



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE TRANSPORTE Y DE SEPARACIÓN AUTÓMATA
DE CUADERNILLOS DE EVALUACIÓN PARA EL SISTEMA DE
DIGITALIZACIÓN Y REGISTRO DE CALIFICACIONES**

ACADÉMICAS

PRESENTADA POR

JOSÉ CARLOS ARCE DUVAL

JHONEL FRANK SANTOS CALDERÓN

ASESOR

JORGE LUIS LÓPEZ VILLALOBOS

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LIMA – PERÚ

2016



**Reconocimiento - No comercial - Compartir igual
CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**SISTEMA DE TRANSPORTE Y DE SEPARACIÓN AUTÓMATA
DE CUADERNILLOS DE EVALUACIÓN PARA EL SISTEMA DE
DIGITALIZACIÓN Y REGISTRO DE CALIFICACIONES
ACADÉMICAS**

TESIS

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR

ARCE DUVAL, JOSÉ CARLOS

SANTOS CALDERÓN, JHONEL FRANK

LIMA – PERÚ

2016



Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a nuestros padres quienes nos apoyaron para poder llegar a esta etapa de nuestros estudios, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarnos.



Agradecimiento

Deseamos agradecer nuestros asesores y maestros de nuestra Universidad San Martín de Porres, por brindarnos sus conocimientos y hacer posible la realización de esta investigación.

A nuestros familiares por el amor, motivación incondicional e impulso que nos brindaron en los momentos más difíciles de nuestra carrera.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	22
1.1. Antecedentes	22
1.2. Soluciones existentes en el mercado	24
1.3. Publicaciones Científicas/Ingenieriles	31
1.4. Software	32
1.5. Hardware	41
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	81
2.1. Materiales	82
2.2. Métodos	83
2.3. Plan de trabajo	97
2.4. Desarrollo del proyecto	102
CAPÍTULO III: PRUEBAS Y RESULTADOS	132
3.1. Prueba de tiempos del producto	132
3.2. Prueba de consumo de potencia promedio	135
3.3. Prueba de probabilidad de error de cuadernillos	137
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES	140
FUENTES DE INFORMACIÓN	141
ANEXOS	143
GLOSARIO	155

Lista de tablas

	Página
Tabla 1 Código ASCII	40
Tabla 2 Familia de PICs	45
Tabla 3 Tipos de sensores de temperatura	52
Tabla 4 Especificaciones típicas de un motor dc	74
Tabla 5 Características de transistor 2n2222	95
Tabla 6 Presupuesto del proyecto	101
Tabla 7 Características de motores dc	114
Tabla 8 Velocidad promedio según los motores implementados	115
Tabla 9 Datos ponderados en cada prueba	132
Tabla 10 Velocidades de las soluciones existentes en el mercado	134
Tabla 11 Realización de eventos	137

Lista de figuras

	Página
Figura 1 Cuadernillo de registro en 1985	21
Figura 2 Mejora de cuadernillo de registro en 1992	23
Figura 3 Mejora de cuadernillo de registro digital en 2000	24
Figura 4 Componentes del sistema patentado encontrado	25
Figura 5 Imagen del sistema patentado encontrado	26
Figura 6 Imagen del sistema EZDATATM	27
Figura 7 Imagen del sistema DL V1	28
Figura 8 Imagen del sistema DL V2	30
Figura 9 Estructura básica de un software para programación	34
Figura 10 Forma de declarar una variable	35
Figura 11 Variable globales y locales	36
Figura 12 Sentencia IF	37
Figura 13 Sentencia ELSE-IF	37
Figura 14 Sentencia FOR	38
Figura 15 Sentencia WHITE	38
Figura 16 Componentes internos de un microcontrolador	41
Figura 17 Proceso para embeber software en un microcontrolador	42
Figura 18 Estructura del PIC16F877A	45
Figura 19 Diagrama de bloques de un amplificador de potencia	50
Figura 20 Disipador pasivo	51
Figura 21 Disipador activo	51
Figura 22 Sensor LM35	53
Figura 23 Curvas Ohms versus Temperatura sensor PT100	53
Figura 24 Curvas Ohms versus Temperatura sensor PTC y NTC	54
Figura 25 Mecanismo interno y externo del sensor táctil	56

Figura 26	Estados de operación de un sensor táctil	56
Figura 27	Circuito comparador de 0 a 5 voltios	57
Figura 28	Circuito comparador de 5 a 0 voltios	57
Figura 29	Características y funcionamiento del sensor CNY70	58
Figura 30	Refracción con objeto negro en el sensor CNY70	58
Figura 31	Refracción con objeto blanco en el sensor CNY70	59
Figura 32	Caja negra del funcionamiento de un OP-AMP	60
Figura 33	Información del OP-AMP 741	61
Figura 34	Requerimientos de potencia implicado en un sistema actuador	63
Figura 35	Caja negra de una fuente de alimentación eléctrica	63
Figura 36	Regulación lineal de una fuente de alimentación	64
Figura 37	Esquema del circuito integrado L293B (puente H)	65
Figura 38	Duty Cycle 50% y 25% para PWM	66
Figura 39	Principio del funcionamiento del motor eléctrico	67
Figura 40	Esquema de una máquina de corriente continua elemental	69
Figura 41	Campo magnético producido por la corriente continua de excitación	70
Figura 42	Características de velocidad del par torsor	73
Figura 43	Sentido de giro del motor DC dependiente de la polaridad	73
Figura 44	Engranajes conectados	75
Figura 45	Tipos de engranajes usados en la industria	76
Figura 46	Funcionamiento del piñón y cremallera	77
Figura 47	Transmisión por banda síncrona o dentada	78
Figura 48	Funcionamiento de la banda síncrona o dentada	79
Figura 49	Relación de la corriente de colector del sensor CNY70	48
Figura 50	Emisor y receptor del sensor CNY70	85

Figura 51	Relación de corriente colector versus voltaje colector emisor	86
Figura 52	Esquema del circuito del sensor CNY70	87
Figura 53	Esquema del circuito amplificador no inversor y amplificador comparador	88
Figura 54	Características y rango de trabajo del sensor LM35	89
Figura 55	Relación voltaje colector emisor en saturación versus corriente de base	92
Figura 56	Características del led de alta luminosidad	93
Figura 57	Circuito diseñado para la etapa de iluminación	94
Figura 58	Imagen de las regletas del equipo	95
Figura 59	Conexión de los leds de iluminación en el circuito diseñado	96
Figura 60	Se muestra los proyectos de digitalización y automatización	98
Figura 61	Diagrama de bloques de los 2 proyectos trabajando en conjunto	99
Figura 62	Prototipo del proyecto de automatización	103
Figura 63	Diagrama de bloques del circuito de control del proyecto de automatización	104
Figura 64	Bandeja de entrada de cuadernillos del proyecto de automatización	105
Figura 65	Componentes que están adheridos al separador de cuadernillos	106
Figura 66	Bandeja de salida de cuadernillos ya procesados del proyecto de automatización	107
Figura 67	Ubicación del sensor óptico en la bandeja de entrada del proyecto de automatización	109
Figura 68	Circuitería para el sistema del sensor CNY70	110
Figura 69	Mecanismo que limita la bajada del separador de cuadernillo	111
Figura 70	Mecanismo de rebote	112

Figura 71	Circuitería del sensor que limita la bajada del separador de cuadernillo	113
Figura 72	Secuencia con que trabajan los tres motores del proyecto	114
Figura 73	Mecanismo que limita la subida del separador de cuadernillos	115
Figura 74	Sistema de iluminación del prototipo	116
Figura 75	Regletas de leds del prototipo	117
Figura 76	Circuito implementado para la etapa de iluminación	118
Figura 77	Relación directamente proporcional que existe entre la variación de voltaje y la disipación térmica	119
Figura 78	Diseño del sensor de temperatura en AutoCAD	119
Figura 79	Circuito de ventilación	120
Figura 80	Relación temperatura versus voltaje de salida del sensor LM35	121
Figura 81	interface LCD con el usuario	122
Figura 82	Circuitería para la interface LCD	122
Figura 83	Ubicación de la interface LCD y botón ON-OFF en el prototipo en AutoCAD	123
Figura 84	Circuitería diseñada para la placa madre del prototipo	124
Figura 85	Diseño de la placa de conmutación capaz de energizar todo el prototipo	125
Figura 86	Multiplicación de energía lograda con la activación del botón ON-OFF	126
Figura 87	Control de intensidad del led por medio del PWM	126
Figura 88	Control real de la intensidad del led por medio del PWM	127
Figura 89	Modelo de la fuente externa seleccionada para el prototipo	127
Figura 90	Comunicación asíncrona que existe entre el microcontrolador y el PDCNA	128

Figura 91	Trama de la comunicación entre el software y el microcontrolador en código ASCII	129
Figura 92	Circuitería diseñada para la comunicación asíncrona	130
Figura 93	Diagrama de flujos del circuito de control del proyecto de automatización	131
Figura 94	Niveles de potencia para cada proceso del prototipo	135



Lista de anexos

		Página
Anexo 1	Presentación del proyecto en congresos	144
Anexo 2	Ficha técnica del prototipo	149
Anexo 3	Curvas de automatización	150
Anexo 4	Histórico de prototipos	152



RESUMEN

La presente tesis titulada Sistema de transporte y de separación automática de cuadernillos de evaluaciones para el sistema de digitalización y registro de calificaciones académicas tiene por objeto determinar hasta qué punto la automatización de un sistema puede mejorar la eficiencia de los trabajos administrativos en la oficina de registros académicos de la Universidad San Martín de Porres con la mínima participación humana.

La presente investigación responde a un estudio cuantitativo y con la ayuda de un cronómetro se calculó el tiempo que se demora una persona en ingresar las notas de 57 alumnos de un salón de clases a una base de datos de forma tradicional.

El tiempo obtenido por el personal administrativo de la USMP fue de 8 segundos por cuadernillo en un caso ideal donde no existe interrupciones y su labor fue constante y los resultados obtenidos luego de aplicar la automatización es de 5.9 segundos por cuadernillo, tiempo que no está condicionado a cambios. Por ende, se obtuvo como resultado que el sistema es efectivo para momentos donde la cantidad de cuadernillos es grande como por ejemplo parciales y finales.

Actualmente, el sistema ha participado en tres congresos, mostrados en el Anexo 1.

Finalmente se concluye que dicho programa sería viable no solo para registros académicos de la universidad USMP, sino también en instituciones públicas y privadas.

Palabras claves: Sistema de transportes, cuadernillos, evaluación, sistema de digitalización, registro de calificaciones.

ABSTRACT

The current thesis titled “System of transport and automatic separation of evaluation booklets for the digitalization system and record of academic qualifications” has as its objective to determine how much the automation of a system can improve the efficiency of the administrative works in the office of academic registry in the Universidad San Martín de Porres with minimum human intervention.

This investigation responds to a quantitative study that using the help of a chronometer calculates the time that a person takes to enter the scores of a class of 57 students in a standard database.

The time obtained by the administrative workers of the USMP was 8 seconds per booklet in a special case where there are no interruptions and the labor was constant. The results after applying the automation was 5.9 seconds per booklet, a time that was not conditioned to change. For this reason, the result obtained was that the system was effective in moments where the number of booklets was large such as in middle term exams and final exams.

Finally, the conclusion is that such program would be viable not only for academic records in the USMP but also in public and private institutions.

Key words: transport system, booklets, evaluation, digitalization system, qualification records.

INTRODUCCIÓN

En los centros educativos, el sistema manual de registro de notas ha cambiado muy poco y tiene más de 40 años de utilización. (Ministerio de educación, 2011). Debido a los cambios actuales en la tecnología y su uso, este sistema queda obsoleto dado que las nuevas tendencias, todo sistema manual es remplazado por un sistema autónomo con poca participación del factor humano (como cansancio del personal a cargo, interrupciones durante el registro de notas).

Ante lo mencionado, se encontró un sistema de digitalización y reconocimiento del código y nota del alumno ya desarrollado por otro autor que propone un sistema capaz de registrar automáticamente las notas de los cuadernillos de calificaciones, impresos como marcas, el cual no cuenta con un sistema que lo automatice.

Se propone un sistema electromecánico llamado sistema de transporte y separación automática de cuadernillos) que se adhiera al proyecto realizado por otro autor (llamado proyecto de digitalización) a fin de complementarlo y brindarle un proceso de automatización.

En conclusión, el proyecto de digitalización fue desarrollado con el fin de implementar un sistema de digitalización y reconocimiento del código y notas del alumno el cual no cuenta con un sistema de transporte y separación automática de cuadernillos por lo cual el proyecto de automatización cubrirá esta necesidad.

Esta tesis se enfoca en el desarrollo de proceso de automatización, el cual está conformado por todos los elementos electrónicos circuitales en combinación de sistemas mecánicos.

Este proyecto brindará la detección de cuadernillos en el recinto de adquisición, iluminación del recinto y posicionamiento de la cámara respecto al cuadernillo. Además, de separar cada uno de los cuadernillos ya procesado y trasladarlos hacia una bandeja final. Todos estos procesos sincronizados correctamente con el proyecto de digitalización que se encuentra instalado en

una computadora. Cabe resaltar que existe un prototipo de nombre BOOKLET FEEDER capaz de separar cuadernillos como se necesita para este proyecto (Booklet feeder, 2006), pero es descartado porque su diseño no cumple con los requerimientos específicos del proyecto de digitalización.

La novedad del diseño de hardware mencionado es el traslado eficiente de cuadernillos a diferencia de los otros sistemas que solo trasladan hojas. Además, es un problema planteado directamente por instituciones educativas que implica la solución de problemas reales de ingeniería. Así mismo, contribuye al avance de los conocimientos al investigar sobre los métodos ya existentes para fusionarlos y así converger en un nuevo método, el cual se verá reflejado en el producto. Estos conocimientos involucran, diseño de circuitos, diseño de sistemas electromecánicos, funcionamiento de motores, etc.

Los usuarios potenciales del producto en mención son universidades, institutos superiores, centros de idiomas, academias, colegios, entre otros centros educativos.

La presente tesis está estructurada en 3 capítulos, el primero se da a conocer el marco teórico, en el cual se muestra la publicación de Chacón Ramos el cual concluye que el control semiautónoma favorece en la disminución progresiva de tiempos perdidos en un determinado periodo, también se da a conocer la patente de un prototipo de número US2004/0080093 A1, el cual aplica el método más eficiente que se encontró para separar cuadernillos, en el segundo capítulo se presenta la metodología en el cual los autores de la tesis detallan el diseño y las características técnicas de cada componente usado en el prototipo y en el tercer capítulo se presenta las pruebas y resultados, en el cual se detalla porcentualmente cuan eficiente es el prototipo en comparación de otros productos similares a través de cálculos estadísticos.

1.1. Planteamiento del problema

Como se sabe en los centros educativos cada cierto tiempo se toman exámenes para evaluar el desempeño académico o psicológico del alumno, las notas de estos exámenes son ingresadas a una base de datos, ya sea, mediante software o escritura en cuadernos. Estas notas se registran de forma manual, lo que ocasiona cansancio del usuario lo que conlleva probables fallas al digitar manualmente las notas por parte del encargado.

Por ese motivo, la Universidad San Martín de Porres (FIA) adquirió un sistema de digitalización y reconocimiento del código y nota del alumno, el cual no contaba con un Sistema de transporte y separación autónoma de estos cuadernillos.

En resumen, se encontró una necesidad o requerimiento por parte de la universidad, la cual es obtener un sistema de transporte y separación automática que provea cuadernillos al sistema de digitalización y reconocimiento del código y nota del alumno y los traslade, depositándolos en un recinto para un fácil recojo. Cabe mencionar que dicho proceso de digitalización y reconocimiento del código y nota del alumno ya está en funcionamiento y solo necesita de una máquina que lo automatice. Dicha máquina facilitará a realizar otras actividades laborales al encargado de ingresar la nota del alumno hacia la base notas, puesto que solo tendrá que depositar los cuadernillos en la máquina (la cual le avisará por software cuando esta haya acabado).

1.2. Definición del problema

Se requiere un sistema automático que reemplace el sistema manual mencionado, el cual, se realiza en 2 etapas por el encargado de ingresar las notas hacia una base de datos, las cuales son pasar las notas del cuadernillo a una plantilla y pasar las notas de la plantilla a una base de datos.

Para calcular el tiempo que se demora la primera etapa se realizó una prueba real con 57 cuadernillos de un salón de clases, consiguiendo que el encargado de ingresar las notas hacia la base de datos de la Universidad San Martín de Porres, se demore un tiempo estimado de 3 minutos y 50 segundos, tomando

en consideración que esta prueba es un caso ideal, puesto que, fue realizada sin distracciones de dicho personal, el cual, no sufrió cansancio, por el número reducido de cuadernillos que tuvo que ingresar. Por ende, el tiempo calculado por cuadernillo en esta primera etapa es de 4 segundos.

Y el tiempo que demora la segunda etapa es igual al primero, confirmado según información recabada del área de coordinación académica de la Universidad San Martín de Porres.

En conclusión, el tiempo total estimado del ingreso de la nota escrita en el cuadernillo, hacia la base de datos, es de 8 segundos por cuadernillo aproximadamente.

1.2.1. Problema general

Se requiere diseñar un sistema electrónico-mecánico de transporte y separación automática de cuadernillos para el Sistema de digitalización del código y nota del alumno con el propósito de automatizarlo y así brindar un sistema global que requiera una mínima participación del factor humano.

1.2.2. Problema Ingenieril

A continuación, se detallará las necesidades y requerimientos del proyecto de digitalización, los cuales el proyecto de automatización dio solución.

En primer lugar, el recinto del proyecto de digitalización no cuenta con un control de iluminación, el cual consiste en un foco ahorrador conectado a un interruptor, energizado con corriente eléctrica alterna de 220 voltios. Así mismo, el recinto del proyecto de digitalización no es capaz de procesar cuadernillos apilados. Además, el software de la computadora del proyecto de digitalización no tiene la capacidad de detectar en qué estado se encuentra la máquina donde se ingresan los cuadernillos. Con lo cual, finalmente, el recinto del proyecto de digitalización no cuenta con un interfaz usuario.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general del prototipo desarrollado está orientado a brindar al proyecto de digitalización la correcta iluminación, separación y traslación de cuadernillos de calificación.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Separar correctamente de los cuadernillos sin que ninguno de estos se adhiera a otro, puesto que ocasionaría una mala captura del área destinada al proceso de digitalización.
- b) Proporcionar la interacción entre los procesos entre el usuario y la máquina mediante una pantalla LCD y el botón de encendido del prototipo, con el fin que el usuario visualice los procesos o errores que se pudiesen suscitar en todo el sistema.
- c) Trasladar y depositar todos los cuadernillos ya procesados autónomamente hacia una bandeja final, la cual será parte del último proceso, para que el usuario pueda recogerlos fácilmente.
- d) Iluminar adecuadamente el recinto donde se ingresan los cuadernillos, que es el área de interés que utiliza el proyecto de digitalización.
- e) Disipar el calor producido por los elementos circuitales de la etapa de control dentro del prototipo.
- f) Independizar procesos por placas circuitales a fin de facilitar la detección y reparación de errores.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

El alumno podrá conocer sus notas de una manera más rápida en el sistema de la USMP mejorando la imagen de la universidad demostrando así los beneficios de la automatización.

Además, el usuario de la máquina a desarrollar se librá de este trabajo rutinario encargándose de otras actividades de mayor importancia. Evitando el cansancio de estar ingresado la notas manualmente una por una lo cual incurriría en posibles errores.

1.4.2. Justificación ingenieril

El desarrollo de este proyecto se justifica con una tesis de ingeniería porque esta permitió el diseño del sistema electromecánico de captura, traslado, posicionamiento, separación y expulsión de cuadernillos, por otro lado, se pudo diseñar una etapa de control de todo el sistema electromecánico, lo cual incluye sensores, actuadores y un control de la iluminación con leds.

Los cursos que aportaron al desarrollo del proyecto fueron circuitos electrónicos I, II y III, electrónica digital, electrónica de potencia, máquinas eléctricas y sistemas de control, tomando en cuenta que todos los cursos de la carreta fueron fundamentales en el desarrollo profesional.

1.5. Limitaciones

La investigación se limitó por no existir antecedentes de otro prototipo con las mismas características y la falta de información técnica de prototipos similares en algunos aspectos, por otro lado, los investigadores no contaban con experiencia en el diseño de estructuras mecánicas necesarias para el prototipo y por último solo te tenía acceso a los asesores en ciertos días de la semana.

1.6. Viabilidad

1.6.1. Viabilidad técnica

Se cuenta con conocimientos teóricos adquiridos en la universidad necesarios para el diseño técnico del prototipo. Además de contar con una adecuada infraestructura dentro de las instalaciones de una USMP y equipos como mesas de trabajo, herramientas, fuentes, cautil, entre otros necesarios para cumplir con los requerimientos mínimos del cliente (en este caso es la USMP).

Los materiales a utilizar en el proyecto mencionado son de fácil adquisición en el Perú debido a que en su mayoría son repuestos de impresoras muy conocidas de marcas como HP y EPSON.

El diseño técnico se realizó en función de los requerimientos del proyecto de digitalización y del cliente.

Además, también es viable porque puede operar fácilmente con un computador mediante la interface estandarizada RS232.

1.6.2. Viabilidad económica

Dado que el prototipo está diseñado desde cero se puede tener una certeza del costo final del producto el cual requirió de una inversión de S/.1566 incluyendo la mano de obra, la cual, fue un monto alcanzable por los autores de la tesis, cabe precisar que dicho monto se encuentra en un margen menor que los productos ya existentes en el mercado (detallados en capítulos siguientes) que realizan la misma tarea, pero con diferentes limitaciones.

Además, el proyecto cuenta con un amplio mercado en el nivel educativo lo cual en el Perú suman más de 100 instituciones entre universidades nacionales y privadas e instituciones con rango universitario. Cifra proporcionada por la SUNEDU (Superintendencia nacional de educación superior universitaria, 2016)

1.6.3. Viabilidad social

El prototipo tiene como objetivo brindar un valor agregado a la forma de registrar las notas de los diferentes alumnos de una institución educativa, con el fin de que el Perú ingrese a una nueva era de automatización gracias a los aportes y conocimientos que generan los alumnos de la USMP.

El prototipo será capaz de brindar tiempos extras al trabajador que realiza dicha tarea repetidamente, beneficiándolo con solo ingresar los cuadernillos a procesar en una bandeja de entrada y esperándolos en una bandeja de salida al finalizar la digitalización.

1.6.4. Viabilidad operativa

El prototipo es capaz de operar correctamente con requerimientos y condiciones mínimas como son el punto de energía de voltaje de 220 VAC, la conexión directa por medio del puerto RS232 con la PC que trabajará como master, una computadora Pentium IV con procesador de 1.8GHz y una memoria RAM de 256MB como requerimiento mínimo para el software del proyecto de digitalización y un espacio mínimo de alto 71, ancho 40 y fondo 60 de cm.

Además de no afectarse por las siguientes causas como variación de temperatura en el ambiente de trabajo en oficina, variación de la iluminación en el ambiente de trabajo y falta de conocimientos técnicos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

A continuación, se detallará los antecedentes de cómo ha cambiado el sistema de registro de notas través del tiempo.

En las instituciones educativas, el sistema de registro de notas ha cambiado muy poco y tiene más de 40 años de utilización. En una primera instancia, el registro de notas de todos los alumnos era por escrito, cada profesor llevaba consigo dicho registro en el transcurso del año e iba ingresando las notas manualmente. En la figura 1, se muestra la imagen de un cuadernillo del siglo XX.

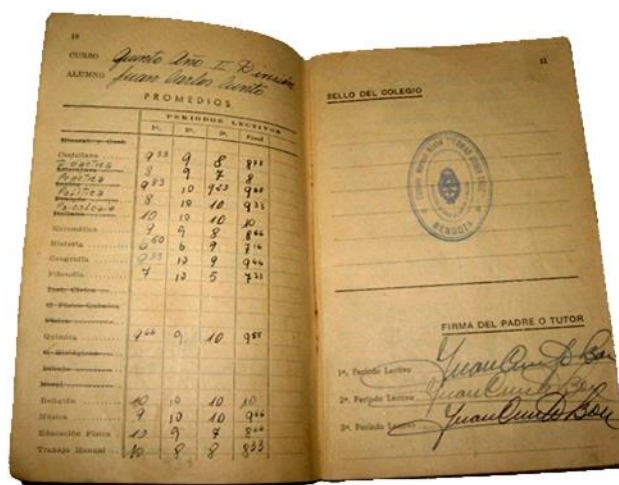


Figura N° 1: Se muestra un cuadernillo de registro de las notas donde estas eran ingresadas manualmente.

Fuente: Propia

Pasado los años, el Ministerio de Educación tuvo la iniciativa de mejorar este sistema creando unas plantillas de evaluación listas para su impresión. Cumplían la misma función que el cuadernillo antiguo de la figura 1, pero persistía otro problema, el cual radicaba en el deterioro o pérdida de dicha

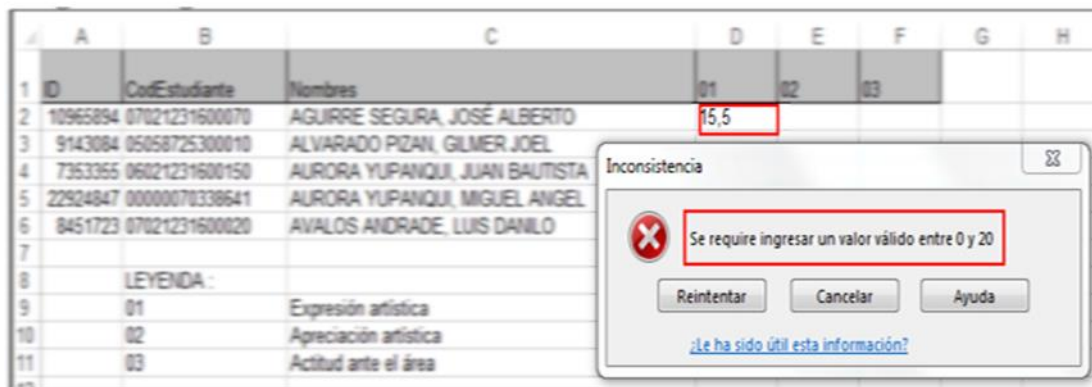


Figura N° 3: Muestra el registro de calificación de nivel secundaria donde el sistema permite registrar calificativos para el nivel secundario de forma vigesimal (Valores enteros entre 0 y 20)

Fuente: Imágenes del Ministerio de Educación Perú

Debido a los cambios actuales en la tecnología y su uso, este sistema en mención podría quedar obsoleto puesto que, dada las nuevas tendencias, todo sistema manual es remplazado por un sistema autónomo con poca participación del factor humano como es el cansancio del personal a cargo y/o las interrupciones durante el registro de notas.

1.2 Soluciones existentes en el mercado

A continuación, se detallarán las soluciones encontradas en el mercado:

1.2.1 Mecanismo de retardo en los alimentadores de fricción

En la siguiente patente con número: US 2004/0080093 A1 se muestra el método más eficiente que se encontró para separar cuadernillos por medio de la fricción (United States Patente n° US 20040080093A1, 2004), la cual se obtiene interactuando varios componentes en la bandeja de entrada como son fajas transportadoras y rodillos como se muestra en la figura 4, el cual resulta en la separación correcta de los cuadernillos ingresados en la bandeja de entrada.

En consecuencia, el aspecto principal de la presente invención es un mecanismo de separación de cuadernillos en una bandeja de entrada, girando los 2 primeros rodillos A y B de la faja transportadora en el mismo sentido



Figura N° 5: Muestra el proyecto real relacionado a la patente en mención.

Fuente: http://jhbertrand.blogspot.com/jeffbertrand/2006/02/onserting_is_mo.html

1.2.2 Sistema de corrección de exámenes MarkQual

MarkQual es un sistema de software, desarrollado para ser integrado con un SCANNER EZDATATM de marcas ópticas (MarkQual, 2010) (ver figura 6). El sistema ejecuta la captura, almacenamiento y procesamiento de datos generados a partir de las tarjetas de respuestas.

MarkQual es flexible, fácil de configurar y se adapta a las necesidades de cada cliente. Fue desarrollado para ser aplicado al procesamiento de evaluaciones, personalizado a las necesidades de cada cliente y cada metodología de calificación.

Dicha solución es capaz de presentar los reportes en pantalla y se imprimen a requerimiento del usuario, pero las tarjetas de exámenes deben ser ingresadas manualmente una a una.

SCANNER EZDATATM

El escáner para lectura de marcas ópticas EZData, provisto por Scantron Corp., es un equipo práctico y funcional, diseñado para procesar altos volúmenes de información manualmente, ideal cuando se requiere

información rápida y precisa. Excelente para ser usado en el aula por su tamaño y su fácil portabilidad.



Figura N° 6: Se muestra la parte del hardware que utiliza la solución MarkQual para corrección de exámenes.

Fuente:

<http://www.scantron.com/~media/Scantron/Files/products/scanners/other/EZ%20Data%20Scanner%20Datasheet.ashx>

Requerimientos para la solución MarkQual:

- Una computadora personal o laptop.
- Comunicación: Conector RS232 o conector USB 1.1 o 2.0.
- Las marcas en la cartilla se pueden hacer con tinta azul o negra.
- Rango de Voltaje: 100V-240V AC 47-63 Hz
- Velocidad: Alimentado a mano de 25 a 30 cartillas/minuto
- Precio \$1000-1700 /Unidad.

Las ventajas son que cuenta con un sistema de detección de cartillas y con una iluminación para el escaneo de cartillas. No obstante, las desventajas son que usa cartillas de calificación y no cuadernillos, además de no estar diseñado con el propósito de separar cuadernillos.

1.2.3 Sistema Feedback

Este sistema feedback (System Feedback, s.f.) consta esencialmente de dos partes las cuales son software y hardware. La segunda es quien permite la lectura en forma automática de los exámenes, encuestas, formularios y test generados por el Sistema feedback sobre hojas de papel común.

Este sistema cuenta con dos soluciones las cuales son:

1.2.3.1 Solución DL V1

La solución DL V1 utiliza una impresora para la lectura de los exámenes bandeja porta-hojas. La figura 7, muestra claramente la posición que ocupa el DL V1 en una impresora (HP DeskJet 670/692). La instalación del dispositivo es muy simple y no es necesario poseer conocimientos técnicos, de esta forma, facilita y aumentar la rapidez con la que se obtienen las calificaciones de un grupo de exámenes.

El sistema supervisa en todo momento la correcta instalación, indicando cualquier anomalía, pero solo escanea hojas, mas no cuadernillos.

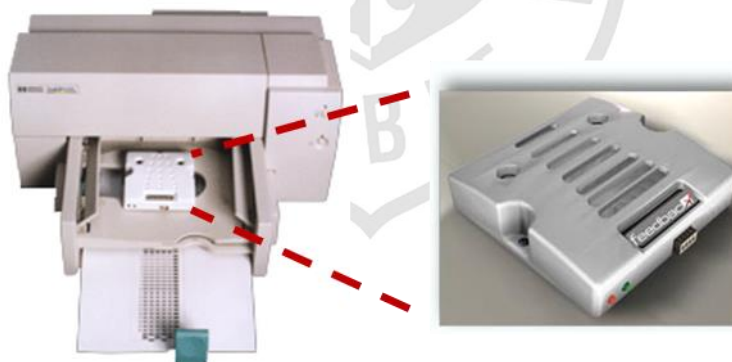


Figura Nº 7: Se muestra la parte del Hardware que utiliza la solución feedback DL V1 para corrección de exámenes.

Fuente: http://www.sistemafeedback.com.ar/descargas/Catalogo_FeedbackK_Web.pdf

Requerimientos para la solución DL V1:

- Un adaptador de red (220V AC a 12V DC)
- Un conversor de USB a RS232 para adaptarse a las PC, que no posean un puerto COM con conector DB9.
- Precio \$ 229 / Unid. (no incluye impresora).

La única ventaja es que se adecua fácilmente a cualquier estructura capaz de separar hojas o cuadernillos. Por otro lado, las desventajas son porque se requiere de una impresora para que se adapte a ella y funcione. Adicionalmente, la velocidad de captura de la imagen depende de la velocidad de la impresora. Finalmente, la separación de hojas, cuadernillos o cartillas es dependiente del tipo o modelo de impresora porque no todas separan cuadernillos o cartillas.

1.2.3.2 Solución DL V2

La solución DL V2 cuenta con un dispositivo lector para la corrección automática de exámenes en papel común. Esta versión no necesita impresora, por lo que es totalmente portátil.

En la figura 8, se puede observar el DL V2 instalado en su bandeja de extracción manual de hojas.

Esta se adapta al tamaño de hoja utilizado (Legal, Folio o A4) y evita la necesidad de contar con una impresora para la corrección de los exámenes, pero los exámenes requieren de un personal para ser escaneados uno a uno manualmente.

El DL V2 se conecta directamente al puerto USB de la PC o portátil y ya se encuentra listo para la lectura de las grillas impresas.

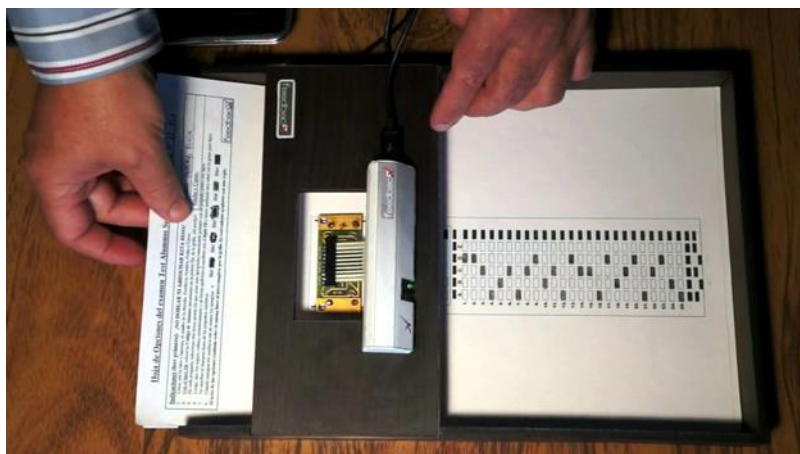


Figura Nº 8: Se muestra la parte del hardware que utiliza la solución feedback DL V2 para corrección de exámenes.

Fuente:

http://www.sistemadefeedback.com.ar/descargas/Catalogo_FeedbackK_Web.pdf

Características:

- Sistema totalmente portátil: Pesa alrededor de 500 g y posee el tamaño de la hoja que se utiliza normalmente: Legal, Oficio, Folio o A4.
- Se conecta al puerto USB (No requiere fuente ni adaptador)
- Pueden corregirse hasta 15 exámenes por minuto (no necesita de una impresora para pasar las hojas).
- US \$ 154 / Unid.

No existiendo ninguna ventaja que aporten al proyecto, las desventajas son la velocidad de captura de la imagen depende del usuario, en conjunto de la separación hojas depende del usuario. Además, la solución está diseñada para soportar un número limitado de hojas y no cuadernillos.

1.3 Publicaciones científicas/ingenieriles

Chacón, Ramos y Ruiz (2012), en la publicación se presenta el desarrollo de un control semiautomático en una máquina corrugadora de papel. El desarrollo de esta publicación se divide en tres partes, la primera describe las condiciones previas a la implementación del sistema y examina el funcionamiento y los problemas existentes para determinar los requerimientos del sistema; la segunda muestra la alternativa de solución, la selección de materiales, programación y montaje del sistema; finalmente, se muestran y comparan los resultados del desempeño de estos dispositivos y procesos. Mostrando un resultado satisfactorio en la implementación de finales de carrera y el control de movimientos de los brazos que favorecieron en la disminución progresiva de tiempos perdidos de tres horas y media a cero en un lapso de seis meses, lo cual hace que los métodos y resultados sean considerados en el prototipo propuesto.

