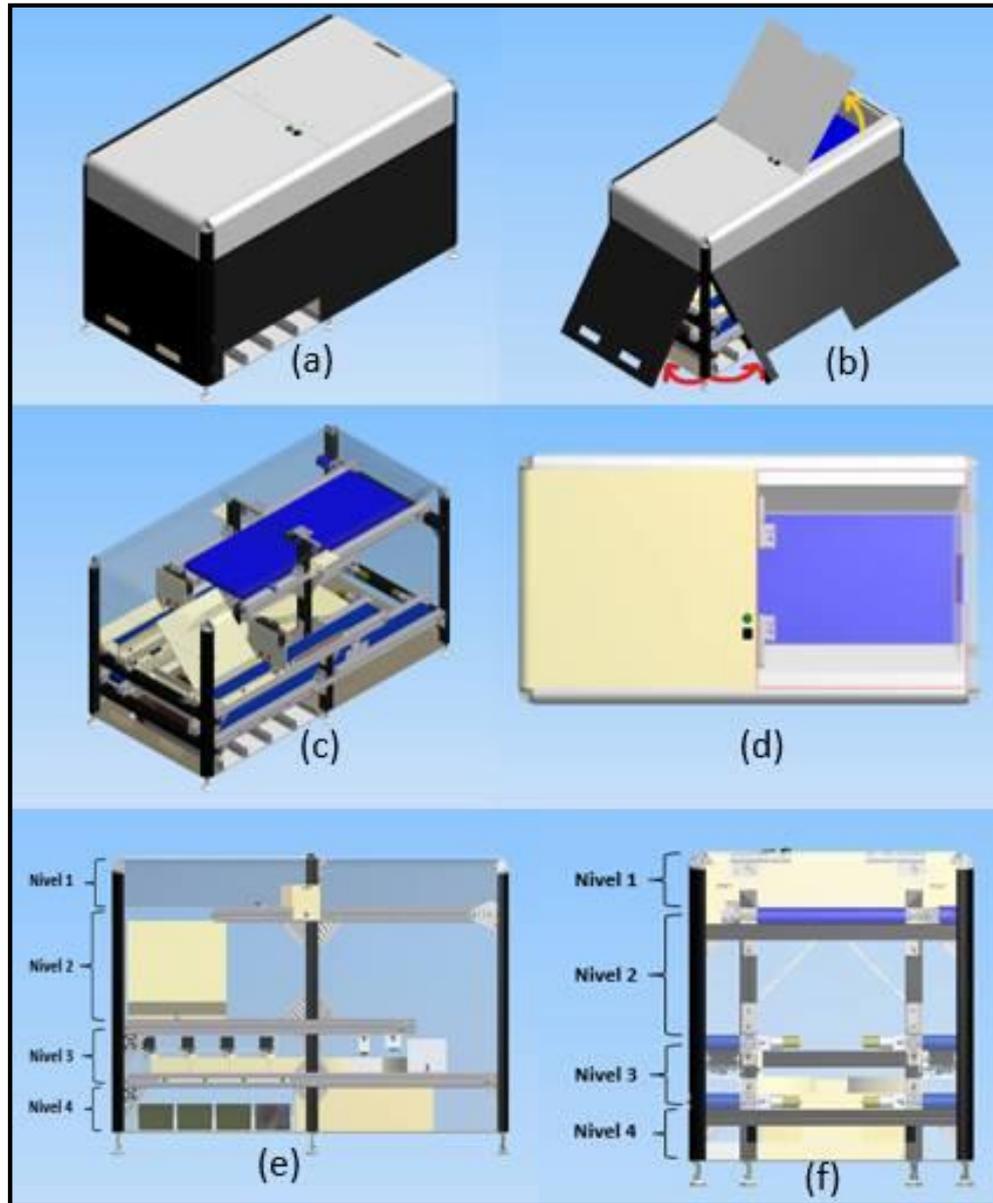


Fig. 2.2- 1 (a) *Isométrico General*, (b) *Isométrico con cobertores abiertos*, (c) *Isométrico con cobertores traslúcidos*, (d) *Vista Superior*, (e) *Vista Frontal* y (f) *Vista Lateral Derecha*

Consta de tres cobertores (ver figura 2.2-1b): uno para el ingreso de los cubiertos sin clasificar, señalado por una flecha amarilla, y dos para una fácil limpieza y desinfección de la máquina, señalados por flechas rojas. Además, la máquina tiene agarraderas en cada cobertor lateral con la finalidad de facilitar su traslado (ver figura 2.2-1a y 2.2-1b).

En cuanto a la composición mecánica, la máquina está dividida en cuatro niveles (ver figuras 2.2-1e. y 2.2-1f.) soportados por una estructura de perfiles modulares de aluminio de fácil ensamblaje (marca Bosch Rexroth [7]). A continuación se detalla la composición de cada nivel:

Nivel 1: Unidad de alimentación y dosificación de cubiertos.

Está compuesta por una **banda transportadora** rodeada por paredes. Es así que el lado derecho de este nivel se convierte en el **depósito de cubertería sin clasificar**. Además, una de las paredes sirve como **limitador y dosificador** de cubiertos. En el lado central, se observan dos **cámaras**, mientras que en el lado izquierdo se ubica un **sensor infrarrojo** (ver figura 2.2-2).

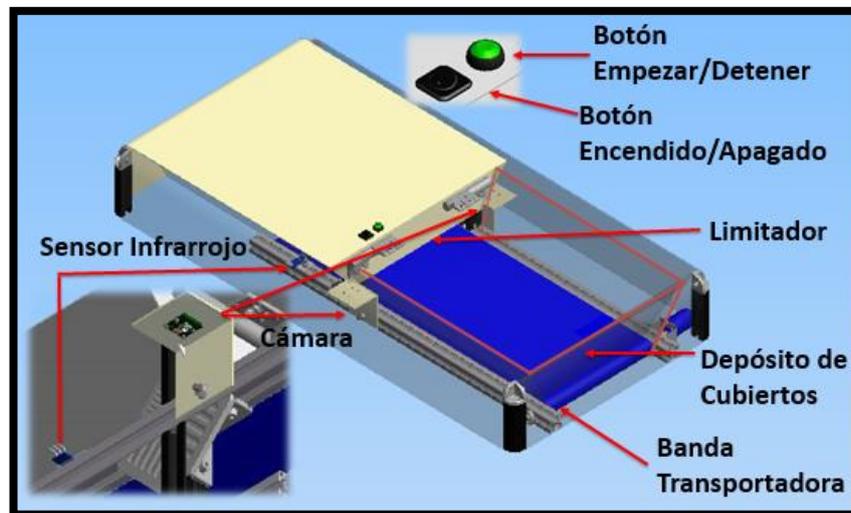


Fig. 2.2-2 Vista isométrica Sur Oeste del Nivel 1

Nivel 2: Identificación del tipo de cubierto y su orientación.

Está compuesta por un **divisor de flujo de cubiertos** por el lado izquierdo. Este componente se comunica con una **banda transportadora** en el lado frontal y otra en el lado posterior. En cada banda se ubica dos **sets de LEDs de iluminación** (ver figura 2.2-3)

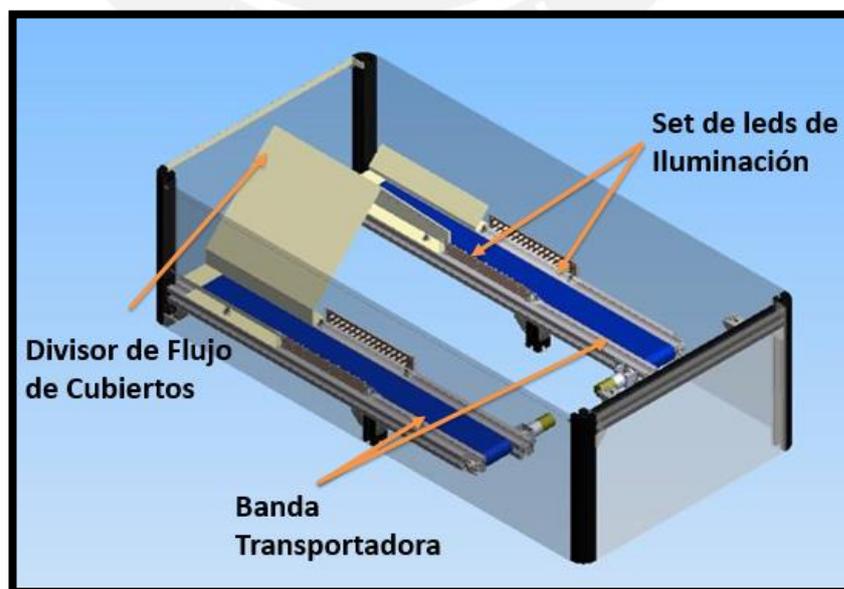


Fig. 2.2-3 Vista isométrica Sur Oeste del Nivel 2

Nivel 3: Cambio de orientación y clasificación de cubiertos.

Está compuesta por una **banda transportadora** en el lado frontal y otra en el lado posterior. En cada banda se ubica una **paleta orientadora** de cubiertos, un **set de paletas desviadoras** y **sensores infrarrojos**. Además, en el lado frontal de este nivel se ubican cuatro leds RGB indicadores, uno relacionado a cada recipiente (ver figura 2.2-4). Por último, debajo de la **base de rotación** se ubican la mayoría de componentes electrónicos y la fuente de alimentación (ver figura 2.2-5).

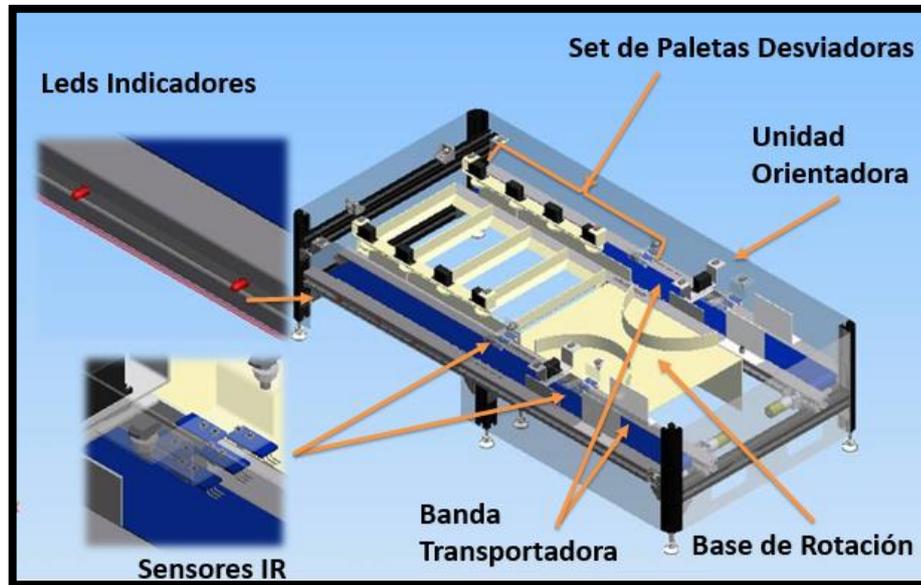


Fig. 2.2-4 Vista isométrica Sur Oeste del Nivel 3

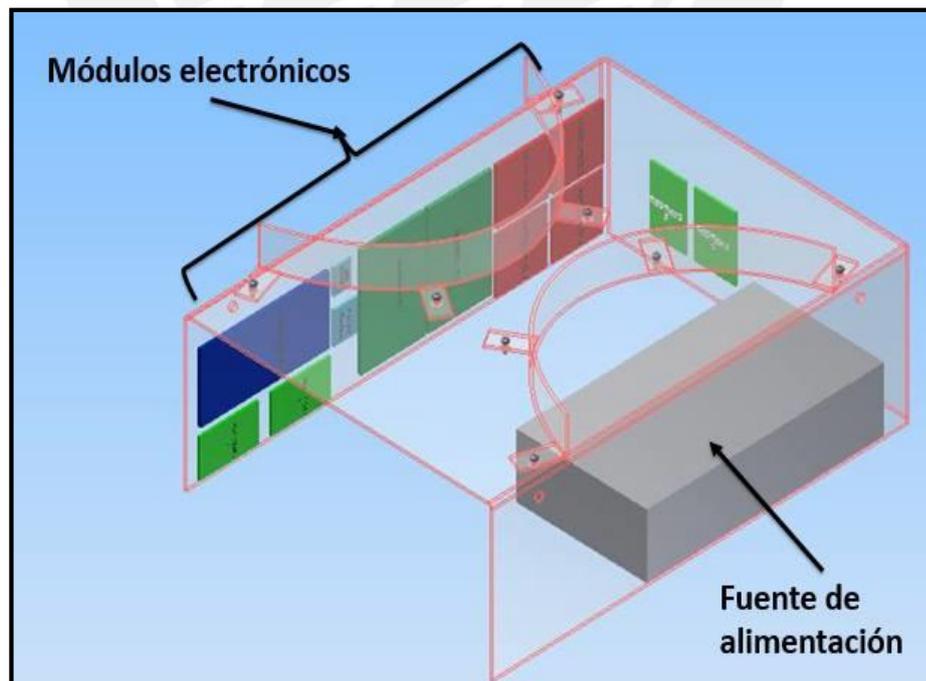


Fig. 2.2-5 Ubicación de componentes Electrónicos

Nivel 4: Depósito de los cubiertos clasificados.

Está compuesto por **recipientes** para cada tipo de cubiertos. Además, en el fin de carrera de cada recipiente se ubica un módulo **Mechanical Endstop Limit switch** (ver figura 2.2-6)