Nakamura, Chávez y Olivera (2009), presenta un trabajo que consiste en el diseño y la implementación de un brazo robot de dos grados de libertad para su aplicación en el trazado de diagramas en un plano de trabajo A3, el diseño propone una etapa de interfaz de usuario, encargada de interactuar con el usuario mediante un computador personal y comunicarse con la etapa del controlador; la cual, se encarga de recibir del computador personal los valores de trayectoria ingresados por el usuario y generar las señales de control necesarias para accionar los actuadores encargados de realizar el movimiento, así como de recibir información de los sensores acoplados al sistema. De los resultados obtenidos se puede decir que el funcionamiento del sistema presenta errores debido a factores mecánicos que no habían sido considerados al momento del diseño, los cuales fueron tomados en consideración para el diseño del prototipo en mención.

José (2015), presenta una solución de un vehículo con cuatro extremidades, cada una dotada de una rueda para el desplazamiento en el plano, y de un sistema mecánico - eléctrico para la adherencia del móvil a la superficie de

trabajo. El control de los motores en los EDFs (*Electrical Ducted FAN*) está a cargo del microcontrolador ATmega2560 por medio de señales de PWM de 50 KHz encendiendo y apagando los motores cuando es necesario adaptándose a la superficie donde se encuentre el móvil. El uso de PWM en dicho proyecto fue de vital importancia para la precisión del giro de los EDFs lo cual se tomó en consideración para aplicarlo en el desarrollo del prototipo de la presente tesis.

Sánchez (2015), El presente trabajo está orientado principalmente a personas enfermas de la tercera edad que suelen tener problemas para recordar el momento y la dosis exacta de pastillas que deben tomar para cumplir con su tratamiento médico. El dispositivo permite almacenar pastillas en hasta siete contenedores distintos e ingresar a través de una interfaz gráfica los horarios y dosis de cada una de ellas. La tarjeta controladora utilizada, posee la capacidad de poder ser conectada a Internet, esto le da mayor proyección al diseño elaborado, ya que sin tener que cambiar mucho el hardware se pueden agregar muchas más funcionalidades. Esta idea podría ser tomada en consideración para mejoras en el prototipo, puesto que al tener un IP puede ser controlado desde cualquier computadora que esté dentro de la misma red LAN.

1.4 Software

A continuación, se explica los conocimientos en software que se necesitan para realizar el proyecto:

1.4.1 Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal, diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas electrónicas como las computadoras. Pueden usarse para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina, para expresar algoritmos con precisión o como modo de comunicación humana. Está formado por un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones. Al proceso por el

cual se escribe, se prueba, se depura, se compila se le llama programación (Lenguaje de Programación, 2004).

Compilador CCS C

Un compilador convierte el lenguaje de alto nivel a instrucciones en código máquina (Breijo, 2001); un *cross-compiler* es un compilador que funciona en un procesador (normalmente en una PC). El compilador CCS C es un *cross-compiler*. Los programas son editados y compilados a instrucciones máquina en el entorno de trabajo del PC, el código máquina puede ser cargado del PC al sistema PIC mediante ICD2 o mediante cualquier programador y puede ser depurado puntos de ruptura, paso a paso, entre otros, desde el entorno de trabajo del PC.

EL compilador C de CCS ha sido específicamente para PIC MCU, obteniendo la máxima optimización del compilador con estos dispositivos. Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de pre-procesado y ejemplos. Además, suministra los controladores (drivers) para diversos dispositivos como LCD, convertidores AD, relojes de tiempo real, EEPROM serie, etc.

El compilador cuenta con una estructura de programa la cual se mencionará continuación:

a) Estructura de un programa

Para escribir un programa en C con el CCS se deben tener en cuenta una serie de elementos básicos de su estructura (Breijo, 2001) (ver figura 9)

◆ Directivas de procesado

Controlan la conversión del programa a código máquina por parte del compilador.

◆ Programas o funciones

Conjunto de instrucciones, puede haber uno o varios; en cualquier caso, siempre debe haber uno definido como principal mediante la inclusión de la llamada **main()**.

◆ Instrucciones

Indican como se debe comportar el PIC en todo momento.

◆ Comentarios

Permite describir lo que significa cada línea del programa.

```
39
40 #if !defined(__PCD__)
41 #error This example only compiles with PCD compile
42 #endif
43
44 #include <33FJ128GP706.h>
45 #device ADC=16
46 #fuses HS,NOWDT,NOPROTECT, PR, NOCOE
47 #use delay(clock=12000000)
48 #use rs232(baud=9600, UART2)
49
50
51 void ProcessInput(unsigned int *);
52
53 BOOLEAN DMA_Buffer; // Flag to test if DMA interrup
54
55 #define BUFFER_SIZE 100 //DMA BUFFER Size
56
57 /*The BANK_DMA directive will place the following
58 structure in the DMA RAM*/
59 #BANK_DMA
60 unsigned int DMA_BUFFER_A[BUFFER_SIZE];
61 #BANK_DMA
62 unsigned int DMA_BUFFER_B[BUFFER_SIZE];
63
64 #INI_DMA0
65 void DMA0_ISR(void) {...}
66
67 #int_timer1
68 void Timer_ISR() {...}
69
70
71 void main() {
72
73     unsigned int16 value;
74
75     setup_dma(0, DMA_IN_ADC1, DMA_WORD);
76
77     /*
78     Built-in function dma_start options are as foll
79     dma_start(channel, options, buffera, bufferb,
80     // bufferb is optional depending on
81     // size is optional, if omitted the
82     // buffers must be declared with "#
```

Figura N° 9: Se muestra la estructura básica de un software para programación.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC.

b) Elementos de lenguaje de programación

◆ Variable y vectores

Las variables podrían calificarse como contenedores de datos y por ello se diferencian según el tipo de dato que son capaces de almacenar (Breijo, 2001).

En la mayoría de lenguajes de programación se requiere especificar un tipo de variable concreto para guardar un dato específico. Por ejemplo, en C, si se desea guardar una cadena de texto entonces se debe especificar que dicha variable sea del tipo *String*, lo cual en PHP no es necesario. Además, existen variables compuestas por muchas otras variables llamadas vectores. Un vector no es más que un conjunto de variables consecutivas en memoria y del mismo tipo.

A continuación, un listado con los tipos de variables y vectores más comunes:

- Variables tipo *Char*. Estas variables contienen un único carácter, es decir, una letra, un signo o un número.
- Variables tipo *Int*. Contienen un número entero.
- Variables tipo *Float*. Contienen un número decimal.
- Variables tipo *String*: Contienen cadenas de texto, es un vector con varias variables del tipo *Char*.
- Variables del tipo *Boolean*: Solo pueden contener un 0 o un 1. El cero es considerado para muchos lenguajes como el literal *False*, mientras que el 1 se considera *True*.

Las variables se deben declarar, obligatoriamente, antes de utilizarlas para ello se debe indicar el nombre y el tipo de dato que se programará como se aprecia en la Figura 10.

TIPO NOMBRE_VARIABLE [=VALOR INICIAL]

Figura Nº 10: Muestra la forma de declarar una variable.

Fuente: Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.

Donde:

- TIPO = Hace referencia al tipo de variable mencionado anteriormente en este capítulo.
- NOMBRE_VARIABLE = Es el nombre que se le asigna a la variable y puede ser cualquiera, pero sin repetirse.
- VALOR INICIAL = Es opcional muchas veces es usado para inicializar un puerto declarado como salida como se muestra en el siguiente ejemplo.

Int Motor1= 0

Las variables pueden ser de dos tipos: Globales (las cuales se pueden usar en todas las funciones del programa) o locales (que se pueden usar en la función donde fue declara) como se aprecia en la siguiente Figura 11.

```
#include <16f876.h>
#USE DELAY (CLOCK=4000000)
int16 counter;          // Variable global
void FUNCION(void)
{
    char K, kant='0';  // Variables locales
}
void main( )
{
    int8 temp;         // Variable local
}
```

Figura N° 11: Muestra los tipos de variables globales y locales.

Fuente: Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.

◆ Condicionales

Los condicionales son estructuras de código que indican que para que cierta parte del programa se ejecute, deben cumplirse ciertas premisas; por ejemplo: que dos valores sean iguales, que un valor exista, que un valor sea mayor que otro (Breijo, 2001). Estas condiciones son usadas para controlar el proceso de ejecución de los programas y las más usadas son:

- IF-ELSE: La estructura de esta condicional se aprecia en la siguiente Figura 12.

Donde primero se evalúa la EXPRESION y si es cierta (Verdad o 1) ejecuta la SENTENCIA_1, pero si en caso ocurre lo contrario (Falso o 0) se ejecuta la SENTENCIA_2.

```
if (expresión)
    sentencia_1;
[else
    sentencia_2;]
```

Figura Nº 12: Muestra la forma de declarar la condicional IF.

Fuente: Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.

- ELSE-IF: También es posible tomar decisiones múltiples añadiendo ELSE-IF a la condicional IF-ELSE como se aprecia en la siguiente Figura 13.

```
if (expresión_1)
    sentencia_1;
[else if (expresión_2)
    sentencia_2;]
[else
    sentencia_3;]
```

Figura Nº 13: Muestra la forma de declarar la condicional ELSE-IF.

Fuente: Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.

En este caso las EXPRESIONES se evalúan jerárquicamente. Donde primero se evalúa la EXPRESION_1 y si es cierta (Verdad o 1) ejecuta la SENTENCIA_1 y si a su vez también la EXPRESION_2 es cierta (Verdad o 1) ejecuta la SENTENCIA_2 pero si la EXPRESION_1 es (Falsa o 0) se ejecuta la SENTENCIA_3.

◆ Bucles

Ejecutan constantemente las sentencias mientras se cumpla una determinada condición (10). Los más frecuentes son:

- FOR: La estructura de este bucle FOR se aprecia en la siguiente figura 14.

```
For (N=1;N<=10;N++)  
{  
    Printf("%u",N);  
}
```

Figura N° 14: Muestra la forma de declarar el bucle FOR.

Fuente: Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.

Donde se ejecuta la sentencia PRINTF mientras la variable N se encuentre en el rango comenzado en N=1 he incrementándose positivamente hasta 10.

- WHILE: La estructura de este bucle WHILE se aprecia en la siguiente figura 15.

```
While (N>5 && M<10)  
{  
    A=1;  
    B=2;  
}
```

Figura N° 15: Muestra la forma de declarar el bucle WHILE.

Fuente: Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.

Donde se ejecuta las sentencias A y B mientras la variable N sea mayor que 5 y a su vez la variable M sea menor que 10, en caso contrario se dará por terminado el bucle *While*.

Teniendo en cuenta lo mencionado de los elementos que conforman un lenguaje de programación y los requerimientos solicitados del cliente se procederá a diseñar un diagrama de flujo (Detallado en el capítulo de metodología) el cual permitirá el control de procesos de todo el prototipo.

1.4.2 ASCII para comunicación Master-Eslavo

Para introducir información en un computador y obtenerla de él, se necesita emplear una clase de código alfanumérico (para las letras, números y otros símbolos). Hubo un tiempo en que los fabricantes utilizaron sus propios códigos alfanuméricos, lo que conllevó a una gran confusión. Eventualmente, la industria estableció un código de entrada-salida conocido como Código Estándar Americano para el Intercambio de Información (o sus siglas en inglés *American Standard Code for Information Interchange*, abreviadamente ASCII). Este código permitió a los fabricantes normalizar el hardware del ordenador tal como el que constituyen los teclado, impresoras y pantallas visualizadoras (P. Malvino & P. Leach).

1.4.2.1 Uso del código ASCII

El ASCII es un código de 7 bits cuyo formato es $X_6X_5X_4X_3X_2X_1X_0$ donde cada X es un 0 o un 1. Por ejemplo, la letra A se codifica así: 1000001.

Para que sea más fácil la lectura, se puede dejar un espacio como sigue: 100 0001.

La tabla N° 1 muestra el código ASCII. La tabla se lee igual que si fuera un gráfico. Por ejemplo, la letra A tiene un grupo $X_6X_5X_4$ de 100 y otro $X_3X_2X_1X_0$ de 0001. Por tanto, el código ASCII es 100 0001 que es la letra A.

La tabla N° 1 incluye el código ASCII para las letras minúsculas. La letra "a" se codifica así: 110 0001.

Tabla N° 1: Código ASCII

X ₃ X ₂ X ₁ X ₀	X ₆ X ₅ X ₄					
	010	011	100	101	110	111
0000	SP	0	@	P		p
0001	!	1	A	Q	a	q
0010	"	2	B	R	b	r
0011	#	3	C	S	c	s
0100	\$	4	D	T	d	t
0101	%	5	E	U	e	u
0110	&	6	F	V	f	v
0111	'	7	G	W	g	w
1000	(8	H	X	h	x
1001)	9	I	Y	i	y
1010	*	:	J	Z	j	z
1011	+	;	K		k	
1100	,	<	L		l	
1101	-	=	M		m	
1110	*	>	N		n	
1111	/	?	O		o	

Fuente: Principios y aplicaciones digitales.

En la tabla N° 1, SP significa espacio en blanco. Pulsando la barra de espacio de un teclado ASCII se envía esto a la computadora personal (P. Malvino & P. Leach).

1.4.2.2 Bit de paridad

El código ASCII se utiliza para enviar datos digitales por líneas telefónicas. Como se mencionó anteriormente en los datos transmitidos pueden ocurrir errores de bit. Para captar o detectar estos errores se transmite usualmente 1 bit de paridad a los bits originales. Entonces, un comprobador de paridad situado en el extremo receptor puede comprobar si la paridad en el extremo receptor es la misma que en el extremo transmisor, tanto si la convenida es par como si es impar. Como el código ASCII utiliza 7 bits, la adición de un bit de paridad al dato transmitido produce un número de 8 bits en este formato: $X_7X_6X_5X_4X_3X_2X_1X_0$ donde: X_7 es el bit de paridad.

Esta es una longitud ideal o teórica a causa de que la mayoría de equipos digitales funcionan con bits de datos.

1.5 Hardware

A continuación, se explica los conocimientos en hardware que se necesitan para realizar el proyecto:

1.5.1 Microcontroladores

Un Microcontrolador es un circuito integrado, diseñado especialmente para controlar dispositivos electrónicos. Se define como una minicomputadora embebida dentro de un único encapsulado del tamaño de un chip; que consta de todos los elementos de una computadora con uno o varios microprocesadores. En la figura 16 se puede observar las diferentes partes de un microcontrolador.

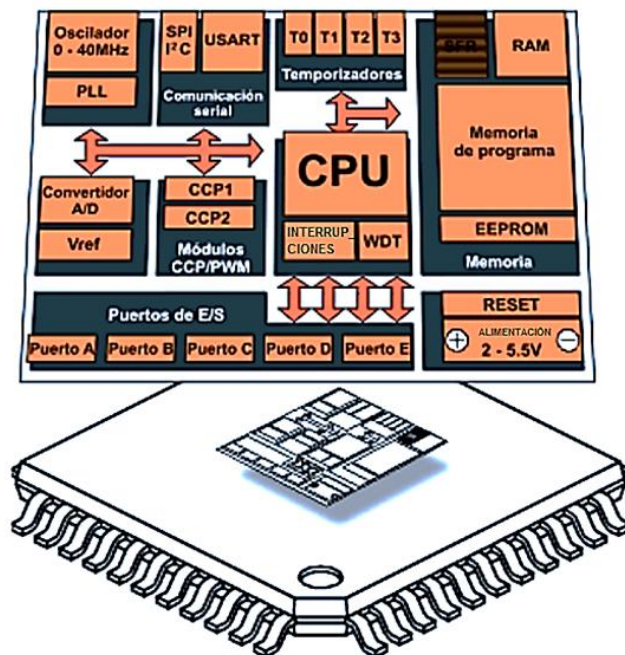


Figura N° 16: Se muestra los componentes internos de un microcontrolador.

Fuente:

<http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespicbasic/chapter/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores/>

Cuando se realiza un proceso reiterativo, sea en software o hardware, cada microcontrolador puede ser programado con el lenguaje ensamblador (que está intrínsecamente relacionado con el sistema hexadecimal) el cual cambia respecto a la empresa que fabrica dicho microcontrolador. Debido a esto, se suele programar en lenguaje C puesto que este está enfocado a ser el mismo así se cambie a un microcontrolador de otra empresa. Es este el motivo por el cual se creó un intermediario (para traducir desde el lenguaje C hacia el lenguaje ensamblador) llamado “compilador”. Debido a esto se encontrará diferentes compiladores con el mismo lenguaje de programación C. En la figura 17 se muestra un proceso lógico donde se programó en lenguaje C, el cual requiere que el programador escoja el hardware (o microcontrolador) idóneo donde aterrizarlo. Para este fin, el programador deberá buscar un compilador compatible con dicho hardware. Luego, viene el proceso de grabación, donde el programador tendrá que embeberlo hacia el microcontrolador de su elección. Finalmente, llega el proceso de implementación donde el microcontrolador será puesto en una placa circuital para realizar un objetivo específico.

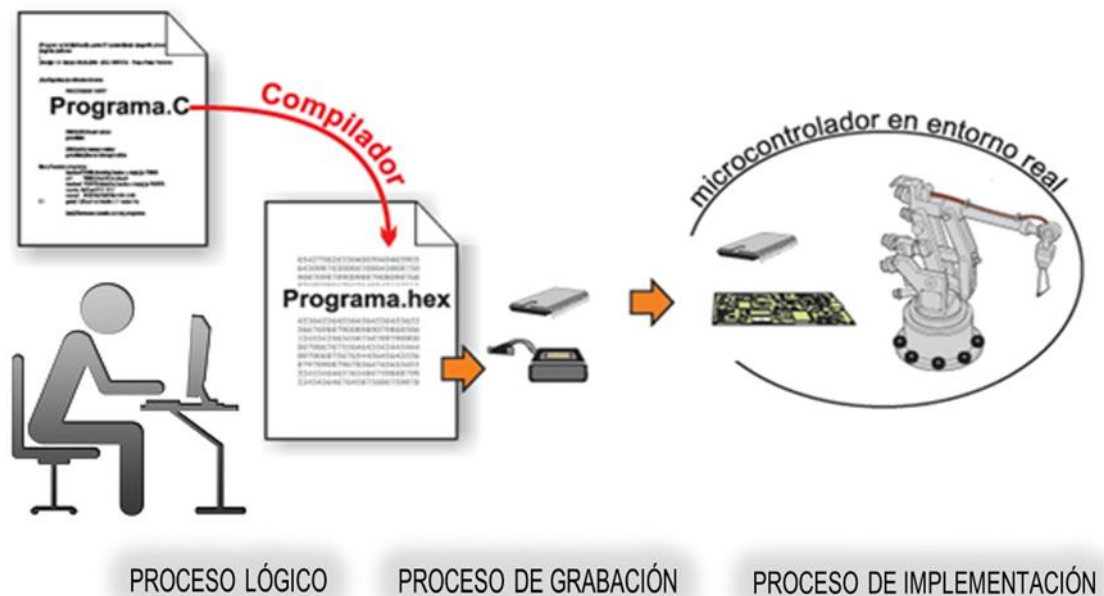


Figura Nº 17: Se muestra los procesos para embeber en un microcontrolador un programa en el archivo Programa C hasta insertarlo en una placa de circuito impreso para darle uso en un entorno real.

Fuente: <https://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespicc/chapter/caracteristicas-principales-del-mikroc/>

En la actualidad todo microcontrolador es diseñado a partir del lenguaje de programación de mediano nivel llamado C, ya que este es uno de los lenguajes más usados en el mundo.

A continuación, se muestra un listado con las marcas de microcontroladores más comunes en el mercado:

- AMCC
- Altera
- Analog Devices
- Atmel
- Charmed Labs
- Cypress MicroSystems
- Dallas Semiconductor
- ELAN Microelectronics Corp.
- Energy Micro AS
- EPSON Semiconductor
- Freescale Semiconductor
- Fujitsu
- Holtek
- Infineon
- Intel
- Lattice Semiconductor
- Microchip Technology
- National Semiconductor
- NEC
- Parallax

- Philips Semiconductors
- Rabbit Semiconductor
- Renesas Technology
- Silabs
- Silicon Motion
- STMicroelectronics
- Texas Instruments
- Toshiba
- Western Design Center
- Uvicom
- Xemics
- Xilinx
- ZiLOG

Entre los microcontroladores más usado está el PIC16F77A con su familia PIC16F de la empresa *Microchip Technology*. Dicho microcontrolador es sencillo de utilizar debido a que es uno de gama media lo cual quiere decir que tiene una mediana capacidad de funciones, las cuales brindan al usuario aprendiz la comodidad de adquirir los conocimientos para operarlo sin estar cambiando de microcontrolador por la falta de funciones cada vez que requiera emprender un nuevo proyecto, las características de algunos microcontroladores de la familia PIC16F se observa en la siguiente tabla N° 2:

Tabla N° 2: Familia de PICs

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

Fuente: DataSheet PIC16F77A.

Siendo el PIC16F877A (ver figura 18) el elegido para el desarrollo del prototipo al tener un gran número de pines que brindan la capacidad de usar una pantalla LCD comunicación paralela, controlar actuadores (como los motores DC y las luces led) y sensores. Además de interactuar con la computadora personal por medio de la interface serial asíncrona RS232 (detallado en la sección 1.5.2), asimismo por la garantía y precio asequible en el mercado que ofrece este microcontrolador.

40-Pin PDIP

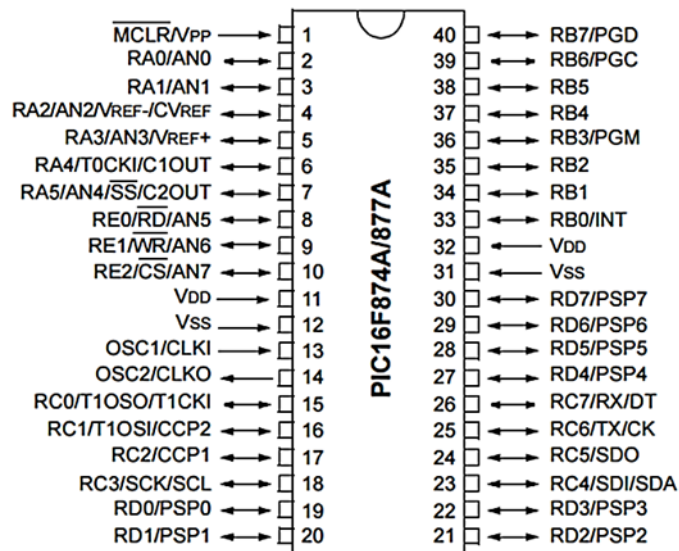


Figura N° 18: Muestra el PIC16F877A con sus pines.

Fuente:

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/75016/MICROCHIP/PIC16F877/+W412JUIGCROEIIteUOKvGPIIK+/datasheet.pdf>

1.5.2 Comunicación U(S)ART (RS232)

RS-232 (*Recommended Standard 232*), en español: Estándar Recomendado 232, también conocido como EIA/TIA RS-232C, es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un DTE (*Data Terminal Equipment*, Equipo Terminal de Datos) y un DCE (*Data Communication Equipment*, Equipo de Comunicación de Datos), aunque existen periféricos en que también se utiliza la interfaz RS-232. Una definición equivalente publicada por la ITU-T se denomina V.24.

El estándar RS-232 usa el protocolo UART o U(S)ART (Transmisor y Receptor Asíncrono Universal) que se diseñó para convertir las señales que manejan los DTE y transmitirlos al exterior. Las UART deben resolver problemas tales como la conversión de tensiones internas del DCE con respecto al DTE, gobernar las señales de control, y realizar la transformación desde el bus de datos de señales en paralelo a serie y viceversa. Además, de ser robusta y de tolerar cortocircuitos y escritura simultánea sobre un mismo pin, entre otras consideraciones es en la UART en donde se implementa la interfaz.

En particular, existen ocasiones en que interesa interconectar otro tipo de equipamientos, como pueden ser computadores. Evidentemente, en el caso de interconexión entre los mismos, se requerirá la conexión de un DTE con otro DTE una configuración en el software con características Master-Slave. Para ello se utiliza una conexión entre los dos DTE sin usar módem, por ello se llama módem nulo (*null modem*).

Generalmente, cuando se requiere conectar un microcontrolador (con señales típicamente entre 3,3 y 5 V) con un puerto RS-232 estándar, se utiliza un driver de línea, típicamente un chip llamado MAX232 o compatible, el cual, mediante dobladores de tensión positivos y negativos, permite obtener la señal bipolar típicamente alrededor de +/- 6V requerida por el estándar. Además, de usar la configuración null modem en el cable.

Para los propósitos del estándar RS-232, una conexión es definida por un cable desde un dispositivo al otro. Hay 25 conexiones en la especificación completa, pero es muy probable que se encuentren menos de la mitad de

éstas en una interfaz determinada. La causa es simple, una interfaz full *duplex* puede obtenerse con solamente tres hilos.

1.5.3 Sensores

Los sensores son una parte importante en cualquier proyecto robótico, dependiendo de la lectura de cada uno de ellos se podrán controlar o desarrollar diferentes procesos independientes o en secuencia, muchos de los sensores simulan los cinco sentidos del cuerpo humano, los robots tienen que recabar amplia información sobre su ambiente a fin de funcionar de manera efectiva. Con lo cual se hace más fácil el diseño de robots más elaborados, algunos son capaces de brindar una alta precisión de movimientos lo más estable posible, ya sea, en los ejes verticales o horizontales dependiendo del diseño o requerimiento deseado e introducirse en el microcontrolador que controla los movimientos del robot (Saha, 2010).

Ahora bien, los sensores deben cumplir ciertos requisitos para ser considerados óptimos e ideales para los requerimientos deseados. Para su elección se hace uso de sus atributos o características más resaltantes, ya que todo sensor tiene todas estas, pero en poca o mayor magnitud, a continuación, se detalla dichas características (Escalona, 2007).

1.5.3.1 Características

- a) La exactitud del sensor indica que el valor real a la salida del sensor implementado en laboratorio tiene que ser el más cercano posible al valor ideal o teórico, que fue obtenido en el diseño matemático.
- b) La precisión yace en que el valor real medido a la salida del sensor debe mantenerse constante en todo momento en que este se vuelva a medir.
- c) El rango de funcionamiento del sensor debe tener un umbral de operación cuasi-lineal donde se debe cumplir la exactitud y precisión en todo su rango.

- d) La velocidad de respuesta del sensor o transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Idealmente sería una respuesta instantánea.
- e) La calibración de los sensores en conjunto con sus circuitos de sensibilidad, a través del tiempo tienden a perder sus propiedades eléctricas, tales como inductancia, capacitancia, resistividad, etc., las cuales son compensadas manipulando el circuito de sensibilidad. Generalmente en la práctica esto se hace con un potenciómetro.
- f) La fiabilidad para que un sensor sea considerado fiable no debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento. Dicha medida se obtiene realizando pruebas de tiempos prolongados.

1.5.3.2 Mantenimiento de los sensores

En esta sección se abordarán cuestiones relacionadas con el correcto uso de sensores y equipamiento (que son los componentes electrónicos propios de la circuitería que acompañan a sensor o sensores) junto con su calibración y operaciones de mantenimiento.

El mantenimiento del equipamiento es vital para el perfecto funcionamiento del mismo, garantizando un óptimo desempeño a lo largo de la vida útil (Saldis, 2013).

a) Mantenimiento preventivo

Se refiere al mantenimiento preventivo cuando se establecen una serie de inspecciones en el funcionamiento, seguridad, ajustes, limpieza, acondicionamiento y calibración de la unidad cuando la misma se encuentre en estado de correcto funcionamiento. Para que este sea llevado a cabo, debe planificarse en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario. El mantenimiento preventivo de las unidades proporciona amplias y notables ventajas como el aporta resultados confiables y precisos en las mediciones o la disminución del tiempo de parada de

funcionamiento del equipo. Además de prolongar la vida útil. Con lo cual, en la gran mayoría de los casos, disminuye el costo de las reparaciones.

En general, la frecuencia y el tipo de actividades del mantenimiento preventivo dependen de cada unidad en particular, existiendo amplias diferencias entre los distintos sensores empleados.

b) Mantenimiento correctivo

Cuando se refiere al mantenimiento correctivo del equipamiento se considera aquellas operaciones necesarias para localizar averías o defectos en la unidad cuando esta se encuentra fuera de funcionamiento, con el objeto de corregirlas o repararlas.

Las ventajas del mantenimiento preventivo del equipamiento frente al correctivo son evidentes, pero al mismo tiempo es necesario destacar que se requiere tanto de experiencia del personal que realiza el mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para definir las actividades de mantenimiento preventivo.

Como primera medida, al comenzar las actividades con la unidad sensor, interfaz, en otros, es recomendable rotular cada una de ellas, asignar un nombre o número que lo identifique y así permita seguir las actividades de mantenimiento. La generación de registros de mantenimiento mediante planillas facilitará la organización del trabajo, minimizando el tiempo empleado y posibles errores en el procedimiento.

Como segunda medida, la información provista por el fabricante manuales de uso debe ser de fácil acceso al usuario. En el caso de equipamiento que requiera armado, calibración y/u otras operaciones para su puesta en marcha, es conveniente elaborar una guía rápida de uso que considere todos los pasos u operaciones a realizar de manera clara y sin lugar a dudas en el procedimiento. Esto facilitará el manejo del equipamiento y al mismo tiempo asegura un correcto funcionamiento del mismo.

1.5.3.3 Tipos de sensores

a) Sensores de temperatura

En temas relacionados con la robótica siempre existe el uso de motores, por lo cual siempre es necesario el uso de drivers para generar la potencia necesaria para que se muevan, pero este tipo de drivers como el L293D disipan mucha potencia en forma de calor. Esto debido al tamaño reducido de los transistores y otros semiconductores de potencia, que no son capaces de disipar toda la potencia que producen sin calentarse excesivamente por efecto joule o por sus características no lineales. (Ver figura 19)

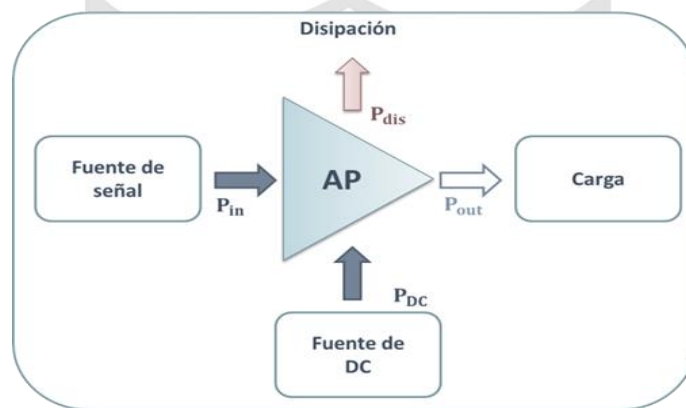


Figura Nº 19: Se muestra las potencias de un amplificador de potencia.

Fuente:

http://www.ehowenespanol.com/tipos-disipadores-calor-termicos-lista_490798/

En consecuencia, la disipación de calor genera altos niveles de temperatura, la cual si no se regula con un disipador térmico pasivo (ver figura 20) o con un disipador de calor térmico activo (ver figura 21), terminará por dañar el mismo driver que controla dichos motores. A continuación, se describe los dos tipos de disipadores.

➤ Disipador térmico pasivo:

Generalmente está compuesto de aluminio y es capaz de conducir el calor que generan los dispositivos electrónicos a través de sus propiedades naturales (Ehow-tipos de disipadores, 2003).

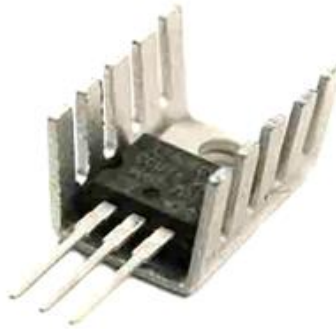


Figura Nº 20: Se muestra un disipador pasivo de aluminio instalado en un dispositivo electrónico.

Fuente: Google Imágenes.

➤ Disipador térmico activo:

Generalmente están compuesto por un sistema mecánico de enfriamiento como el cooler (Ehow-tipos de disipadores, 2003).



Figura Nº 21: Se muestra un disipador activo (FAN COOLER)

Fuente: Google Imágenes

Como se puede apreciar en la tabla N° 3 existen muchos tipos de sensores de temperatura y su elección depende de diversos parámetros, como el rango de temperatura que sean capaces de admitir, la precisión necesaria, el costo, la resistencia que debe presentar a ciertas condiciones ambientales.

Tabla N° 3: Tipos de sensores de temperatura

Sensor	Rango	Incremento	Propiedades
LM35	-10°C -100°C	0.10mV/°C	Reducido tamaño y mediana respuesta.
PT100	-50°C -500°C	100W -0°C	Reducido tamaño y rápida respuesta.
PTC (Coeficiente de temperatura positiva)	Diferentes	Baja resistencia a baja temperatura y aumenta rápidamente al superar la temperatura de referencia.	Protección contra sobretensiones y sobre-corriente.
NTC (Coeficiente de temperatura negativo)	Diferentes	Alta resistencia a baja temperatura.	Buena fiabilidad a bajo costo. Muy empleados en electrodomésticos.
Termopolar tipo N	-50°C -400°C		Altas temperaturas. Larga vida. Espacios reducidos.

Fuente: Ehow-tipos.

◆ Sensor LM35

Uno de los sensores más utilizados es el LM35, con una precisión dependiente de la temperatura de $\pm 1^\circ\text{C}$, por lo que se considera estándar y se puede emplear como un termómetro. Dicho sensor está regido por la siguiente ecuación:

$$V_{OUT} = 10 \frac{mV}{^\circ\text{C}} \times T \quad (1)$$

Donde:

V_{OUT} = Voltaje de salida del sensor.

T = Temperatura del ambiente en °C.

En la figura 22 se presenta el encapsulado más común para el sensor LM35; este encapsulado (TO-92) es similar a un transistor con tres terminales. (Reyes Cortés, Cid Monjaraz, & Vargas Soto, 2002)



Figura N° 22: Se muestra el sensor de temperatura LM35.

Fuente: Reyes Cortés, mecatrónica: control y automatización.

◆ Sensor PT100

Este sensor es de uso industrial que al aumentar su temperatura aumenta su resistencia, pero de forma no lineal obteniendo 0 ohm a 100°C como se muestra en la Figura 23.

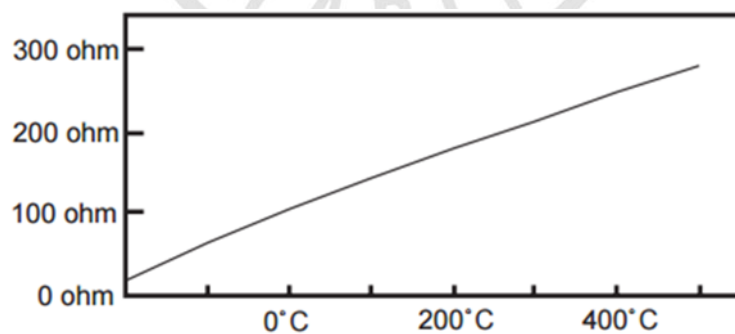


Figura N° 23: Muestra la relación Ohms versus Temperatura.

Fuente: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

Siendo su desventaja que el sensor PT100 es elevadamente más costoso en el mercado en comparación con el LM35 dado que es un sensor industrial y

su rango de trabajo lo hace ideal para trabajos en la cual la temperatura a sensar sea bajo 0°C al igual que el Termo-polar tipo N lo cual no es necesario en este prototipo (ACDC Dynamics, 2008).

◆ Sensores PTC y NTC

Se utilizan como sensores de temperatura en un rango de 0°C a 1000°C. Pueden tener coeficiente de temperatura positivo (PTC) o coeficiente de temperatura negativo (NTC) (Maco, 2010). Lo que quiere decir que:

$PTC = +T + R + V$ (a mayor temperatura, mayor resistencia y voltaje).

$NTC = +T - R - V$ (a mayor temperatura, menor resistencia y voltaje)

Como se aprecia en las curvas típicas no lineales (Ver figura 24):

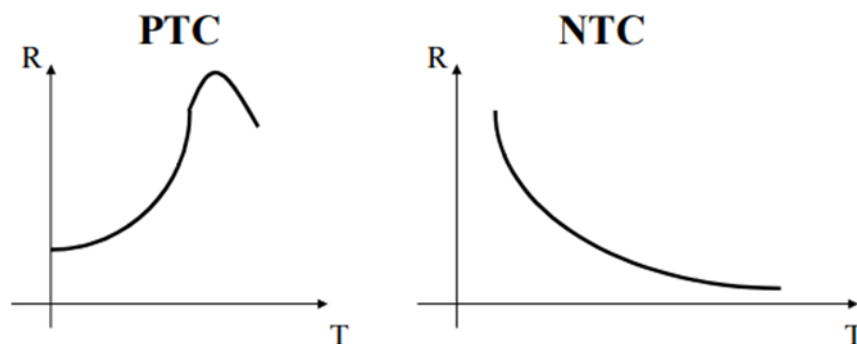


Figura Nº 24: Muestra las curvas de los 2 sensores PTC y NTC.

Fuente:

http://mdgomez.webs.uvigo.es/DEI/Problemas_res/Cuestiones_Septiembre-09_respuesta.pdf.

Siendo la desventaja de los sensores PTC y NTC que son elevadamente más costoso en el mercado en comparación con el LM35, dado que, son sensores industriales.

Tomando en cuenta las ventajas, desventajas y el propósito de ventilar el recinto de cuadernillos en el proyecto, se optó por utilizar el sensor LM35.

b) Sensores internos

Esta sección hace referencia a las condicionales implementadas en la programación embebidas en el microcontrolador (Saha, 2010).

Como lo sugiere el nombre, los sensores internos se emplean para monitorear el estado interno de un robot, es decir, su posición, velocidad, aceleración, etc. en un momento determinado. Basado en estos datos y dependiendo de sus diferentes valores, el microcontrolador decidirá el control de los actuadores del robot.

c) Sensores externos

Como ya se mencionó anteriormente los sensores son una parte muy importante en la robótica, en esta sección se verá el uso de sensores externos los cuales limitarán los movimientos de los robots, dependiendo del tipo de función que se le determine al robot a realizar. Cabe adelantar que los sistemas de coordenadas de los robots, así como sus grados de libertad son muchos y dependerá del tipo de trabajo a realizar para así escoger cuáles serán los indicados. Aunque muchos robots trabajan de forma pre-programada, el uso de estos sensores aún son un apoyo para asegurar una detención más estable de los motores.

Existen dos tipos de sensores externos los cuales son táctiles o no y suelen ser utilizados por los robots de forma general, para gran diversidad de tareas. A continuación, se describen dichos sensores:

◆ Sensores táctiles

El funcionamiento de estos sensores no es muy complicado pues estos dependen de un contacto físico para ser activados y así cambiar su estado de DOWN a UP (o viceversa) por ese instante de tiempo y volver a su estado normal cuando no se le ejerce presión (como se observa en la siguiente figura 25). Además, este tipo de sensor puede operar sin problemas si no se le genera una fuerza mayor de lo establecido en su *datasheet* (o hoja de especificaciones). Para el caso del proyecto, los sensores táctiles no se puede

ejercer una fuerza mayor a de 1.47 newton (Mouser- Basic Switch Manual, s.f.).

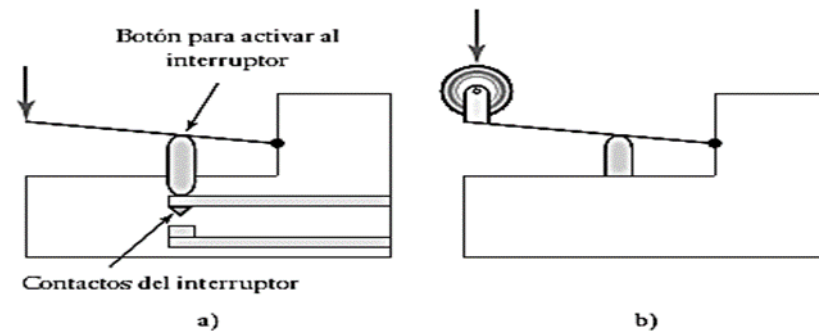


Figura N° 25: Muestra a) el mecanismo interno de un sensor táctil. b) el mecanismo externo del sensor táctil.

Fuente: <http://www.mouser.com/ds/2/307/en-d2f-587403.pdf>

Los sensores táctiles o finales de carrera pueden ser normalmente abiertos (NA) o normalmente cerrados (NC) y pueden tener polos múltiples (ver figura 26).



Diagramas de cableado

1	3	2	
⊕ Com	⊕ N.A.	⊕ N.C.	

Figura N° 26: Se muestra los estados de un sensor táctil. Com1: Punto común. N.A. Normalmente Abierto N.C. Normalmente Cerrado.

Fuente: <http://www.mouser.com/ds/2/307/en-d2f-587403.pdf>

Dicho sensor táctil y el uso de dos de sus pines (Com 1 y NA) y un arreglo circuital como se aprecia en la figura 27 permite conmutar de 0 a 5 voltios con solo presionar el interruptor. Y a su vez la figura 28 permite conmutar de 5 a 0 voltios con solo presionar el interruptor.

Siendo el pin “Com 1” quien brinda al microcontrolador 5 o 0 voltios el cual lo interpreta como 1 o 0 lógico respectivamente y así poder activar y desactivar actuadores (como motores de corriente continua) dependiendo de la programación embebida (Saha, 2010).

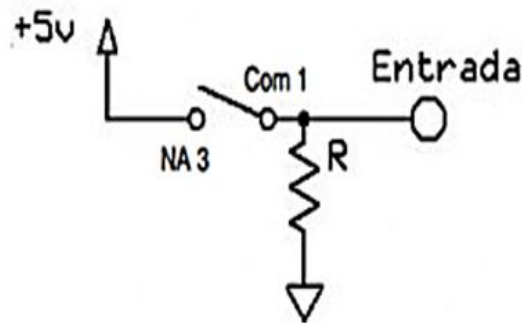


Figura Nº 27: Circuito conmutador de 0 a 5 voltios.

Fuente: Propia

Los sensores táctiles o finales de carrera son dispositivos mecánicos que pueden tener los siguientes problemas, de estar sujetos a fallas mecánicas. A su vez el tiempo promedio entre fallas es bajo en comparación con sensores sin contacto. Finalmente, la velocidad de operación es relativamente lenta en comparación con la velocidad de conmutación de micro sensores fotoeléctricos que es hasta 3000 veces más rápida.

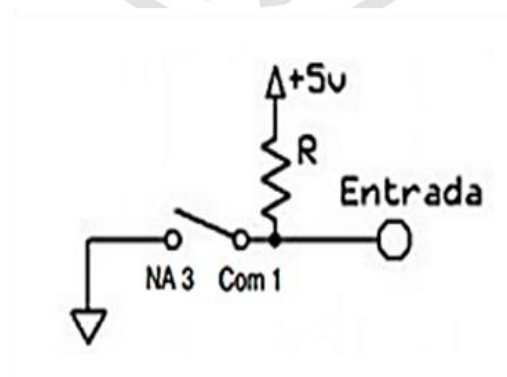


Figura Nº 28: Circuito conmutador de 5 a 0 voltios.

Fuente: Propia.

◆ Sensores no táctiles

Como se muestra en la figura 29, el sensor no táctil o semiconductor utiliza un diodo de emisión de luz (LED) de semiconductor o infrarrojo (IR) como fuente de luz, así como un detector sensible a la posición (PSD). El haz infrarrojo se enfoca sobre el objeto por medio de un lente. El objeto refleja al rayo, que luego se enfoca sobre el PSD creando un punto de luz. El punto de luz se mueve cuando el objeto lo hace. El desplazamiento de la pieza de trabajo puede entonces determinarse detectando el movimiento del punto de luz (Saha, 2010).

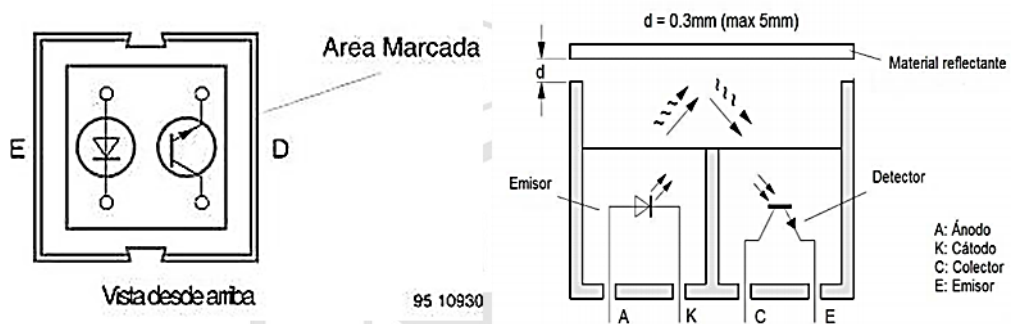


Figura N° 29: Se muestra las características y funcionamiento básico de sensor óptico CNY70. **Fuente:** CNY70 *DataSheet* en español.

El sensor más usado para la detección de objetos es el CNY70, el cual es capaz de diferenciar áreas claras de áreas oscuras como se explica a continuación.

Como se aprecia en la figura 30. La luz transmitida por el led IR no refracta sobre áreas oscuras causando que el transistor IR receptor no reciba ninguna luz IR (DATAB - Curso de Robótica, 2001).

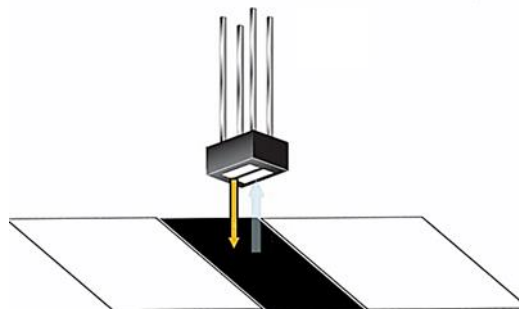


Figura N° 30: Se muestra como la luz IR se refracta tenuemente debido al objeto de color negro. **Fuente:** CNY70 *DataSheet* en español.

Caso contrario ocurre si el mismo sensor es activado sobre un área blanca como se aprecia en la figura 31. La luz IR del transmisor del sensor es capaz de refractarse sobre el área blanca ocasionando que el transistor IR reciba la luz cerrando el circuito (DATAB - Curso de Robótica, 2001).

Además, mientras más se aleja el sensor del área blanca, menor será la señal censada por el fototransistor.

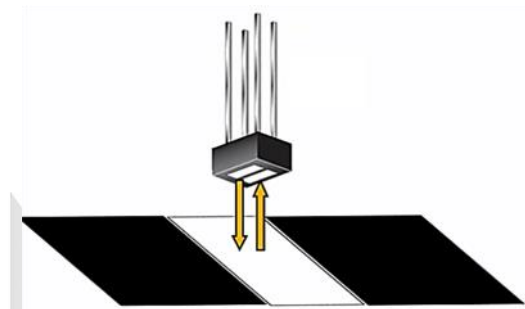


Figura N° 31: Se muestra como la luz IR se refracta efectivamente debido al objeto de color blanco. **Fuente:** CNY70 *DataSheet* en español.

1.5.4 Amplificadores operacionales

A un amplificador operacional se le puede considerar básicamente como un sistema activo que cuenta con una entrada y una salida, la ganancia de voltaje del amplificador es la razón aritmética de los voltajes de salida y entrada, referidos a tierra (ver figura 32). La impedancia de entrada de un amplificador se define como el voltaje de entrada dividido entre la corriente de entrada; a su vez la impedancia de salida es el voltaje de salida dividido entre la corriente de salida. En muchos casos se utiliza dicho amplificador operacional en el diseño electrónico del acondicionamiento de Señal.

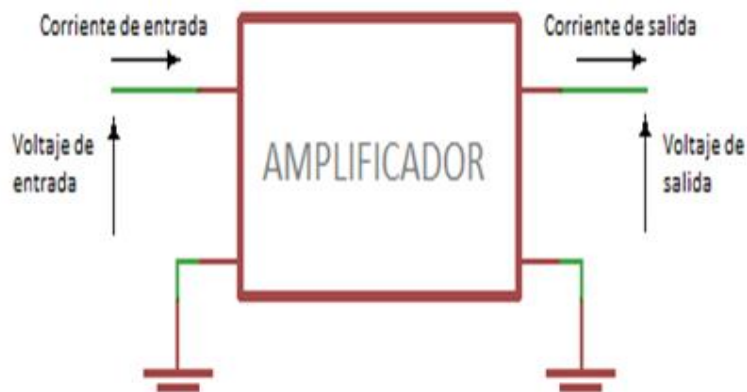


Figura N° 32: Circuito de caja negra para generalizar el funcionamiento de un amplificador.

Fuente: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario (5a. ed.).

El amplificador operacional funciona como un amplificador de alta ganancia, por lo general la ganancia es del orden de 100 000 veces o más, que es proporcionado como un circuito integrado en un chip de silicio. Este cuenta con dos entradas, conocidas como la entrada inversora (-) y la entrada no inversora (+). La salida depende de las conexiones hechas de dichas entradas. Existen otras entradas para el amplificador operacional como un suministro de voltaje negativo, un suministro de voltaje positivo y dos entradas conocidas como voltaje de compensación nulo, para permitir correcciones hechas para el comportamiento no ideal del amplificador.

Un modelo ideal para un amplificador operacional es un amplificador con una ganancia e impedancia de entrada infinita y una impedancia de salida cero (William, Díaz, Ángeles, & Giannetto, 2013).

La figura 33 muestra las conexiones de los terminales para un amplificador operacional tipo 741.

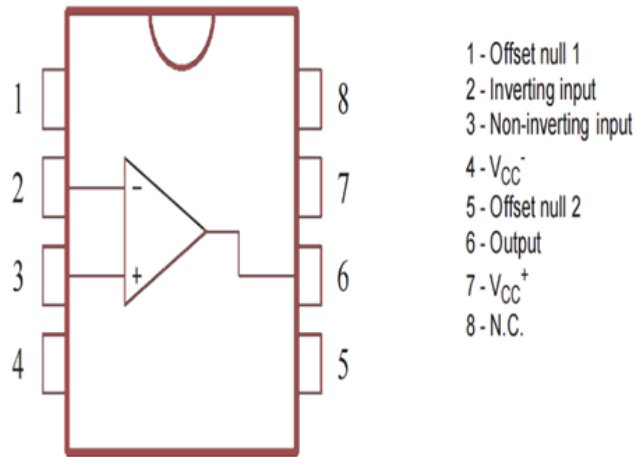


Figura Nº 33: Información del Circuito de conexión del Opamp 741.

Fuente: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario (5a. ed.).

Por medio de los OPAMPs se puede realizar operaciones matemáticas, con representaciones en valores analógicos. Dichas operaciones pueden ser: integradores, diferenciadores, sumadores, multiplicadores, los cuales son utilizados para el filtrado de señales de sensores, generadores de ondas, etc. (Reyes Cortés, Cid Monjaraz, & Vargas Soto, 2002) El amplificador operacional tiene varias configuraciones entre las cuales se encuentran: el comparador, seguidor, no inversor, sumador inversor, restador inversor, integrador ideal, derivador ideal, convertor de corriente a tensión, función exponencial y logarítmica, convertidor digital-analógico (R-2R), etc.

En muchos casos, la señal obtenida de un sensor es una señal análoga, demasiado pequeña que necesita ser amplificada. Dicha señal podría contener ruido o no ser lineal y requerir linealización o tal vez necesite digitalización o pueda ser que desde un inicio sea digital y necesite convertirse en analógica. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término acondicionamiento de señal (William, Díaz, Ángeles, & Giannetto, 2013). Por tal motivo será necesario que la señal recibida del sensor pase por una etapa de acondicionamiento, antes de llegar al microcontrolador y pueda ser reconocida como una señal digital.

1.5.5 Sistema de actuadores

El sistema de actuadores es el conjunto de elementos o dispositivos que acompañan a los actuadores en sí, como es el caso de los motores que siempre están acompañados por un controlador o driver, su fuente de energía, sus fajas transportadoras, etc. (Detallados en esta sección)

Uno de los actuadores más versátiles para el trabajo con microcontroladores son los motores. Los motores pueden mover una cinta transportadora, pueden hacer que suba o baje una polea con un objeto en su extremo; pueden abrir o cerrar una puerta e incluso posicionar un brazo articulado.

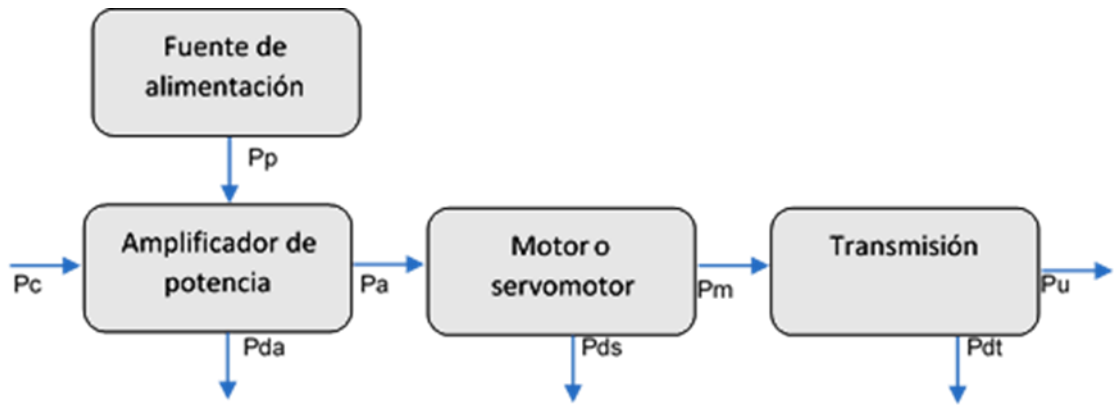
Por ejemplo, los motores DC tienen las siguientes características, en consideración de otros: (Saha, 2010)

- Buena fuerza y estabilidad en el giro, proporcional a voltaje de entrada.
- Baja inercia en arranque y parada.
- Peso y tamaño reducido.
- Fácil manejo.

Esto los hace ideales en aplicaciones en que se precisa coordinar la velocidad de varios motores al mismo tiempo y/o en que el motor tiene que responder instantáneamente a las señales de control para un encendido/apagado y cambio de sentido.

El significado de la palabra actuador no se limita solo a motores sino también al conjunto de elementos electrónicos-mecánicos que realizan una determinada función, como, por ejemplo, un ventilador, un generador, etc.

Las conexiones entre todos los elementos electrónicos-mecánicos del sistema de actuador se describen en la figura 34. Para elegir un sistema de actuador, se debe empezar desde el requerimiento impuesto sobre la potencia mecánica, por la fuerza y velocidad que describe el movimiento de articulaciones con base en la fuente de potencia de entrada.



P_p : Fuente primaria de potencia (electricidad, fluido presurizado o aire comprimido, etc)

P_c : Potencia de control de entrada (normalmente eléctrica)

P_a : Potencia de entrada al motor (de tipo eléctrico, hidráulico o neumático)

P_m : Salida de potencia del motor.

P_u : Potencia mecánica que se requiere.

P_{da} , P_{ds} y P_{dt} : Pérdidas de potencia por disipación durante las conversiones realizadas por el amplificador, el motor y la transmisión.

Figura N° 34: Se muestran los requerimientos de potencia implicado en un sistema de actuador.

Fuente: Saha, Introducción a la robótica 2010

1.5.5.1 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación, pueden considerarse como una caja negra con una parte de entrada y otra de salida. (ABB Fuente de Alimentación, 2008) (Ver figura 35)

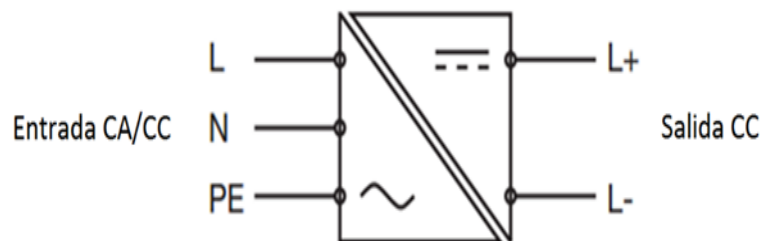


Figura N° 35: Se muestra la perspectiva simplificada del diseño eléctrico, donde se puede observar que la entrada y la salida están aisladas entre sí.

Fuente: Saha, 2010.

En el diseño de una fuente se debe tener en cuenta términos importantes, como la potencia que requiere la carga, a fin de no afectar gravemente a la seguridad y/o la disponibilidad de toda la instalación.

En la imagen de la figura 36 se muestra la entrada de tensión de red de corriente alterna, la cual se transforma a un nivel de voltaje menor, se rectifica y suaviza mediante el condensador C1. Seguidamente, se realiza la regulación de tensión (normalmente a través de un transistor de potencia). El transistor de potencia actúa como una resistencia variable, que se controla para mantener la tensión de salida constante.

Esta fuente presenta un rizado residual muy pequeño de la tensión de salida (del orden de mili voltios). Las fuentes de alimentación reguladas linealmente se emplean en todas las aplicaciones que requieren una tensión de salida muy exacta.

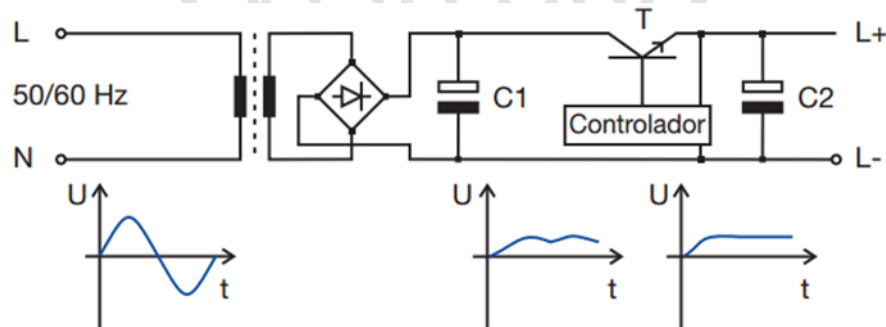


Figura N° 36: Se muestra la fuente de alimentación regulada linealmente.

Fuente: Saha, 2010.

En la presente tesis no se realizó el desarrollo de una fuente, puesto que, por motivos comerciales y de peso en la estructura, se enfocó en comprar una fuente externa de notebook 16 voltios.

1.5.5.2 Controlador o Driver (Puente H)

La tensión e intensidad que proporcionan las líneas de salida del microcontrolador no son suficientes para lograr excitar un motor DC o controlar algún sistema de potencia, por ende, se hace necesaria la utilización de algún

circuito que maneje la potencia adecuada para cada uno de estos elementos. (Ver figura 37)

Debido al avance de la tecnología, hoy en día estos circuitos de potencia vienen ya en circuitos integrados, siendo fáciles de encontrar e importar. Estos circuitos integrados tienen capacidades elevadas en el manejo de disipación de temperatura y en el control de la potencia, llegando hasta valores de 32 amperios y 2500 voltios como los IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*, transistor bipolar de puerta aislada). En el caso de requerir controlar motores de no muy alta potencia, se suele usar circuitos integrados como el L293 que es comercial, el cual puede manejar desde los 600 miliamperios hasta un amperio, dependiendo de su nomenclatura.

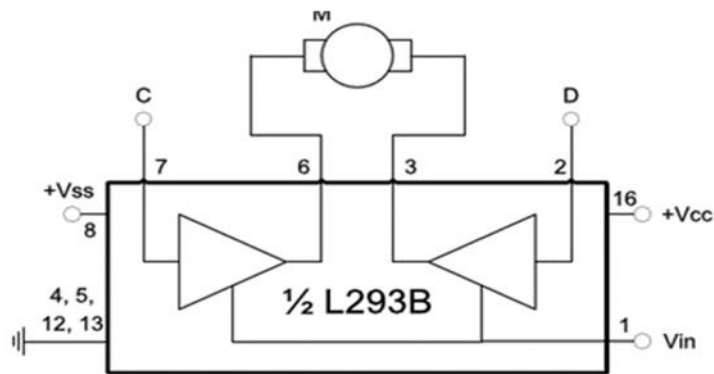


Figura Nº 37: Se muestra la mitad del circuito integrado L293B con dos de sus cuatro drivers utilizados en el control de un motor DC.

Fuente: Saha, 2010.

Cada pareja de drivers puede ser usada para el control de un motor DC, lo cual hace que se puedan controlar hasta cuatro motores, pero con la restricción de compartir la misma fuente de alimentación, la cual previamente ha sido designada.

Una vez acoplado el driver entre el microcontrolador y el motor, el uso del motor se hará sencillo y la velocidad será controlable dependiendo del voltaje suministrado o también con las técnicas conocidas como PWM (Modulación de Anchura de Pulsos, en la cual se genera una forma de onda cuadrada con un ciclo de trabajo (*duty cycle*) específico para el manejo constante o variable

de la velocidad) y PFM (Modulación de frecuencia de pulsos, en la cual se mantiene la anchura del pulso y se varía la frecuencia de la misma). Ver figura 38.

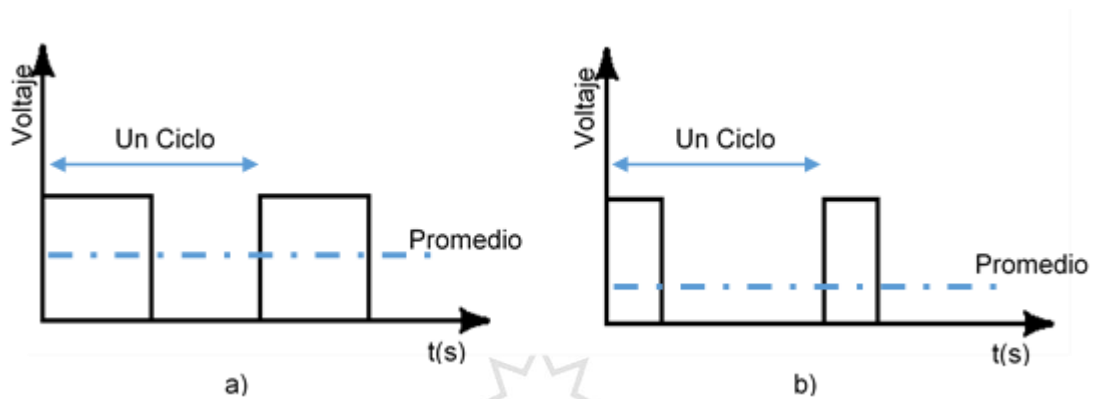


Figura Nº 38: Se muestra el PWM para el control de voltaje: a) ciclo de trabaja 50% y b) ciclo de trabajo 25%.

Fuente: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica

1.5.5.3 Motor

Los motores DC pertenecen a una clase especial de transductores, debido a que convierten un tipo de energía (eléctrica) a otro tipo de energía (mecánica) generando movimiento rotacional o lineal. Este concepto está relacionado con la forma de medir el rendimiento y eficiencia del motor ε_{motor} , la cual se define como la relación entre la energía mecánica ε_m y la energía eléctrica ε_e . Es decir: $\varepsilon_{motor} = \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_e}$. Idealmente esta relación debería ser del 100 %. Sin embargo, en la práctica, la eficiencia de un motor depende del tipo y calidad de los componentes del motor.

El principio básico de los motores eléctricos se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos con igual signo o polaridad entre estator y el rotor. El eje del rotor gira libremente entre los polos magnéticos norte-sur del imán permanente situado en la carcasa o estator del motor, como se muestra en la figura 39. Cuando la corriente eléctrica que suministra una fuente de voltaje V_{cc} circula por la bobina del rotor, se genera un campo electromagnético que interactúa con el campo magnético del imán permanente. Si los polos del estator y el rotor coinciden en polaridad, es decir

son de signos iguales, entonces se produce un torque o par magnético por el rechazo de dichos polos, como consecuencia se genera movimiento giratorio alrededor del eje del motor. En la práctica, el control sobre dicho motor se realiza con la aplicación de tensión en los dos hilos que llegan al exterior: con un hilo se determina el encendido/apagado del motor y con el otro el sentido de giro.

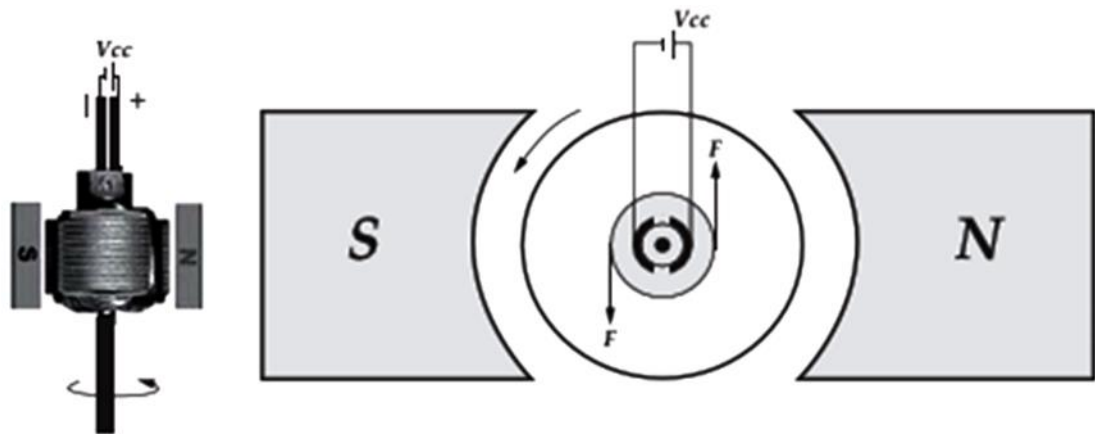


Figura N° 39: Se muestra el principio básico de un motor eléctrico. A la izquierda, está su representación real (vista desde arriba) y hacia la derecha, está su representación teórica (vista desde la parte frontal)

Fuente: Teoría de máquinas eléctricas, 2010

a) Aspectos constructivos de la máquina de corriente

continua

Las principales partes que conforman la máquina de corriente continua son las siguientes: (Teoría y Análisis de Máquinas Eléctricas, 2000)

◆ El estator

Está conformado por:

- Los polos: los cuales están hechos de acero silicio laminado.
- Las bobinas de campo: Las bobinas están arrolladas sobre los polos.
- Bobina *shunt*: compuestas de muchas espiras de alambre delgado.
- Bobina serie: compuestas de pocas espiras de alambre grueso.
- Los *interpolos*: Están hechos de láminas de acero silicio y llevan un arrollamiento de alambre grueso.

Los arrollamientos de compensación: Están conformados por los conductores que se colocan en los polos con el objeto de neutralizar la reacción de armadura.

Solamente los llevan las máquinas de gran potencia ya que su costo es bastante elevado.

- El yugo: El yugo del estator es necesario para cerrar el circuito magnético de la máquina.

Las escobillas y las porta-escobillas: Toda máquina de corriente continua requiere de por lo menos dos escobillas. Están hechas de carbón o de cobre grafito y van alojadas en las porta-escobillas que están sujetas a un anillo que va entornillado al yugo. Un resorte presiona firmemente las escobillas sobre el conmutador para obtener un buen contacto eléctrico.

◆ El rotor

Está conformado por:

- El núcleo de la armadura: Está constituido por láminas de acero silicio de sección circular. La circunferencia es ranurada para que puedan alojarse los conductores del arrollamiento de armadura.
- El conmutador: Está hecho por un gran número de segmentos de cobre o delgas, aislados entre sí.
- El arrollamiento de armadura: Existen dos tipos de arrollamiento de armadura, el imbricado y el ondulado.

b) Principios de funcionamiento de la máquina de corriente continua

La máquina de corriente continua se utiliza para generar una tensión constante cuando funciona como generador y para producir par mecánico (torque) cuando funciona como motor (Teoría y Análisis de Máquinas Eléctricas, 2000).

El principio de funcionamiento como generador se basa en la ley general de la inducción electromagnética. La máquina tiene básicamente dos arrollamientos, uno ubicado en el estator cuya función es crear un campo magnético por lo que se le denomina inductor. El otro arrollamiento está ubicado en el rotor y se denomina inducido o armadura.

En la figura 40 puede verse una máquina de corriente continua elemental en el que el inducido está representado por los dos conductores a y a' que conforman la espira aa' los terminales de la espira van conectados al conmutador que en este caso muy simple está conformado solamente por dos segmentos o delgas de cobre aislados entre sí. El conmutador gira junto con el rotor por lo que la conexión al circuito exterior se realiza a través de las escobillas.

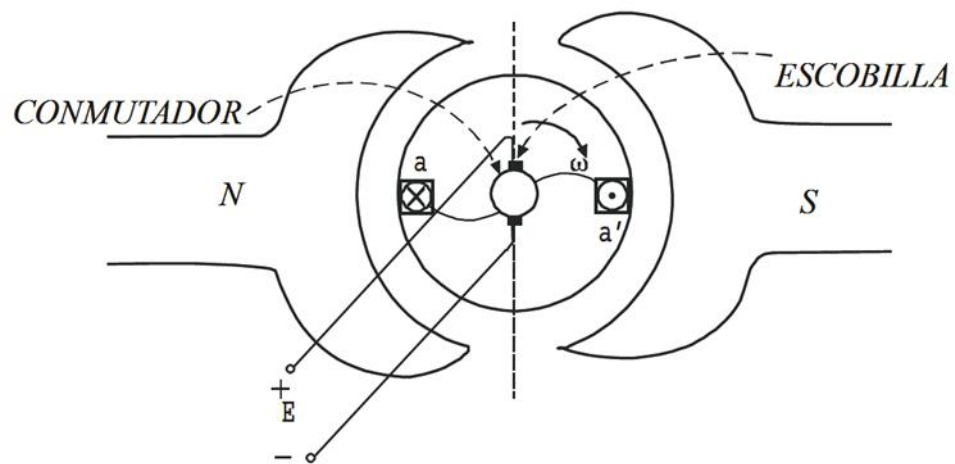


Figura N° 40: Se muestran una máquina de corriente continua elemental.

Fuente: Teoría de máquinas eléctricas, 2010.

Cuando el rotor gira sus conductores cortan las líneas de fuerza producidas por el inductor y se engendra en ellos una f.e.m. Esta f.e.m. es rectificadas por el conmutador apareciendo en los bornes de la máquina una tensión E prácticamente constante.

El campo magnético es producido por la corriente continua de excitación que recorre las bobinas de campo de los polos del estator. Siendo el entre hierro

constante, la distribución espacial de la densidad de flujo B_e en el entrehierro es prácticamente uniforme. (Ver figura 41)

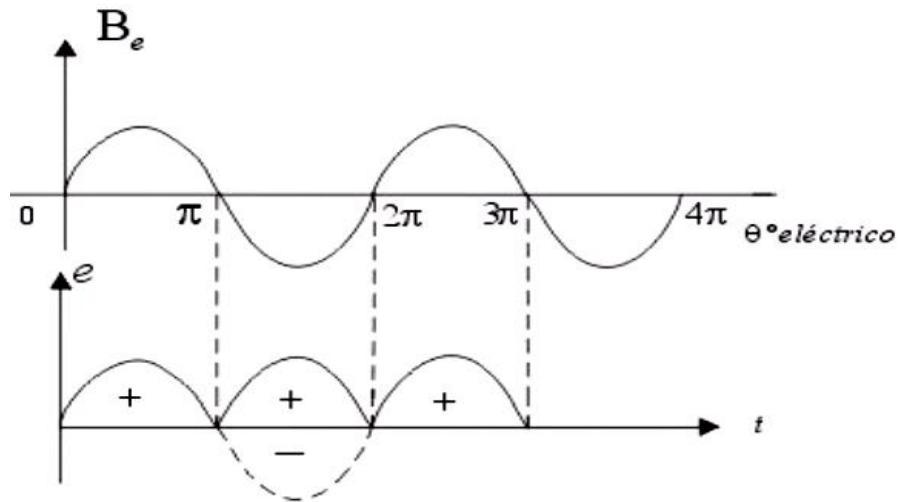


Figura N° 41: Se muestran la magnitud del campo magnético producido por la corriente continua de excitación.

Fuente: Teoría de máquinas eléctricas, 2010.

La densidad de flujo B_e en el entrehierro es radial y su valor puede determinarse aproximadamente con la siguiente expresión:

$$B_e = \frac{P\varphi_d}{2\pi rL} \quad (2)$$

φ_d : flujo producido por un polo.

r : radio del rotor.