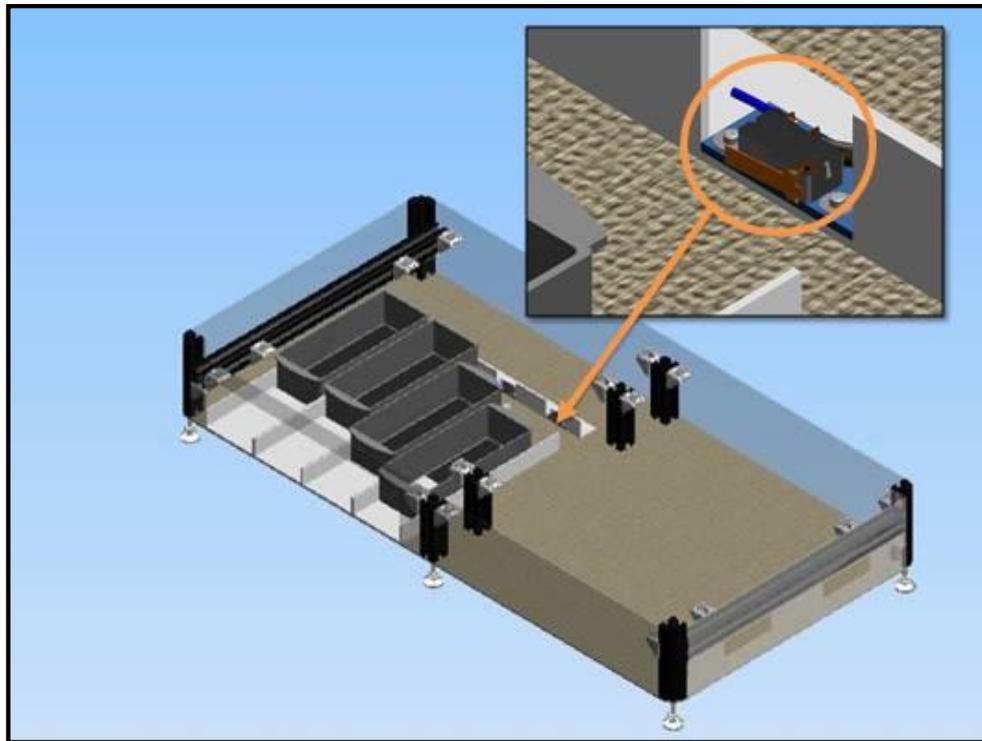


Fig. 2.2-6 Vista isométrica Sur Oeste del Nivel 4

Capítulo 3

Sistema mecatrónico

3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

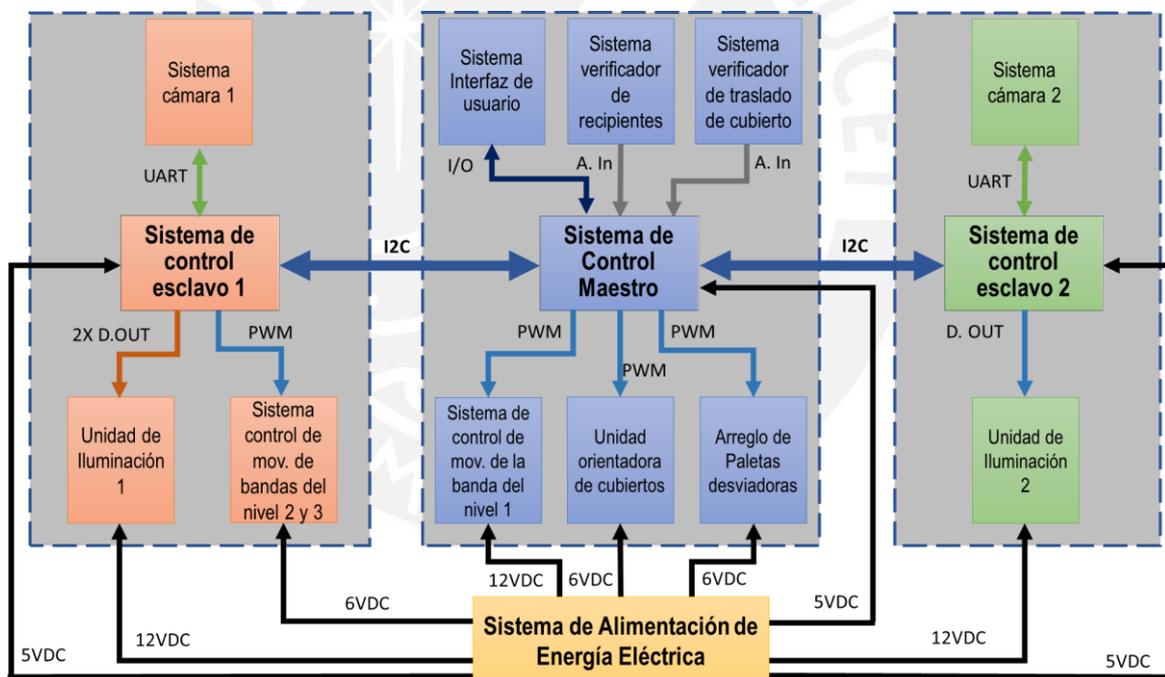


Fig. 3.1-1 Diagrama de Funcionamiento del Sistema Mecatrónico

Sistema de Alimentación de Energía Eléctrica:

Está compuesto por una fuente de potencia Mean Well [8], modelo D-120A, que convierte 220VAC @ 60Hz a 12VDC y 5VDC. Otorga 5A a 12VDC y 12A a 5VDC (anexo 12). Se encarga de alimentar a todo el sistema mecatrónico de energía eléctrica. Cabe señalar que la fuente de potencia seleccionada posee los siguientes circuitos de protección: Corto circuito/ sobrecarga / sobre voltaje (anexo 12).

Sistema de Control Maestro:

Consiste en la placa de desarrollo Arduino Mega 2560 basado en un ATmega 2560 (anexo 13) [11]. Tiene la función de realizar las órdenes del usuario; se comunica mediante el protocolo I2C con los sistemas de control de cámaras 1 y 2; administrar la información adquirida por los sensores y realiza las acciones necesarias para el adecuado funcionamiento del sistema completo.

Sistema de Interfaz de Usuario:

Es el medio por el cual el usuario hace uso del sistema mecatrónico. Así mismo la máquina brinda información al usuario acerca de su estado de funcionamiento. Está diseñada para ser fácil de entender y de accionar. Está compuesta por un *switch* de Encender/Apagar [12], un *módulo push button* con la función de Empezar/Detener [13], cuatro *módulos de LEDs RGB* indicadores (anexo 14) y un *módulo buzzer* (anexo 15). El *switch* y el *push button* cumplen la función de dispositivos de entrada comunicando las instrucciones del usuario al sistema maestro; mientras que los LEDs indicadores y el buzzer hacen de dispositivos de salida, los cuales reciben instrucciones del sistema de control maestro y brindar una información entendible para el usuario.

Sistema Verificador de Recipientes:

Constituida por un conjunto de cuatro *módulos Mechanical Endstop Limit Switches* (anexo 16). Su función es detectar si los recipientes de cubiertos están completos y adecuadamente posicionados (ver figura 2.2-6). Esta información es adquirida e interpretada por el Sistema de Control Maestro, el cual permitirá el funcionamiento de la máquina si los envases están correctamente colocados; caso contrario se encargará de impedir que se inicie con la clasificación de cubiertos.

Sistema Verificador del Traslado del Cubierto

Está compuesto por un set de sensores infrarrojos KY-033 (anexo 17) dispuestos en distintas partes del Nivel 2 de la máquina (ver figura 2.2-4). Su finalidad es brindar información al sistema de control maestro sobre el traslado de los cubiertos a través de las bandas del Nivel 1 y 3.

Sistema Control de movimiento de la banda del Nivel 1

Este sistema está sujeto a las instrucciones del Sistema de Control Maestro. Está compuesto por un driver de motor DC (anexo 18) y su función es activar el movimiento de la banda transportadora del Nivel 1.

Unidad Orientadora de Cubiertos

Se encuentra ubicado en el Nivel 3. Su función es rotar 180° a los cubiertos que estén trasladándose con una orientación incorrecta. Para lo cual se cuenta con una paleta, accionado por un servomotor Tower Pro (anexo 19), encargado de su rotación; por otro lado la base de rotación y una barrera semicircular que impide el traslado no deseado del cubierto mientras éste rota (ver figura 2.2-4).

Arreglo de Paletas Desviadoras

Ubicadas en el Nivel 3 y a continuación del Sistema de Orientación de Cubiertos (ver figura 2.2-4). Se compone por un conjunto de paletas accionadas independientemente por unos servomotores. Su función es depositar los cubiertos en el envase que corresponde, de acuerdo a su tipo.

Sistema de Control Esclavo 1

Compuesta por una Raspberry Pi B (anexo 20). Este sistema se encarga de controlar y recibir información (imágenes) del Sistema Cámara 1. Tiene la función de procesar las imágenes adquiridas y enviar la información procesada mediante el protocolo I2C al Sistema de Control Maestro. Esta información consta del tipo y orientación del cubierto que actualmente se está analizando. Por último, este sistema se encarga de controlar a la unidad de iluminación 1, y accionar adecuadamente el movimiento de las bandas del Nivel 2 y Nivel 3.

Sistema Cámara 1

Está compuesto por el módulo Cámara para Raspberry Pi (anexo 21). Su función es adquirir imágenes de los cubiertos y enviarlas al Sistema de Control Esclavo 1 cada vez que este último se lo solicite.

Unidad de Iluminación 1

Compuesto por dos set de 24 LED blancos [14]. Su función es iluminar adecuadamente la zona de donde se adquieren las imágenes de los cubiertos.

Sistema Control de movimiento de las bandas del Nivel 2 y 3

Este sistema está sujeto a las instrucciones del Sistema de Control Esclavo 1. Está compuesto por drivers de motor DC (anexo 18) y su función es activar el movimiento de las bandas transportadoras del Nivel 2 y 3.

Sistema de Control Esclavo 2

Este sistema está Compuesta por una Raspberry Pi B (anexo 21). Tiene similar funcionalidad que el Sistema Control Cámara 1 pero solo en relación con el Sistema de Cámara 2 y Unidad de Iluminación 2.

Sistema Cámara 2

Tiene igual funcionalidad que el Sistema Cámara 1 pero en relación con el Sistema de Control Esclavo 2

Unidad de Iluminación 2

Tiene igual funcionalidad que la Unidad de Iluminación 2 pero en relación con el Sistema de Control Esclavo 2

3.2 Sensores y actuadores

3.2.1. Sensores

- Modulo sensor infrarrojo KY-032 y KY-033



Fig. 3.2.1-1 Modulo sensor infrarrojo KY-032

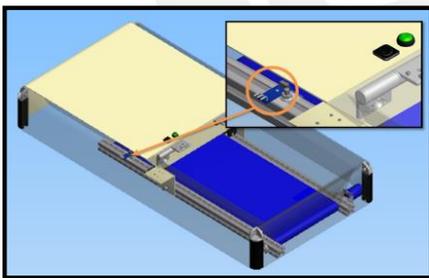


Fig. 3.2.1-2 Ubicación Módulo sensor infrarrojo KY-032

Módulos desarrollados por la empresa Keyes. Están basados en un LED infrarrojo y un receptor bajo la configuración auto réflex (ambos elementos en paralelo). Además, poseen unos potenciómetros para regular la sensibilidad de estos mismos de tal forma que detecte el objeto deseado a la distancia que uno requiera. La diferencia entre estos dos módulos es la dirección en la que detectan los objetos en relación a su fijación. El KY-032 detectará objetos ubicados al mismo nivel que su plano de fijación (ver figura 3.2.1-1), mientras que el KY-33 lo hará con objetos que estén al frente de su plano de fijación (ver figura 3.2.1-3).

Las especificaciones para ambos módulos son:

1. Voltaje de Funcionamiento DC 3.3V-5V
2. Corriente de trabajo $\leq 20\text{mA}$
3. Distancia de detección :2-40cm
4. IO Interface: 4 pines (-/+S/EN) para el KY-032 y 3 pines (-/+S) para el KY-033.



Fig. 3.2.1-3 Modulo sensor infrarrojo KY-033

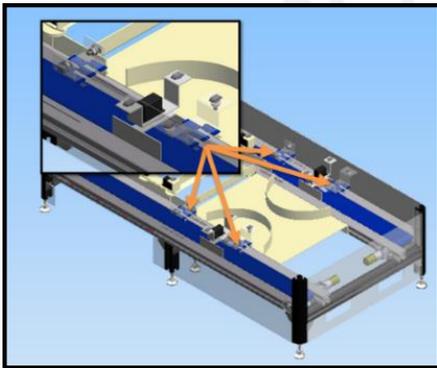


Fig. 3.2.1-4 Ubicación Modulo sensor infrarrojo KY-033

5. Señal de Salida: Nivel TTL. Si hay un obstáculo dará un nivel bajo, mientras que un nivel alto si no hay ningún obstáculo.
6. Calibración: ajustar las resistencias multivoltas.

Ambos módulos se utilizarán para detectar el paso de los cubiertos por distintas etapas del clasificado.

En el caso del KY-032 (anexo 22), este se encuentra ubicado en el lado izquierdo del Nivel 1 (ver figura 3.2.1-2). Detectará el paso de cubiertos después del limitador con la finalidad de saber si aún quedan cubiertos por clasificar. La lógica de este procedimiento se muestra en el diagrama de flujo del funcionamiento del motor N1 (ver figura 3.5-2).

Por otro lado, el KY-033 (anexo 17) está ubicado en el Nivel 3 y está dispuesto en cuatro 4 grupos. Se indican con flechas naranjas en la figura 3.2.1-4. Cada grupo está compuesto por 3 módulos. Se distribuyen dos grupos antes y dos después de cada Unidad Orientadora de Cubiertos. Su función es comunicar la ubicación del cubierto a clasificar, de modo que el Sistema de Control Maestro pueda activar en caso sea necesario el cambio de orientación en el momento adecuado, así como la paleta desviadora referida al tipo de cubierto. Cabe recordar que en Nivel 3 los cubiertos pasan individualmente.

➤ Módulo de cámara para Raspberry Pi

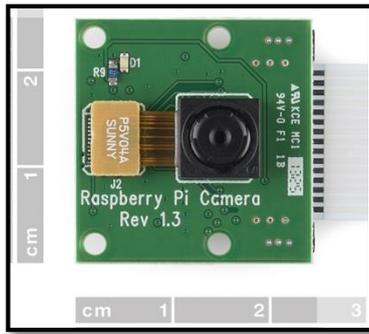


Fig. 1. 2.1-5 Raspberry Pi Camera Module Rev1.3

Módulo desarrollado por la Fundación Raspberry Pi [15]. Su diseño brinda una conexión directa por medio de un cable plano con el puerto CSI (Camera Serial Interface) de una Raspberry Pi.

Las características de este módulo son:

- Compuesto por el sensor de 5MP Omnivision 5847 [16].
- Resolución de imagen: 2592 x 1944.
- Video: Soporta 1080p @ 30fps, 720p @ 60fps y 640x480p60/90 de grabación.
- Tamaño: 20 x 25 x 9mm
- Peso: 3g

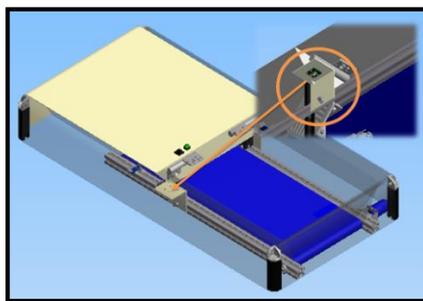


Fig. 3.2.1-6 Ubicación Raspberry Pi Camera Module Rev1.3

Hay dos módulos presentes en el sistema mecatrónico. Están ubicados en el Nivel 1, uno en el lado frontal y el otro en el lado posterior (Ver Figura 3.2.1-6).

La función de cada módulo es la de adquirir imágenes de los cubiertos que pasan por las bandas transportadoras en el Nivel 2.

➤ Mechanical Endstop Limit Switch Module

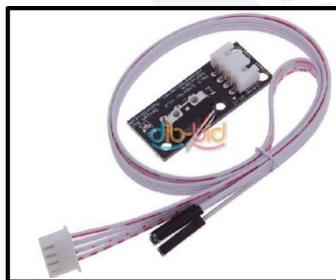


Fig. 3.2.1-7 Mechanical EndStop Limit Switch Module

Módulo fabricado por makerbot [17] (ver Figura 3.2.1-7).

Posee las siguientes características:

- Dos orificios para su fijación.
- Dimensiones: 35x10.3x16mm
- Salida digital de 5V.

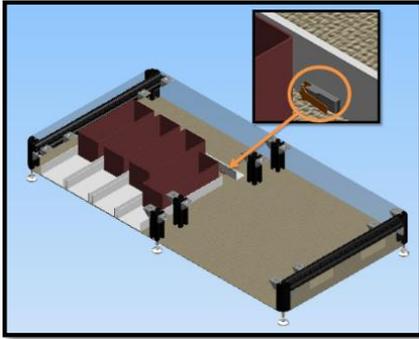


Fig. 3.2.1-8 Ubicación Tact Switch

Hay cuatro de estos componentes en el sistema mecatrónico. Están ubicados en el Nivel 4, exactamente en la parte posterior a la ubicación de los recipientes de cubiertos clasificados (ver Figura 3.2.1-8).

La función que desempeñan es informar al sistema de control maestro si los recipientes están presentes y adecuadamente ubicados durante todo el funcionamiento de la máquina.

3.2.2 Actuadores

➤ Motor DC de 12V



Fig. 3.2.2-1 Motor DC de 12V 70:1

De la marca Pololu [18]. Pertenece a la serie 37D mm Metal Gearmotors. Esta serie posee distintas relaciones de engranaje; en el sistema mecatrónico se usa el de 70:1 (anexo 9 y 23).

Este motor posee las siguientes características:

- Free-run speed @ 12V: 150RPM.
- Free-run current @ 12V: 300mA
- Stall current @ 12V: 5000mA
- Stall torque @ 12V: 200 oz-in
- Dimensiones: 37Dx54L mm

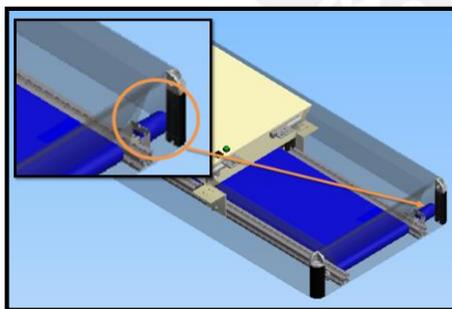


Fig. 3.2.2-2 Ubicación 70:1 Metal Gearmotors

En el sistema mecatrónico se hace uso de uno motor de este tipo. Está ubicado en el Nivel 1, acoplado a banda (ver Figura 3.2.2-2).