L : longitud útil del rotor.

P : Número de polos.

Cuando el rotor del generador indicado gira con una velocidad ω en cada uno de los conductores se genera una f.e.m.:

$$E_c = B_e LV \quad (3)$$

$$V = \omega r \quad (4)$$

Luego:

$$E_c = \frac{P\phi_d\omega}{2\pi} \quad (5)$$

Si se considera el total de circuitos en paralelo (a) y si el rotor tiene Z conductores, entonces el número de conductores en serie es:

$$Z_s = \frac{Z}{a} \quad (6)$$

Luego la tensión entre las escobillas de la máquina será:

$$E = Z_s E_c = \frac{PZ}{2\pi a} \phi_d \omega \quad (7)$$

Finalmente haciendo:

$$K_a = \frac{PZ}{2\pi a} \quad (8)$$

Se Obtiene:

$$E = K_a \phi_d \omega \quad (9)$$

Debido al conmutador la semionda negativa es rectificadas y transformada en positiva.

La forma cómo funciona el conmutador puede entenderse observando el generador elemental.

Por tratarse de un generador elemental el conmutador es muy simple y consta de dos segmentos de cobre a los que se conectan los terminales de la espira formada por los dos conductores. Estos segmentos giran con el rotor.

Para comprender el funcionamiento del conmutador hay que tener presente que la polaridad de la f.e.m. generada depende de la dirección del campo magnético.

Por consiguiente, cuando un conductor pasa de una posición A frente a un polo a otra posición B frente al otro polo, cambia la polaridad y por lo tanto debe también invertirse simultáneamente su conexión a las escobillas. Esto lo realiza el conmutador cada vez que el conductor pasa por el plano neutro que separa los polos norte y sur.

Es importante observar que en el instante que los conductores a y a' se encuentran en el plano neutro, las escobillas cortocircuitan los segmentos del conmutador y ponen en cortocircuito la espira. Esto es posible por el hecho de que en esa posición la f.e.m. inducida en la bobina es prácticamente nula por no existir flujo perpendicular al movimiento. (Teoría y Análisis de Máquinas Eléctricas, 2000)

c) Control del sentido de giro de un motor dc

Para invertir el sentido de giro de un motor de corriente continua, se debe invertir la polaridad de la tensión aplicada a sus bornes, con lo cual se varía el sentido de la corriente que circula por su bobinado. Causando que el par o torque que originan el giro del motor DC sea de sentido contrario como se observa en la siguiente figura 42. Además, al ser 2 bornes se crean 4 posibilidades de polarización. Siendo 00 o 11 estados donde el motor no generara ningún movimiento.

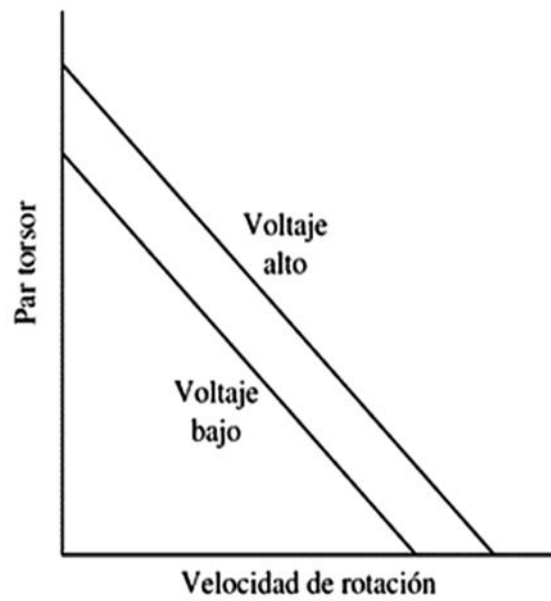


Figura N° 42: Características de velocidad del par torsor.

Fuente: Teoría de máquinas eléctricas, 2010.

Las especificaciones típicas de un motor DC se dan en la tabla N° 4, mientras que sus características de velocidad/par magnético se muestran en la figura 43 para diferentes valores de voltaje. Sin embargo, puede decirse que, para sistemas robóticos industriales, los métodos de control de campos excitados por corriente significan un tiempo de respuesta demasiado lento y causan pérdidas que hacen que el control por campos magnéticos permanentes y por armadura sean más atractivos.

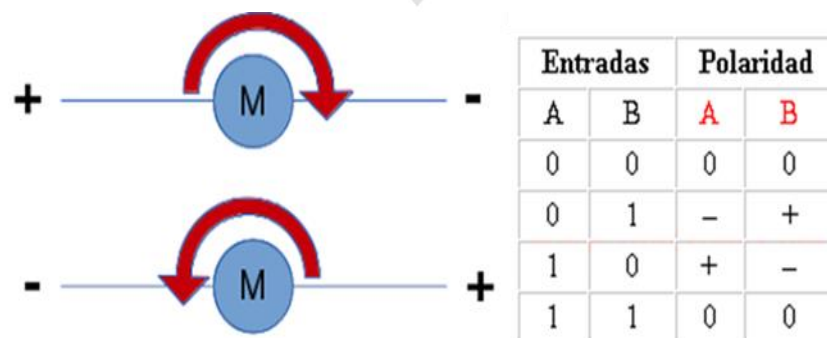


Figura N° 43: Se muestran el sentido de giro del motor DC dependiente de la polaridad.

Fuente: Teoría de máquinas eléctricas, 2010.

Tabla N°4: Especificaciones típicas de un motor dc

Especificaciones técnicas del motor DC Parvalux	
Marca	Parvalux
Número de parte del fabricante	PM2 160W511109
Tipo	Motor eléctrico industrial CD
Tamaño del eje(SMI)	M
Velocidad (rpm)	4000.0
Potencia nominal (W)	160.0
Voltaje nominal (Vcd)	50.0
Corriente de entrada (A)	3.8
Altura (mm)	78.0
Ancho (mm)	140.0
Largo (mm)	165.0

Fuente: Teoría de máquinas eléctricas, 2010

1.5.5.4 Transmisión

Si bien es cierto, los motores podrían ser la última etapa del sistema de actuador no lo son por el simple motivo que un motor en su estado básico no sería capaz de generar el torque necesario para generar el movimiento de ciertos objetos con peso. Por este motivo, y ya desde tiempos antiguos, se usan sistemas de transmisión capaces de transferir la potencia de un eje al otro, cambio de la velocidad de rotación o del sentido de giro, etcétera.

Estos sistemas pueden llevar montados distintos elementos, pero todos mecánicos, como engranes, poleas, fajas, etcétera.

Antes de elegir cualquier sistema es importante tener en cuenta condiciones anticipadas de carga y velocidad, así como de cualquier condición especial que pueda afectar el diseño del engrane.

a) Tipos de transmisiones

◆ Transmisión por engranes

La transmisión por engranes es la más conocida, más confiable y duradera, usada en todo tipo de maquinaria industrial.

El hermanado entre los dientes debe tomarse en cuenta cuidadosamente durante la fase del diseño porque si no ocasionarían un desgaste dañando la transmisión. En la figura 44 se muestra algunos tipos de engranajes.

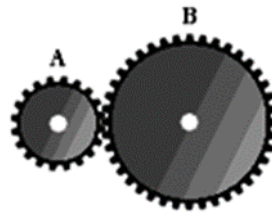


Figura N° 44: Engranajes conectados.

Fuente: sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica.

Por ejemplo, considere dos engranes conectados, A y B (mostrados en la figura 45). Si el engrane A tiene 40 dientes y el B tiene 80 dientes, el engrane A girará dos veces en el mismo tiempo que el engrane B girará una vez.

Dado que la cantidad de dientes de un engrane es proporcional a su diámetro, se tiene que:

$$\frac{w_A}{w_B} = \frac{\text{número de dientes en B}}{\text{número de dientes en A}} = \frac{d_B}{d_A} \quad (10)$$

Por lo tanto, la velocidad angular del engrane A, w_A debe ser el doble de la del engrane B, w_B es decir:

$$\frac{w_A}{w_B} = \frac{\text{número de dientes en B}}{\text{número de dientes en A}} = \frac{80}{40} = 2$$

Por lo tanto, en este caso, el engrane B debe tener dos veces el diámetro del engranaje A. De todo esto, se puede decir que la relación de transmisión entre velocidad y torque son inversas. Si un motor trabaja en conjunto con un engrane con mayor número de dientes, la respuesta de la transmisión será una menor velocidad del engrane, pero con un mayor torque conocido como

caja reductora. En otro caso, si el mismo motor trabaja con un engrane de menor número de dientes la respuesta de la transmisión será mayor velocidad en el engrane con menor torque.

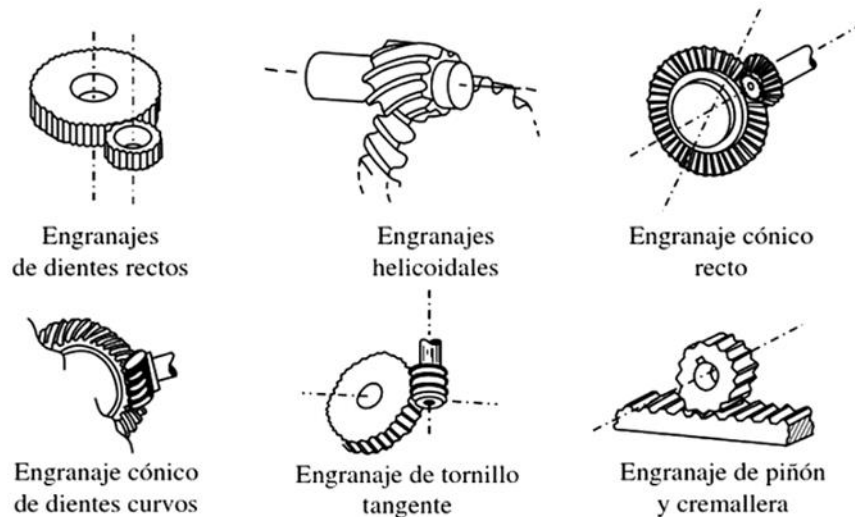


Figura Nº 45: Se muestra los tipos de engranajes usados en la industria.

Fuente: sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica.

◆ **Transmisión que convierte el movimiento de rotación a movimiento de traslación**

Este tipo de transmisión a comparación del anterior no solo genera un mayor torque por su diseño, también es capaz de transformar un movimiento rotatorio a un movimiento interlineal ideal, como se puede ver en la figura 46, el engrane gira en sentido horario generando un movimiento horizontal de derecha a izquierda, esto también aplica a movimientos verticales solo es cuestión de girar toda la transmisión 90 grados.

Tanto la velocidad del piñón (N) como de la cremallera (V) dependen del número de dientes del piñón (z) y el número de dientes por centímetro de la cremallera (n).

$$d = \frac{z}{n} \quad (11)$$

$$V = N \times \left(\frac{z}{n}\right) \quad (12)$$

Por ejemplo, si se tiene un piñón de 8 pines con una velocidad de giro de 120rpm y la cremallera tiene 4 dientes por centímetro, el desplazamiento de la cremallera por cada vuelta del piñón será: (ver figura 46)

$$d = \frac{z}{n} = \frac{8}{4} = 2cm$$

Y la velocidad de avance de la cremallera será:

$$V = N \times \left(\frac{z}{n}\right) = 120 \times \left(\frac{8}{4}\right) = \frac{240cm}{min}$$

En otras palabras, avanzará 4 centímetros por segundo.

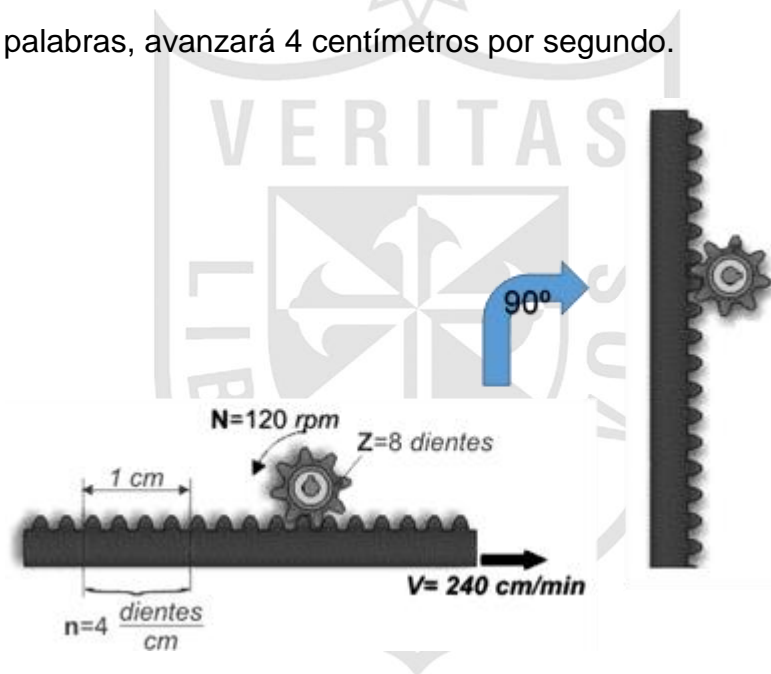


Figura N° 46: Se muestra el piñón y cremallera.

Fuente: Engranajes, (Dallaporta, Portugal, & Motta, 1988)

◆ Transmisión por banda y cadena

Este tipo de transmisión en comparación con la transmisión por engranes, no requiere un contacto directo este utiliza la fricción por medio de una banda síncrona, como se muestra en la figura 47. Sin embargo, su vida útil es breve, ya que dependen de la tensión de la banda para producir agarre a través de la polea. La diferencia con respecto a la trasmisión por engranes es el sentido

de giro que se obtiene en la transmisión por banda, esto quiere decir que si el motor gira en sentido horario, la polea unida por la faja también girará en el mismo sentido lo que no ocurre cuando los engranes están pegados por sus dientes.

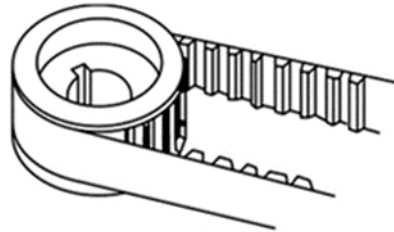


Figura N° 47: Se muestra la transmisión por banda síncrona o dentada.

Fuente: Engranajes, (Dallaporta, Portugal, & Motta, 1988)

Se debe tener en cuenta que, si las distancias entre los ejes son grandes, es más conveniente usar bandas de transmisión que engranes; en cambio, para distancias de separación pequeñas es preferible usar engranes. Para obtener un efecto de engranaje se utilizan poleas de diferente tamaño.

El torque transmitido se debe a las diferencias de tensión que se producen en la banda durante la operación. Esta diferencia ocasiona que en la banda haya un lado apretado y otro flojo. Si la tensión en la parte apretada es igual a T_1 y la del lado flojo es T_2 , entonces la polea A de la figura 48 es la polea conductora, por lo tanto:

Torque en:

$$A = (T_1 - T_2)r_A \quad (13)$$

Torque en:

$$B = (T_1 - T_2)r_B \quad (14)$$

$r_A =$ radio de la polea A

$r_B = \text{radio de la polea B}$

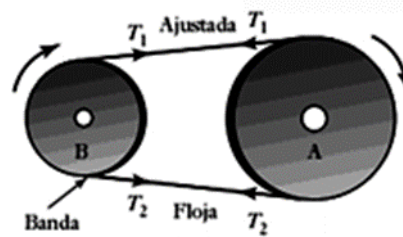


Figura N° 48: Se muestra el funcionamiento de la banda síncrona o dentada.

Fuente: Engranajes, (Dallaporta, Portugal, & Motta, 1988)

Dado que la *Potencia* transmitida es igual al producto del torque T por la velocidad angular, y puesto que la velocidad angular ω es igual a v/r_A para la polea A y v/r_B para la polea B, donde v es la velocidad tangencial de la banda, entonces en cada polea se tiene:

$$\text{Potencia} = (T_1 - T_2)v \quad (15)$$

Entonces, para el correcto funcionamiento y vida útil de las transmisiones se debe verificar el hermanado entre los engranes y lubricarlos.

b) Lubricación de engranes

Sin importar que tan bien estén diseñados los sistemas de transmisión por engranes su vida útil será corta si no se tiene en cuenta una lubricación adecuada, porque su función principal es reducir la fricción entre los dientes de los engranes. Esto se logra, creando una película delgada de fluido al momento que los engranes embonan. Si no se realiza esto de forma correcta, con el tiempo la fricción y el desgaste destruirán rápidamente los engranes. Los métodos utilizados para la lubricación de los dientes de los engranajes varían con el tipo de engranaje, la velocidad (en la línea primitiva), el acabado superficial, la dureza y la combinación de materiales (Dallaporta, Portugal, & Motta, 1988).

c) Asentamiento de engranes

Muchas veces se escucha que algunos sistemas de transmisión generan unos ruidos extraños y muchas veces se trata de solucionar solo echándole más lubricante, pero lo ideal sería que los engranes sean silenciosos. Para esto los engranes se deben hermanar, es decir, se deben asentar uno contra otro para que haya un acoplamiento perfecto entre sus dientes; también es recomendable verificar sus ejes. Con ello se reduce el ruido, la fricción y el desgaste, prolongando su vida útil (Dallaporta, Portugal, & Motta, 1988).



CAPÍTULO II

METODOLIGÍA

Para el desarrollo de la presente tesis se requiere el diseño de un prototipo que brinde la detección e iluminación adecuada de los cuadernillos en el recinto de adquisición y posicionamiento de la cámara respecto al cuadernillo. Además, de separar cada uno de los cuadernillos ya procesados y trasladarlos hacia una bandeja final, la cual cumpla con las siguientes características:

- Capacidad máxima para separar: 40 cuadernillos.
- Altura constante entre cuadernillos y cámara: 22 centímetros.
- Ancho y largo del recinto de entrada en referencia a las dimensiones de los cuadernillos: 28.9 por 20.5 centímetros.
- Tipos de sensores: Óptico (para discernir si hay cuadernillos) y mecánico (usados como finales de cadena).
- Temperatura máxima de los reguladores de voltaje: 0 a 70°C.
- Control de procesos mediante el microcontrolador PIC16F877A.
- Manejo de entorno gráfico mediante LCD 16x2 caracteres, ubicado en la parte frontal del prototipo.
- Detección de cuadernillos en el recinto de entrada.
- Control manual de entrada y salida de los cuadernillos.
- Conexión RS232.
- Voltaje de operación 5V, 12V y 16V.
- Alimentación con corriente alterna 220V

2.1 Materiales

A continuación, se detallan los elementos e instrumentos electrónicos implementados para la realización del proyecto:

2.1.1 Piezas del prototipo

Listado de piezas que conforman el prototipo:

- Sensores.
- Push-button.
- Pantalla LCD.
- Puente H.
- Motor de corriente continua.
- Microcontrolador.
- Resistencias y capacitores varios.
- Luces led.
- Cables flexibles.
- Cooler.
- Rodillos de impresora.
- Cámara web.
- Aluminio.
- Acrílico.
- cable RS232.

2.1.2 Instrumentos de medición

Listado de equipos de medición para el desarrollo del prototipo:

- Multímetro digital (con temperatura).
- Osciloscopio.

2.2 Métodos

En la presente tesis se usó el método PWM para el control de los motores e intensidad del botón ON-OFF. Los diferentes niveles de duty cycle del método PWM fueron programados, diseñados e implementados para la separación correcta de los cuadernillos, debido a que con estos se evitó que los cuadernillos se peguen uno con otro.

El botón ON-OFF que enciende todo el proyecto cuenta con una iluminación interna, la cual por medio del PWM se logró un efecto de incremento de la iluminación para la presentación de inicialización del proyecto.

El nivel de torque que requiere el mecanismo ejercido por los motores está definido por tres tipos de transmisión:

- Transmisión por engrane.
- Transmisión por traslación piñón y cremallera.
- Transmisión por banda.

Y un sistema de iluminación que es activado por un sensor ubicado en la parte inferior de la bandeja de entrada el cual usa el método de censado por reflexión.

Lo anteriormente mencionado será parte de un sistema controlado por un microcontrolador PIC16F877A.

El microcontrolador y la placa madre fueron programados y diseñados según un diagrama de flujo creado a partir de los requerimientos del proyecto de digitalización expuesto en los objetivos específicos en la introducción.

Finalmente, el sistema de enfriamiento de los componentes electrónicos tendrá su propio control separado del microcontrolador.

2.2.1 Análisis del acondicionamiento del sensor CNY70

Para el propósito de detectar correctamente los cuadernillos que se ingresan en el recinto de entrada, se eligió el sensor CNY70 debido a sus cualidades

de discernir grises y rango de detección de no más de 10 milímetros (mostrada en la figura 49), puesto que los cuadernillos deben ser detectados por sus hojas de color blanco y únicamente cuando estén cerca de la bandeja ubicada en la parte inferior de dicho recinto.

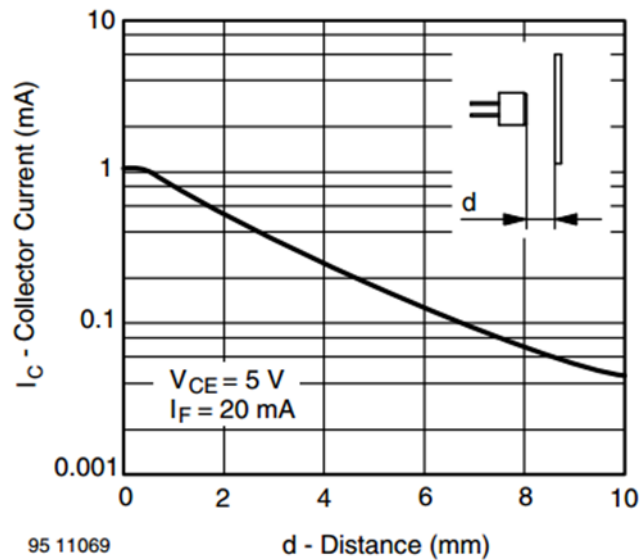


Figura N° 49: Muestra la relación de corriente de colector (*collector current*) versus la distancia (*distance*)

Fuente: <http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>

De acuerdo con la figura 50, Fuente la hoja de especificaciones del CNY70, se puede visualizar que el CNY70 consta de un emisor y un receptor.

El emisor tiene un foto-led que irradia luz infrarroja cercana a una longitud de onda de 950 nanómetros. En dicho foto-led solo puede fluir una corriente de no más de 50 miliamperios y el voltaje típico con conexión directa es de 1.25 voltios. Además, este sensor comparte el mismo suministro de energía que usa el microcontrolador que es de 5 voltios.

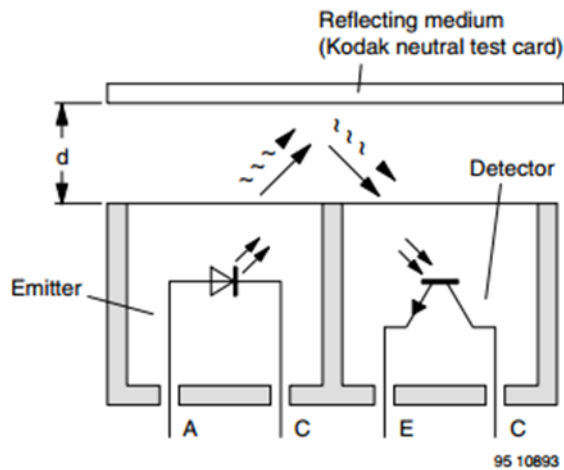


Fig. 2 - Test Condition

Figura N° 50: Muestra el emisor (*emitter*) y receptor (*detector*) del sensor CNY70.

Fuente:

<http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>

Entonces, con el propósito de cumplir lo expuesto, se debe conectar una resistencia R_1 en serie con el cátodo del emisor que limite el paso de dicha corriente. Usando la ley Ohm para este propósito, se cumple que:

$$\frac{5V - 1.25V}{R} \leq 50mA$$

$$\frac{5V - 1.25V}{50mA} \geq R_1$$

$$\frac{3.75V}{50mA} < R_1$$

$$\therefore R > 75 \text{ Ohms}$$

En consecuencia, por pruebas experimentales se eligió una resistencia de 220 Ohms , por ser comercial y ofrecer buenos resultados al momento de detectar hojas de color blanco. Con lo cual la corriente I_F en el foto-led del sensor emisor es:

$$I_F = \frac{3.75}{220} = 17mA$$

El detector es un fototransistor en el cual la corriente de colector I_c es determinada mediante la figura 51, en cuya gráfica se aprecia que para la

corriente $I_F = 17mA$ la corriente de colector I_C tiene que ser menor que 1 miliamperio si es que se quiere trabajar en la zona de saturación.

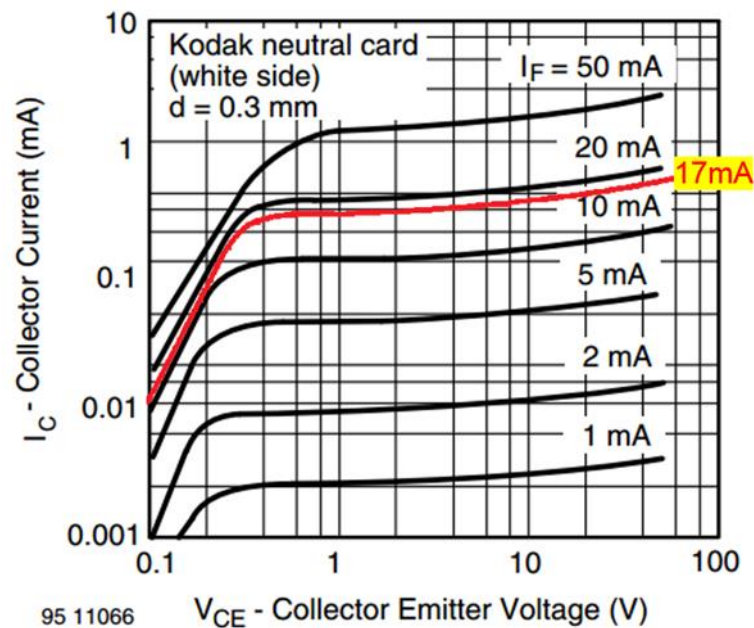


Figura N° 51: Muestra la relación corriente colector (*collector current*) versus voltaje colector emisor (*collector emitter voltage*)

Fuente:

<http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>

Para este objetivo se conectó una resistencia R_2 en serie con su pin emisor la cual limite el flujo de corriente. El valor de dicha resistencia se halla mediante la ley de Ohm:

Según la figura 51 para trabajar en la región de saturación el valor de colector-emisor menor de 0.64 voltios, entonces:

$$R_2 > \frac{5V - 0.64V}{1mA}$$

$$R_2 > \frac{5V - 0.64V}{1mA}$$

$$R_2 > 4.36 KOhms$$

En consecuencia, se procedió a elegir y probar resistencias mayores a 4 $KOhms$ y por último se eligió el valor de 10 $KOhms$ por brindar buenos resultados experimentales y por ser comercial.

Una vez acondicionado el sensor, se adecuó un amplificador operacional en modo comparador, para que, a través de un umbral de voltaje, se llegue a descartar una falsa lectura en el microcontrolador debió a algún ruido por parte del sensor. Dicho OPAMP en modo comparado tiene conectada una resistencia de precisión de 10 *KOhms*, y así seleccionar el umbral que debe sobrepasar la salida del sensor, para que el OPAM envíe un 1 lógico. La figura 52 muestra el circuito en diseño.

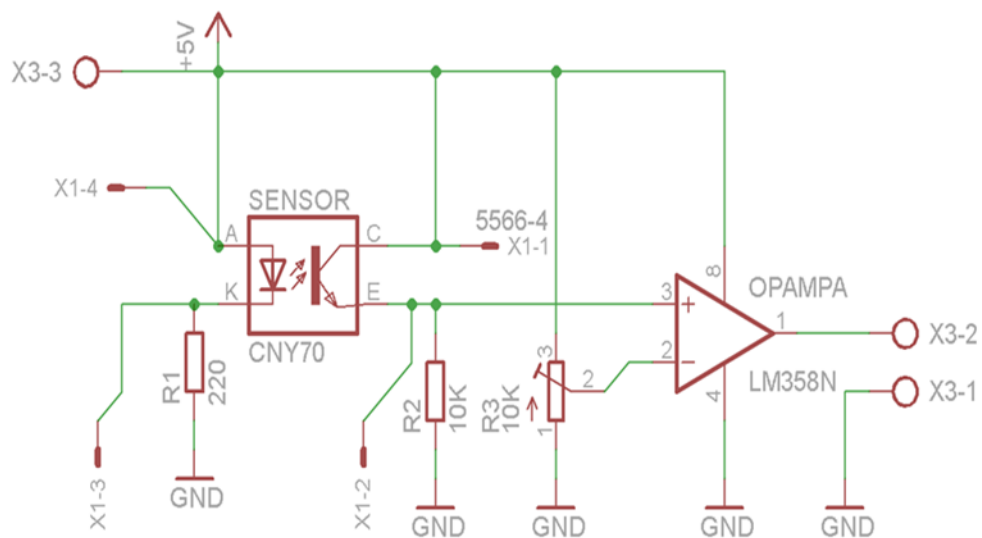


Figura N° 52: Acondicionamiento de sensor CNY70 (lado izquierdo) y Filtro por umbral de voltaje con OPAMP en modo comparador (lado derecho).

Fuente: Propia.

Finalmente, se dejó el protoboard y se realizó el diseño del circuito en el programa Eagle y se procedió a realizar la placa física del circuito para proceder a probarla e implementarla.

2.2.2 Análisis del control de temperatura en la placa principal

Experimentalmente se observó que los reguladores de la placa principal se calentaban a un promedio de 73 grados Celsius con o sin carga, lo que a través del tiempo conlleva al deterioro de los elementos electrónicos por el calor, con lo cual, se decidió desarrollar un circuito de ventilación para expulsar el calor mediante un ventilador o FAN cooler, el cual mantendrá una

temperatura inferior a los 73 grados Celsius. Para cumplir lo establecido, se determinó experimentalmente una temperatura de 40 grados Celsius y se validó dicha temperatura de circuito desarrollado, por medio del multímetro digital Prasek Premium PR-301. La siguiente figura 53, muestra el desarrollo del “circuito de ventilación” el cual cuenta con un primer “OPAMP” llamado “IC1A” el cual está configurado como “amplificador no inversor” seguido por un segundo “OPAMP” llamado “IC1B” que está configurado como “comparador” y por ultimo está conectado un transistor con configuración de emisor común que debe separar la etapa de control con la etapa de potencia que consiste en un FAN cooler en serie con una resistencia, conectados en el “pin colector” del transistor “2N2222”. Además, se muestra en la figura 54, los pines “+VS”, “VTEMP y GND” los cuales estarán conectados con los pines “+VS”, “VOUT” y ”GND” que son parte de sensor de temperatura “LM35” mostrados en la figura 3.6. A continuación, se explica cómo se determinó que dispositivos electrónicos se debían implementar para esta etapa.

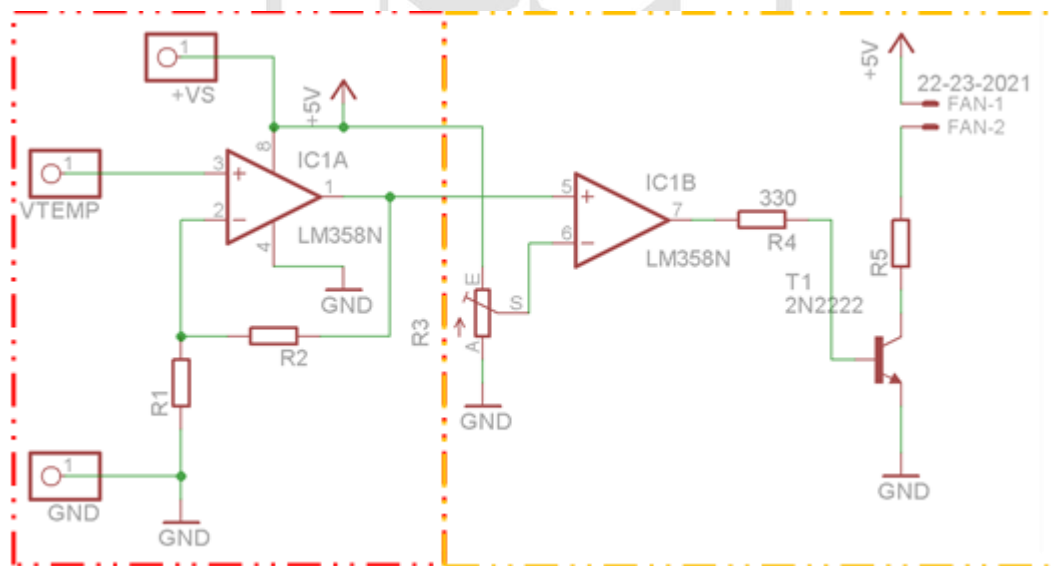


Figura N° 53: Muestra el circuito que consta de dos etapas: Amplificador no inversor (lado izquierdo), Amplificador comparador (lado derecho).

Fuente: Propia.

$$V_{OUT_IC1A} \leq 5V$$

entonces:

$$1.5V \times \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \leq 5V$$

$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{2.333}{1}$$

Finalmente, se eligió como valores para las resistencias $R_1 = 2.3K\Omega$ y $R_2 = 1K\Omega$ las cuales brindan buenos resultados.

2.2.2.2 Etapa “OPAMP modo comparador”

Se usó este modo para general un umbral de operación, el cual consiste en que el transistor solo se debe activar a partir de sobrepasar un voltaje dado por el divisor de voltaje del potenciómetro conectado en la entrada del comparador (ver figura 55), con esto se le brinda al sensor un grado de sensibilidad en la detección de cuadernillos con una señal de salida limpia y controlable semejante a lo que ofrece un “*Smith trigger*”. Para definir el valor de la resistencia R_3 se tomó en consideración el consumo de corriente eléctrica en el potenciómetro logarítmico, puesto que no se necesitaba mucha precisión, siendo el valor comercial elegido $R_3 = 10K\Omega$.

2.2.2.3 Etapa transistor emisor común

Según el *datasheet* del OPAMP LM358N la corriente no debe sobrepasar de $I_{OUT_IC1B} \leq 20mA$, la cual determina que mínimo valor que puede tener la resistencia R_4 que es de:

$$\frac{5V - 0.7V}{R_4} = I_{OUT_IC1B} \leq 20mA$$

Donde el valor de 0.7 voltios es debido al voltaje inverso entre la base y el emisor del transistor.

Entonces:

$$R_4 \geq \frac{5V - 0.7V}{20mA}$$

$$R_4 \geq 215 \text{ Ohms}$$

Ahora el FAN cooler funciona con 12 voltios consumiendo como máximo 70mA a su máxima capacidad.

$$I_{Cooler_{MAX}} = 70mA$$

El motivo de agregar la resistencia R_5 en serie al colector del transistor es a modo de protección cuando el motor del "FAN cooler" pasa por la etapa de transición o de arranque.

Para determinar el voltaje de colector emisor del transistor en modo saturación se usó la figura 55, encontrándose que a una corriente de $I_{Cooler_{MAX}} = 70mA$ y $I_{OUT-IC1B} \leq 20mA$ el $V_{CE_{SAT}}$ tendría que ser: $V_{CE_{SAT}} \leq 0.05V$ con lo cual, si todas estas variables por ley de Kirchhoff se cumplen:

$$12 - V_{CE_{SAT}} - I_c R_5 = 0$$

Y asumiendo que $V_{CE_{SAT}} \cong 0.05$ y despejando I_c se obtiene la siguiente desigualdad:

$$\frac{12V - 0.05V}{R_5} = I_c \leq 70mA$$

$$\frac{12V - 0.05V}{R_5} \leq 70mA$$

$$\frac{R_5}{12V - 0.05V} \geq \frac{1}{70mA}$$

Finalmente, despejando R_5 se obtiene:

$$R_5 \geq 158.5\Omega \leftrightarrow I_c \leq 70mA$$

En conclusión, cuando el valor de la resistencia R_5 se encuentre más cerca a 158.5Ω , el valor de la corriente I_c será cercano a $70mA$, obteniendo así el máximo desempeño del motor interno del "FAN cooler".

En el presente proyecto, se escogieron valores comerciales de las resistencias $R_4 = R_5 = 220\Omega$.

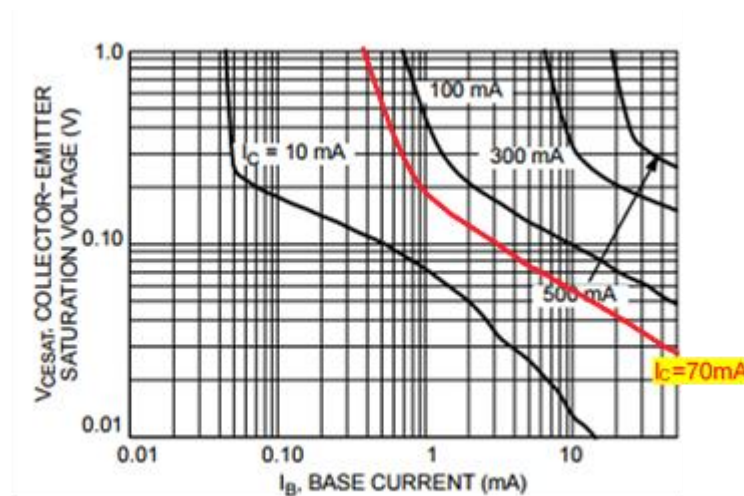


Figura N° 55: Muestra la relación voltaje colector emisor en saturación (VCESAT) versus corriente de base (Base current).

Fuente:

<http://www.wayjun.com/Datasheet/Led/3W%20High%20Power%20LED.pdf>

Finalmente, ahora que ya se tienen los valores de $I_B = I_{OUT-IC1B} = 20mA$, $I_{Cooler} = I_c = 70mA$ y $V_{CESAT} = 0.7V$, ya se puede aplicar la ecuación de la carga para determinar el valor de R_5 , entonces:

$$\frac{12V - V_{COOLER} - V_{CESAT}}{I_c} = R_5$$

Reemplazando:

$$\frac{12V - 12V - 0.7V}{0.5A} = R_5$$

$$R_5 = 3.8 \text{ Ohms}$$

2.2.3 Análisis para desarrollo del circuito de iluminación

Uno de los principales requerimientos del proyecto de digitalización para realizar bien la adquisición de la imagen, es la tener una adecuada iluminación dentro del recinto donde este realiza la adquisición de la nota y código del alumno, por este motivo el proyecto de automatización se comprometió en

realizarlo. A continuación, se explica cómo se determinó y diseño el “circuito de iluminación”:

La elección de leds fue por su bajo consumo y se realizó tomando en cuenta al proyecto de digitalización el cual ya contaba con unos leds de potencia de 3 watts los cuales funcionaban con 2.8 a 4 voltios como máximo y consumían una corriente máxima de 700 miliamperios. La siguiente figura 56 muestra la relación entre la corriente directa versus la intensidad luminosa y el voltaje directo versus la corriente directa del led de potencia en mención.

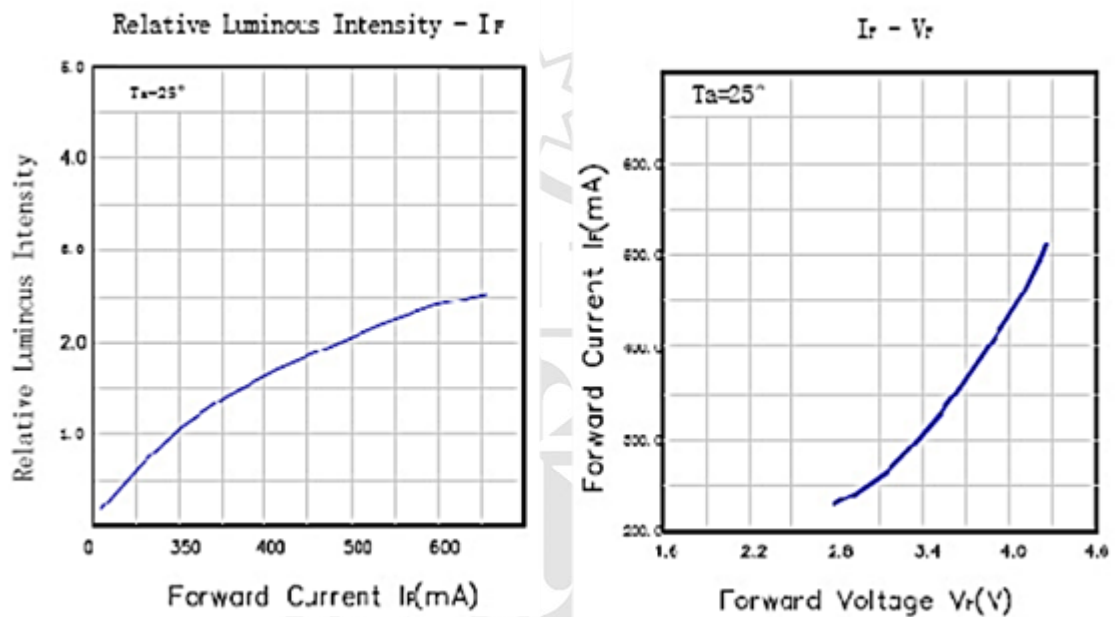


Figura N° 56: Muestra las curvas características del led de alta luminosidad.

Fuente:

<http://www.wayjun.com/Datasheet/Led/3W%20High%20Power%20LED.pdf>

Al momento de probar los leds con diferentes variaciones de voltaje se vio que a más de 300 miliamperios y 3.1 voltios la luminosidad generaba que se trasluzca lo que estaba escrito en las hojas internas de cuadernillo, lo que causaba más complicaciones al proyecto de digitalización. Con esta información se decidió experimentalmente elegir como corriente y voltaje máximo de 300 miliamperios y 3.1 voltios respectivamente, que los leds deben

usar. Esto se debe a que la prueba se realizó con seis leds repartidos de tres en tres en tres en dos regletas.

Para el desarrollo de circuito se eligió trabajar con “transistores BJT” en configuración “emisor común” y puesto que se necesitaba iluminar con gran intensidad. Se diseñó el siguiente circuito: (Ver figura 57)

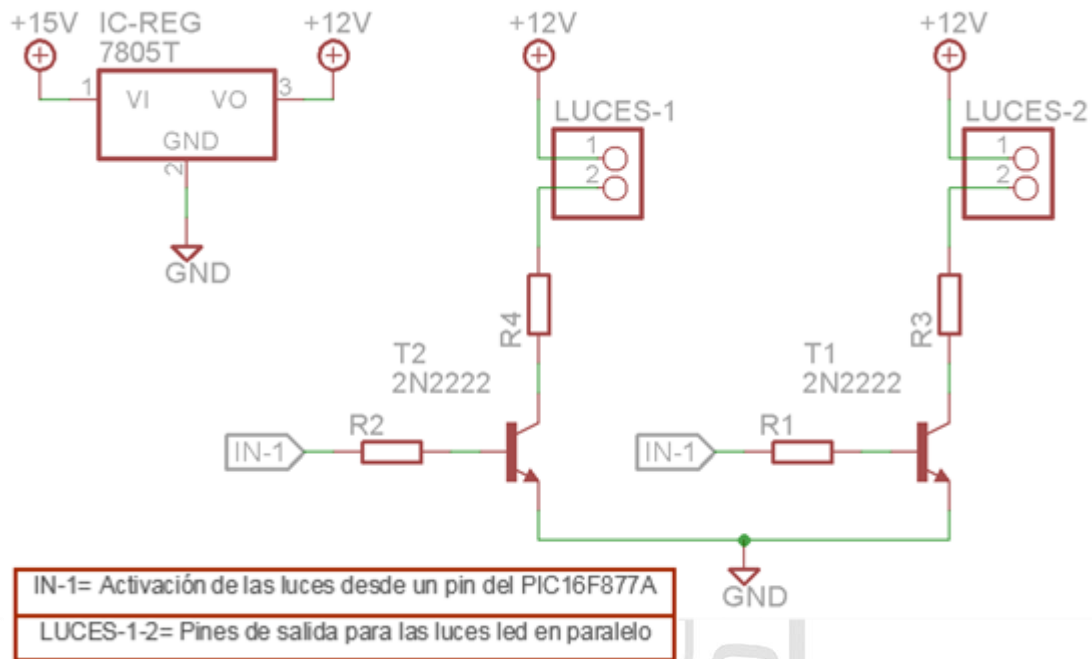


Figura N° 57: Muestra el circuito diseñado para la etapa de iluminación.

Fuente: Propia.

El transistor “2N2222” el cual puede soportar hasta 800 miliamperios, se eligió debido a que los “leds de iluminación” necesitan 300 miliamperios para iluminar sin causar el problema de sobre iluminar los cuadernillos explicado anteriormente. Dicho transistor trabaja como “switch” en la región de saturación entregando el mayor valor de corriente que es dependiente del valor de la resistencia de colector.

Como se puede apreciar en la figura 58, hay dos transistores en configuración emisor común los cuales trabajarán como un “switch” para cerrar circuito y así puedan energizarse los seis leds de iluminación los cuales estarán conectados en serie de tres en tres. A continuación, en la figura 60 se muestra

la distribución de los leds colocados en las regletas de aluminio ubicadas en el recinto donde se encuentran los cuadernillos.

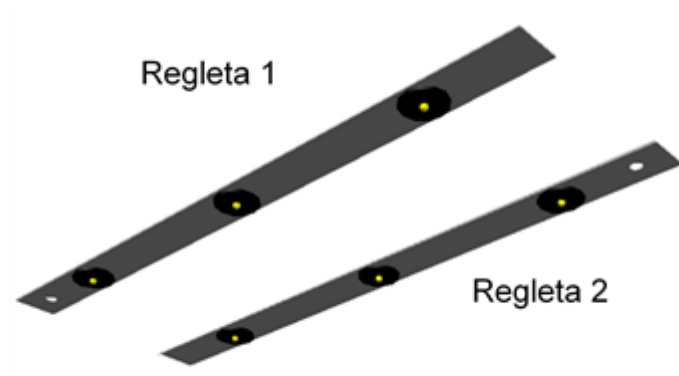


Figura N° 58: Muestra las dos regletas donde se ubican los diodos leds de tres en tres.

Fuente: Propia.

Se debe saber que la entrada IN-1 está conectada al microcontrolador que brinda de 0 a 5 voltios y no debe sobrepasar de 25 miliamperios. Además, como los dos transistores están conectados con la misma configuración, entonces, se puede concluir que $R1 = R2$ y $R3 = R4$.

Para realizar el cálculo del valor de las resistencias de base R1 y R2, se sabe que cuando $V_{IN-1} = 5V$ la corriente que pase por la resistencia de base R1 será máxima. Entonces:

$$I_{B_{max}} = \frac{V_{IN-1} - 0.7V}{R1} = \frac{5V - 0.7V}{R1}$$

Ahora para hallar la corriente de base $I_{B_{max}}$ se revisó el datasheet del transistor el cual indica que: (ver tabla N° 5)

Tabla N° 5: Características de transistor 2N2222

Símbolo	Condición Inicial		Máximo
VCE(sat)	IC = 150 mA	IB = 15 mA	0.3 V
	IC = 500 mA	IB = 50 mA	1 V

Fuente: DataSheet 2N2222

Lo cual quiere decir que la corriente de base varía entre 15 a 50 miliamperios con una corriente de colector entre 150 a 500 miliamperios. Sabiendo que va conectado al microcontrolador con lo cual la corriente de base no debe sobrepasar los 25 miliamperios, entonces $I_{B_{max}} = 25 \text{ mA}$ con lo cual:

$$R1 = \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{25 \text{ mA}} = 172 \text{ Ohms}$$

Con lo cual se eligió una resistencia comercial de $R1 = R2 = 180 \text{ Ohms}$, la cual limitaba la corriente a un valor de $I_B = 24.1 \text{ mA}$ y generaba un voltaje de saturación $V_{CE_{SAT}} = 0.48 \text{ V}$ y una corriente de colector de aproximadamente $I_C = 244 \text{ mA}$, lo que genera (según la siguiente figura 59) que:

$$R_C = \frac{12 \text{ V} - 3 \text{ V} - 3 \text{ V} - 3 \text{ V} - 0.48 \text{ V}}{244 \text{ mA}} = 10 \text{ Ohms}$$

Además, como es el valor de la resistencia es muy bajo, se tiene que tener cuidado con la potencia P_{R_C} la cual es:

$$P_{R_C} = I_C^2 R_C = (244 \times 10^{-3})^2 \times 10$$

$$P_{R_C} = 59536 \times 10^{-5}$$

$$P_{R_C} = 0.595 \text{ Watts}$$

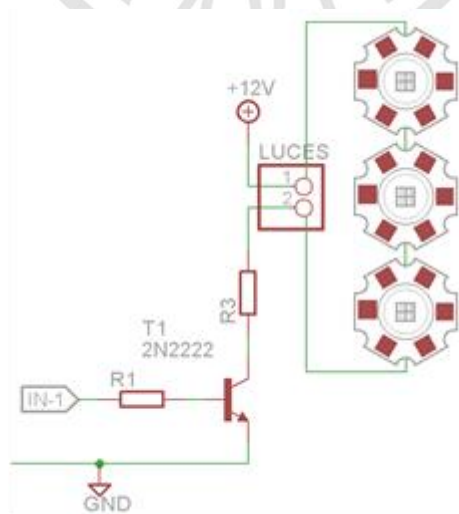


Figura N° 59: Muestra la conexión de los leds de iluminación en el circuito diseñado.

Fuente: Propia.

En conclusión, la potencia es manejable y si existen resistencias en el mercado de 10 *Ohms* de medio vatio. Entonces, $R3 = R4 = 10 \text{ Ohms}$

Finalmente se puso a prueba los seis leds energizados con lo cual se observó buenos resultados.

2.3 Plan de trabajo

El objetivo general del desarrollo de la tesis está orientado al diseño de un equipo que brinde el traslado y separación del cuadernillo de calificación llamado “proyecto de automatización” para el proceso de digitalización de la nota y código del alumno (perteneciente al proyecto de digitalización) y así apoyar la idea de dicho proceso para reemplazar el sistema manual y obsoleto de registro de notas, ofreciendo un importante aporte en la realización de dicho proceso. Además, brindará un fácil uso y una afable interfaz usuario-máquina.

Cabe resaltar que este proyecto tiene que acoplarse perfectamente al “proyecto de digitalización” el cual no es parte del desarrollo de la presente tesis, lo cual implica que existe un proceso tácito de comunicación *master-slave* el cual tendrá que funcionar simultáneamente en ambos proyectos y será parte del desarrollo de este proyecto (llamado proyecto de automatización).

Entonces, existen dos proyectos: (ver figura 60)

En primer lugar, está el Proyecto de automatización el cual va a acoplarse al segundo Proyecto de digitalización del código y registro de la nota.



Figura N° 60: Se muestra los proyectos de digitalización y automatización.

Fuente: Propia.

Asimismo, el desarrollo de este Proyecto de automatización contribuye al avance de los conocimientos al investigar sobre los métodos ya existentes para fusionarlos y así converger en una nueva solución, la cual se verá reflejado en el producto. Estos conocimientos involucran, diseño de circuitos electrónicos, programación, uso de protocolos de comunicación, diseño de sistemas electromecánicos, funcionamiento de motores, etc.

Este proyecto de automatización tiene tres procesos principales, los cuales agrupan varios subprocesos que estarán sincronizados con el proyecto de digitalización y se muestran a continuación: (ver figura 61)

La primera parte hace referencia a la detección de cuadernillos en el recinto de adquisición, iluminación del recinto y posicionamiento de la cámara respecto al cuadernillo.

La segunda parte es espera de la trama o señal que indique que acabó el proceso de digitalización de la nota (el cual ya está operativo y solo necesita de este proyecto de automatización para ser autómatas).

Finalmente, la tercera parte se separa el cuadernillo ya procesado por el proyecto de digitalización y se traslada hacia una bandeja final.

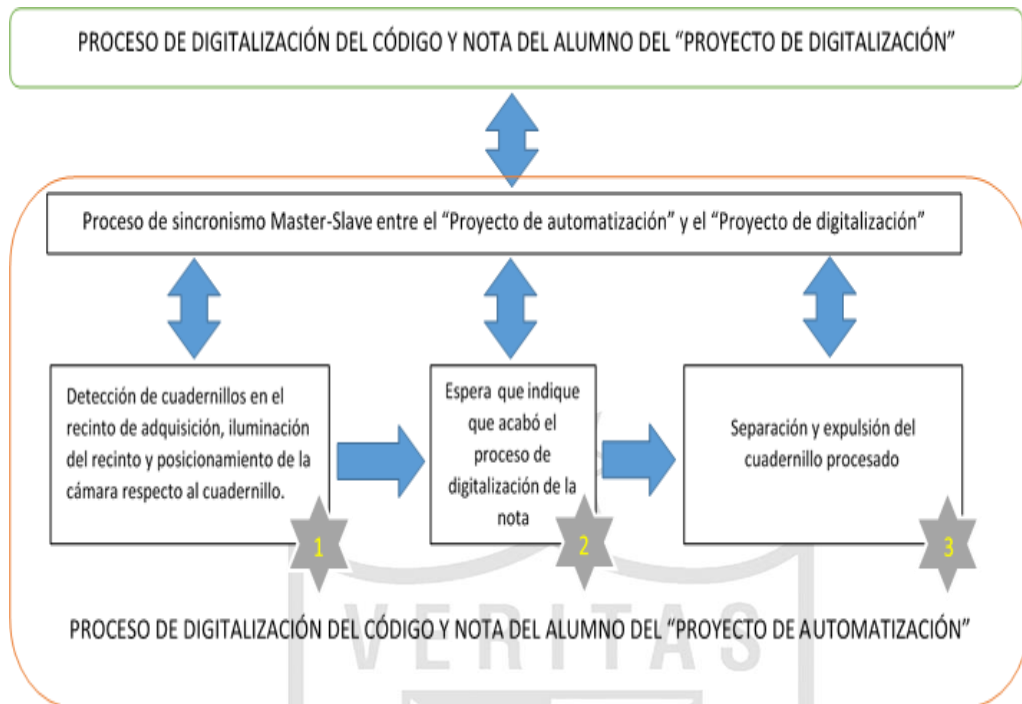


Figura Nº 61: Diagrama de bloques de los procesos que realiza el Proyecto de automatización en sincronía al Proceso de digitalización.

Fuente: Propia.

2.3.1 Actividades

A continuación, se brinda la relación de actividades que se realizaron a través del tiempo.

- Selección de un primer prototipo realizado en aluminio como solución.
- Implementación del diseño mecánico de un segundo prototipo basado movimientos cartesianos.
- Selección y ubicación de los sensores y motores con sus respectivas pruebas.
- Diseño y desarrollo de placas circuitales con sus respectivas pruebas y descarte de problemas.
- Implementación de un sistema de iluminación con sus placas circuitales.

- Implementación de un sistema de ventilación con sus placas circuitales.
- Adaptación de una cámara web (usada por el proyecto de digitalización) al prototipo.
- Distribución y etiquetado del cableado de data y potencia para mantenimiento preventivo.
- Implementación de la interface usuario-máquina.
- Pruebas de acoplo con el proyecto de digitalización, descarte de problemas y mediciones estadísticas.



2.3.2 Financiamiento

Se tomó como referencia las Curvas de Automatización para determinar un costo total del prototipo, mostrados en el Anexo 3.

Tabla N° 6: Presupuesto del proyecto

Nombre	Descripción	Cant.	Costo unitario S/.	Costo total S/.
PIC 16F877A	Microcontrolador	1	24	24
Sensores	Final de carrera	2	1	2
	Óptico	1	7	7
Motor de Corriente Continua	Motores DC	3	14	42
	Engranajes	1	50	50
Partes de Impresora	Impresora	1	7	7
Pantalla LCD	Pantalla	1	15	15
Push-button	Botones con LED	2	30	60
Aluminio y Madera	Estructura	1	200	200
Cristal	Cristal 10MHz	1	2	2
Resistencias	Elemento Pasivo	50	0.1	5
Condensadores	Elemento Pasivo	30	0.1	3
Luces LEDs	Iluminación	6	5	30
Cable RS232	Cable Serial	1	8	8
Acrílico	Acrílico negro y transparente 40mmx60mm	1	100	100
Mano de Obra	RR HH	1	750	750
			Monto S/.	1305
			Ganancia 20%	261
			Monto total S/.	1566

Fuente: Propia.

2.4 Desarrollo del proyecto

Como se mencionó en el plan de trabajo (sección 2.3) el objetivo general era diseñar un equipo que brinde la correcta separación y traslación de cuadernillos de calificación para reemplazar el sistema manual actual de registro de notas, surgiendo a través de varios prototipos electromecánicos uno eficiente que se pueden visualizar en el Anexo N° 4, el cual está adecuado a los requerimientos del proyecto de digitalización ya instalado en una PC (*Personal Computer*). Cabe señalar que el proyecto de digitalización no se desarrollará en la presente tesis y se mostrará como un proceso de caja negra dado que es un sistema ya desarrollado, existente e instalado, que se encuentra en funcionamiento.

2.4.1 Enfoque global del proyecto

Una vez culminado el proyecto de automatización (ver ficha técnica en el Anexo 2), este debe estar preparado para acoplarse al proyecto de digitalización. Como se hizo en mención el Plan de trabajo (sección 2.3), el proyecto de automatización está enfocado al desarrollo de la parte electromecánica y al sincronismo de esta con el proyecto de digitalización. En la figura 62, se muestra el esqueleto del proyecto de automatización desarrollado en la presente tesis. La cual cuenta con una estructura de aluminio forrado con acrílico (desarrollada por los autores de la tesis). Dicha estructura contiene los cables y elementos circuitales ubicados estratégicamente para un correcto funcionamiento y mantenimiento correctivo. (Ver figura 4, Anexo 4)

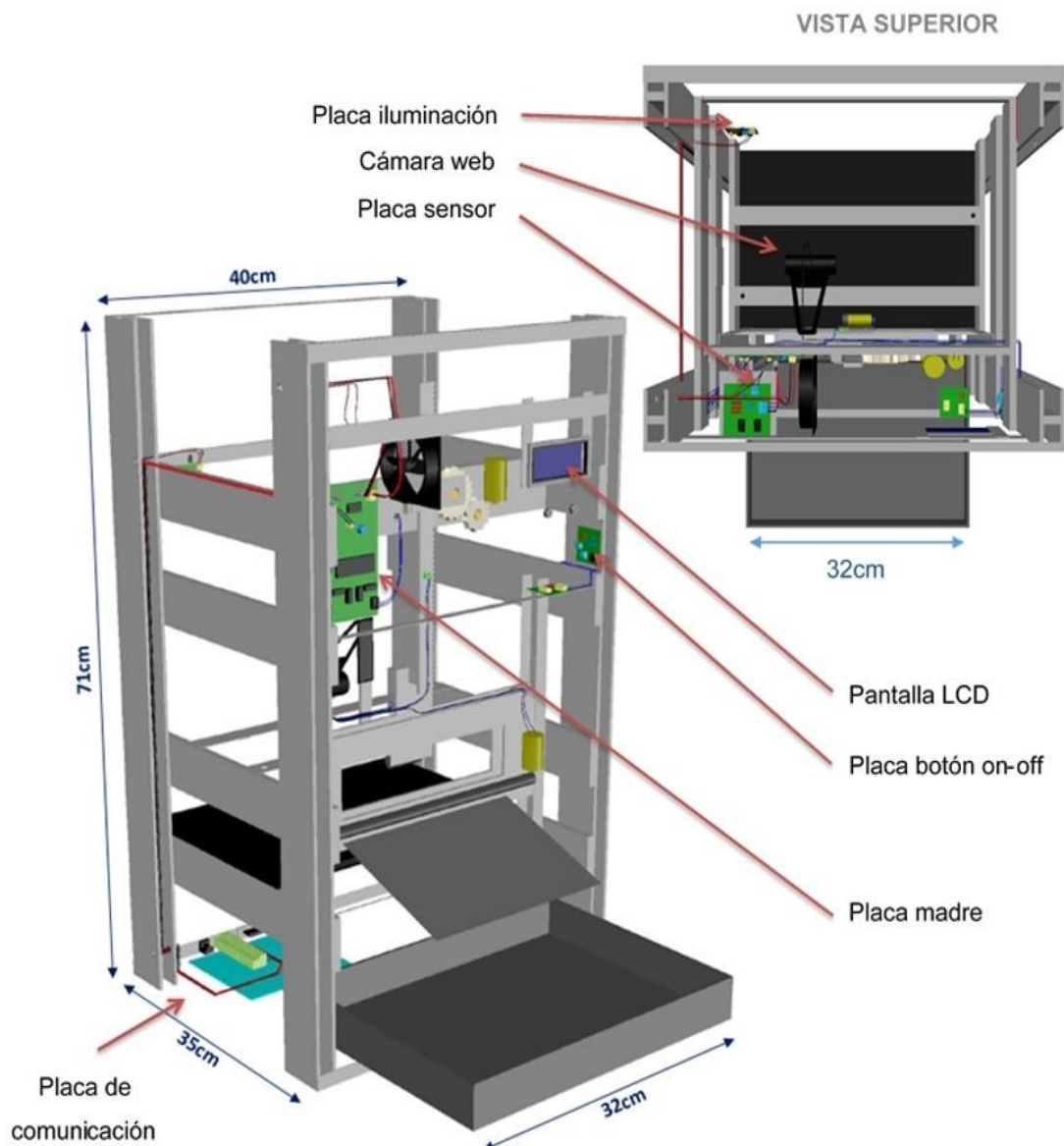


Figura N° 62: Se muestra el prototipo del proyecto de automatización.

Fuente: Propia.

2.4.2 Diagrama de bloques de la electrónica implementada

Se usaron conocimientos de electrónica para la automatización del prototipo el cual está compuesto de tres etapas principales, las cuales agrupan varios subprocesos que interactúan entre sí. Estas etapas contienen circuitos electrónicos de suministro de energía, reguladores de voltaje, controladores de motores, controlador con microcontrolador PIC, pantalla LCD, sensores, etc. Todos estos circuitos están interconectados físicamente entre sí e interactúan de acuerdo con la figura 63.

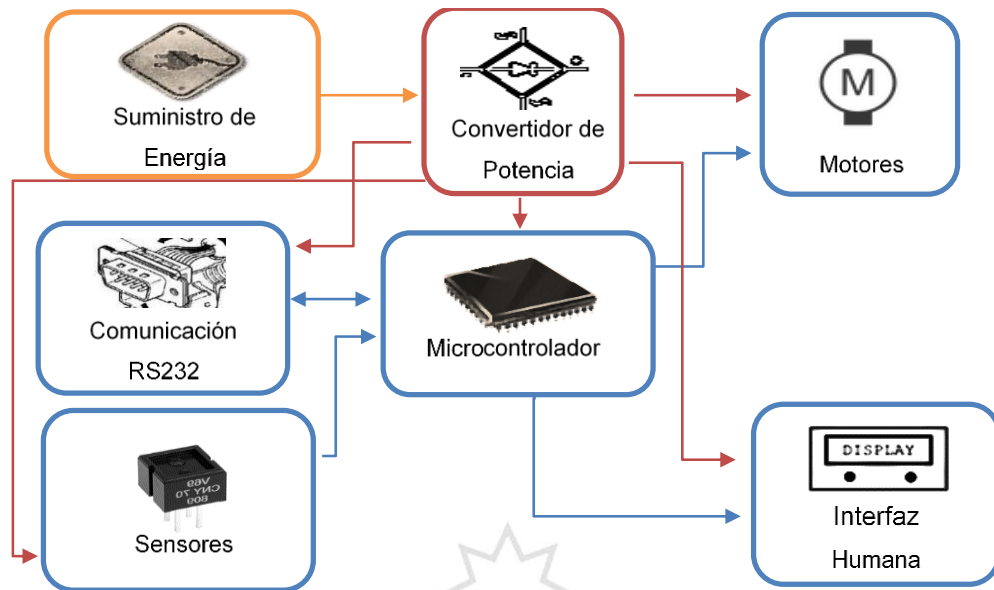


Figura Nº 63: Se muestra el diagrama de bloques del circuito de control del proyecto de automatización.

Fuente: Propia.

El microcontrolador será el encargado de controlar las etapas de color azul, como son la comunicación RS232, el sensor óptico (CNY70) y sensores mecánicos (llamados finales de carrera). Para este fin al microcontrolador se le embebió una lógica programada en lenguaje C con un compilador para PIC (*Programmable Integrated Circuits*) de Microchip.

2.4.3 Partes físicas del prototipo

Para la elaboración del prototipo se tuvo que construir una estructura de aluminio, la cual es un factor muy importante para facilitar la sencillez del control electrónico de esta, brindando así, estabilidad y precisión en la separación de los cuadernillos. Tomando en consideración el tamaño del cuadernillo y ubicación de la cámara, se obtuvieron las dimensiones y peso del prototipo respectivamente, las cuales son: alto: 71 cm, ancho: 40 cm, largo: 52 cm y peso: 17 Kg en totalidad.

El prototipo desarrollado, se puede dividir por tres partes físicas, las cuales son una bandeja de entrada de cuadernillos, un separador de cuadernillos y una bandeja de salida de cuadernillos, los cuales se describen a continuación.

2.4.3.1 Bandeja de entrada de cuadernillos

En dicho recinto se depositarán los cuadernillos y en la parte superior de este contenedor se encuentra una cámara web que está conectada a un sistema mecánico y brinda una distancia constante entre la cámara y el cuadernillo.

En la parte inferior de este recinto se encuentra un sensor CNY70 con su circuito de sensibilidad, el cual discernirá si en dicho recinto existe la presencia de cuadernillos.

Además, dicho recinto contendrá la iluminación, la comunicación RS232 y la circuitería de energización y distribución de la misma hacia las otras placas. (Ver figura 64)

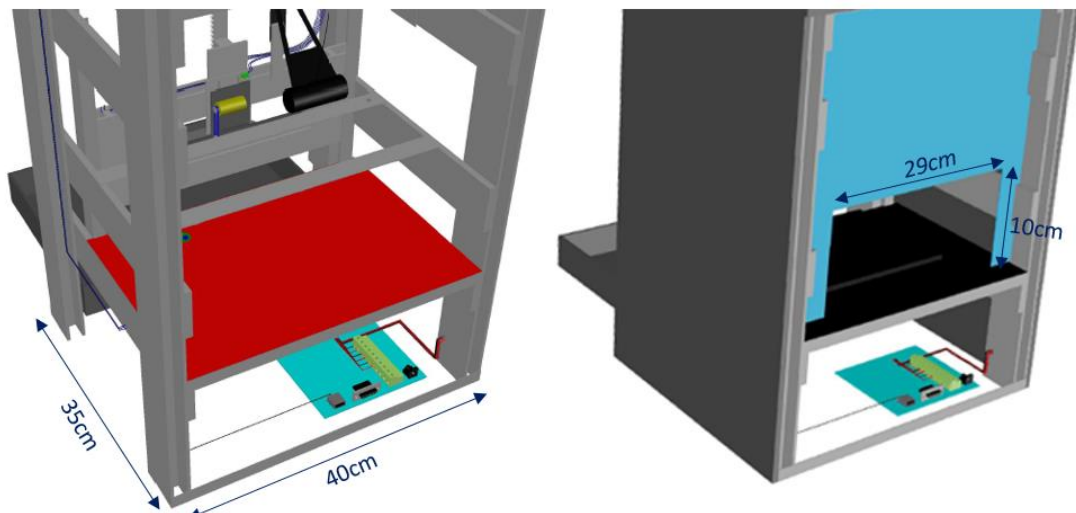


Figura N° 64: Se muestra la bandeja de entrada de cuadernillos del proyecto de automatización.

Fuente: Propia.

2.4.3.2 Separador de cuadernillos

Dicho separador contiene en la parte superior un motor el cual tendrá la tarea de mover en forma vertical dicho separador. Además, contiene dos sensores mecánicos los cuales están instalados con el fin de detectar cuando el

separador haya llegado al tope máximo superior o mínimo inferior de la estructura. Existen dos motores adicionales, unidos a la estructura del separador de cuadernillos los cuales tienen la función de separar un solo cuadernillo de varios de estos, mediante rodillos (ver figura 65). Cabe resaltar que esta estructura conlleva ingeniería mecánica, la cual fue indispensable para la separación sencilla de los cuadernillos.

Finalmente, dicha estructura es la que lleva la cámara web, y es por este diseño que siempre se tendrá una altura constante respecto a la lente de la cámara y el cuadernillo.

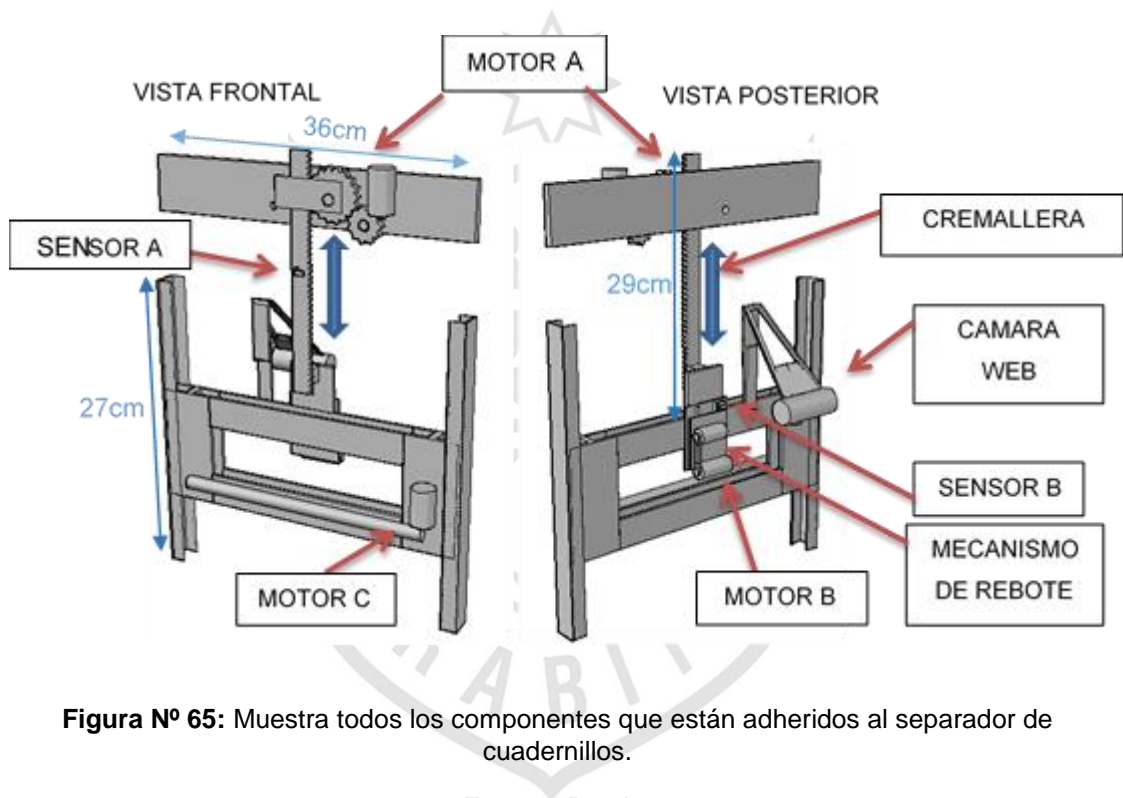


Figura Nº 65: Muestra todos los componentes que están adheridos al separador de cuadernillos.

Fuente: Propia.

Donde:

- Sensor A: Encargado de limitar la subida de la guillotina cuando el sistema se reinicia.
- Sensor B: Encargado de limitar la bajada de la guillotina.
- Motor A: Encargado de los movimientos verticales de la guillotina.

- Motor B: Encargado de la separación de los cuadernillos con un mecanismo de rebote.
- Motor C: Encargado del traslado de los cuadernillos a la bandeja final.
- Cámara Web: Encargada de capturar las imágenes a ser procesadas por el proyecto de digitalización.