Este motor cumple la función de accionar el movimiento de la banda transportadora

➤ Motores DC de 6V



Fig. 3.2.2-3 25Dmm Metal Gearmotors Pololu

De la marca Pololu [18]. Pertenecen a la serie 25D mm Metal Gearmotors. En el sistema mecatrónico se hace uso de dos motores con relación de engranaje de 20.4:1 y otros dos de 34:1(anexo 9, 24 y 25).

Estos motores posee las siguientes características:

- Free-run speed @ 6V: 480rpm @20.4:1 /285rpm @34:1.
- Free-run current @ 12V: 450mA
- Stall current @ 12V: 6000mA
- Stall torque @ 12V: 36 oz-in @20.4:1/60 oz-in @34:1
- Dimensiones: 25Dx50L mm

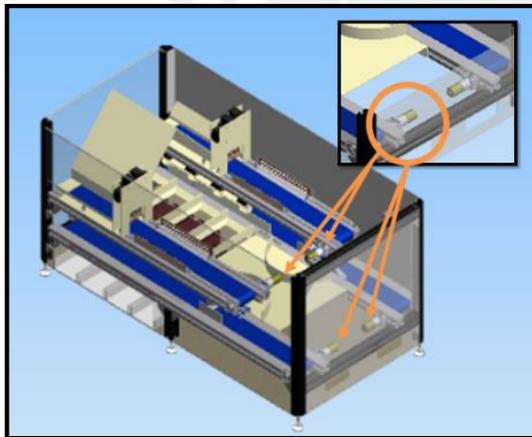


Fig. 3.2.2-4 Ubicación 25Dmm Metal Gearmotors Pololu

Los dos motores de 20.4:1 están ubicados en el Nivel 2, mientras que los otros dos de 34:1 en el Nivel 3 banda (ver figura 3.2.2-4). Cada motor está acoplado a una banda transportadora y su función es la de accionar el movimiento de estas.

➤ Servomotores



Fig. 3.2.2-5 TowerPro MG946R

Los servomotores utilizados son de la marca TowerPro, modelo MG946R (anexo 19).

Este presenta las siguientes características:

- Modulación: Digital.
- Torque: 10.50 Kg-cm @ 4.8V / 13 Kg-cm @ 6.0V
- Velocidad: 0.20 segundos/60° @ 4.8V / 0.17 segundos/60°
- Dimensiones: 40.7x19.7x42.9 mm

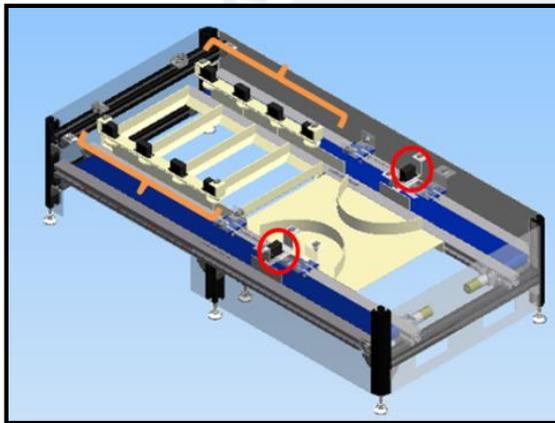


Fig. 3.2.2-6 Ubicación de TowerPro MG946R

Se hacen uso de diez de estos servomotores, todos ubicados en el Nivel 3 (ver figura 3.2.2-6). Cinco sobre cada banda de este nivel.

De estos cinco, uno está encargado de accionar la unidad de orientación (encerrado en un círculo rojo en la figura 3.2.2-6), es decir, es utilizado para girar a los cubiertos con orientación incorrecta. Los otros cuatro de cada grupo (señalados por corchetes naranjas) son utilizados para accionar el arreglo de paletas desviadoras con la finalidad de depositar cada cubierto en el recipiente correspondiente a su tipo.

3.3 Planos del sistema mecatrónico

En esta sección se detallarán solo los planos de ensamblaje de los niveles del sistema mecatrónico. Para mayor detalle de cada componente y demás ensamblajes ver la sección de anexo de planos.

3.3.1 Ensamblaje nivel 1

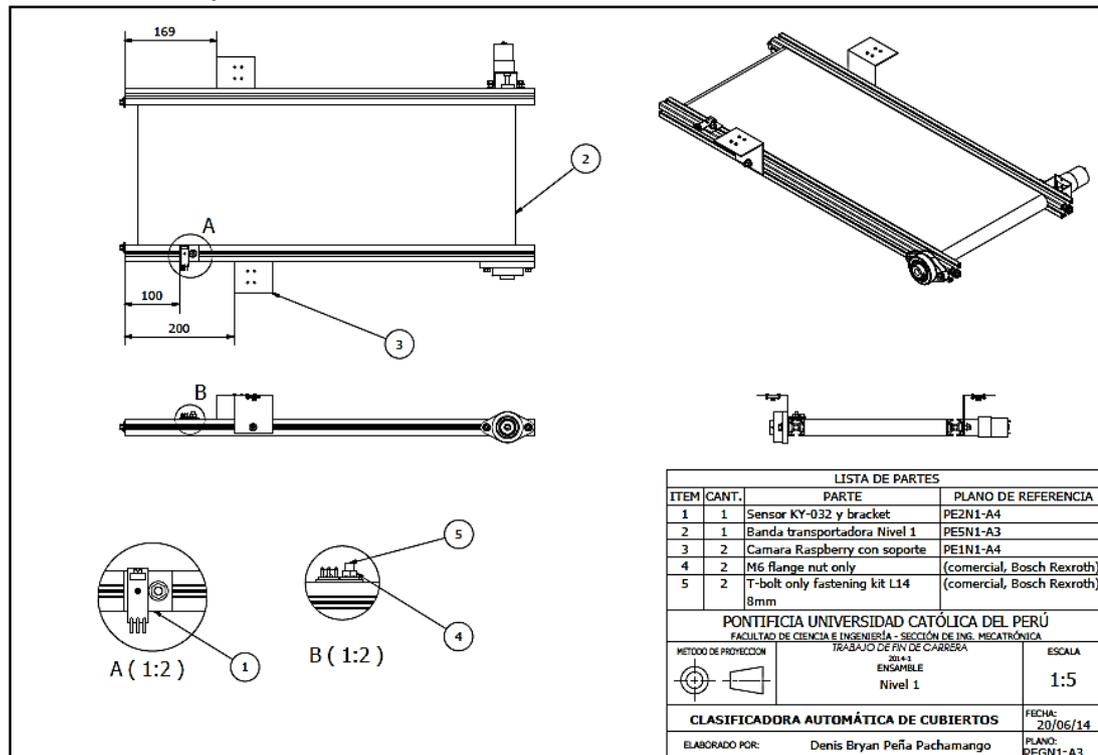


Fig. 3.3-1 Ensamblaje Nivel 1

En la figura 3.3-1 se muestra los elementos que componen el Nivel 1. En el caso de la banda transportadora (ítem 2), la cinta sanitaria de Cloruro polivinilo (PVC) que la compone es de la marca Habasit (anexo 26) [19] Por otro lado, los perfiles que la conforma son los modulares de aluminio de la marca Bosch Rexroth [7], ya que brindan flexibilidad, alta resistencia mecánica, bajo peso y una facilidad de ensamblaje con otros componentes. Gracias a la última virtud de estos perfiles, se logra sujetar a ambos lados de la banda los soportes de la cámara (ítem 3) mediante un perno con cabeza en forma de T denominado como T-bolt (ítem 5). Este perno, también de la marca Bosh Rexroth, está diseñado para encajar perfectamente en las ranuras de los perfiles; de tal forma que con una simple rosca (ítem 4) se podrá sujetar los soportes de las cámaras en el lugar que se desee. Con estos mismos elementos, T-bolt y tuerca, se fija el soporte del módulo sensor infrarrojo KY-032 (ítem 1). Los soportes de la cámara y sensores están hechos de metacrilato de metilo, conocidos también como acrílico. Cabe señalar que el ensamblaje de la banda transportadora de este nivel se detallan en el anexo 55.

3.3.2 Ensamblaje Nivel 2

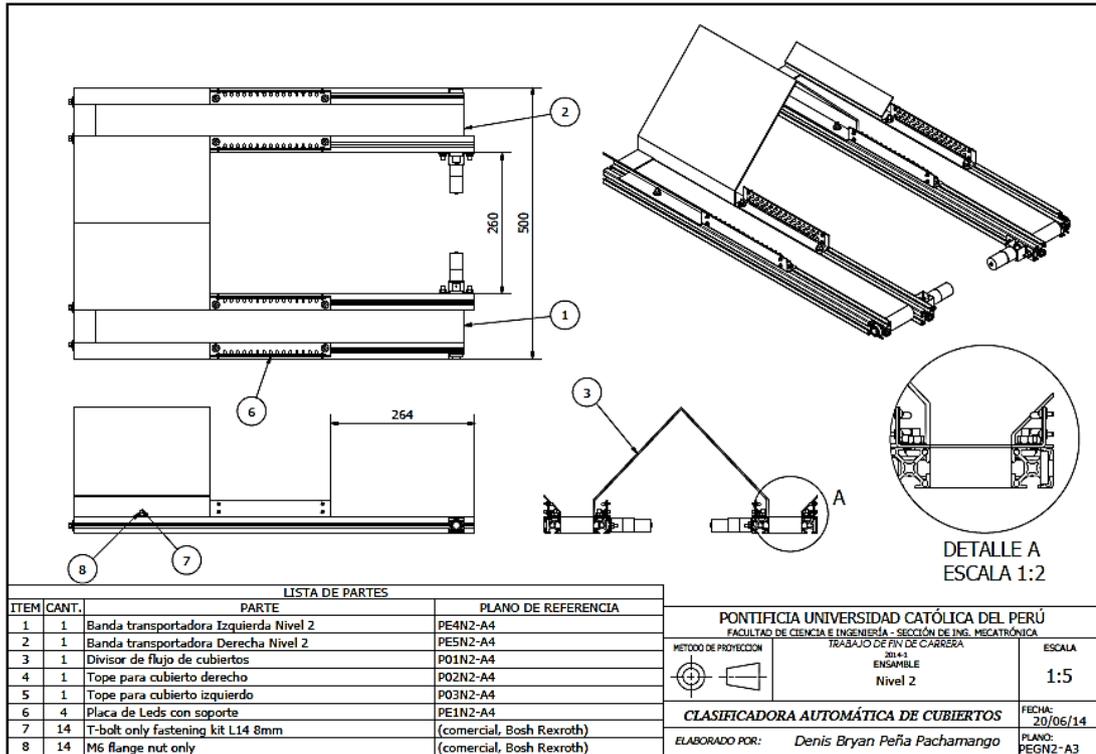


Fig. 3.3-2 Ensamblaje Nivel 2- Parte superior

En la figura 3.3-2 se muestra el ensamblaje del Nivel 2. Está conformado principalmente por dos bandas transportadoras, una al lado frontal (ítem 1) y otra al lado posterior (ítem 2) de la máquina. Estas bandas están ensambladas con el mismo criterio que la banda del Nivel 1, con la diferencia que las dimensiones de largo y ancho varían. En el lado central se ubica una rampa simétrica denominada divisor de flujo de cubiertos (ítem 3). Su función es justamente dividir en dos secciones iguales la caída de los cubiertos del Nivel 1. Es así que, todo cubierto que caiga del Nivel 1 se alinearé paralelamente al movimiento de las bandas transportadoras. Para asegurar esto se fijan dos topes de caída de cubiertos (ítem 2). A continuación de estos topes, y a la altura de la ubicación de las cámaras en el Nivel 1, se ubican 4 pares de paneles de luces LED. Estos son utilizados para la iluminación de los cubiertos al momento de capturar las imágenes. Su configuración se basa en el método de iluminación de campo oscuro o dark field (anexo 27)[20]. El divisor de flujo de cubiertos, tope de caída de cubiertos y los paneles de luces LED son fijados mediante T-bolts y roscas.

3.3.3 Ensamblaje Nivel 3

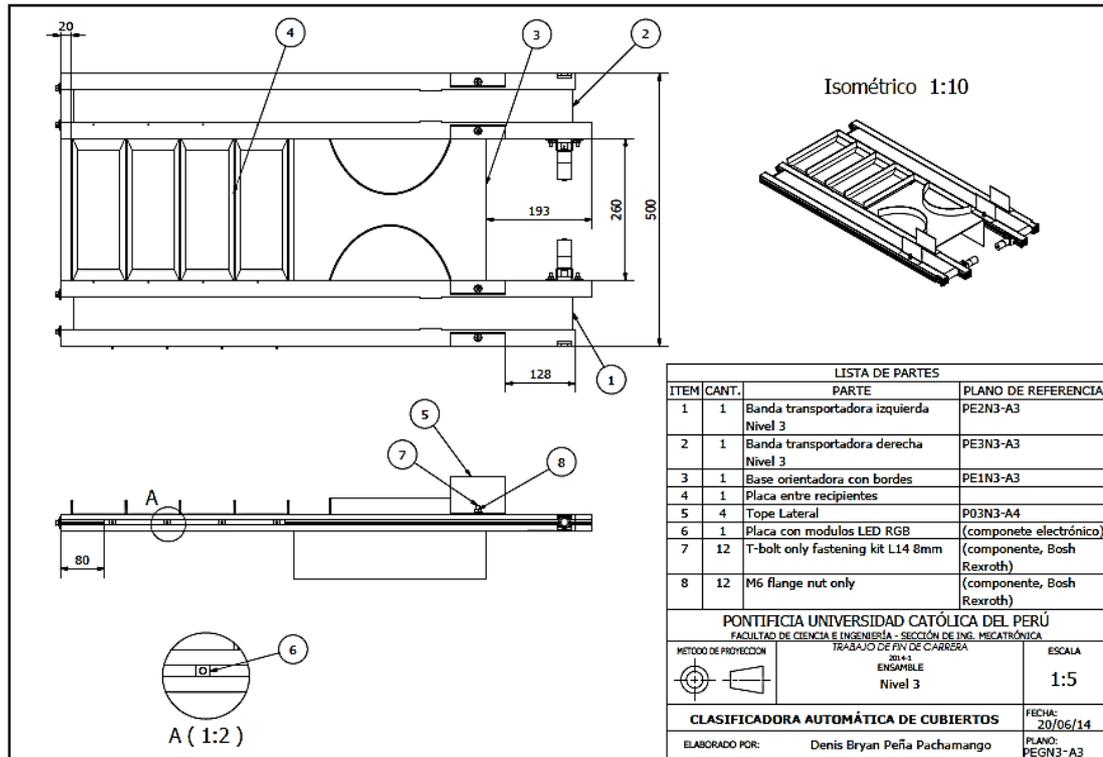


Fig. 3.3-3 Ensamblaje Nivel 3

Este nivel, al igual que el Nivel 2, está conformado principalmente por dos bandas transportadoras (ítem 1 y 2), las cuales se ubican a la altura de las del Nivel 2. En la derecha de estas bandas se ubican cuatro topes laterales (ítem 5), dos a cada extremo de las dos bandas. Su finalidad es mantener en curso al cubierto al momento de caer del Nivel 2. Por el lado derecho de la banda de lado frontal de la máquina se ubica la placa soporte de los 4 módulos LED RGB (ítem 6), los cuales emiten luces indicadoras al usuario a cerca del funcionamiento de la máquina. Esta placa está fijada mediante pegamento en una de las ranuras de perfil frontal. Finalmente, en medio de ambas, se ubican la base orientadora (ítem 3) y la placa entre recipientes (ítem 4). La base orientadora funciona como soporte para el cubierto al momento de ser cambiado de orientación por medio de la Unidad Orientadora de Cubiertos; además, las paredes semi-circunferenciales evitan que el cubierto se traslade a otro sitio. La última función que desempeña este componente es proteger, aislar y soportar, en su parte inferior, a los módulos electrónicos que se hacen uso en el sistema.

3.3.4 Ensamblaje Nivel 4

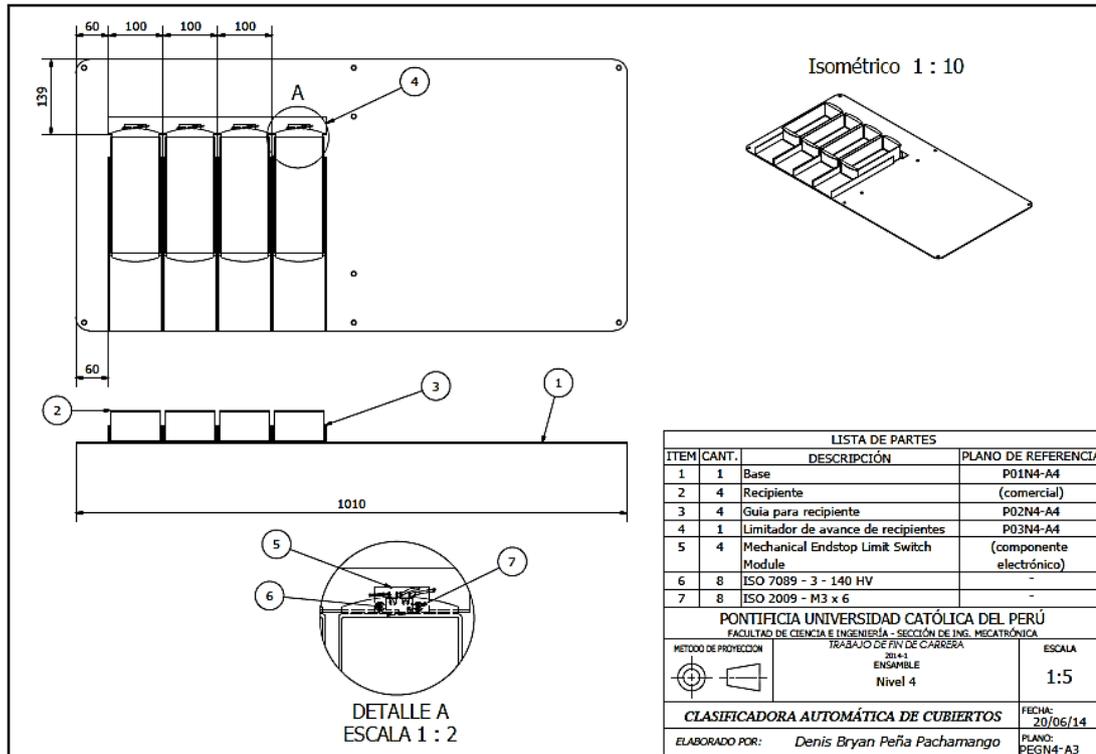


Fig. 3.3-4 Ensamblaje Nivel 4

El Nivel 4 de la máquina está compuesta por el cobertor base (ítem 1). Este está hecho de acrílico, espesor 3mm y su función es soportar a los componentes de este nivel. Las guías para recipientes (ítem3) sirven para colocar los recipientes (ítem 2) a la altura correcta, mientras que el limitador de avance de recipientes (ítem 4) ayuda a colocarlos a la profundidad adecuada. Una vez colocados en la posición adecuada, los recipientes quedaran fijos gracias al espesor de desnivel entre las guías para recipientes y la base. Cabe recordar que, en el limitador de avance se ubican los módulos Mechanical endstop limit switch, de tal forma que se pueda saber si los recipientes están correctamente colocados. Por último, es necesario mencionar que los recipientes a utilizar en el sistema son comerciales.

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

Todos los elementos electrónicos que se utilizan en el sistema mecatrónico son módulos comerciales. Los precios de estos módulos son económicos y poseen un tamaño reducido. Por último, estos módulos están diseñados para poder comunicarse fácilmente con otros, pues convierte la señal de interés en digitales y compatibles con el protocolo TTL. Es así que el esquema completo de los circuitos del sistema esta agrupado en 17 partes. El esquema interno y funcionamiento de cada módulo es detallado en la hoja de datos de cada módulo. Cabe señalar que, el desarrollo de los esquemáticos fue mediante el software Fritzing de la compañía SparkFun [21]. Se decidió hacer el uso de este, pues sus esquemas están basados en módulos comerciales. El esquema general de circuitos electrónicos se encuentra en el anexo 40a. A continuación se muestra individualmente cada parte del esquema general de circuitos electrónicos utilizados en la máquina.

- Grupo 1: Está compuesta por la fuente de alimentación (ver figura 3.4-1), la cual toma como entrada a 220VCA@60Hz para transformarlos y regularlos a 12VCC y 5VCC. Es de estas salidas que se alimenta al resto de los grupos.

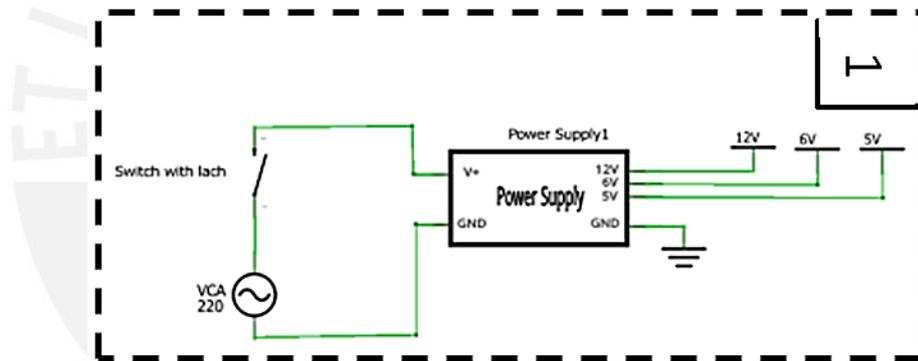


Fig. 3.4-1 Esquemático Grupo 1

- Grupo 2: Se muestra el esquemático del Arduino Mega 2560 y la distribución de sus pines (ver figura 3.4-2). Es alimentado con 5V.

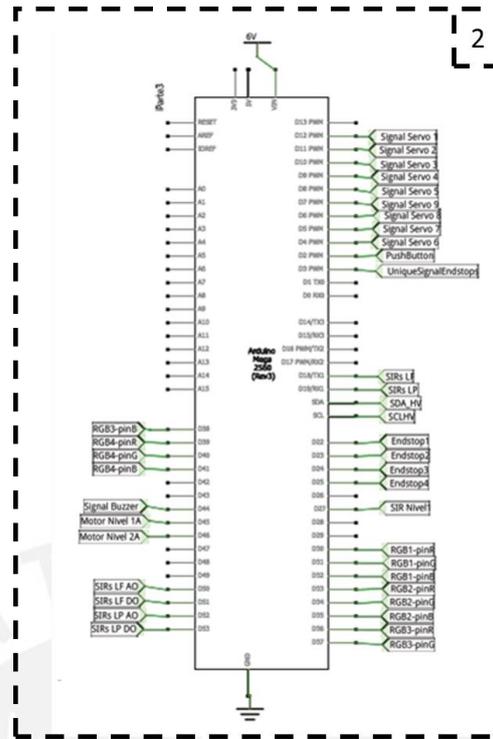


Fig. 3.4-2 Esquemático Grupo 2

- Grupo 3: Está compuesto por el set de 10 servomotores Tower Pro MG996R, cada servomotor posee tres cables de conexión: Vcc, Signal, Gnd (ver figura 3.4-3). Estos son alimentados directamente por la fuente de potencia, mientras que la señal de entrada es enviada por los pines de Arduino Mega. Cabe recordar que esta señal debe de ser del tipo PWM.

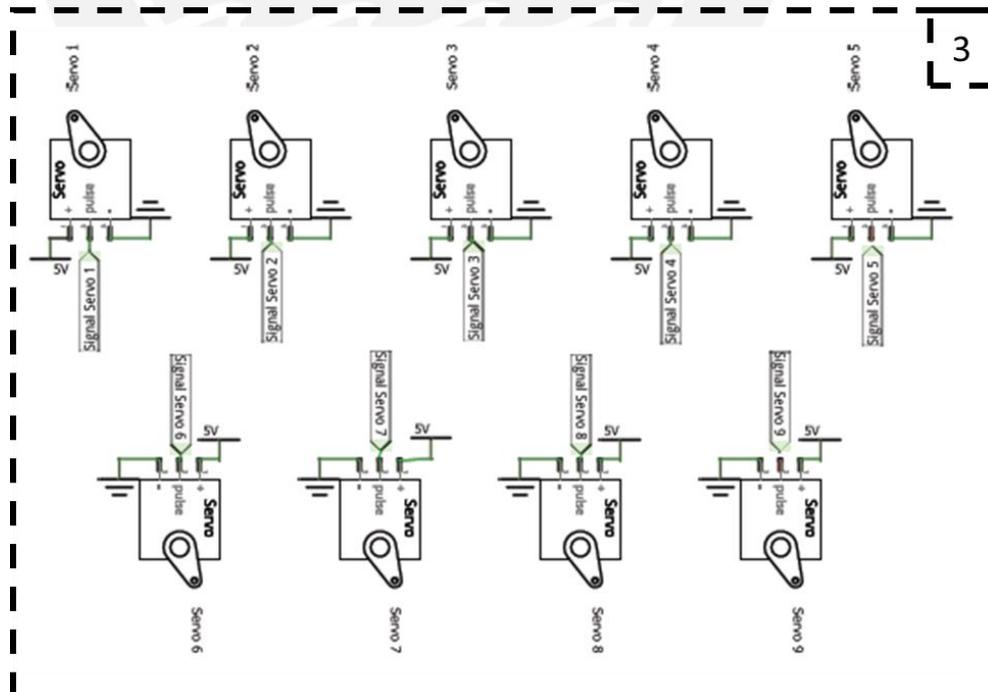


Fig. 3.4-3 Esquemático Grupo 3

- Grupo 4: Está compuesto por 4 módulos LED RGB (anexo 14) y son alimentados con 5V por la placa de Arduino. Cada módulo tiene cuatro pines de conexión: R, G, B, Gnd (ver figura 3.4-4). Los tres primeros se refieren al voltaje que recibirán cada diodo del LED. El último es el cátodo común de los tres diodos el cual va conectado a tierra.

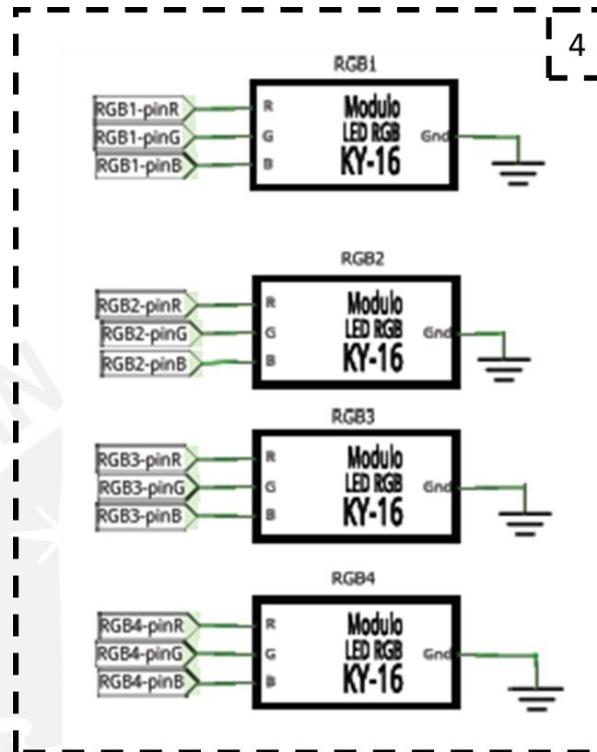


Fig. 3.4-4 Esquemático Grupo 4

- Grupo 5: Está compuesto por el módulo Digital Push Button de la marca makerbot [17]. Brinda la configuración adecuada para evitar el rebote mecánico en la señal producida al presionar el botón, además de convertirla en una señal digital TTL. Es alimentado por la placa de arduino y cumple la función del botón de empezar/parar. Tiene tres pines de conexión: Vcc, Signal, Gnd (ver figura 3.4-5). El pin de la señal está conectado directamente al módulo del Arduino Mega.

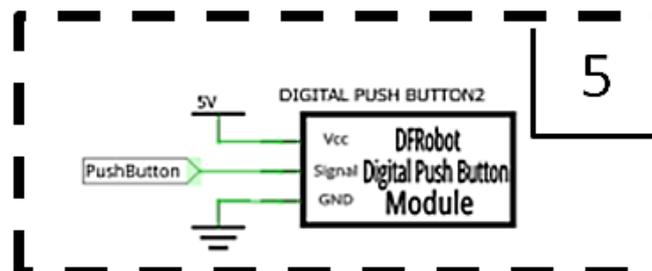


Fig. 3.4-5 Esquemático Grupo 5

- Grupo 6: Compuesto por el módulo de sensor infrarrojo KY-32 (anexo 22). Tiene tres pines de conexión: Vcc, Signal, Gnd (ver figura 3.4-6). Es alimentado por la placa de arduino. Como se mencionó anteriormente, su función es la de detectar el paso de cubiertos en el Nivel 1. La señal de salida de este módulo es una señal digital TTL, la cual está conectada al arduino de tal forma que este último pueda adquirir la información deseada.

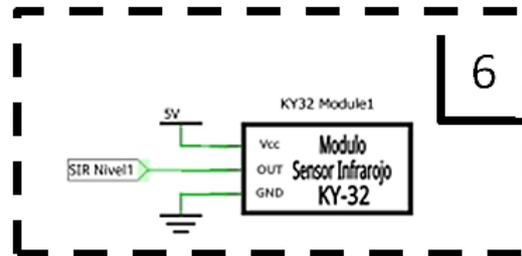


Fig. 3.4-6 Esquemático Grupo 6

- Grupo 7: Está compuesto por cuatro módulos de Mechanical Endstop Limit Switch y el modulo diseñado 7432 Type 2. Como se mencionó, cada módulo de Limit switch se encarga de sensar la correcta ubicación de los recipientes de los cubiertos de acuerdo a la siguiente lógica: si el switch del módulo está cerrado entonces el recipiente está en una ubicación adecuada, caso contrario el switch estará abierto. Además, este módulo se encarga de evitar el rebote mecánico originada por el interruptor de contacto. Las cuatro señales de los módulos limit switch son unificadas en una sola mediante el módulo 7432 Type 2 (ver figura 3.4-7), el cual está compuesto por las cuatro compuertas lógicas OR del circuito integrado 74LS32 y pines para su fácil conexión. La finalidad de tener una única señal es la de activar una interrupción externa del arduino haciendo uso solo de un pin. Luego, mediante la lógica de la programación se identificará que modulo o módulos produjeron la interrupción.

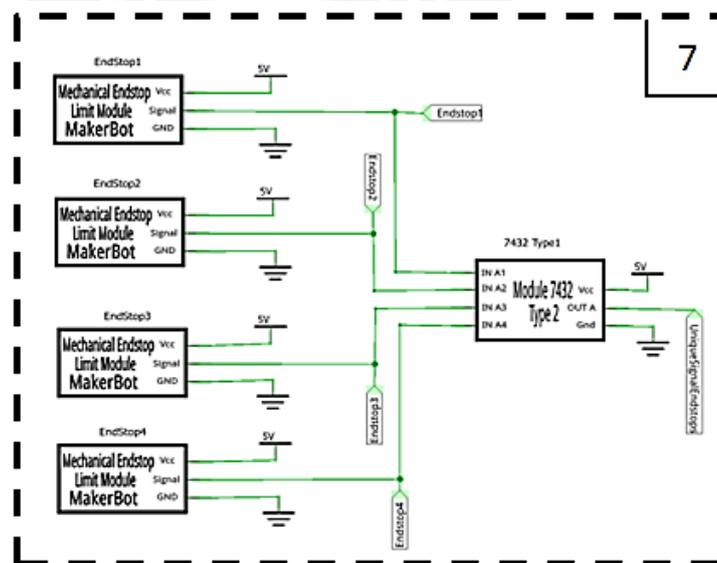


Fig. 3.4-7 Esquemático Grupo 7

- Grupo 8: Está compuesto por el modulo Motor Driver 2A Dual L298 H-Bridge (anexo 18), el cual se utiliza para alimentar al motor del Nivel 1. Como su nombre lo menciona, este módulo se basa en un puente H (ver figura 3.4-8).