2.4.3.3 Bandeja de salida de cuadernillos

La bandeja de salida es la que contendrá los cuadernillos ya procesados o expulsados por algún error que se pueda presentar, lo cual no implicará que no se pueda seguir procesando los otros cuadernillos. (Ver figura 66)

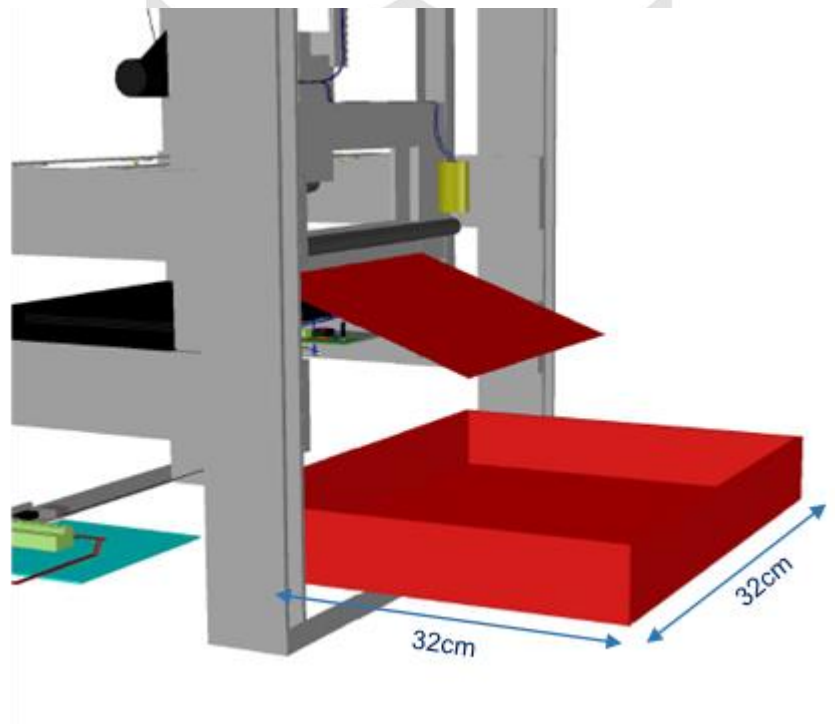


Figura Nº 66: Se muestra la bandeja de salida de cuadernillos ya procesados del proyecto de automatización.

Fuente: Propia.

2.4.4 Funcionamiento global

En esta sección se explica el funcionamiento general del prototipo:

El usuario tendrá que ingresar un número menor o igual a 40 cuadernillos por la parte posterior del prototipo, donde se encuentra la bandeja de entrada, el cual inmediatamente activará al sensor óptico, seguidamente encenderá el sistema de iluminación LED y comunicará al microcontrolador que la bandeja de entrada está con cuadernillos y que debe esperar una orden del proyecto de digitalización para iniciar el siguiente proceso de ubicación de la cámara frente al cuadernillo, generando una constante comunicación maestro-esclavo para establecer el sincronismo entre el proyecto de digitalización (maestro) y el proyecto de automatización (esclavo), una vez culminado el proceso de digitalización este le indicará al proyecto de automatización que separe el cuadernillo procesado del resto y lo deposite en la bandeja de salida. Dicho proceso se puede repetir el número de veces que requiera el proceso de digitalización mientras haya aún cuadernillos en la bandeja de entrada.

2.4.5 Funcionamiento específico de cada elemento

En esta sección se explica el funcionamiento de la interacción entre la parte física y de cada uno de los componentes que contiene el proyecto de automatización.

2.4.5.1 Sensor Óptico (Sensado de cuadernillo)

a) Funcionamiento

Si un cuadernillo se ubica por encima del sensor CNY70, este cambiará su estado de DOWN a UP (de 0 a 5 voltios), enviando un pulso TTL al microcontrolador, el cual iluminará todo el área de la bandeja de entrada y se comunicará con el proyecto de digitalización que está en la PC, la cual le enviará una orden de iniciar los procesos, enviando un bit Deseo iniciar los procesos por el puerto RS232, pero si el sensor toma el estado de DOWN (de 5 a 0 voltios) el microcontrolador envía un mensaje al usuario de la máquina por la pantalla LCD requiriendo que llenen la bandeja de entrada, otra respuesta del microcontrolador con respecto al estado DOWN (de 5 a 0 voltios) del sensor es apagar toda la iluminación en la bandeja de entrada y reiniciar el sistema.

Tomando en cuenta la sensibilidad y la mejor distancia entre el sensor CNY70 y los cuadernillos, el sensor es ubicado estratégicamente en la parte inferior de la bandeja de entrada donde solamente serán detectados los cuadernillos y no otros objetos, como se muestra en la figura 67. A una distancia de 2 cm.

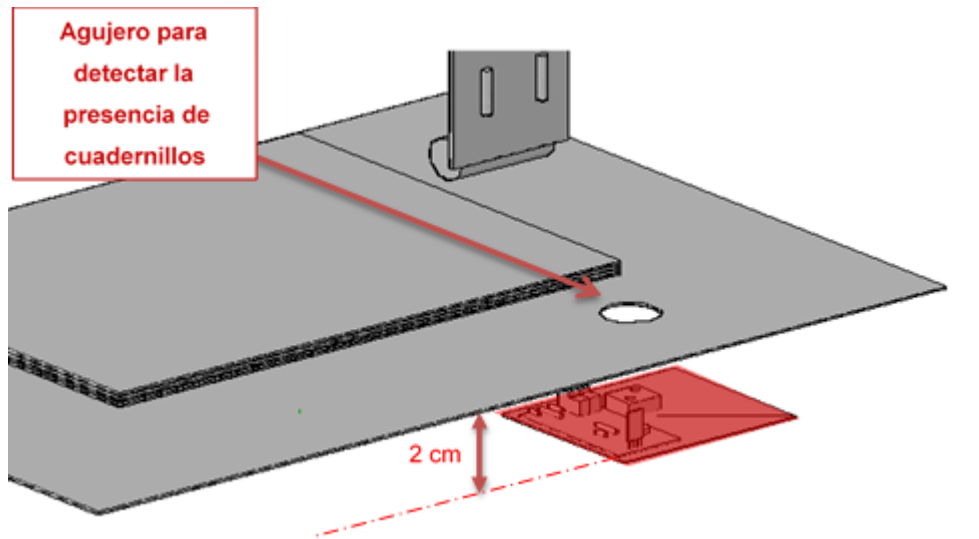


Figura Nº 67: Se muestra la ubicación del sensor óptico en la bandeja de entrada del proyecto de automatización.

Fuente: Propia.

b) Circuitería

Esta circuitería sirve para filtrar la data brindada por el sensor óptico CNY70 y así no llegar a falsas lecturas en el sensado.

Para poder calibrar la sensibilidad del sensor CNY70 y poder conmutar de 0 voltios (0 lógico) a 5 voltios (1 lógico) se requirió diseñar el siguiente circuito. (Ver figura 68)

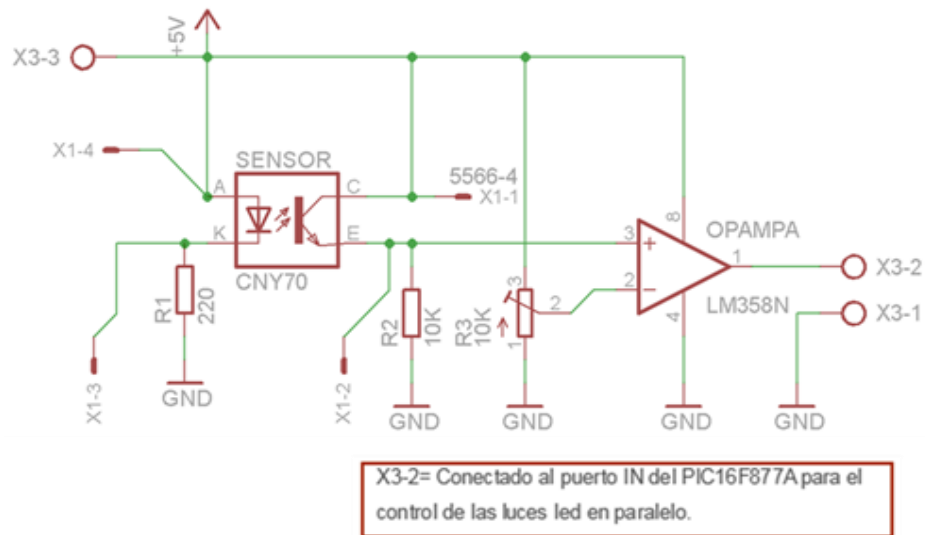


Figura N° 68: Se muestra la circuitería para el sistema del sensor CNY70.

Fuente: Propia.

Se requiere dos resistencias para el funcionamiento óptimo del sensor CNY70, obteniendo su pin de salida un rango de 0 a 5 voltios, por lo que solo se requiere conectarla a un amplificador operacional usado como comparador (Reyes Cortés, Cid Monjaraz, & Vargas Soto, 2002) y el *setpoint* será calibrado por un potenciómetro de 10 *KOhm* manualmente, esto como una medida de mantenimiento correctivo.

2.4.5.2 Sensor B (Sensor limitador de bajada)

a) Funcionamiento (en conjunto al mecanismo de rebote)

Si el proyecto de digitalización manda la orden de comenzar, el microcontrolador ordena al motor A iniciar el descenso del separador de cuadernillos hasta la activación del sensor B ubicado dentro del mecanismo de rebote (mostrado en la figura 69), el cual hace contacto con los cuadernillos ubicados en la bandeja de entrada. Este impulsará el sensor táctil hacia arriba hasta hacer contacto con un tope físico, y de esta forma, el sensor logrará cambiar de estado DOWN a UP (de 0 a 5 voltios), enviando un pulso TTL al microcontrolador el cual se encargará de detener el motor A.

En paralelo, se establece la comunicación serial microcontrolador/PC. El microcontrolador por medio de la transmisión de un bit informa al proyecto de digitalización que ya puede digitalizar la nota del primer cuadernillo con la cámara web instalada en el separador de cuadernillos, una vez digitalizada la nota, el proyecto de digitalización debe enviar otro bit al microcontrolador para almacenar el cuadernillo ya procesado en la bandeja de salida y poner uno nuevo frente a la cámara, y así sucesivamente, hasta digitalizar todos los cuadernillos que están en la bandeja de entrada.

La función del sensor está compartida con un mecanismo de rebote que fue diseñado en respuesta de los constantes problemas de separación de cuadernillos, los cuales se adherían unos a otros al momento de almacenarlos en la bandeja de salida. Cabe mencionar que el diseño del mecanismo es propio de los autores de la tesis.

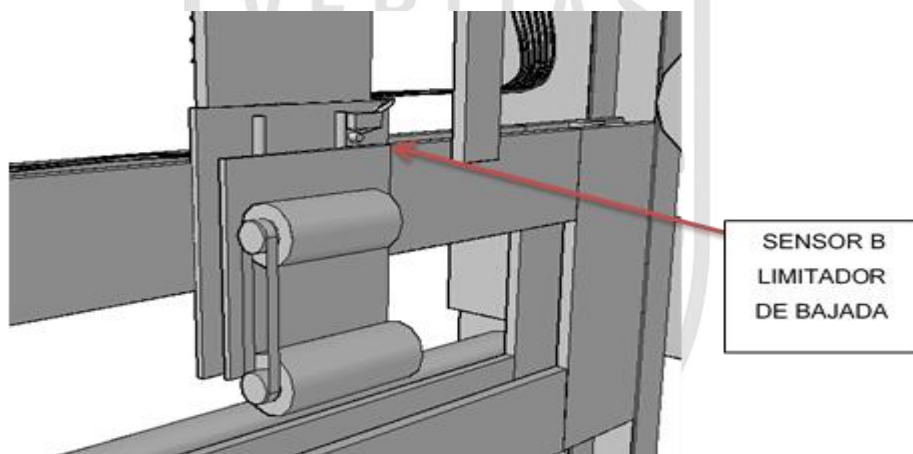


Figura N° 69: Se muestra el mecanismo que limita la bajada del separador de cuadernillo.

Fuente: Propia.

El mecanismo comienza a funcionar cuando el sensor B es activado, enviando un pulso TTL al microcontrolador ordenándole al motor A que detenga el descenso del separador de cuadernillos para luego subir unos milisegundos, generando que el mecanismo de rebote caiga por su propio peso sobre los cuadernillos con una presión constante, la cual, al no serla, sería la principal causante que no se puedan separar correctamente, uno por uno, los cuadernillos como se muestra en la figura 70.

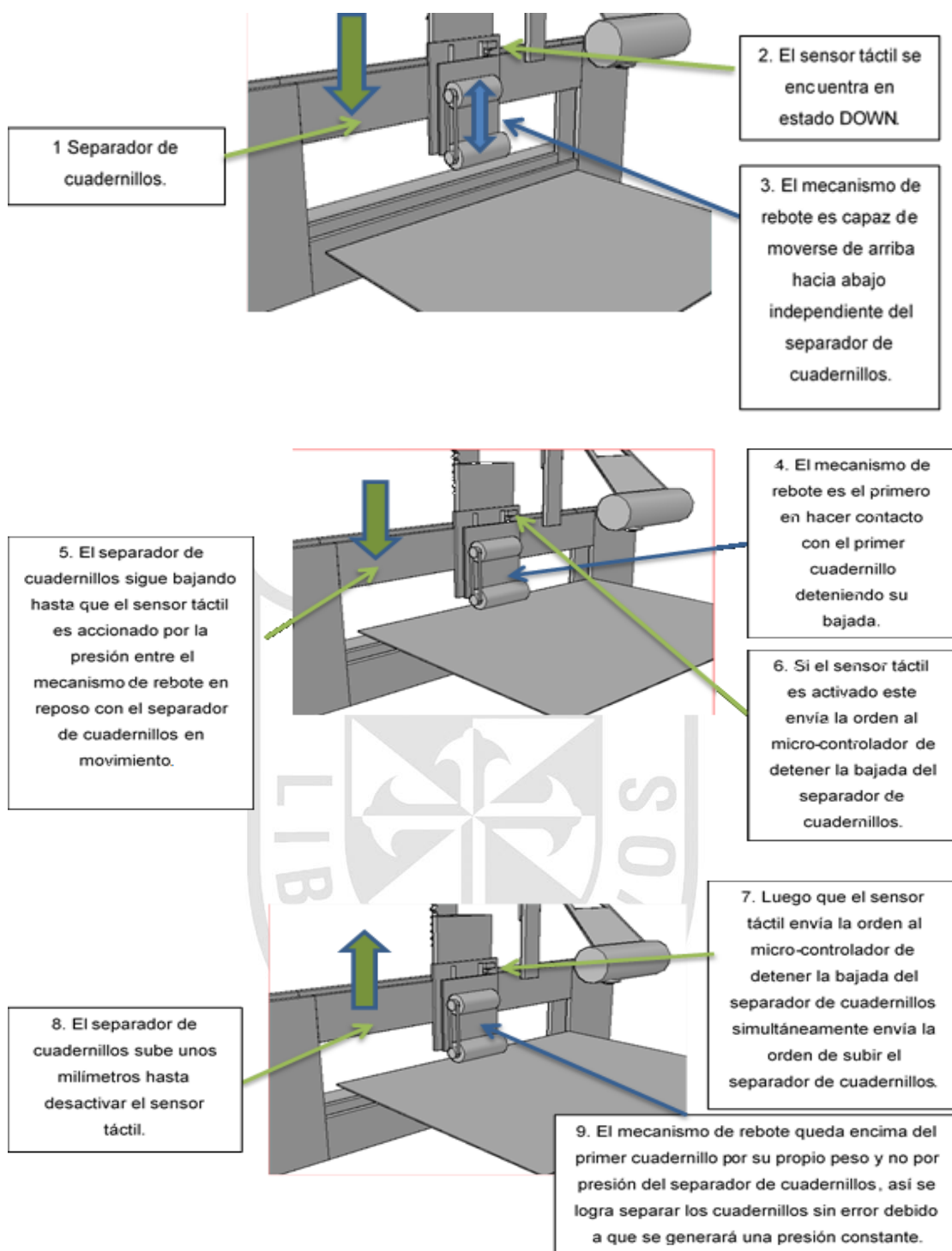


Figura Nº 70: Se muestra el mecanismo de rebote.

Fuente: Propia.

b) Circuitería

El pulso obtenido por el sensor táctil no requiere pasar por una etapa de amplificación, ni mucho menos, por una etapa de comparación como sí lo hace

el sensor óptico. Debido al diseño de circuitería básico capaz de conmutar de 0 a 5 voltios, como se ilustra en la figura 71.

El pin de salida del sensor siempre está conectado a tierra por medio de una resistencia de $1K\Omega$ la cual evita que exista un cortocircuito cuando el sensor se active generando un pulso TTL de 5 voltios (1 lógico).

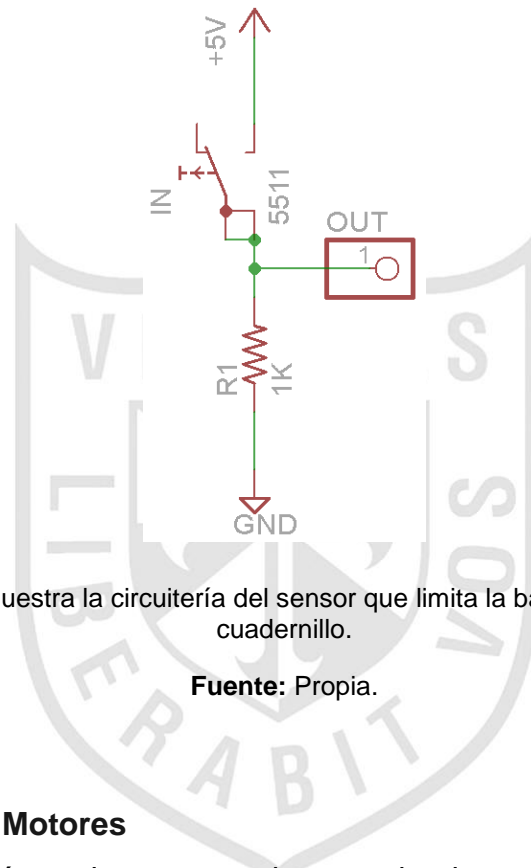


Figura N° 71: Se muestra la circuitería del sensor que limita la bajada del separador de cuadernillo.

Fuente: Propia.

2.4.5.3 Motores

Como se mencionó en el punto anterior cuando el proyecto de digitalización termine de digitalizar la nota del primer cuadernillo, este enviará un bit al microcontrolador indicándole que la imagen fue procesada y requiere un nuevo cuadernillo frente a la cámara WEB.

Si el bit es recibido por el microcontrolador, este se encargará de activar primero el “motor B” luego el “motor C” y por último el “motor A” en secuencia, generando que los cuadernillos pasen de la bandeja de entrada hacia la bandeja de salida. Los motores usados en el prototipo (ver Anexo N° 4) son los siguientes según especificaciones técnicas del proveedor:

Tabla N° 7: Características de motores DC

Motores	TIPO	VOLTAJE	POTENCIA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	DIAMETRO
Motor A	DC	24V-12V	Min:3W Max. 100W	Min: 3256 rpm Max: 20580 rpm	35.8 mm
Motor B	DC	24V-6V	Min:0.1W Max. 1.1W	Min: 2160 rpm Max: 3900 rpm	24.4 mm
Motor C	DC	12V-3V	Min:1.2W Max. 1.5W	Min: 10879 rpm Max: 26500 rpm	15.4 mm

Fuente: www.emouser.com

Para que dicha secuencia de los motores pueda separar los cuadernillos sin atascos ni adhesiones entre cuadernillos, se usó la técnica PWM y se estimaron tres *duty cycles* aplicados en diferentes etapas para el motor B y para los motores A y C fueron señales DC constantes (ver figura 72). De esta forma, se logró separar los cuadernillos correctamente. Luego de varias pruebas se estimó un tiempo de cinco segundos para la separación. La velocidad de los motores en cada segundo se podrá observar el siguiente cuadro.

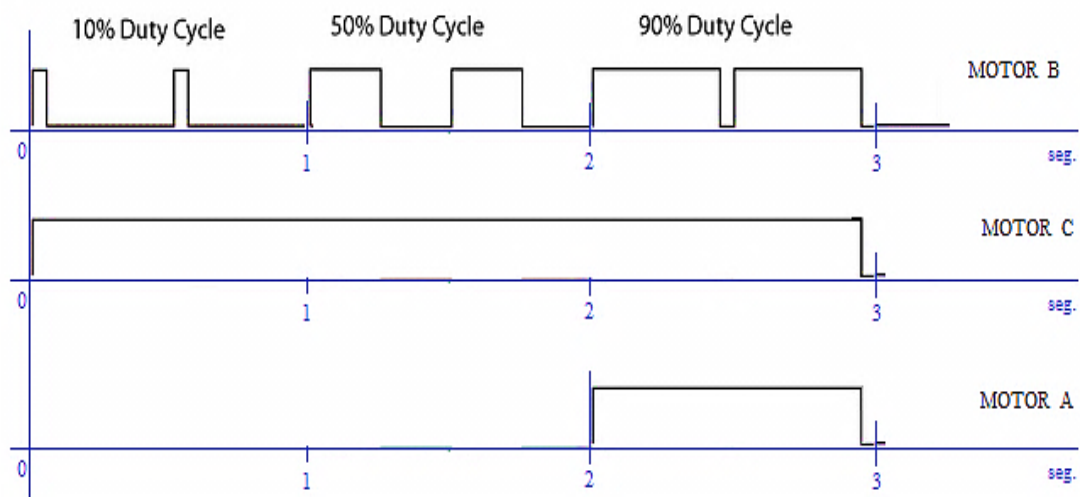


Figura N° 72: Muestra la secuencia con que trabajan los tres motores.

Fuente: Propia.

En el siguiente cuadro se detalla la velocidad de los motores con sus duty cycle (ciclo de trabajo) usado en el proyecto según especificaciones técnicas del proveedor.

Tabla N° 8: Velocidad promedio según los motores implementados

	VELOCIDAD PROMEDIO = CICLO DE TRABAJO x VELOCIDAD INSTANTANEA		
	10%	50%	100%
MOTOR A	-	-	10879 rpm
MOTOR B	216 rpm	1080 rpm	2160 rpm
MOTOR C	-	-	26500 rpm

Fuente: Propia.

2.4.5.4 Sensor A

Si todos los cuadernillos son digitalizados y almacenados en la bandeja de salida, la bandeja de entrada quedará vacía ocasionando que el sensor CNY70 cambie de estado de UP a DOWN (de 5 a 0 voltios), generando que el microcontrolador active el motor A, iniciando la subida del separador de cuadernillos y deteniéndose cuando se active el sensor A, como se muestra en la figura 73.

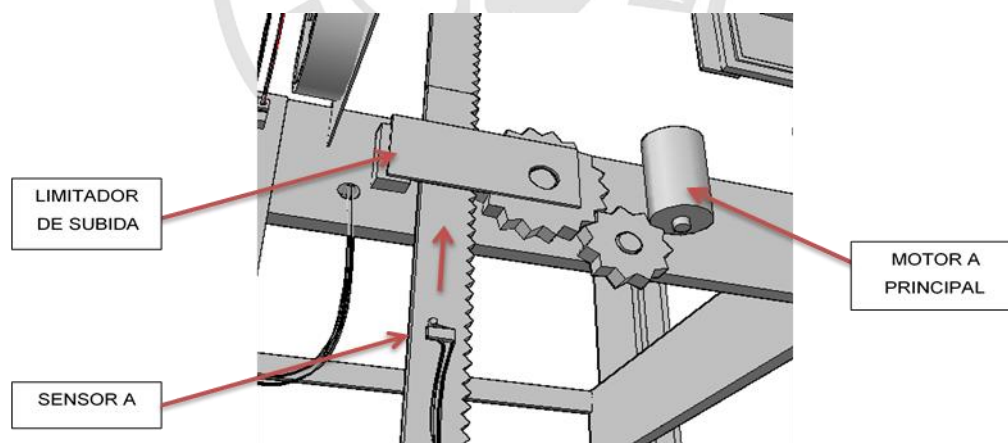


Figura N° 73: Se muestra el mecanismo que limita la subida del separador de cuadernillos.

Fuente: Propia.

Siendo el motor A, el encargado de la subida y bajada del separador de cuadernillos, la circuitería es la misma que del sensor B.

Con esto se logra reiniciar el sistema quedando listo para poder ingresar un nuevo grupo de cuadernillos a procesar en la bandeja de entrada.

Además, se debe tomar en cuenta que en ningún momento los sensores A y B estarán activados al mismo tiempo, eso debido a la ubicación de dichos sensores en el prototipo.

2.4.5.5 Luces LEDs

Un proceso importante para el funcionamiento óptimo del prototipo es ubicar los cuadernillos en la bandeja de entrada y desde ahí poder capturar las imágenes con una cámara web ubicada adecuadamente, por diseño en el separador de cuadernillos. La captura de la imagen debe ser lo más claro posible, entonces las luces LEDs tienen como función iluminar el área de interés para la digitalización de las notas, como se muestra en la figura 74, puesto que dicha área sin luces cuenta con una iluminación natural no adecuada, la cual generaba problemas al proyecto de digitalización al momento de reconocer colores. La cámara Web se encuentra a una distancia de 22 centímetros del área de interés y las luces LED a una distancia de 18 centímetros.

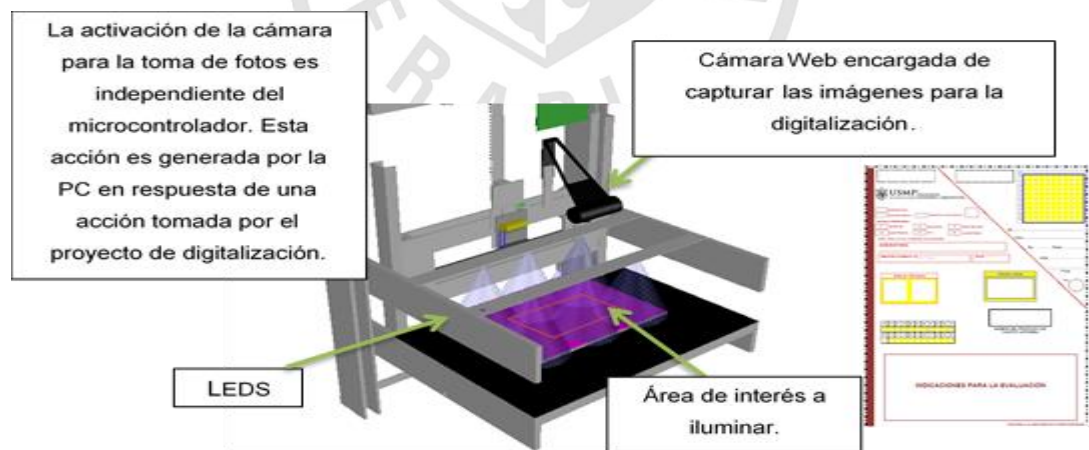


Figura N° 74: Se muestra el sistema de iluminación del prototipo.

Fuente: Propia.

a) Funcionamiento

Como ya se mencionó en la sección 1.5.3 el sensor CNY70 es el encargado de encender y apagar las luces LEDs por el microcontrolador. Dicha iluminación se logró usando seis leds de tres watts separados siete centímetros entre ellos, en dos regletas en paralelo como muestra la figura 75.

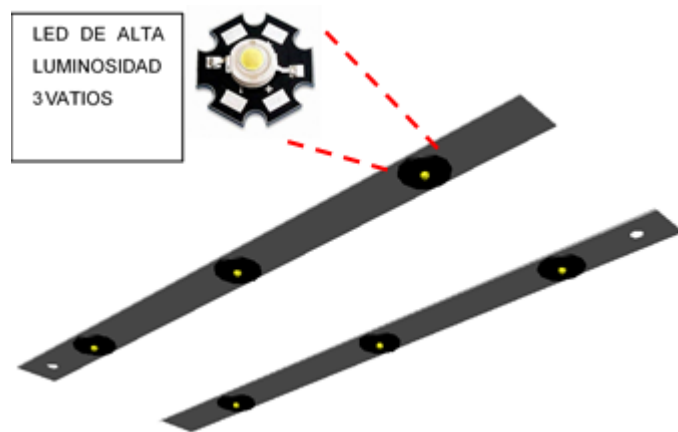


Figura N° 75: Se muestra las regletas de leds del prototipo.

Fuente: Propia.

b) Circuitería

Cada LED requiere ser alimentado con una tensión de 3 voltios y una corriente de 300 miliamperios por su ánodo común. Por lo tanto, ya que cada regleta tiene tres leds conectados en serie se diseñó la siguiente circuitería (ver figura 76).

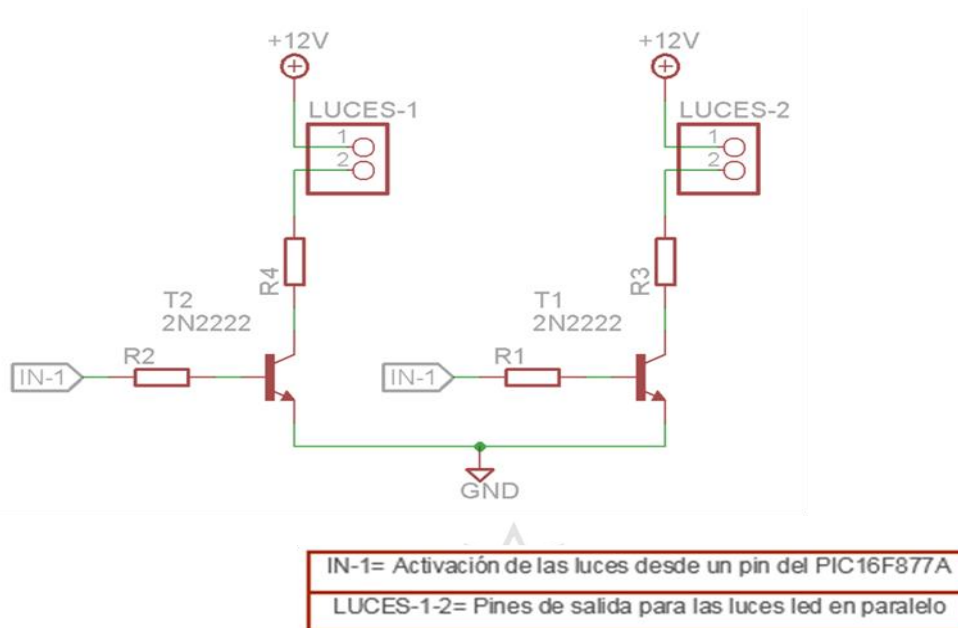


Figura Nº 76: Muestra el circuito implementado para la etapa de iluminación.

Fuente: Propia.

2.4.5.6 Ventilador

Como se explicó en la sección 2.2.2, el sensor LM35 se usó para el diseño de un circuito capaz de controlar la temperatura de los drivers L293D que controlan los motores A, B y C, dado que estos dispositivos pueden llegar a disipar altos niveles de temperatura, los cuales, si no cuenta con disipadores o un buen sistema de enfriamiento, terminan por dañarse solos. Por este motivo, se decidió mantenerlos a una temperatura por debajo del umbral de 70 °C a fin de garantizar la durabilidad de los componentes electrónicos. A su vez los reguladores LM7805 necesitan de enfriamiento puesto que los cuales también disipan calor para disminuir la tensión de entrada hasta un nivel de salida deseada, como se muestra en la figura 77.

El sensor encargado de medir las temperaturas y activar el actuador (ventilador) para ambos componentes será el LM35.

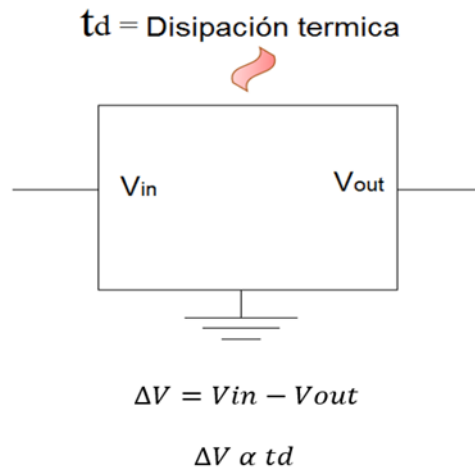


Figura N° 77: Muestra la relación directamente proporcional que existe entre la variación de voltaje y la disipación térmica.

Fuente: Propia.

a) Funcionamiento

El comparador enviará un pulso TTL activando el actuador (ventilador) sin necesidad de pasar por un microcontrolador, regulando de esta forma la etapa de procesos de planta (regulador de voltaje y drivers de potencia).

La ubicación idónea del sensor de temperatura es dentro del disipador del regulador de voltaje LM7812 y la del ventilador es al lado derecho de la placa madre como se aprecia en la figura 78.

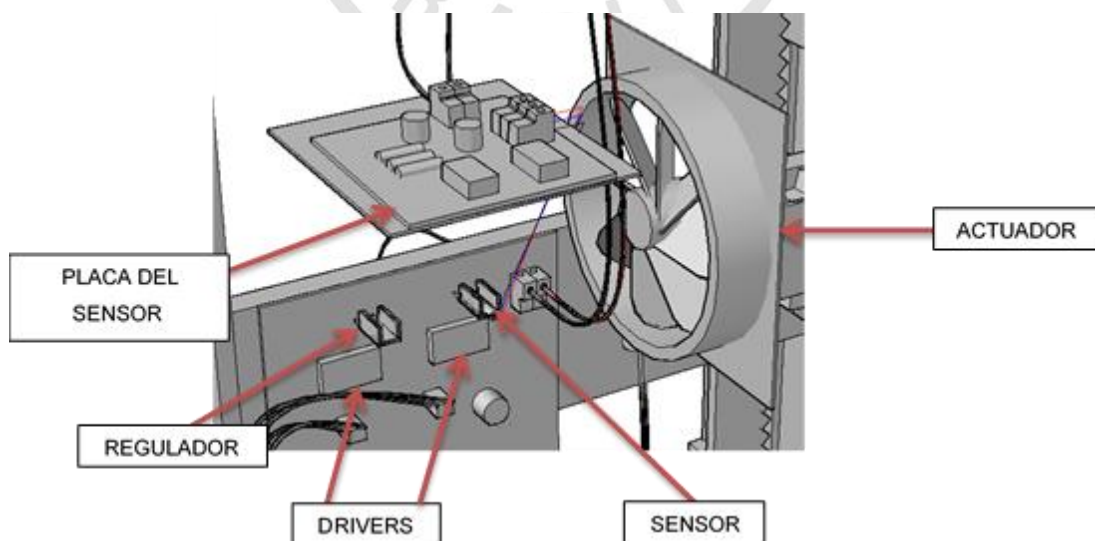


Figura N° 78: Se muestra el diseño del sensor de temperatura en AutoCAD.

Fuente: Propia.

La ubicación del sensor LM35 se determinó debido a que el regulador de voltaje LM7812 es el primer componente que se calienta por la carga recibida. Por ende, se garantiza que los demás componentes se mantendrán también en una temperatura idónea, debido a estar todos los componentes dentro del área que el ventilador enfriará.

b) Circuitería

La respuesta del sensor de temperatura está en el rango de $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ (sección 1.5.3.3), por lo tanto, se requiere pasar la señal de salida por una etapa de amplificación en el rango de 0 a 5 voltios y luego pasar por una etapa de comparación (Reyes Cortés, Cid Monjaraz, & Vargas Soto, 2002). El comparador tiene un potenciómetro de $10\text{K}\Omega$ para poder setear el setpoint de forma manual y así poder dar mantenimiento correctivo en caso estos se empiecen a descalibrar del umbral requerido (ver figura 79).