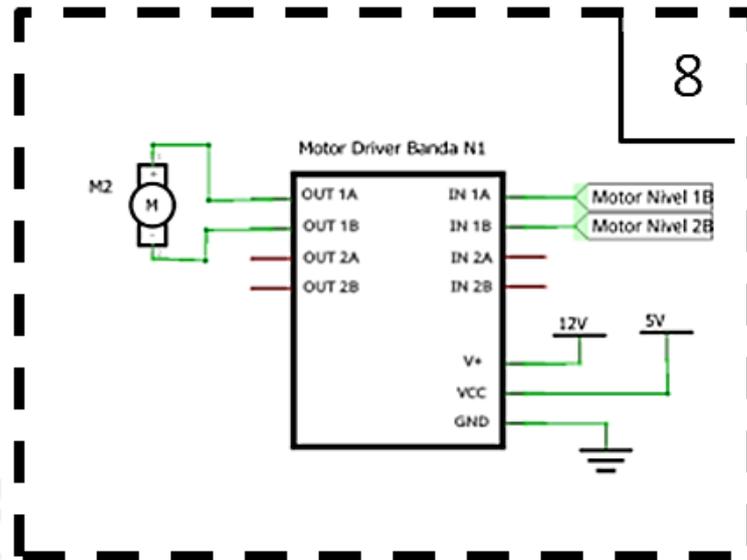


Fig. 3.4-8 Esquemático Grupo 8

- Grupo 9: Está compuesto por 6 módulos del sensor infrarrojo KY-033 y el modulo diseñado 7432 Type 1. Tres de estos módulos KY-033 están ubicados en la banda frontal del Nivel 3 y antes de la unidad de orientación. Mientras que los otros 3 corresponden a los ubicados después de la unidad orientadora de cubiertos. La señal de cada grupo es unificada en una sola mediante el módulo 7432 Type 1 (grupo 11) de forma que sea necesario hacer uso de una sola interrupción externa del Arduino Mega (ver figura 3.4-9).

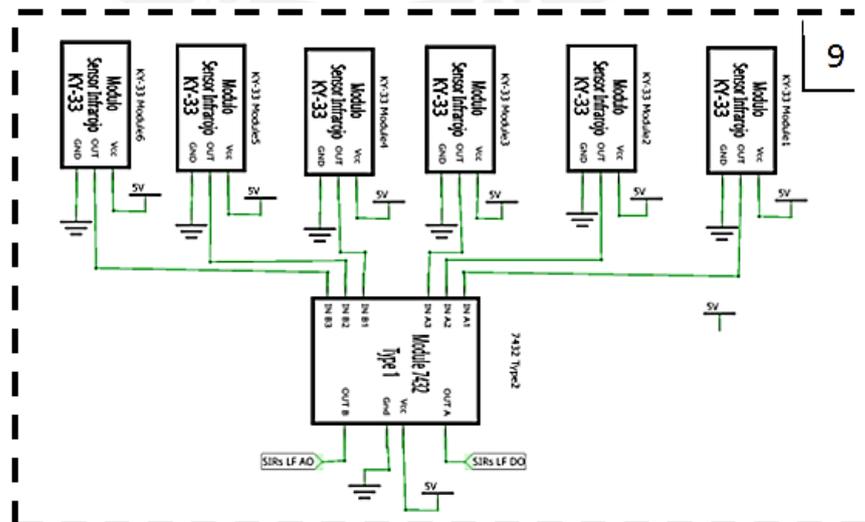


Fig. 3.4-9 Esquemático Grupo 9

- Grupo 10: Su composición es idéntica a la del grupo 8. La diferencia es que los módulos KY-33 son los que se ubican en la banda de lado posterior del Nivel 3 (ver figura 3.4-10).

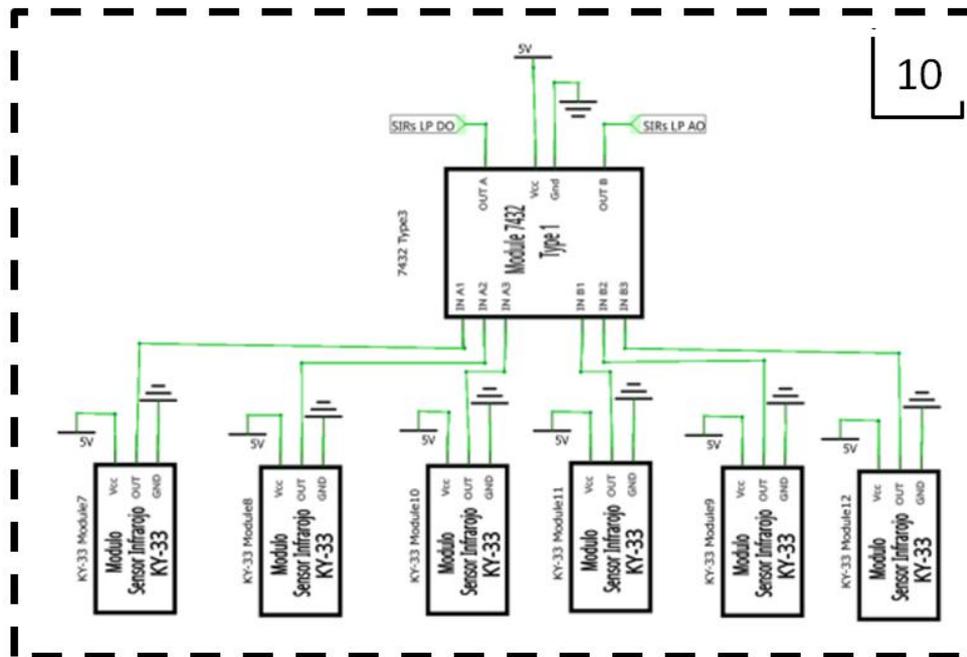


Fig. 3.4-10 Esquemático Grupo 10

- Grupo 11: Como se mencionó, este módulo toma las señales de salida del grupo 9 y 10 para unificarlas y hacer uso de una sola interrupción por grupo (ver figura 3.4-11).

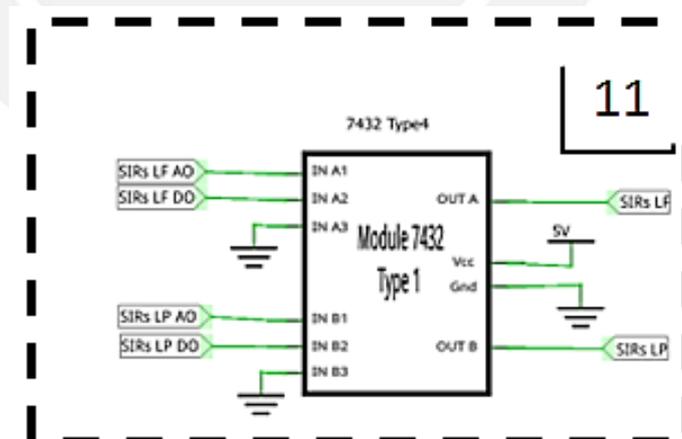


Fig. 3.4-11 Esquemático Grupo 11

- Grupo 12: Está compuesto por un módulo Buzzer de la marca Keyes (anexo 15). Su función es la de emitir un sonido de acuerdo a la señal PWM que se le dé en la entrada (ver figura 3.4-12).

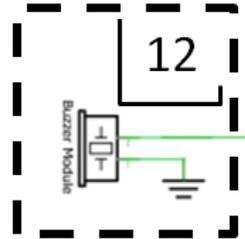


Fig. 3.4-12 Esquemático Grupo 12

- Grupo 13: Está compuesto por el módulo Logic Level Converter fabricado por Sparkfun [22]. Su función es la de convertir una señal de 3.3 V a 5V y viceversa de modo que se pueda mantener una comunicación I2C. Es en este componente donde se unen los pines SDA y SCL del Arduino Mega y el de los dos raspberrys (ver figura 3.4-13).

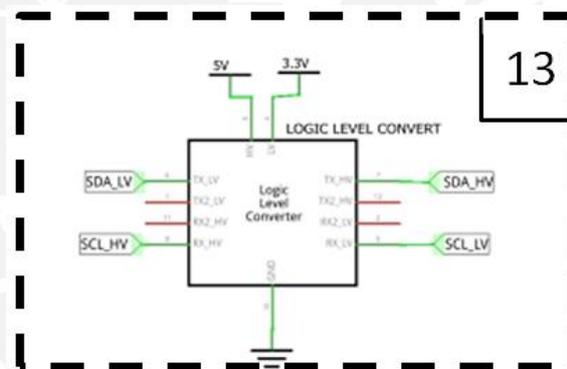


Fig. 3.4-13 Esquemático Grupo 13

- Grupo 14: Está compuesto por la distribución de pines de la Raspberry 1 (esclavo 1). En este se muestra el uso de los GPIOs para el manejo de los motores del Nivel 2 y 3 y los paneles LEDs de iluminación 1; así como la configuración de los puertos SDC y SCL para la comunicación por I2C y por último la conexión con la cámara Raspberry por medio del puerto CSI (ver figura 3.4-14).

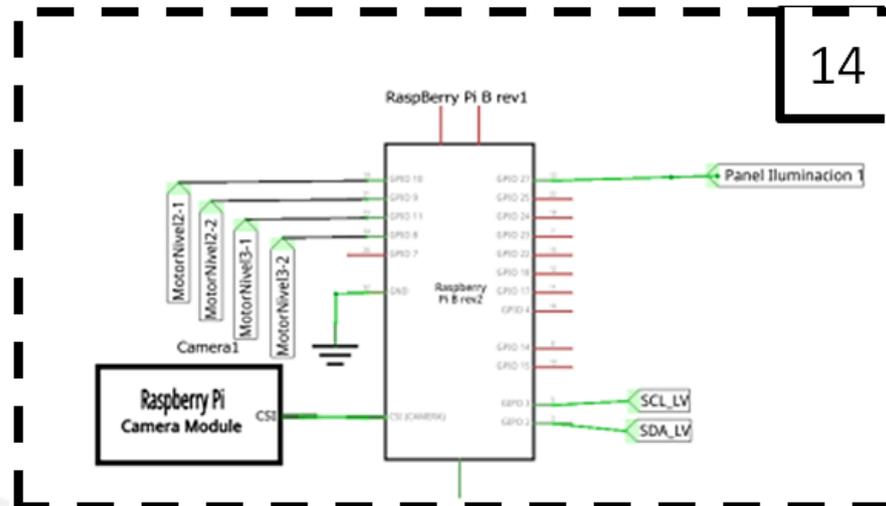


Fig. 3.4-14 Esquemático Grupo 14

- Grupo 15: Se muestra la distribución de pines para la Raspberry 2 (esclavo 2), el cual es idéntico al del grupo 14 a diferencia que este esclavo no se dedica a controlar los motores del Nivel 2 y3 (ver figura 3.4-15).

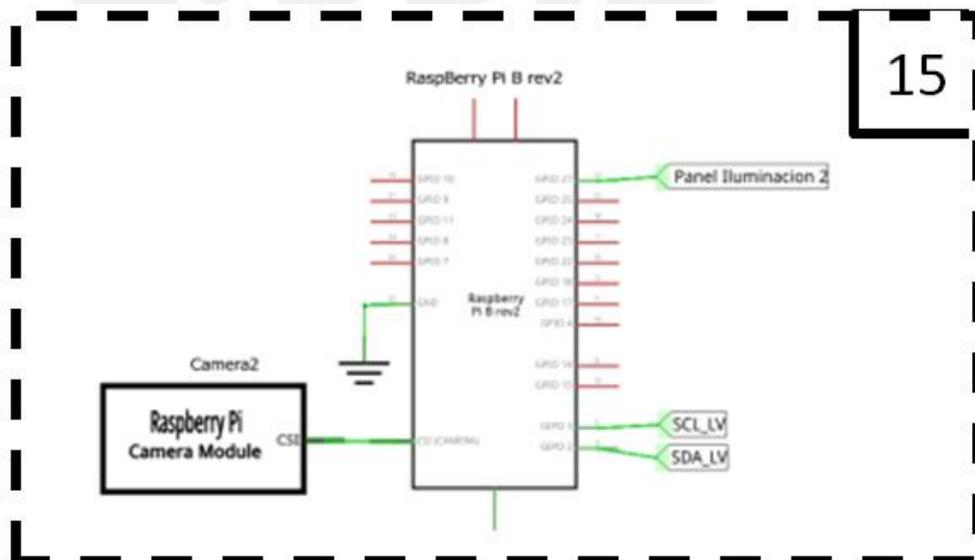


Fig. 3.4-15 Esquemático Grupo 15

- Grupo 16: Muestra las conexiones de los paneles de iluminación LED. Estos funcionan a 12 V, por lo que es necesario que sean alimentados directamente por la fuente de alimentación. Para esto, se hará uso de los módulos Motor Driver 2A Dual L298 H-Bridge (denominados como DM 1 y DM2 en la esquema), el cual activará los LEDs de acuerdo a las señales que envíe la Raspberry 1 (ver figura 3.4-16).

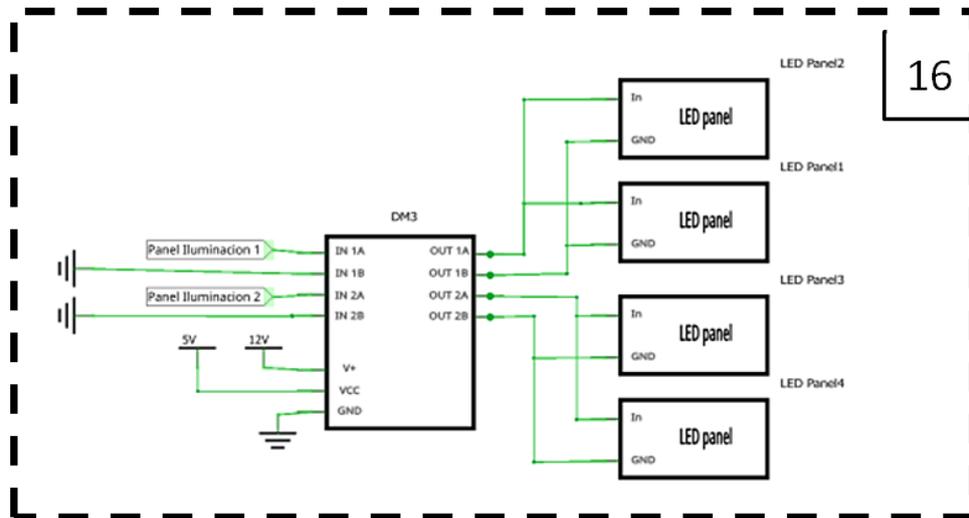


Fig. 3.4-16 Esquemático Grupo 16

- Grupo 17: Se muestra la configuración para activar el movimiento de los motores del Nivel 2 y 3. Para esto se hace uso una vez más de los módulos Motor Driver 2A Dual L298 H-Bridge. La señal de control será enviada por la Raspberry 1 (ver figura 3.4-17).

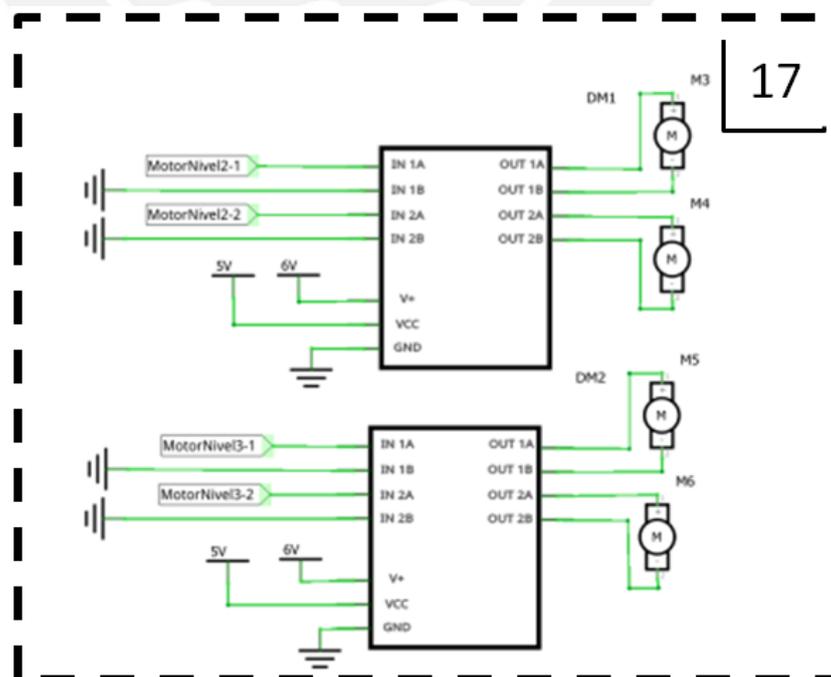


Fig. 3.4-17 Esquemático Grupo 17

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

➤ Programa principal del arduino

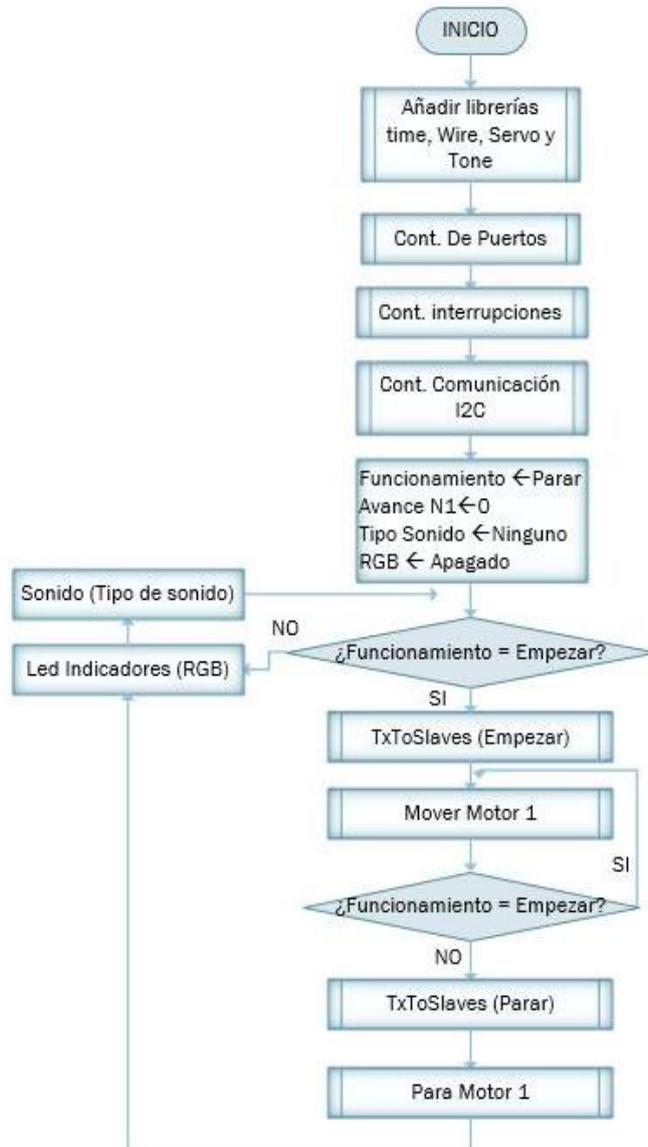


Fig. 3.5-1 Diagrama de Flujo del Programa Principal del Arduino

En el sistema de control maestro, al utilizar una placa como desarrollo como es el arduino, se logra grandes beneficios al momento de realizar la programación. Esto debido a que se tiene a disposición un gran número de librerías libre, las cuales brindan funciones ya establecidas para las más comunes aplicaciones. En este caso se hará uso de las librerías Time, Wire, Servo y Tone. La librería time brinda funciones de tiempo, configurando rápidamente al *timer 0* del ATmega 2560 [23]. El uso de la librería Wire será la configuración de la comunicación mediante el

protocolo I2C entre los sistemas de control esclavo (Módulos Raspberrys) [24]. Por otro lado, la librería Servo [25] brinda facilidades de manejo de hasta 48 servomotores en el Arduino Mega mediante una configuración adecuada del *timer 1* del microcontrolador. En el sistema solo se hacen uso de 10 servomotores. Por último, la librería Tone brinda facilidades de efectuar señales adecuadas (PWM) para el módulo buzzer con la finalidad de emitir sonidos [26]. Para cumplir con esto, esta librería hace uso del *Time 1* del microcontrolador. Una vez añadidas las librerías mencionadas, se procede a la configuración de puertos de entradas y salidas, así como la de interrupciones internas y externas. Luego, se procede a la configuración de la comunicación por medio de I2C.

En todos los diagramas de flujos se tendrán como variables globales a:

- *funcionamiento* con valores de empezar o parar;
- *avance N1*. Indica el número de avances continuos que tiene la banda transportadora del Nivel 1;
- *tipo de sonido*. Indica el tipo de sonido a realizar, ya sea el de un error o el fin de funcionamiento de la máquina.
- *RGB*. Indica que tipo y color de emisión deben de tener los módulos LED RGB. Siendo esto:

Tabla 3.5-1 Emisión de Módulos LED

RGB	Módulos LED RGB
Termino de la clasificación	Verde parpadeante
Pausa	Amarillo parpadeante
Error recipiente	Rojo parpadeante solo referente al recipiente mal colocado o ausente.
Error traslado de cubiertos	Rojo parpadeante de todos los módulos
Capacidad de recipiente	Referente a la capacidad de cada recipiente: <ul style="list-style-type: none"> • Verde: menor al 80% • Amarillo: entre 80% y 90% • Rojo: mayor a 90%

Luego de haber inicializado las variables globales, el sistema entra en un lazo hasta que el valor de *funcionamiento* sea *empezar*. Este cambio se dará mediante la interrupción externa del botón pausa/continuar. (Ver Fig. 3.5-3). Esto significa, mientras que no se presione por primera vez este botón, no se dará inicio al funcionamiento de la máquina. Una vez se reciba la orden de empezar con la clasificación, el sistema de control maestro transmitirá esta orden a los esclavos (los 2 Raspberry). Luego se procede a mover en vaivén el motor de la banda transportadora del Nivel 1. Este movimiento se explica a detalle en el diagrama de flujo de la figura 3.5-2. El movimiento continuará solo si el valor de *funcionamiento* no cambia a *parar*. Este cambio se dará solo en caso el usuario vuelva a presionar el botón de empezar/parar o se detecte un error en el funcionamiento la máquina. En caso esto suceda, el sistema de control maestro se encargará de ordenar a los esclavos detener su funcionamiento; además de detener al motor N1, actualizar el

tipo de emisión que deben de realizar los módulos LED RGB y el sonido que el módulo buzzer debe emitir. Finalmente el sistema volverá al lazo inicial a la espera de que se reanude la clasificación de cubiertos mediante una nueva pulsación del botón parar/continuar.

➤ Movimiento del motor del Nivel 1

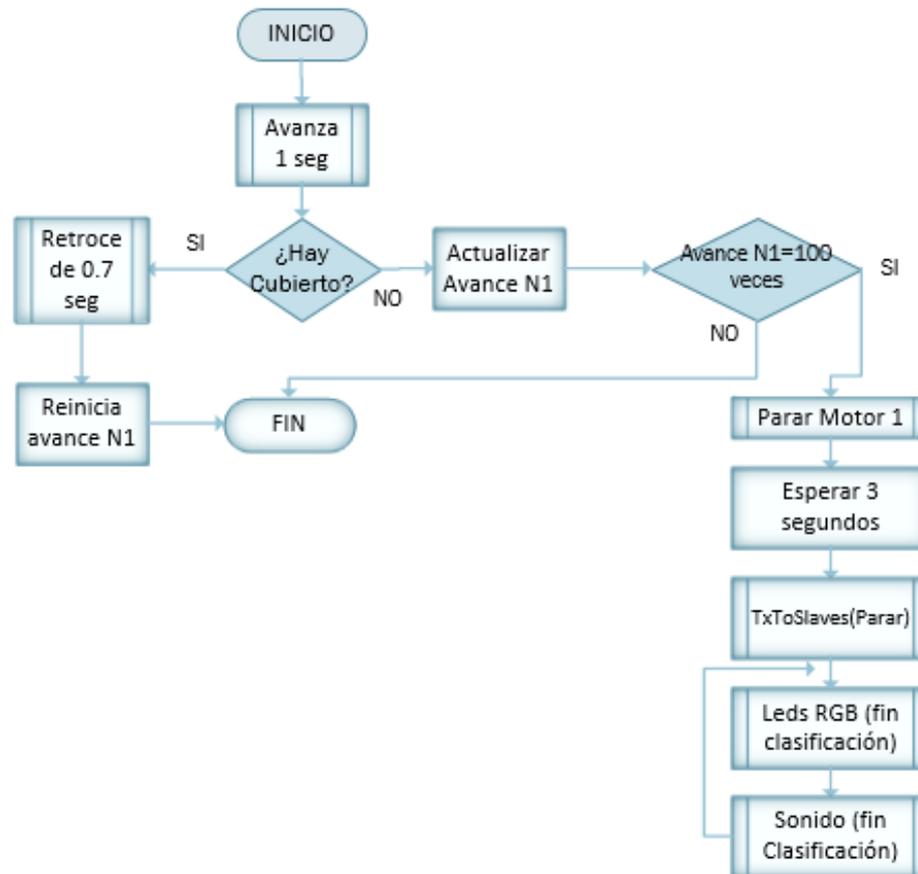


Fig. 3.5-2 Diagrama de Flujo del Movimiento Motor N1

El movimiento del motor del Nivel 1 es por defecto el de vaivén. Empieza avanzando un segundo, luego analiza si existe algún cubierto en la parte izquierda de la banda transportadora, para lo cual se hace la lectura del módulo sensor infrarrojo K-032. En caso de que detecte algún cubierto, el motor retrocederá por 0.6 segundos, completando el ciclo de un movimiento vaivén. Además se reinicia la cuenta de avances continuos de la banda transportadora, para finalmente realizar una vez más este lazo siempre y cuando no cambie el valor de la variable *funcionamiento*. Por otro lado, en caso no se hubiera detectado algún cubierto, se añade en uno la cuenta de avances continuos de la banda. Esto con la finalidad de convertir temporalmente el movimiento de vaivén del motor en un movimiento continuo ya que significa que los cubiertos aun no llegan al lado izquierdo de la banda transportadora. Esta lógica evita realizar un movimiento de vaivén innecesario reduciendo así un poco la duración del funcionamiento de la máquina. Sin embargo, si la banda del Nivel 1 llega a realizar 100 avances continuos, avance suficiente para dar una vuelta completa,

significa que ya no quedan cubiertos por clasificar. Ante esto, el sistema de control maestro esperará tres segundos, tiempo prudente para finalizar algún clasificado que este en proceso, para ordenar a los sistemas esclavos finalicen su labor. Luego de esto, el sistema entra a un lazo cerrado indefinido en el cual mostrará constantemente el color verde en los módulos LED RGB y además emitirá el sonido de haber finalizado el proceso. De esta forma, el usuario sabrá fácilmente cuando la máquina terminó de realizar la clasificación.

➤ Interrupción botón pausa continuar

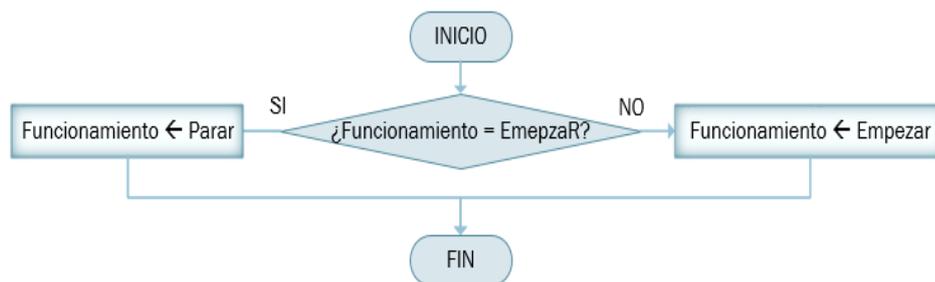


Fig.3.5-3 Diagrama de Flujo Interrupción Botón Pausa Continuar

Esta interrupción se realiza cada vez que el usuario presiona el botón de empezar/parar. En caso sea presionado el botón, el sistema cambiará el valor de la variable *funcionamiento* mediante la siguiente lógica: Si el valor actual es *empezar*, su valor es cambiado a *parar*. Caso contrario, si su valor actual no es *empezar*, su valor se cambia a *empezar*

➤ Interrupción de endstop switch



Fig. 3.5-4 Diagrama de Flujo Interrupción End Stop Switch

Esta interrupción ocurrirá en caso los módulos endstop limit switch no detecten

presencia de algún recipiente. Es decir, habrá por lo menos algún recipiente del Nivel 4 que falte o que no esté bien colocado. Por tal motivo, esta interrupción hará cambiar el valor de la variable funcionamiento a *parar*. Además, actualiza el tipo de emisión que deben realizar los módulos LED RGB a *Error por recipiente*. Lo mismo hace para el tipo de sonido a emitir, en este caso el sonido corresponde al de un error.

- Interrupción recepción de comunicación I2C

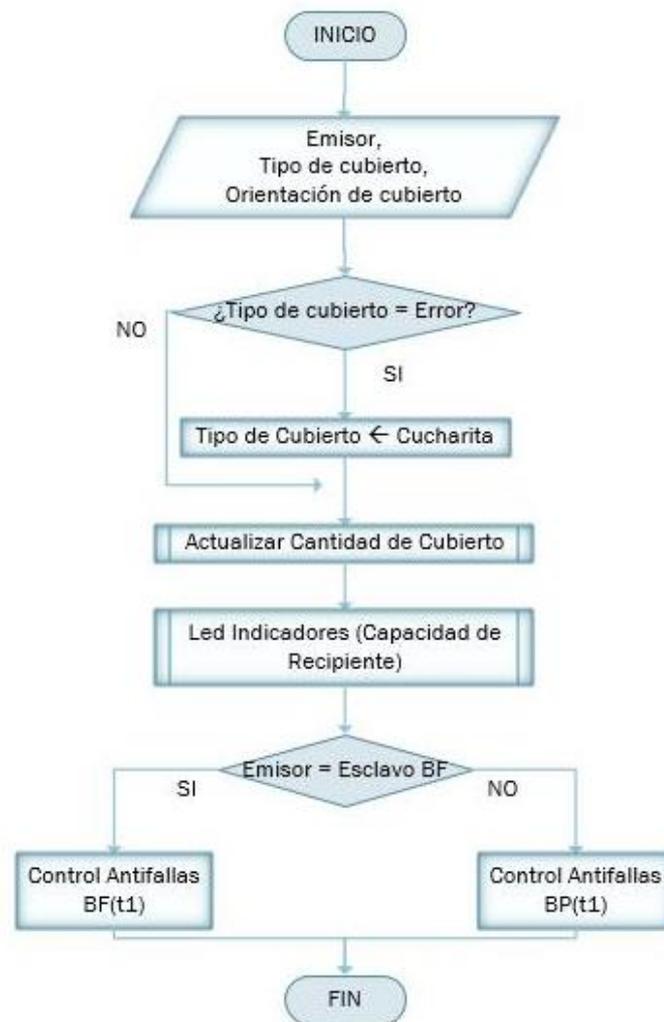


Fig. 3.5-5 Diagrama de Flujo Interrupción Recepción Comunicación I2C (Maestro)

Esta interrupción se da cada vez que los esclavos (raspberrys) envían información a este sistema. La información que se recibe está compuesta por quién es el emisor, el tipo de cubierto identificado y la orientación del cubierto. Entre los valores de tipos de cubiertos se encuentran: cuchillo, cuchara, cucharita, tenedor y Error. Este último tipo se da cuando el sistema esclavo no logra identificar el cubierto, posiblemente el usuario introdujo un cubierto distinto a los que clasifica la máquina, o en ese instante pasaron dos cubiertos a la vez. Cualquiera sea el caso de error se le asignará al tipo de cubierto el valor de cucharita; pues se considera que será más fácil de visualizar en este recipiente si existe algún cubierto mal

identificado. Cabe señalar que la frecuencia con la que se da estos casos no es significativa, motivo por el cual en el diseño de la máquina no se añade un recipiente extra. Una vez que se conoce el tipo de cubierto, se procede a actualizar la indicación de los módulos RGB de acuerdo a la capacidad de cada recipiente. Estos recipientes mostrarán mediante colores la capacidad ocupada por cubiertos durante todo el funcionamiento de la máquina. El color y tipo de luz solo cambiará si se produce un error, se llenó un recipiente o se finalizó con todo el clasificado. Luego de realizar estos pasos, se procede a identificar quien envió el mensaje, de tal forma que se active el Control Antifallas de la banda frontal o posterior, para lo cual se hace uso del parámetro t1. Este parámetro es el máximo tiempo que puede demorar el cubierto en pasar del Nivel 2 al Nivel 3 hasta ser detectado por los sensores infrarrojos ubicados antes de la unidad orientadora de cubiertos.