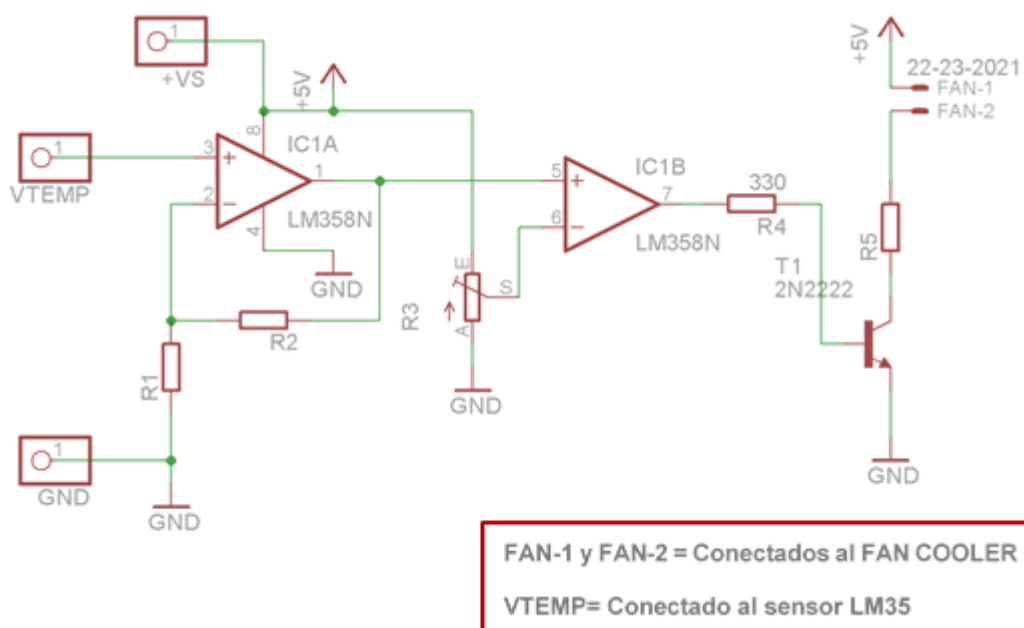


Figura Nº 79: Circuito de ventilación (explicado en la sección 2.2.2)

Fuente: Propia.

El voltaje de referencia calibrado en el opamp modo comparador es de 2.9 voltios equivalente a 40°C medidos por el sensor de temperatura como se muestra en la siguiente figura 80.

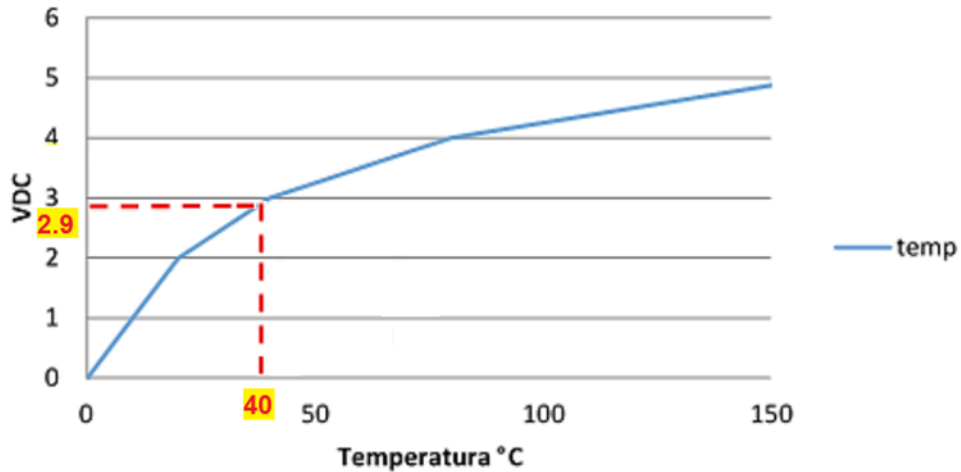


Figura N° 80: Se muestra la relación temperatura versus voltaje de salida del sensor LM35.

Fuente: DataSheet LM35

2.4.5.7 Interface visual usuario-máquina

Esta interface es muy importante, dado que, por medio de ella, el usuario crea una interacción con la máquina y así podrá saber en qué estado está el proceso de digitalización del código y nota del alumno (parte del proyecto de digitalización) desde la inserción de los cuadernillos en la bandeja de entrada hasta el almacenamiento de los mismos en la bandeja de salida (parte del proyecto de automatización) (ver figura 81).



Figura Nº 81: Se muestra la interface LCD con el usuario.

Fuente: Propia.

a) Circuitería de la pantalla LCD

Como se puede ver en la figura 82, la comunicación de la pantalla LCD y el microcontrolador es de conexión directa.

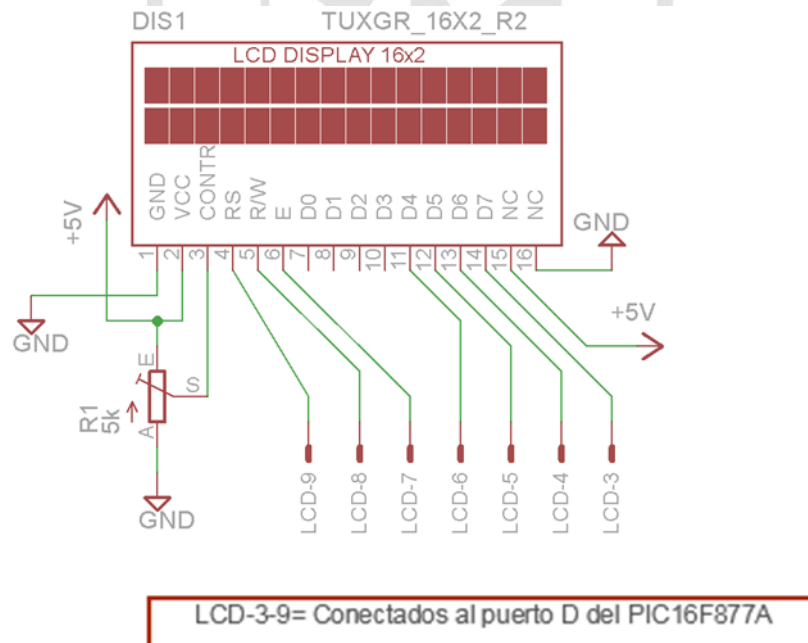


Figura Nº 82: Se muestra la circuitería para la interface LCD.

Fuente: Propia.

b) Ubicación de la pantalla LCD

La pantalla LCD se ubica en la parte frontal del prototipo como se puede ver en la figura 83, la cual hace muy fácil leer los mensajes.

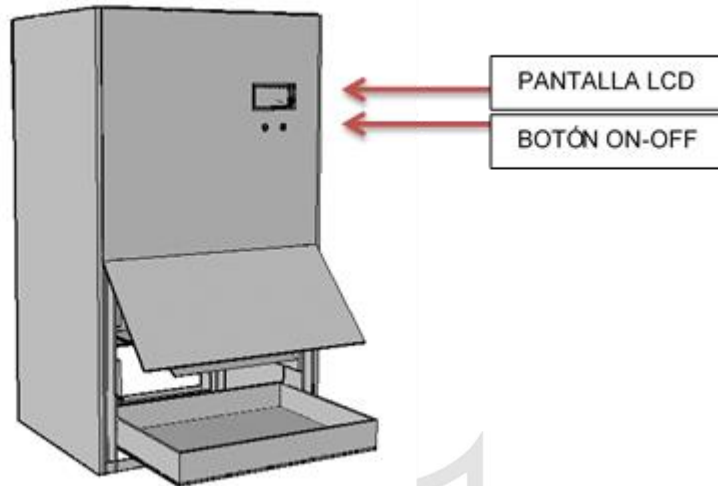


Figura Nº 83: Se muestra la ubicación de la interface LCD y botón ON-OFF en el prototipo en AutoCAD.

Fuente: propia.

2.4.5.8 Placa Madre

Al ya conocer todas las partes que integran el prototipo, se puede detallar de una manera más clara la placa madre (o placa principal), la cual es la encargada del control de todo el sistema y comunicación con el proyecto de digitalización. (ver figura 84)

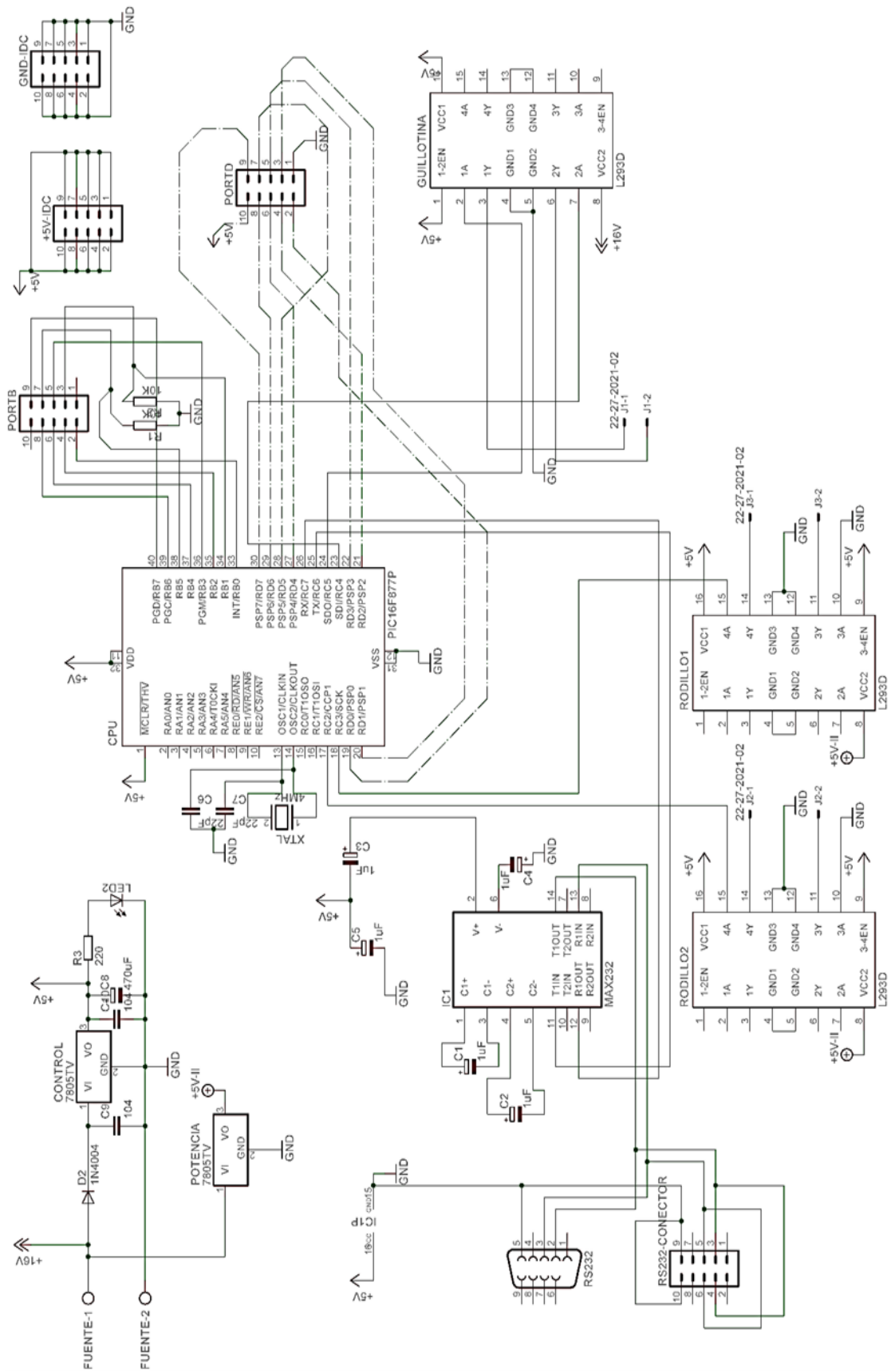


Figura N° 84: Se muestra la circuitería diseñada para la placa madre del prototipo.

Fuente: Propia.

2.4.5.9 Placa de Comunicación

Con la activación de esta placa se logró energizar todo el sistema que incluye: la placa madre, placas complementarias, comunicación serial y USB para la cámara web como muestra la figura 85.

Dicha placa se utiliza para no saturar un solo punto de energía y llevar un mejor mantenimiento preventivo, dado que todos los cables están rotulados.

La ubicación de esta placa es en la parte posterior inferior del prototipo.

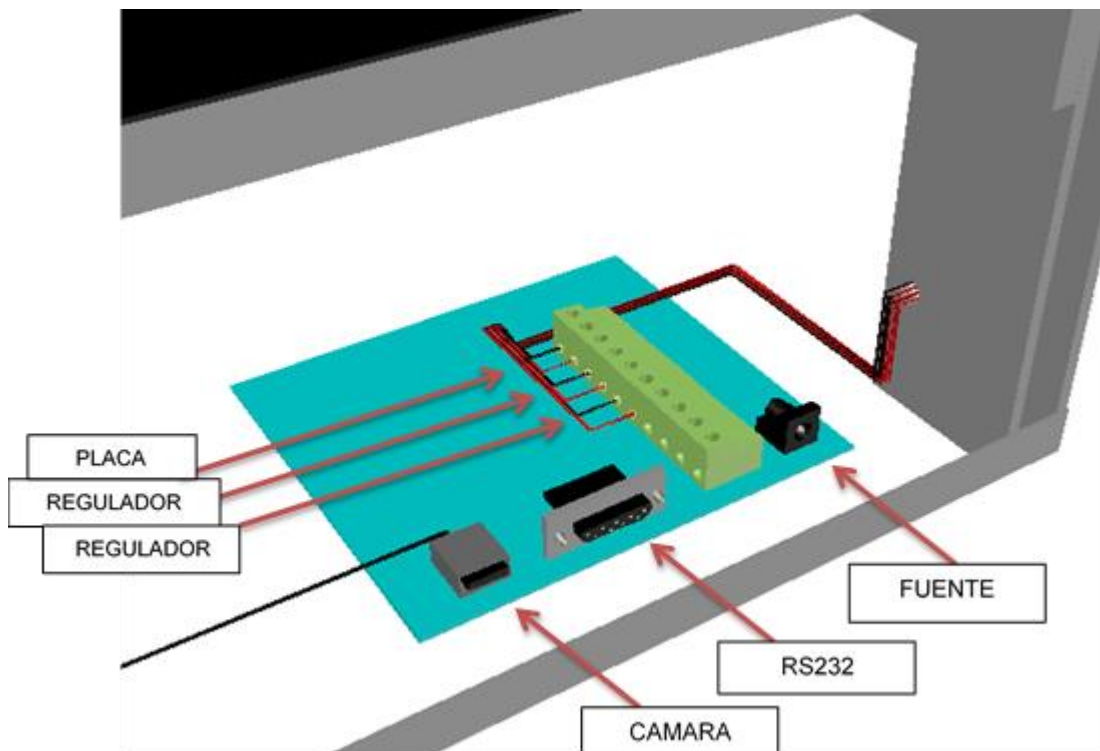


Figura Nº 85: Se muestra el diseño de la placa de conmutación capaz de energizar todo el prototipo.

Fuente: Propia.

a) Botón ON-OFF

El botón ON-OFF se ubica en la parte frontal del prototipo debajo de la pantalla LCD (ver figura 88). La activación de este botón logrará conectar la fuente de 16 voltios externa con la bornera de la placa de comunicación que energiza todos los componentes electrónicos de todo el sistema. (ver figura 86).

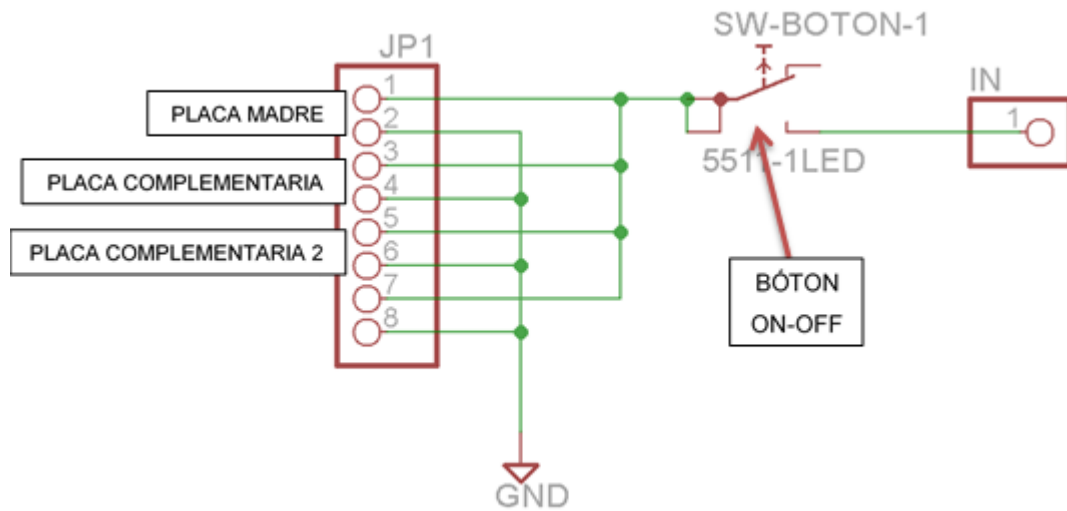


Figura Nº 86: Se muestra la multiplicación de energía lograda con la activación del botón ON-OFF.

Fuente: Propia.

El diseño especial de este botón cuenta con iluminación interna, la cual fue programada con PWM (*Pulse Width Modulation*, Modulación por Ancho de Pulso) para el efecto de encender los leds por intensidad como se aprecia en la figura 87.

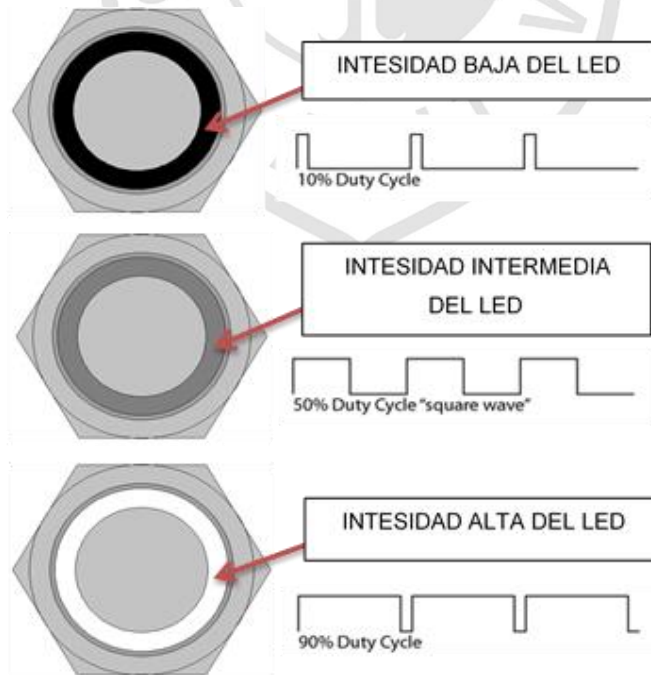


Figura Nº 87: Se muestra el control de intensidad del led por medio del PWM.

Fuente: Propia.

Por lo tanto, con la variación del ancho de pulso se consiguió el efecto de intensidad de luz desde el botón en estado apagado hasta la iluminación completa del LED interno del botón que será vista por el usuario al momento de encender el prototipo, como se muestra en la figura 88.



Figura Nº 88: Se muestra el control de intensidad del led por medio del PWM.

Fuente: Propia.

b) Fuente externa de 16VDC

Otra parte importante del prototipo es la alimentación de energía. Se requería dos voltajes de alimentación, el primero de 16 voltios para el motor A y luego un segundo de 5 voltios para el motor B, motor C y energizado de la parte lógica de los circuitos integrados.

Cabe resaltar que la fuente no se diseñó y solo se eligió en dependencia a las mediciones de potencia que el prototipo consumía. Entonces, poder elegir una fuente idónea que soporte todas estas cargas se efectuaron mediciones para determinar la potencia máxima que consume el prototipo. La figura 89 muestra la fuente elegida.



Figura Nº 89: Se muestra el modelo de la fuente externa seleccionada para el prototipo.

Fuente: Google imágenes.

c) Serial RS232

El tipo de comunicación serial que se utiliza entre el microcontrolador y el proyecto de digitalización es el de transmisión asíncrona a nivel físico, pero necesariamente para unir el proyecto de digitalización y el proyecto de automatización se utilizó un sincronismo Maestro-Esclavo por software. Para ello se estableció que cada proceso del prototipo esté sujeto a un número (ASCII) que será transmitido y recibido creando una comunicación bidireccional como se muestra en la figura 90. El Proceso de Digitalización del Código y Nota del Alumno (PDCNA) es el proceso principal de proyecto de digitalización y es el que se comunica directamente con el microcontrolador.

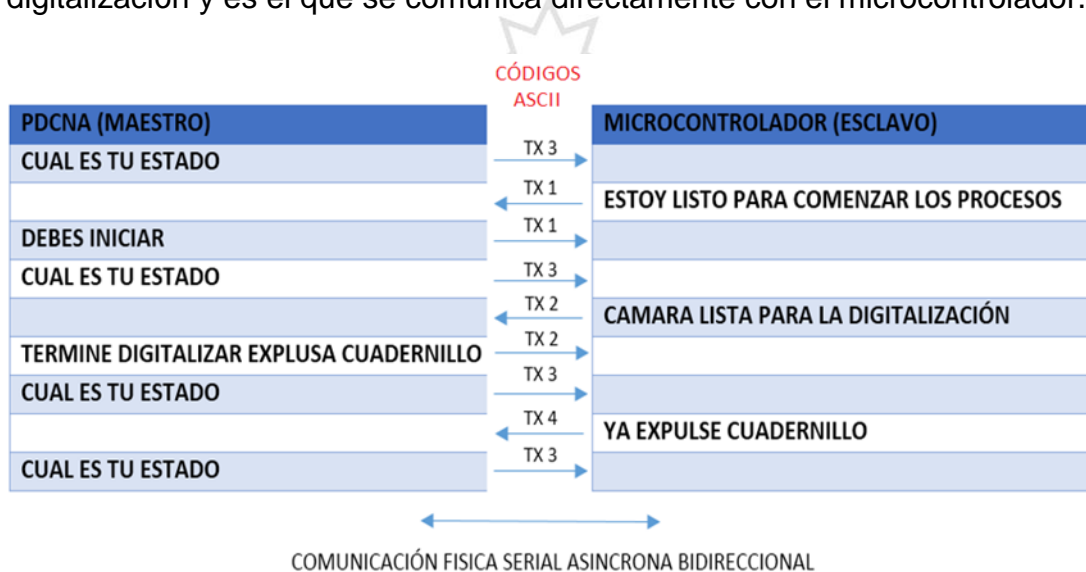


Figura N° 90: Se muestra la comunicación asíncrona que existe entre el microcontrolador y el PDCNA.

Fuente: Propia.

La figura 91, muestra la trama de la comunicación entre el software y el microcontrolador.

- Cuando el software manda en ASCII el código 1 al microcontrolador, significa que, el microcontrolador debe activar el motor A.
- Cuando el software manda en ASCII el código 2 al microcontrolador, significa que, el microcontrolador debe activar el motor A, B y C en una secuencia ya preestablecida.

- Cuando el software manda en ASCII el código 3 al microcontrolador, significa que, el microcontrolador debe reenviar el estado del proceso en el que se encuentra. Afirmando con el código anterior que se le envió. Caso contrario, el software vuelve a reenviar el código 3, preguntando nuevamente el estado del proceso.
- Cuando el software manda en ASCII el código 4 al microcontrolador, significa que, el microcontrolador debe verificar, si efectivamente no hay cuadernillos en la bandeja, para recién, reenviar el código 4, y así el software esté acabe sus procesos. Caso contrario, el software reenvía el código 3, preguntando nuevamente el estado del proceso.

Cada trama lleva un bit de inicio y un bit de parada. Además, no se añadió el bit de paridad, puesto que, el protocolo RS232 indica que el cable serial de comunicación debe sobrepasar los 6 pies (o 180.48 cm) para utilizarlo.

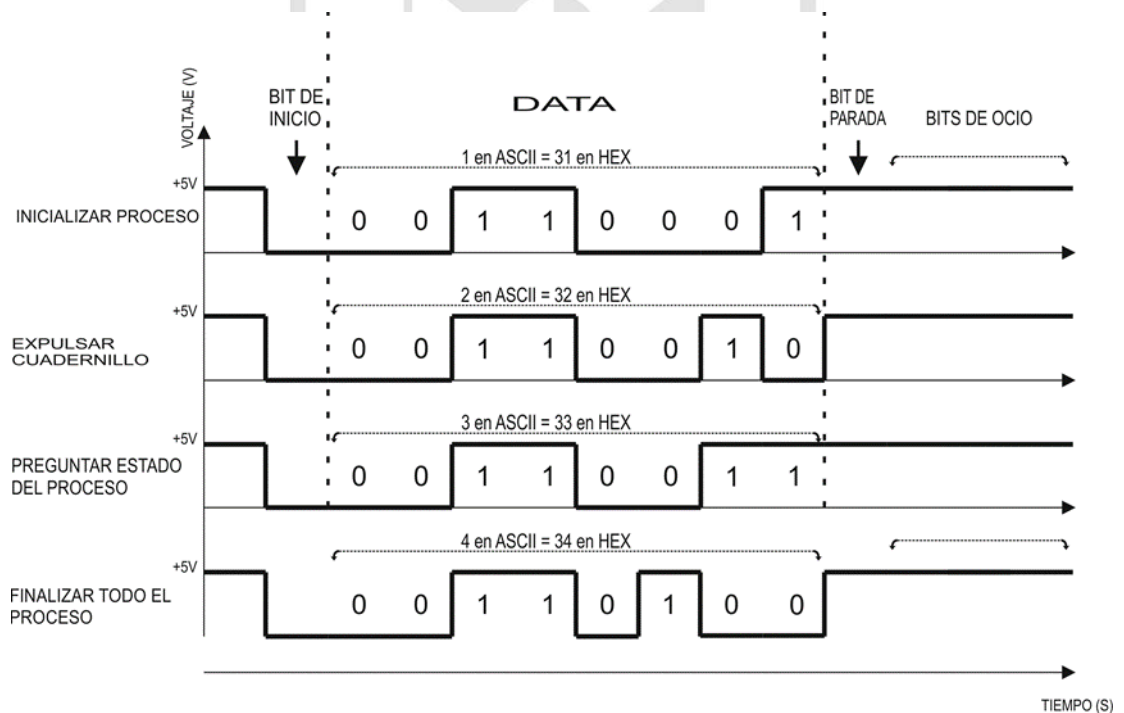


Figura N° 91: Muestra la trama de la comunicación entre el software y el microcontrolador en código ASCII.

Fuente: Propia.

Para lograr la comunicación se usó un integrado MAX232 ubicado en la placa madre y conector hembra RS232 conectado en la placa de comunicación, como se muestra en la figura 92.

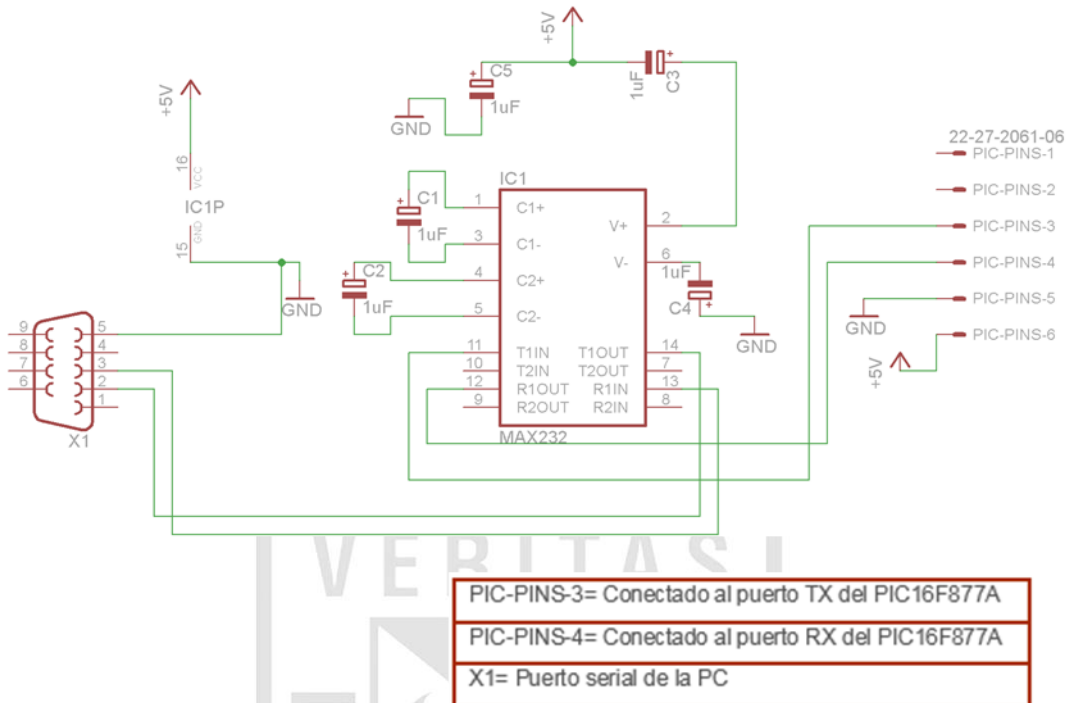


Figura Nº 92: Muestra la circuitería diseñada para la comunicación asíncrona.

Fuente: Propia.

Uno de los problemas encontrados en esta etapa fue la saturación del buffer de la PC, lo cual significa que el buffer ya llenó por completo la capacidad en memoria pre configurada por defecto. La solución fue limpiar el buffer para que la comunicación entre en microcontrolador y PC se actualice constantemente, dado que sin ello el código ASCII obtenido por el software en la PC se mantenía constante creando que los procesos se congelen.

d) Puerto USB

El puerto USB conectado en la placa de comunicación pertenece a la cámara WEB la cual está anclada al separador de cuadernillos en la bandeja de entrada, cabe mencionar que la activación de la cámara será controlada por el proyecto de digitalización cuando se solicite el requerimiento.

2.4.6 Diagrama de flujo de la lógica implementada

El siguiente diagrama de flujo de la figura 93, muestra en pseudocódigo el funcionamiento del sistema lógico de control, embebido en el microcontrolador, para la interacción de todos los componentes electromecánicos del prototipo en sincronía con el PDCNA.

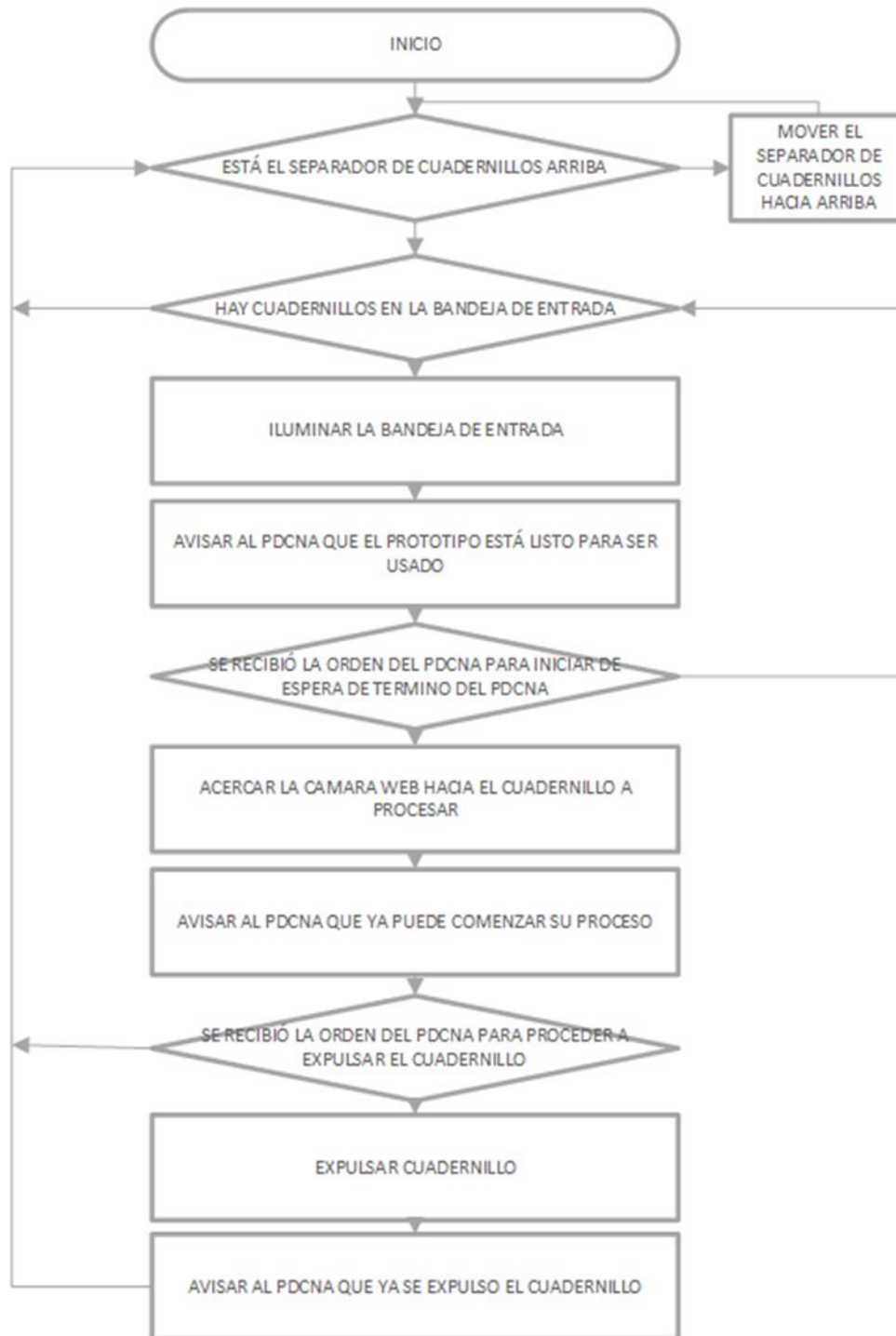


Figura Nº 93: Se muestra el diagrama de flujos del circuito de control del proyecto de automatización. **Fuente:** Propia.

CAPÍTULO III

PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 Prueba de tiempos del producto

Se midió experimentalmente con cronómetro el tiempo que demora el equipo en separar y trasladar 40 cuadernillos. Esta prueba se repitió 10 veces y se ponderó los resultados en cada prueba. Cabe resaltar, que el único interés del proyecto de automatización es usar cuadernillos. La tabla N° 9 muestra los datos medidos experimentalmente.

Tabla N° 9: Datos ponderados en cada prueba

PRUEBAS EXPERIMENTALES	TIEMPOS PROMEDIADOS (S)
1° PRUEBA	4.72
2° PRUEBA	4.59
3° PRUEBA	4.76
4° PRUEBA	4.40
5° PRUEBA	4.72
6° PRUEBA	5.1
7° PRUEBA	4.64
8° PRUEBA	4.97
9° PRUEBA	4.68
10° PRUEBA	4.64

Fuente: Propia.

El promedio total de los tiempos ponderados es:

$$Tiempo\ promedio\ total = \left(\begin{array}{l} 4.72 + 4.59 + 4.76 + 4.4 + 4.72 \\ +5.1 + 4.64 + 4.97 + 4.68 + 4.64 \end{array} \right) / 10$$

$$Tiempo\ promedio\ total = 4.742\ segundos.$$

EL tiempo estimado para separar 40 cuadernillos del fajo total y recargarlos a la bandeja de entrada es de 50 segundos:

$$Tiempo\ de\ recarga = \frac{50\ segundos}{40\ cuadernillos} = 1.25$$

Y considerando que el tiempo que se demora el software optimizado será de 6 milisegundos:

$$\begin{aligned} &Tiempo\ promedio\ total + tiempo\ de\ software\ optimizado \\ &+ tiempo\ de\ recarga \\ &= 4.742 + 0.006 + 1.25 = 5.998\ segundos. \end{aligned}$$

Entonces, la velocidad promedio de cuadernillos por minuto es:

$$Velocidad\ del\ prototipo\ con\ software = \frac{1\ cuadernillo}{5.998\ segundos} \times \frac{3600\ segundos}{hora}$$

$$Velocidad\ del\ prototipo\ con\ software = 600 \frac{cuadernillos}{hora}$$

Tomando en consideración los datos explicados en la definición del problema en la Introducción. El tiempo estimado que se demora el encargado de registrar la nota hacia una base de datos manualmente es de 8 segundos (en condiciones ideales), quiere decir que su velocidad promedio de cuadernillos por minutos seria de:

$$Velocidad\ del\ Encargado = \frac{1\ cuadernillo}{8\ segundos} \times \frac{3600\ segundos}{hora}$$

$$Velocidad\ del\ Encargado = 450 \frac{cuadernillos}{hora}$$

Entonces, la razón geométrica de eficiencia sería:

$$Razón\ geométrica = \frac{Velocidad\ del\ prototipo\ con\ software}{Velocidad\ del\ Encargado} \quad (17)$$

$$Razón\ geométrica = \frac{600 \frac{cuadernillos}{hora}}{450 \frac{cuadernillos}{hora}}$$

$$Razón\ geométrica = 1.33$$

Lo cual, quiere decir que porcentualmente, el prototipo sería un 33.3% más eficiente respecto a lo actualmente es realizado por el encargado de registrar la nota hacia una base de datos manualmente.