➤ Interrupción sensores infrarrojos de la banda frontal del Nivel 3 (N3BF)

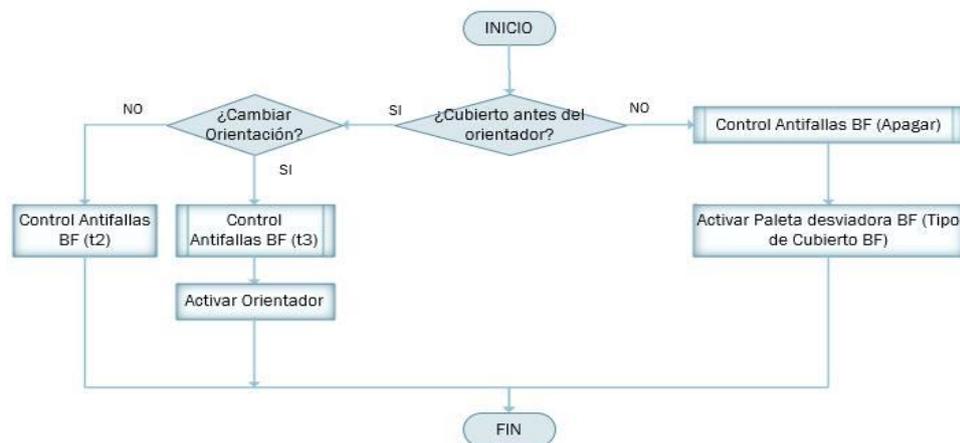


Fig. 3.5-6 Diagrama de Flujo Interrupción Sensores Infrarrojos N3BF

Esta interrupción se da cuando el cubierto fue detectado por los sensores infrarrojos KY-33 ubicados en la banda de la parte frontal del Nivel 3. En este caso, se lee los valores de todos los sensores de este lado con la finalidad de identificar si el cubierto fue detectado antes o después del orientador. En caso se detecte antes de la unidad orientadora, se verifica si es necesario rotar al cubierto, de ser así se activa el Control Antifallas PF dándole como parámetro t3 (tiempo máximo que puede demora el cubierto al ser cambiado de orientación y ser detectado por los sensores infrarrojos ubicados después de la unidad de orientación). Por otro lado, si no es necesario el cambio de orientación, el Control Antifallas PF se establece con el parámetro t2 (tiempo máximo que puede demorar el cubierto, sin ser cambiado de orientación, en ser detectado por los sensores infrarrojos ubicados después de la unidad de orientación) y luego se procede a activar el orientador.

Sin embargo, si el cubierto fue detectado después de la unidad de orientación, el Control Antifallas PF se apaga y a su vez se activa la paleta desviadora PF correspondiente al tipo de cubierto actual. Este caso significa que el cubierto actual fue depositado correctamente en los recipientes sin sufrir alguna obstrucción.

➤ Interrupción sensores infrarrojos de la banda frontal del Nivel 3 (N3BP)

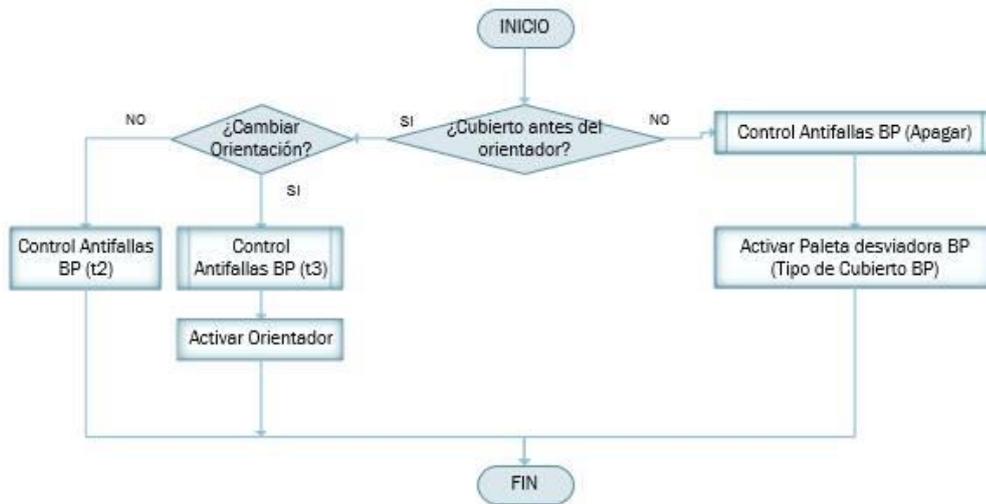


Fig. 3.5-7 Diagrama de Flujo Interrupción Sensor Infrarrojo N3 BP

En este caso, la lógica es la misma que la interrupción de sensores infrarrojos de la banda frontal del Nivel 3 con la diferencia que los componentes a utilizar son las pertenecientes a la banda del lado posterior.

➤ Interrupción control antifallas de la banda frontal/banda posterior (BF / BP)



Fig. 3.5-8 Diagrama de Flujo Interrupción Control Anti falla Banda Frontal

Fig. 3.5-9 Diagrama de Flujo Interrupción Control Anti falla Banda Posterior

Estas interrupciones internas, cada una referente a una banda del Nivel 3, son utilizadas como un control antifallas durante el traslado de los cubiertos desde el Nivel 2 hasta la parte final del Nivel 3. Para esto se hacen uso del *Timer3* para el Control Antifallas BF y del *Timer4* para el BP. Ambos son configurados por un parámetro de tiempo, en este caso t1, t2 y t3. Estos timers se comportan como una especie de conteo regresivo, de tal forma que, si llegan a cero se da produce esta interrupción. Esto significa que, por algún motivo el cubierto no llego a un próximo punto de sensado, pudiéndose haber atorado en alguna parte. Por tal motivo, la

máquina debe de pararse, para lo cual se cambia el valor de la variable global *funcionamiento* a *parar*, además se actualiza el tipo de emisión por medio de los módulos LED RGB y el tipo de sonido a realizar.

➤ Programa principal esclavo 1 y 2

Los esclavos están compuestos por el microprocesador Raspberry B. Al igual que un arduino, esta placa de desarrollo tiene librerías que brindan facilidades para implementar aplicaciones comunes. En el caso de estos esclavos, lo primero que realizan es la configuración de los puertos GPIO y puerto CSI. Los puertos GPIO son utilizados para administrar dispositivos en general, mientras que el CSI es un puerto especialmente dedicado al manejo del módulo cámara para Raspberry. Además debe de realizarse la configuración del protocolo I2C, de tal forma que se pueda comunicar con el sistema de control maestro (Arduino Mega 2560). Luego se procede a la inicialización de las variables globales: *tipo de cubierto*, *orientación del cubierto* y *funcionamiento*. Por defecto, las dos primeras tienen un valor nulo, mientras que la última se le asigna el valor de *parar*. Es así que al inicio, el programa entra en un lazo cerrado donde se debe de mantener apagado los LEDs de iluminación y no iniciar aun la adquisición de datos. Se saldrá de este lazo cuando el valor de funcionamiento pase a ser *empezar*. La única forma que suceda esto es mediante la interrupción externa de recepción de comunicación I2C. Cuando suceda esto, el programa de control enciende los LEDs de iluminación para que se pueda adquirir buenas imágenes, da la señal a la cámara Raspberry de adquirir una imagen, la cual será procesada con la finalidad de identificar que cubierto está pasando y cuál es su orientación. Para eso se tiene una variable *cubierto identificado*, el cual tiene valor inicial *FALSE*. En caso este valor cambie a *TRUE*, es decir, hay un cubierto en la imagen adquirida, la información es transmitida al control Maestro dando la información de que esclavo es quien envía la señal, el tipo de cubierto que se identificó y la orientación que lleva.

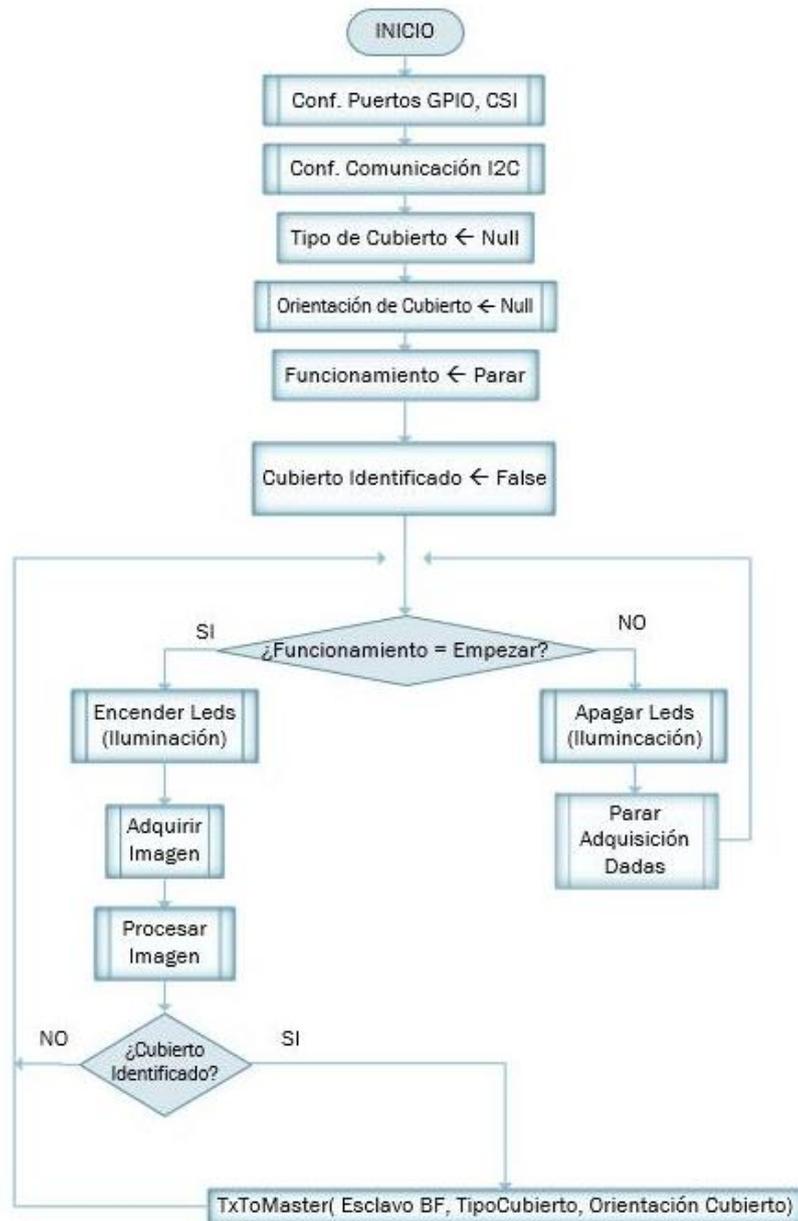


Fig. 3.5-10 Diagrama de Flujo del Programa Principal Esclavo 2

- Interrupción externa por recepción de comunicación I2C del esclavo 1 y 2



Fig.3.5-11 Diagrama de Flujo Interrupción Recepción Comunicación I2C (Esclavo)

En esta interrupción, el mensaje es enviado por el sistema de Control Maestro hacia los esclavos. Cada uno de estos tiene configurado de igual forma esta interrupción. Es decir, el diagrama de flujo que se muestra en la figura 3.5-11 corresponde a cada uno de los esclavos. Cuando suceda esta interrupción, el mensaje a recibir cambiará el valor de la variable *funcionamiento*. De esta forma, se cambia la rutina principal que realiza cada esclavo.

- Función procesamiento de imágenes

Las pruebas de programa para el análisis mediante procesamiento de imágenes se realizan en varios software. Uno de ellos es el MatLab [27], el cual posee una amplia variedad de funcionalidades dedicadas al procesamiento de imagen. Con el uso de este software se pudo demostrar la funcionalidad del diagrama de flujo presentado en la figura 3.5-12. Este código desarrollado en Matlab puede ser fácilmente implementado en los módulos raspberry, ya que software en mención ofrece la posibilidad de convertir automáticamente el código realizado en uno compatible para el microprocesador.

El procesamiento de imágenes está basado en cuatro pasos principales: pre procesamiento, segmentación, descripción y reconocimiento de la imagen. En el pre procesamiento se realiza mejoras a la imagen captada. En este caso se realiza el umbralizado de la imagen. En el proceso de segmentación, se determina el área de interés a analizar. En este caso se eliminan los sectores de la imagen que no corresponden a la banda transportadora. Luego, como parte del procesamiento propiamente dicho, se realiza el conteo de cuerpos presentes en la imagen. En caso de que no encontrar cuerpo alguno, significa que en ese instante no está pasando ningún cubierto por la banda transportadora. Por otro lado, si se encuentra por lo menos un cuerpo, se procede a eliminar los semi cuerpos. Estos semi cuerpos se dan por que en la imagen adquirida se encuentra en los extremos solo una parte de algún cubierto. Por lo cual, se elimina su presencia, de tal forma que se quede con solo con cuerpos de cubiertos completos. En esta instancia, se verifica si el cuerpo actual no es igual al adquirido en una imagen anterior, de ser así, no se considera como cubierto identificado, pues se duplicaría su conteo. Evidentemente, en este caso se verifica que el centroide del cuerpo

actual se encuentra a la derecha del centroide del cuerpo anterior. Si no sucede esto, significa que el tipo de cubierto es el mismo para el cuerpo actual y anterior, sin embargo, se tratan de dos distintos cubiertos, por lo que se procede con la lógica referente a un cubierto identificado. En esta lógica, se determina el tipo de cubierto por el área del cuerpo. Ya que se demostró experimentalmente que las áreas en pixeles para cada cubierto son distintas entre sí (ver anexo 127). Mediante este criterio, se busca encontrar el área de cubierto que es igual al del cuerpo de la imagen a analizar. De esta forma se asigna un valor a la variable *tipo de cubierto* y se da la orden de enviar esta información al Control Maestro. Cabe la posibilidad que el área del cubierto no sea igual a ninguno de los tipos de cubiertos, esto debido a que pasaron dos cubiertos o el cubierto analizado realmente no pertenece al uno de los cuatro tipos: cuchara, cuchillo, cucharita, tenedor.

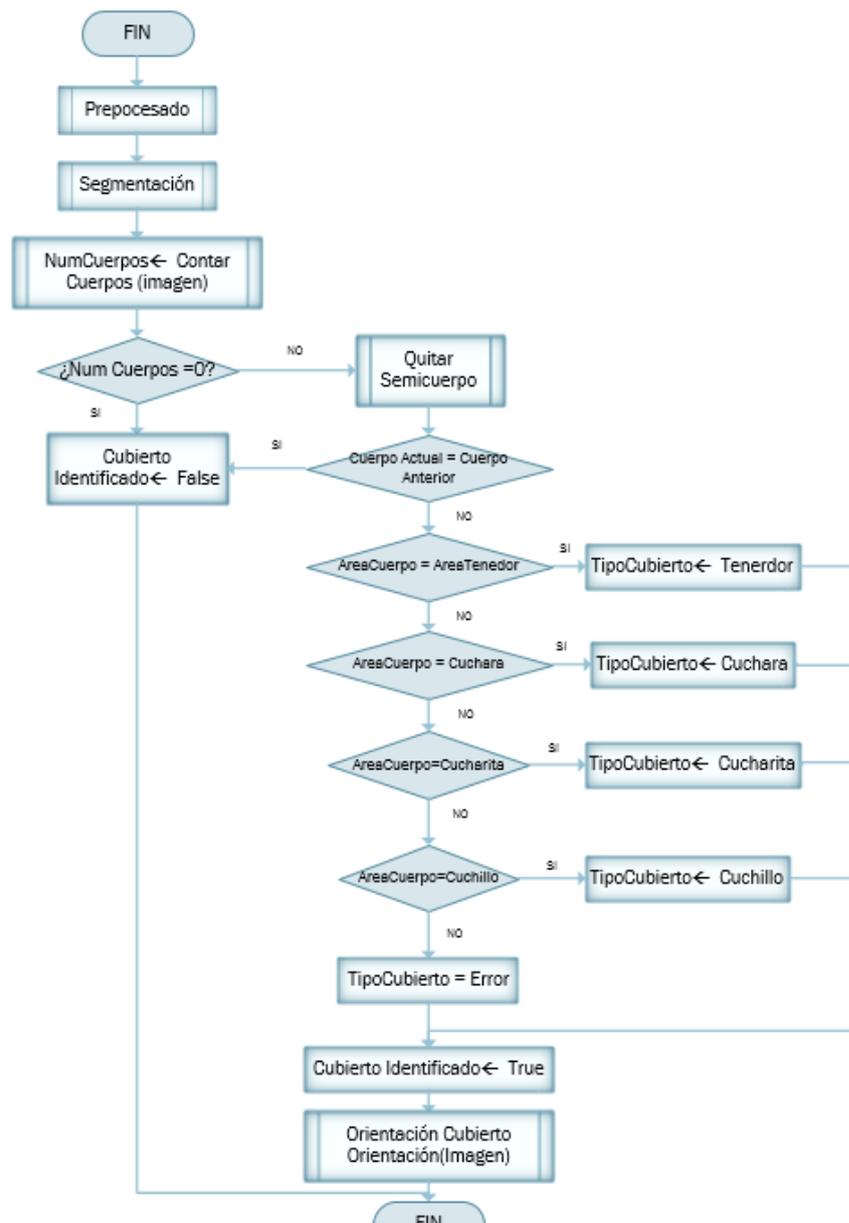


Fig. 3.5-12 Diagrama de Flujo Función Procesamiento de Imágenes

Capítulo 4

Presupuesto

En esta sección se mostrarán las cotizaciones del sistema mecatrónico explicado anteriormente. Se ha realizado la división de este sistema en dos secciones. La primera es el presupuesto de la parte electrónica de la máquina y la segunda es la parte mecánica.

A continuación se muestran los cuadros mencionados.

- Parte Electrónica

Tabla 4-1 Presupuesto de la Parte electrónica

DESCRIPCIÓN	VENDEDOR	FABRICANTE	SHIPPING	CANT.	P.U (US\$)	PRECIO (US\$)
KY-012 Buzzer Module	Survy2014	KEYES	INC	1	1.68	1.68
KY-016 RGB LED Module	Satisfyelectronics	KEYES	INC	4	1.88	7.52
KY-032 Infrared obstacle avoidance sensor Module	Survy2014	KEYES	INC	1	2.58	2.58
KY-033 Tracking infrared sensor Module	RoboHome	KEYES	INC	12	3.21	38.52
Mechanical Limit Endstop Switch Module	Edarenius	MakerBot	INC	4	2.14	8.56
Raspberry Pi 2.0 Model B 512MB Linux System Board	twoplushkcom	Raspberry Pill Foundation	INC	2	44.99	89.98
Camera Module Board 5MP for Raspberry Pi	Lu cytime208	Raspberry Pill Foundation	INC	2	20.69	41.38
Aduino Mega2560 R3 Development Board	Lilysummer66	Arduino	INC	1	18.49	18.49

DFRobot Digital Psh Button Module	dfrobotcom	DFRobot	INC	1	3.69	3.69
Metal Power Symbol Push Button Momentary Switch 16mm	accecity2009	Generico	INC	1	3.75	3.75
24 LEDs Light Board	Niceol	Piranha	INC	8	2.51	20.08
Motor Driver 2A Dual L298 Module	Haoyu Electronics	Chip partner	INC	4	3.70	14.80
IIC I2C Logic Level Converter Bi-Directional Module 5V to 3.3V	Czb Electronic	Generico	INC	1	1.40	1.40
Cables de color amarillo,rojo,negro y naranja x metro	Paruro.pe	Generico	INC	25	0.40	10.00
20.4:1 Metal Gearmotor 25D.50L mm HP	Vava Technologies	Pololu	INC	2	29.50	59.00
34:1 Metal Gearmotor 25Dx52L	Vava Technologies	Pololu	INC	2	29.50	59.00
70:1 Mmetal Gearmotor 37Dx54L	Vava Technologies	Pololu	INC	1	34.98	34.98
Double output DC 5V 12A Universal Regulated Switching Power Supply	asunriseasy	Mean Well	INC	1	32.50	32.50
Metal Servo 5X Tower Pro MG996R	Homemart.usa	Tower Pro	INC	10	7.97	79.74
					TOTAL	527.65

-
- Parte Mecánica

Tabla 1 Tabla de Presupuesto de la Parte Mecánica

DESCRIPCIÓN	VENDEDOR	SHIPPING	CANT	P.U. (US\$)	PRECIO (US\$)
Profile 30x30 8L-900mm Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	14	12.64	176.96
Profile 30x30 R-900mm Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	4	11.88	47.52
Profile 30 x 30 1N-900mm Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	4	13.37	53.48
Angle 328x28x28 Serial 8L Bosch	Gasper Krumoestar	INC	44	2.62	115.28

Rexroth					
Hammer Bolt rith Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	32	1.61	51.52
M8x30 Leveling foot Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	8	5.06	40.48
Corner Connector 3D 8L Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	4	6.94	27.76
Corner 3D radius cover cap Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	4	2.45	9.8
Barra Nylon Ø 30 mm x 1m	V & V Import SRL	INC	1	14.63	14.63
Hinge 30x30 8L Bosch Rexroth	Gasper Krumoestar	INC	2	8.85	17.7
Diversas Piezas Hechas en Acrílico	Noren Plast Peruana S.A.	INC	-	201.78	201.78
Rodamiento Skf 61901	Skf	INC	10	5.35	53.5
Faja Habasi PVC Verde 2mm x 260 x 1700 s/f	V & V Import SRL	INC	1	73.83	73.83
Faja Habasi PVC Verde 2mm x 60 x 2150 s/f	V & V Import SRL	INC	2	18.76	37.52
Faja Habasi PVC Verde 2mm x 260 x 1700 abierto	V & V Import SRL	INC	2	28.89	57.78
				TOTAL	979.54

Realizando la suma de los montos totales de cada presupuesto nos sale como resultado total:

Tabla 2 Presupuesto Total

Sección	Monto (\$)
Electrónica	527.65
Mecánica	979.54
TOTAL	1,507.19

Capítulo 5

Conclusiones

- El sistema mecatrónico propuesto mejora el proceso de clasificación de cubiertos, pues elimina el seleccionado manual, el cual es una tarea repetitiva, monótona y cansada. Es así que el uso de esta máquina evita posibles enfermedades disergonómicas de las personas encargadas de realizar este trabajo.
- La velocidad de la clasificadora automática de cubiertos (anexo 6) supera ligeramente a la velocidad máxima de clasificación manual de una persona (anexo 2). Además, la velocidad de la máquina se mantiene constante durante todo su funcionamiento, ya sean minutos u horas, mientras que una persona no podrá mantener su velocidad máxima disminuyéndola progresivamente (anexo 2). Considerando esto, se concluye que la velocidad del sistema mecatrónico será mayor al de una persona independientemente de la cantidad de cubiertos a clasificar.
- Comparando el costo de hora-hombre, (S/.3.9 por Hora-Hombre) (anexo 28) y del funcionamiento del sistema mecatrónico (US\$ 0.296) (conclusión del anexo 10) [9], se concluye que el uso de la clasificadora automática de cubiertos resulta rentable para las empresas de catering de alimentos. Esto debido a que el consumo de corriente eléctrica es de 40Watts (anexo 10) optimizando las horas de trabajo que en la actualidad se dedican a la selección manual.
- La clasificadora automática de cubiertos clasifica 4 tipos de cubiertos diferentes: cuchillos, cuchara, cucharita y tenedor dentro de las dimensiones de 12cm a 21 cm de largo, 1,5cm a 4,5 cm de ancho y alto 0.1 a 3cm (anexo 3). La identificación del mismo se realiza mediante el procesamiento de imágenes. Cabe señalar que el sistema tiene un error de 5.4% aproximadamente en el proceso de clasificación (anexo 5). Este error se debe a que cayeron del Nivel 1 dos cubiertos juntos o el usuario coloco un artículo de cubertería cubierto no permitido. La duración aproximada del proceso de clasificación de 400 cubiertos (capacidad máxima del sistema) es de 10 minutos con 16 segundos (anexo 6).

Bibliografía

- [1] GATE GOURMET
2014 "About Gate Gourmet". Consulta: 6 de junio de 2014.
<<http://www.gategourmet.com/about>>
- [2] COCINA DE VUELO DOCAMPO
2014 "Servicios de catering ". Consulta: 6 de junio de 2014.
<<http://www.docampocatering.com.pe/es/servicios.html>>
- [3] NEWREST
2014 "Newrest Peru". Consulta: 6 de junio de 2014.
<<http://www.newrest.eu/es/america-and-polynesia/peru>>
- [4] MINISTERIO DEL TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO
2008 "Resolución Ministerial N° 375-2008-TR. Normas Básicas de Ergonomía y Procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico". Lima, 30 de noviembre de 2008. Consulta: 6 de junio de 2014.
<<http://www.isem.org.pe/pdf/disergonomico.pdf>>
- [5] STAR ALLIANCE Avianca
2014 "Avianca a star Alliance member". Consulta: 6 de junio de 2014.
<http://www.staralliance.com/es/about/avianca_taca_airlines/#>
- [6] PROACTIVO.COM.PE
2014 "SNMPE: Perú es el cuarto con tarifa eléctrica más baja en la región". Lima, 3 de junio de 2014. Consulta: 12 de junio de 2014.
<http://www.lan.com/es_pe/sitio_personas/experiencia-lan-y-tam/flota/tam/index.html>
- [7] BOSCH REXROTH GROUP
2014 Aluminum Structural Framing Online Shop. Consulta: 28 de abril de 2014.
<https://www13.boschrexroth-us.com/framing_shop/Default.aspx>
- [8] JAMECO ELECTRONICS
2014 "Product power supplies - AC-to-DC Switching". Consulta: 29 de junio de 2014.
<<http://www.jameco.com>>
- [9] PERÚ 21
2012 "Oficializan alza de sueldo mínimo". Lima, 17 de mayo de 2012. Consulta 3 de julio de 2014
<<http://peru21.pe/2012/05/17/economia/oficializan-alza-sueldo-minimo-2024702>>

- [10] MINISTERIO DEL TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO
2012 "Las modalidades formativas laborales"
Consulta: 28 de junio de 2014.
<<http://www.mintra.gob.pe/portalinclusivo/mostrarContenido.php?id=108&tip=99>>
- [11] ARDUINO CC
2014 "Arduino Mega 2560". Consulta: 15 de abril de 2014
< <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>
- [12] EBAY
2014 "16mm 12V Blue LED Metal Power Symbol Push Button Momentary Switch For Car Boat". Consulta: 10 de junio de 2014
< <http://www.ebay.com/itm/321378921960>>
- [13] DFRobot
2014 "DFRobot Digital Push Button SKU:DFR0029". Consulta: 12 de mayo de 2014
<http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/DFRobot_Digital_Push_Button_SKU:DFR0029>
- [14] EBAY
2014 "Super Bright 1.6W 12V 24 Piranha Night LEDs Lamp Lighting Panel Board". Consulta: 10 de junio de 2014
<<http://www.ebay.com/itm/331175000048>>
- [15] RASPBERRYPI ORGANIZATION
2014 "Raspberrypi". Consulta: 12 de mayo de 2014
<<http://www.raspberrypi.org/>>
- [16] OMNIVISION
2014 "Technical information". Consulta: 12 de mayo de 2014.
<http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Dev/RaspberryPi/ov5647_full.pdf>
- [17] MAKERBOT
2014 "Mechanical Endstop v1.2 description". Consulta: 30 de junio <
<http://www.makerbot.com/support/archive/> >
- [18] POLOLU
2014 "37D mm Gearmotors". Consulta: 12 de mayo de 2014
<<http://www.pololu.com/category/116/37d-mm-gearmotors>>
- [19] HABASIT
2014 "Industries Food Belts ". Consulta: 12 de mayo de 2014
<<http://www.habasit.com/en/food.htm>>
- [20] VISIÓN ARTIFICIAL
2012 "Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales". Consulta: 12 de mayo de 2014
<<http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/Conocimientos.pdf>>
- [21] FRITZING

- 2014 "Fritzing electronics made easy". Consulta: 12 de mayo de 2014
< <http://fritzing.org/home/>>
- [22] SPARKFUN
2014 "Bi-Directional Logic Level Converter Hookup Guide". Consulta: 12 de mayo de 2014
<<https://learn.sparkfun.com/tutorials/bi-directional-logic-level-converter-hookup-guide/introduction>>
- [23] ARDUINO CC
2014 "Arduino Time library". Consulta: 18 de mayo de 2014
<<http://playground.arduino.cc/Code/Time>>
- [24] ARDUINO CC
2014 "Wire library". Consulta: 18 de mayo de 2014
<<http://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>>
- [25] ARDUINO CC
2014 "The Software Servo Library". Consulta: 18 de mayo de 2014
<<http://playground.arduino.cc/ComponentLib/servo>>
- [26] ARDUINO CC
2014 "Tone()". Consulta: 18 de mayo de 2014
<<http://arduino.cc/es/Reference/Tone>>
- [27] MATLAB
2014 "MathWorks home". Consulta: 25 de mayo de 2014
<<http://www.mathworks.com>>
- [28] HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo
2002 Software para Diseño de Transportadores de Banda. Tesis de Grado en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Mecánica. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
<<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4477>>
- [29] ROBOTALES
2014 "37 in 1 box Sensor Kit For Arduino Starters. Consulta: 30 de junio < <http://baaqii.com/promanage/manual/A801.pdf> >"
- [30] EBAY
2014 "5pcs L298N Motor Drive Controller Board Dual H Bridge Module".
< <http://www.ebay.com/itm/370795547137>>
- [31] TOWER PRO
2002 "MG996R."Consulta:30 de junio
<<http://www.towerpro.com.tw/viewitem1.asp?sn=640&area=50&cat=163> >
- [32] ELEMENT 14
2002 "Raspberry Pi Technical Data Sheet". Consulta: 30 de junio <

<http://www.element14.com/community/docs/DOC-65470/raspberry-pi-technical-data-sheet> >

- [33] RASPBERRY PI CAMERA – QUICK START GUIDE
2002 “Raspberry Pi Camera – Quick start guide”. Consulta: 30 de junio
< <http://www.farnell.com/datasheets/1725259.pdf> >
- [34] POLOLU
2014 " 25D mm Gearmotors".Consulta: 12 de mayo de 2014
<<https://learn.sparkfun.com/tutorials/bi-directional-logic-level-converter-hookup-guide/all> >
- [35] SKF
2014 “Rodamientos rígidos de una hilera de bolas”- Consultado el 26 de mayo
< <http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html>>