Además, el prototipo cumple las exigencias y está al nivel de los productos mostrados en el estado del arte (sección 1.1). Siendo la diferencia más importante que el prototipo desarrollado en esta tesis opera con cuadernillos y las soluciones existentes en el mercado solo operan con hojas. Lo cual, quiere decir que, como producto podría entrar al mercado a competir. La tabla N° 10 muestra las velocidades de las soluciones existentes en el mercado.

Tabla N° 10: Velocidades de las soluciones existentes en el mercado

SOLUCIÓN	VELOCIDAD (hojas/hora)
MarkQual	1500
Feelback DL V1	420
Feelback DL V2	900

Fuente: <https://www.markqualweb.site/>

3.2 Prueba de consumo de potencia promedio

Se observó que el prototipo consumía diferentes valores de energía en diferentes tiempos, puesto que en cada proceso intervenían diferentes componentes eléctricos. Debido a esto, se tuvo que definir los siguientes tiempos, donde:

t_a = tiempo sin cuadernillos sin iniciar procesos.

t_b = tiempo con cuadernillos sin iniciar procesos.

t_c = tiempo de inicio de proceso.

t_d = tiempo del PDCNA.

t_e = tiempo separación de cuadernillos.

Luego, se procedió a medir la corriente consumida en cada tiempo. De tal forma, se obtuvo los resultados descritos en la figura 94

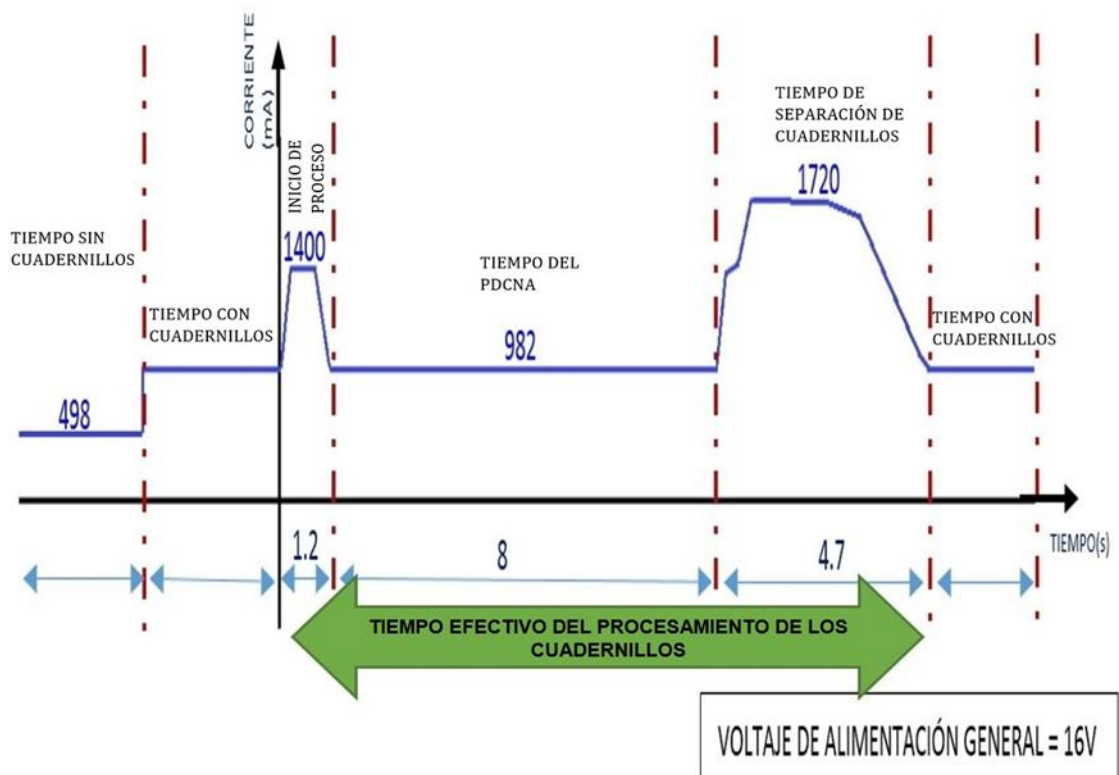


Figura Nº 94: Se muestra los niveles de potencia para cada proceso del prototipo.

Fuente: Propia.

Se conoce que:

$$Potencia = Intensidad \times Voltaje \quad (18)$$

Entonces, de acuerdo con la gráfica:

$$P_c = 16 \times 1400 \times 10^{-3} = 22.4Watts$$

$$P_d = 16 \times 982 \times 10^{-3} = 15.71Watts$$

$$P_e = 16 \times 1720 \times 10^{-3} = 27.52Watts$$

Y como se sabe:

$$\Delta Energía = Potencia \times \Delta Tiempo \quad (19)$$

Se calcula:

$$\Delta Energía_c = 22.4 \times 1.2 = 26.88 \text{ joules}$$

$$\Delta Energía_d = 15.71 \times 8 = 125.68 \text{ joules}$$

$$\Delta Energía_e = 27.52 \times 4.7 = 129.34 \text{ joules}$$

Entonces:

$$\Delta Energía Total = \Delta Energía_c + \Delta Energía_d + \Delta Energía_e = 281.9 \text{ joules}$$

y el $\Delta Tiempo Total = t_c + t_d + t_e = 13.9 \text{ segundos}$

Por ende, se calcula que la Potencia promedio del proyecto es:

$$Potencia Promedio = \frac{\Delta Energía Total}{\Delta Tiempo Total} \quad (20)$$

$$Potencia Promedio = \frac{281.9}{13.9} = 20.28 \text{ Watts}$$

Finalmente, se concluye que el consumo de 20.28 *Watts* del prototipo se encuentra en el rango de consumo de un foco ahorrador.

3.3 Prueba de probabilidad de error de cuadernillos

Se realizaron pruebas estadísticas en el prototipo para determinar la probabilidad de error al no coger un cuadernillo con las siguientes condiciones iniciales.

- Asumir que el código ASCII '5' es enviado por el PDCNA y recibido por el microcontrolador.
- Asumir que el usuario del prototipo introdujo correctamente los cuadernillos en la bandeja de entrada.
- Asumir que la bandeja de entrada tiene 40 cuadernillos que es la cantidad máxima con la que puede operar.

La siguiente tabla N° 11 muestra las pruebas que se realizaron 10 veces.

Tabla N° 11: Realización de eventos

EVENTOS EXPERIMENTALES	PROBABILIDAD DE ERROR (CUADERNILLOS)
1° PRUEBA	0 de 40
2° PRUEBA	0 de 40
3° PRUEBA	0 de 40
4° PRUEBA	0 de 40
5° PRUEBA	0 de 40
6° PRUEBA	0 de 40
7° PRUEBA	1 de 40
8° PRUEBA	0 de 40
9° PRUEBA	1 de 40
10° PRUEBA	0 de 40

Fuente: Propia.

Entonces de acuerdo a la teoría de probabilidad, manteniendo constante todas las condiciones iniciales se concluye:

Probabilidad de Error

$$= \sum_{Evento=1}^{Evento=10} \frac{\text{Eventos o Cuadernillos fallidos}}{\text{Total de Eventos o Cuadernillos} \times \text{Pruebas Realizadas}}$$
$$= \frac{2}{40 \times 10} = 0.5\%$$

Existe una probabilidad de 99.5% que los cuadernillos puedan ser separados correctamente.

Por tal motivo el 0.5% es causada por diferentes posibles motivos como:

- Por problemas mecánicos provenientes del mecanismo de selección del prototipo.
- Por causa de las grapas que van adheridas en cada cuadernillo, las cuales se pueden encontrar enganchadas entre ellas.

Entonces el sistema será capaz de separar gran porcentaje de los cuadernillos y si no fuere así, el sistema de PDCNA cuenta con la prevención de dichos errores.

CONCLUSIONES

- Primera:** Para poder tener un mejor control de un sistema mecánico como lo es el prototipo en mención se requiere una estructura estable que haya pasado varias pruebas a fin de no generar futuras averías.
- Segunda:** El prototipo estuvo encendido por días validando así su estabilidad, sin entrar en lazo infinito, ni apagarse, ni sobrecalentar.
- Tercera:** En la realización de proyecto se observó que los motores generaban un ruido que perturbaba el funcionamiento correcto del microcontrolador que se solucionó con los condensadores de bypass que fueron esenciales para su estabilidad.
- Cuarta:** Todo sistema de comunicación asíncrona, necesariamente se necesita de un sincronismo lógico.
- Un buen sistema mecánico otorga sencillez en el control electrónico.
- Quinta:** A través del desarrollo del proyecto se observó que los sensores se descalibraban, debido a que sus características electrónicas variaban ligeramente en el tiempo.
- Sexta:** Entonces, se concluye que es necesario circuitos electrónicos de sensibilidad para poder setear el umbral manualmente para volverlos a calibrar.

RECOMENDACIONES

- Primera:** Diseñar varios prototipos tomando lo más característico de cada uno y uniéndolo en prototipo final.
- Segunda:** Revisar el estado de los motores con carga y sin carga antes de implementarlo en cualquier prototipo, a fin de validar la existencia de sobre picos como sucedió con el motor del separador de cuadernillos, el cual tuvo que ser reemplazado para no dañar las placas circuitales.
- Tercera:** Tener planes de mantenimiento preventivo y correctivo como se realizó en el prototipo en mención, tales como etiquetar los cables y separarlos por cables energía y cables de data.
- Cuarta:** Cablear de forma separa los cables de data y los cables de energía, puesto que puede suscitarse ruido por EMI (Interferencia Electromagnética), RFI (Interferencia por Radio Frecuencia) o *Crosstalk* (Diafonía).
- Quinta:** Implementar un adicional el cual sería agregar IPv4 o IPv6 y de embeber la parte lógica de los proyectos de digitalización y automatización en un solo microcontrolador, con lo cual el nuevo prototipo contaría con un menú para operarla sin depender exclusivamente de una computadora o sino podría ser configurada y operada si está dentro de una LAN (en inglés Local Área Network, en español Red de Área Local).

FUENTES DE INFORMACIÓN

- ABB Fuente de Alimentación.* (2008). Obtenido de <http://www05.abb.com>
- ACDC Dynamics.* (2008). Obtenido de <http://www.acdc.co.za>
- Booklet feeder.* (2005). Obtenido de <http://jhbertrand.blogspot.com>
- Booklet feeder.* (2006). Obtenido de <http://jhbertrand.blogspot.com>
- Breijo, E. G. (2001). *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC.* Barcelona, España: MARCOMBO.
- Dallaporta, G., Portugal, R., & Motta, J. (1988). *Engranajes.* (E. Cid, Ed.)
- DATAB - Curso de Robótica.* (s.f.). Obtenido de <http://datab.us/Curso de Robotica>
- Direct Industry-Motor DC información.* (s.f.). Obtenido de <http://www.directindustry.es>
- Ehow-tipos de disipadores.* (s.f.). Obtenido de <http://www.ehowenespanol.com>
- Escalona, I. (2007). *Transductores y sensores en la automatización industrial.* (E. Cid, Ed.) Argentina.
- HANTRONIX Safely, Pag 46.* (s.f.). Obtenido de <http://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/618003.pdf>
- International center for quality certification.* (s.f.). Obtenido de <http://www.icqc.co.uk>
- J. DaCunha, S., P. Skinger, G., H. DePol, A., & P. Nash, T. (29 de 4 de 2004). *United States Patente nº US 20040080093A1.*
- Lenguaje de Programación.* (s.f.). Obtenido de https://realelect.com/Lenguaje_de_programacion
- Maco, J. (2010). *José Maco's Blog.* Obtenido de <https://Elect/sensor-de-temperatura-del-refrigerante-ptc/>

- MarkQual*. (s.f.). Obtenido de <http://www.markqual.com>
- Ministerio de educación*. (2011). Obtenido de [minedu: http://siagie.minedu.gob.pe](http://siagie.minedu.gob.pe)
- Ministerio de educación*. (2016). Obtenido de <http://siagie.minedu.gob.pe>
- Mouser- Basic Switch Manual*. (s.f.). Obtenido de <http://www.mouser.com>
- P. Malvino, A., & P. Leach, D. (s.f.). *Principios y aplicaciones digitales*. Barcelona: Marcombo Boixareu.
- Reyes Cortés, F., Cid Monjaraz, J., & Vargas Soto, E. (2002). *Mecatrónica: control y automatización*. (Alfaomega, Ed.) México.
- Saha, K. (2010). *Introducción a la robótica*. (McGraw-Hill, Ed.) España.
- Saldis, N. E. (2013). Argentina: Brujas.
- Schneider Electric*. (2015). Obtenido de <http://www.schneider-electric.com.pe>
- Superintendencia nacional de educación superior universitaria*. (2016). Obtenido de 3 <http://www.sunedu.gob.pe/universidades/instituciones-con-rango-universitario-autorizadas-por-conafu/>
- Superintendencia nacional de educación superior universitaria*. (2016). Obtenido de 3 <http://www.sunedu.gob.pe/universidadesautorizadas>
- System Feedback*. (s.f.). Obtenido de <http://www.sistemafeedback.com.ar>
- Teoría y Análisis de Máquinas Eléctricas*. (2000). Lima, Perú: UNI-FIEE. Obtenido de http://www.uib.cat/depart/dfs/GTE/education/industrial/con_maq_electriques/teoria/Libro%20Maquinas%20UNI_FIEE_MAQ.pdf
- William, B., Díaz, L., Ángeles, L., & Giannetto, G. (2013). *Mecatrónica: sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario* (2 ed.). (A. Grupo, Ed.)



ANEXOS

ANEXO N° 1

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO EN CONGRESOS

- IPEU 2013 – Lima.

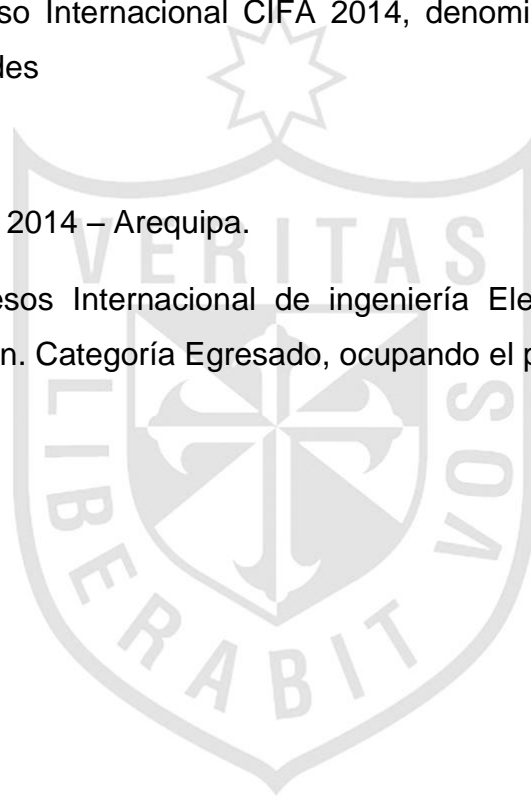
VII Congreso Internacional Gestión de la Innovación Empresarial.

- IPEU 2014 – Lima.

VIII Congreso Internacional CIFA 2014, denominado: Perú, Retos y Oportunidades

- INTERCON 2014 – Arequipa.

XXI Congresos Internacional de ingeniería Electrónica, Eléctrica y Computación. Categoría Egresado, ocupando el primer puesto.



La Molina, 21 de agosto de 2014

Señor
Jhonel Santos Calderón
Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingeniería y Arquitectura - USMP
Presente.-

De mi mayor consideración:

Por medio de la presente tengo el agrado de dirigirme a Ud. para saludarlo muy cordialmente y expresarle mis felicitaciones por su participación en la realización del trabajo **"SISTEMA ELECTRÓNICO DE REGISTRO DE CALIFICACIONES ACADÉMICAS BASADO EN PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y REDES NEURONALES"**, el cual obtuvo el **Primer Puesto** de la categoría **Ingeniería Electrónica Pregrado**, representando a la **USMP**, en el concurso de proyectos realizado en el marco del **XXI Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y de Computación - XXI INTERCON**, realizado por la Universidad Católica de San Pablo, en la Ciudad de Arequipa, del 04 al 08 de agosto del presente año, contando con el auspicio y apoyo del renombrado **IEEE**.

Considero que el premio obtenido es un justo reconocimiento al nivel académico e ingenieril del trabajo del cual es usted coautor, así como también a la planificación, la responsabilidad, el esfuerzo y la perseverancia que pusieron de manifiesto durante el tiempo que demandó su desarrollo y con la adecuada conducción de los docentes asesores. Este logro obtenido, es un digno ejemplo a seguir, por las siguientes promociones y con una connotación que enorgullece y prestigia a todos los integrantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, de la FIA y de la USMP en general.

Exhortándolo a continuar trabajando con el mismo ahínco para su desarrollo profesional y personal, con miras a lograr niveles de excelencia, le reitero mis felicitaciones y le auguro muchos más éxitos para el futuro en los diferentes aspectos de su vida.

Atentamente,



Ing. Manuel Alejandro Cáceres Lampen
DECANO

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Av. La Fontana N° 1250 Urb. Santa Patricia
Zda. Etapa - La Molina
Telf: 348-0394 / 348-0395 / 348-0397
Fax: 348-0398
fia@usmp.edu.pe
www.usmp.edu.pe/ffia/index.php



**INTERCON
2014**

CERTIFICADO

Otorgado a:

Jhonel Frank Santos Calderon

Por haber obtenido el **1er Puesto** en el:
Concurso de Proyectos
Categoría Egresados

En el "XXI Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y Computación - INTERCON 2014",
realizado del 4 al 8 de agosto de 2014 en la Universidad Católica San Pablo.

Arequipa, agosto de 2014



Maria Chiock Guerra
MBA María Chiock Guerra
Presidenta del IEEE Sección Perú



Gonzalo Fernández Del Carpio
D. Gonzalo Fernández Del Carpio
Decano de la Facultad de Ingeniería y Computación
Universidad Católica San Pablo

La Molina, 21 de agosto de 2014

Señor
José Arce Duval
Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingeniería y Arquitectura - USMP
Presente.-


De mi mayor consideración:

Por medio de la presente tengo el agrado de dirigirme a Ud. para saludarlo muy cordialmente y expresarle mis felicitaciones por su participación en la realización del trabajo **"SISTEMA ELECTRÓNICO DE REGISTRO DE CALIFICACIONES ACADÉMICAS BASADO EN PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y REDES NEURONALES"**, el cual obtuvo el **Primer Puesto** de la categoría **Ingeniería Electrónica Pregrado**, representando a la **USMP**, en el concurso de proyectos realizado en el marco del **XXI Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y de Computación - XXI INTERCON**, realizado por la Universidad Católica de San Pablo, en la Ciudad de Arequipa, del 04 al 08 de agosto del presente año, contando con el auspicio y apoyo del renombrado **IEEE**.

Considero que el premio obtenido es un justo reconocimiento al nivel académico e ingenieril del trabajo del cual es usted coautor, así como también a la planificación, la responsabilidad, el esfuerzo y la perseverancia que pusieron de manifiesto durante el tiempo que demandó su desarrollo y con la adecuada conducción de los docentes asesores. Este logro obtenido, es un digno ejemplo a seguir, por las siguientes promociones y con una connotación que enorgullece y prestigia a todos los integrantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, de la FIA y de la USMP en general.

Exhortándolo a continuar trabajando con el mismo ahínco para su desarrollo profesional y personal, con miras a lograr niveles de excelencia, le reitero mis felicitaciones y le auguro muchos más éxitos para el futuro en los diferentes aspectos de su vida.

Atentamente,



USMP FACULTAD DE
UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y
SAN MARTÍN DE PORRES ARQUITECTURA
Ing. Manuel Alejandro Cáceres Lampen
DECANO

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Av. La Fontana N° 1250 Urb. Santa Patricia
2da. Etapa - La Molina
Telf: 348-0394 / 348-0395 / 348-0397
Fax: 348-0398
fia@usmp.edu.pe
www.usmp.edu.pe/fia/index.php



**INTERCON
2014**

CERTIFICADO

Otorgado a:

José Carlos Arce Duval

Por haber obtenido el 1er Puesto en el:

**Concurso de Proyectos
Categoría Egresados**

En el "XXI Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y Computación - INTERCON 2014",
realizado del 4 al 8 de agosto de 2014, en la Universidad Católica San Pablo.

Arequipa, agosto de 2014



Maria Chiock Guerra
MBA María Chiock Guerra
Presidenta del IEEE Sección Perú



Gonzalo Fernández Del Carpio
D^r. Gonzalo Fernández Del Carpio
Decano de la Facultad de Ingeniería y Computación
Universidad Católica San Pablo

ANEXO N° 2
FICHA TÉCNICA DEL PROTOTIPO

Características	
Capacidad máxima de cuadernillos	40
Tamaño de cuadernillos	A4
Velocidad (Cuadernillos/minuto)	13
Altura del prototipo (cm.)	71
Ancho del prototipo (cm.)	40
Largo del prototipo (cm.)	52
Peso del prototipo (Kg.)	17
Microcontrolador	PIC16F877A
Patalla	LCD 16x2
Modelo de Rodillos	ADF s2 HP
Cable de comunicación	RS232 null
Cable de cámara	USB 2.0
Fuente de energía (Entrada)	220 V
Fuente de energía (Salida)	16 V - 3 A
Consumo (vatios)	20.28
Temperatura óptima externa de operación (Celcius)	25

ANEXO Nº 3

CURVAS DE AUTOMATIZACIÓN

Curva del costo de operatividad (mano de obra del personal que está a cargo de las notas)

Muestra que el costo operativo o de costo de mano de obra tiene una respuesta decreciente frente a los niveles de automatización cuando esta comienza a implementarse en la empresa, los altos niveles de automatización pueden logra obtener un costo operativo casi nulo por tal motivo las relaciones de proporcionalidad son las siguientes:

↑ Grado de automatización = ↓ Costo de operación.

Curva del costo de inversión.

Muestra que los costos de inversión o dinero a invertir tienen una respuesta creciente frente a los niveles de automatización cuando esta comienza a implementarse en la empresa, los altos niveles de automatización pueden lograr obtener un costo de inversión muy alto por tal motivo las relaciones proporcionales son las siguientes:

↑ Grado de automatización = ↑ Costo de inversión.

Es decir, los grandes ahorros de mano de obra se producen en las fases iniciales del grado de automatización y los grandes costos de inversión se dan en las fases finales del grado de automatización como se aprecia en la figura 1.

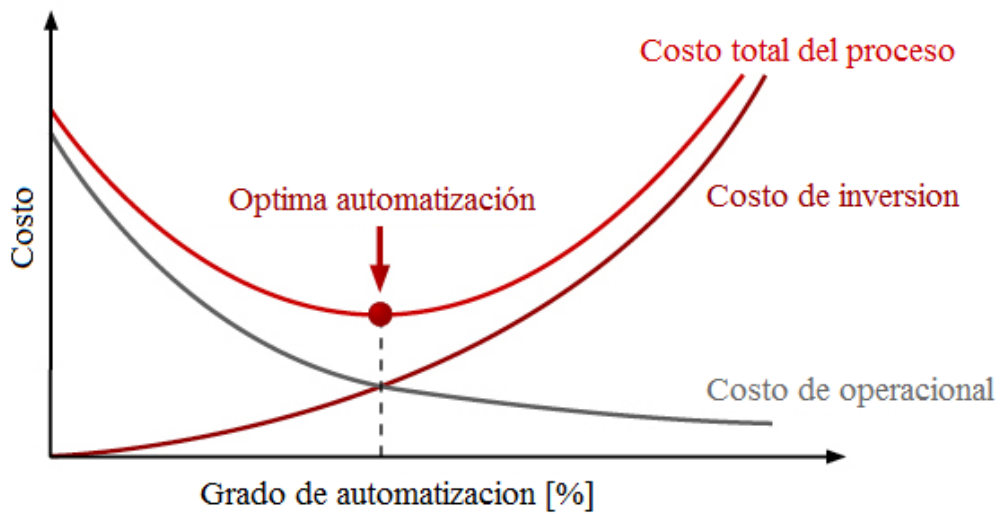


Figura 1: Muestra el patrón para una automatización óptima.

Por tal motivo se busca lograr un punto de equilibrio entre ambas curvas que permitan reducir el costo de mano de obra y no exceder el grado de automatización del sistema puesto que demasiada automatización incrementa la complejidad y reduce la confiabilidad ocasionando mayores costos de inversión innecesarios para la empresa.

ANEXO Nº 4

HISTÓRICO DE PROTOTIPOS

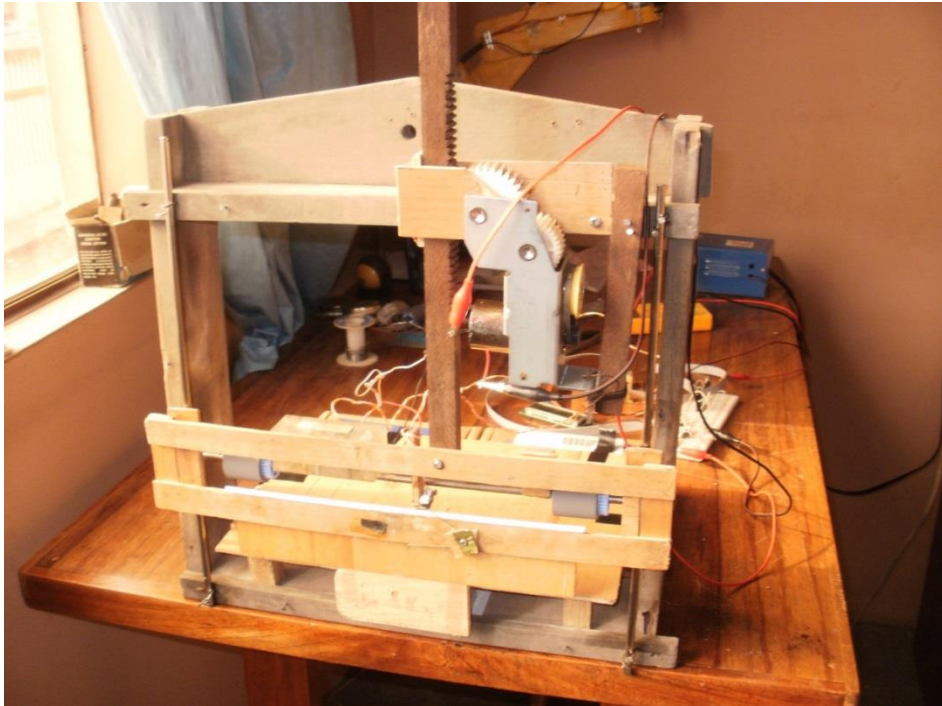


Figura 2: Se muestra la parte frontal del primer prototipo.

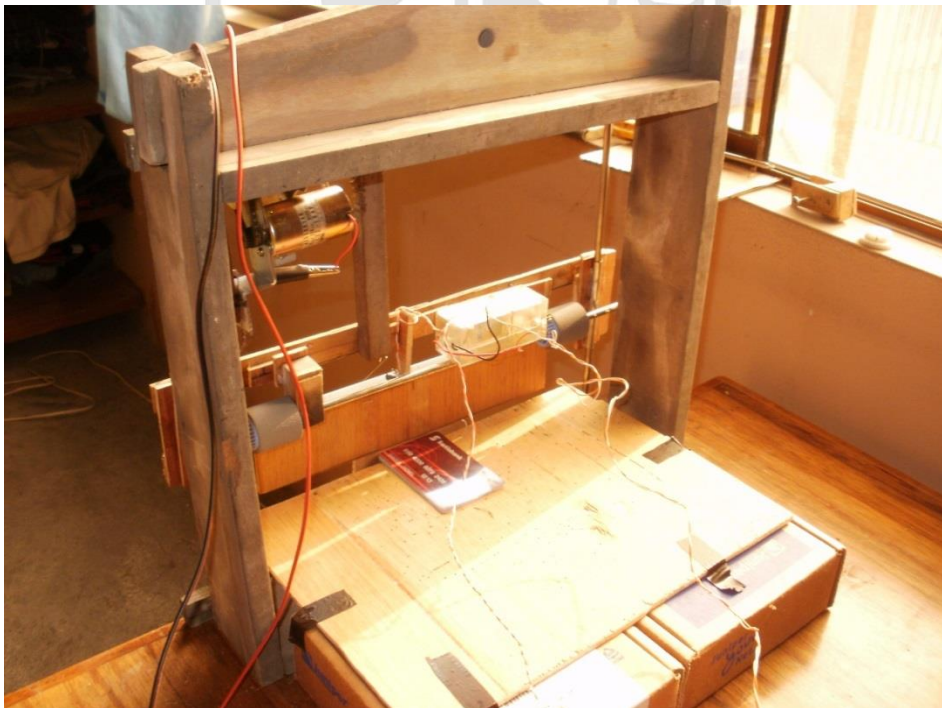


Figura 3: Se muestra la parte posterior del primer prototipo.

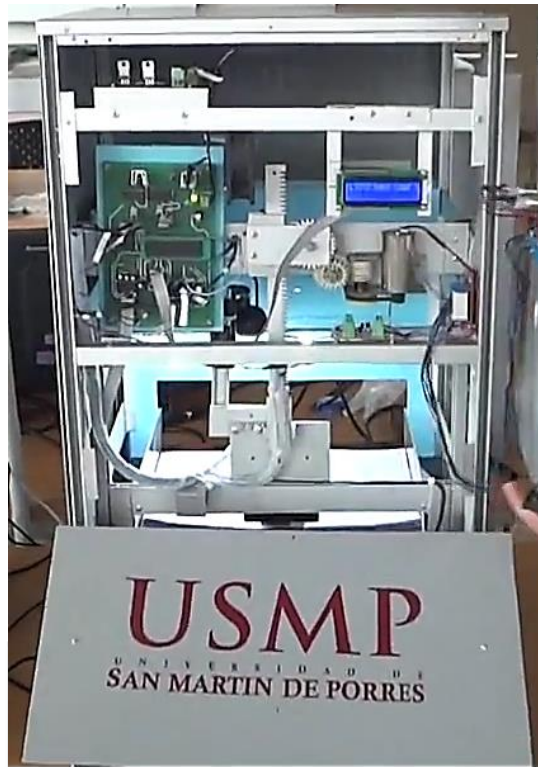


Figura 4: Se muestra la parte frontal del prototipo final.

IMÁGENES DE LOS MOTORES IMPLEMENTADOS



Figura 5: Se muestra el motor A (para el movimiento vertical del separador de cuadernillos)

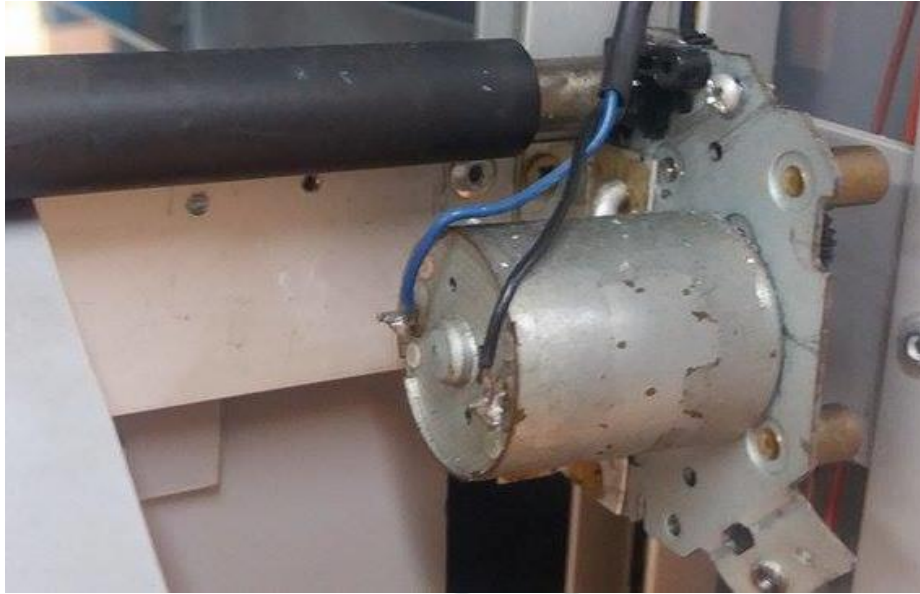


Figura 6: Se muestra el motor B (para expulsar los cuadernillos)

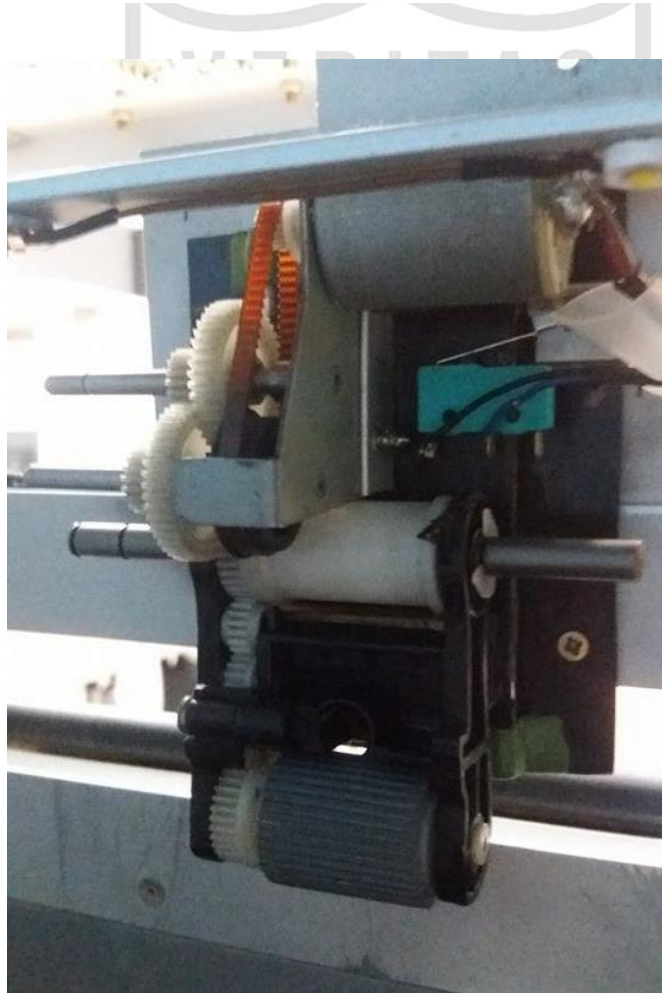


Figura 7: Se muestra el motor C (para separar los cuadernillos)

GLOSARIO

Contacto galvánico:

Es un fenómeno electroquímico en el cual, al estar dos metales de diferente potencial electroquímico, en contacto directo en un medio electrolítico, el metal menos noble (ÁNODO) tiende a disolverse.

Hermanado de engranes:

Quiere decir que los engranes deben asentar uno contra otro para que haya un acoplamiento perfecto entre sus dientes en caso no se consiga lo mencionado los engranes tendrán un patrón de desgaste irregular en la parte frontal del diente de engrane.

Códigos ASCII extendido:

Se denomina ASCII extendido a cualquier juego de caracteres de 8 bits en el cual los códigos 128 a 255, se asignan a conjuntos de caracteres que varían según los fabricantes de computadora y programadores de software. A diferencia de los caracteres ASCII estándar que si son intercambiables entre diferente programas y computadora

